

SOMMAIRE

RÉSUMÉS	p. 3
REMERCIEMENTS	p. 5
SOMMAIRE	p. 7
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS UTILISÉS	p. 8
INTRODUCTION	p. 13
 PREMIÈRE PARTIE - BAGRÉ ET LA DOUBÉGUÉ, UNE RÉGION EN MUTATION	p. 27
Chapitre 1 : Un contexte physique peu favorable	p. 31
Chapitre 2 : Une anthropisation en pleine mutation	p. 85
 DEUXIÈME PARTIE - UNE ÉROSION CROISSANTE DES SOLS, VÉCUE PAR LES POPULATIONS	p. 131
Chapitre 3 : Des agents et des facteurs « naturels » amplifiés par l'agent anthropique	p. 137
Chapitre 4 : La régression du couvert végétal : l'impact de l'agent anthropique	p. 161
Chapitre 5 : L'homme principal acteur du développement de l'érosion hydrique linéaire	p. 221
 TROISIÈME PARTIE - DES MODIFICATIONS HYDROLOGIQUES CROISSANTES VÉCUES PAR LES POPULATIONS	p. 253
Chapitre 6 : La Doubégué, témoin d'un processus érosif amplifié : l'apport de la turbidité	p. 259
Chapitre 7 : Risques environnementaux et humains dans le bassin versant de la Doubégué et du lac de Bagré	p. 331
 QUATRIÈME PARTIE - POUR UNE GESTION INTEGRÉE DANS LE BASSIN VERSANT DE LA DOUBÉGUÉ : QUELLES SOLUTIONS ?	p. 375
Chapitre 8 : Des solutions face à des acteurs multiples : un manque de cohésion et de planification	p. 379
Chapitre 9 : Des « pierres précieuses », en prospection, pour un développement global	p. 425
Chapitre 10 : La GIRE comme cadre d'action et l'importance d'un développement économique régional	p. 459
 CONCLUSION GÉNÉRALE	p. 491
BIBLIOGRAPHIE	p. 501
LISTE DES FIGURES, DES TABLEAUX, DES PHOTOGRAPHIES ET DES PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES	p. 521
ANNEXE	p. 527
TABLE DES MATIÈRES	p. 533

LISTE DES SIGLES ET DES ABRÉVIATIONS UTILISÉS

ACP : Analyse en Composante Principale
AEAG : Agence de l'Eau Adour - Garonne
AEN : Agence de l'Eau du Nakambé
AFD : Agence Française de Développement
AGR : Activités Génératrices de Revenus
AGRHMET : Centre Régional de Formation et d'Application en Agrométéorologie et Hydrologie opérationnelle
AIACC : *Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change*
AICB : Association Interprofessionnelle du Coton du Burkina Faso
ANB : Agence Nationale pour la Biosécurité
AOPP : Association des Organisation Professionnelles Paysannes
APROCA : Association des Producteurs de Coton Africain
APROCOB : Association Professionnelle des sociétés Cotonnières du Burkina
ASP : Agro-Sylvo-Pastorale
ATB : Agent Technique Bio
ATC : Agent Technique Coton
ATTRA/B : Association de Transfert de Technologie de la Recherche Agronomique du Boulgou
AUE : Association des Usagers de l'Eau
AVV : Aménagement des Vallées des Voltas
BACB : Banque Agricole et Commerciale du Burkina
BAD : Banque Africaine de Développement
BEI : Bureau d'Etude d'Impact sur l'environnement
CAC : Cellule d'Appui Conseil
CCNUCC : Convention-Cadre des Nations unies sur les Changements Climatiques
CDR : Comités de Défense de la Révolution
CEC : Capacité d'Echange en Cation
CEDEAO : Communauté Economique des États d'Afrique de l'Ouest
CEFORE : Centre de Formalités des Entreprises
CES : Conservation des Eaux et des Sols
CFDT : Compagnie Française pour le Développement des Textiles
CIEH : Centre International des Études Hydrauliques
CILSS : Comité Permanent Inter États de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CLE : Comité Local de l'Eau
CMR : Cancérigène, mutagène et reprotoxiques
CNFSH : Comité National Français des Sciences Hydrologiques
COV : Composés Organiques Volatiles
CPWF : *Challenge Program on Water and Food*

CRA : Centre Régional Agrhymet
CRDI : Centre de Recherche pour le Développement International
CREPA : Centre Régional pour l'eau potable et l'assainissement à faible coût
CSAO : Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest
CSLP : Cadre Stratégique de Lutte contre la Pauvreté
CSPS : Centre de Santé et de Promotion Sociale
CTC : Comité Technique conjoint
CTFT : Centre Technique Forestier Tropical
CTGEN : Comité Transfrontalier de Gestion des ressources en Eau du sous bassin du Nakambé.
CVD : Comité Villageois de Développement
CVGT : Commissions Villageoises de Gestion des Terroirs
CWS : *Church Word Service*
DAGRIS : Développement Agricole et Industriel du Sud
DAPF : Direction des Aménagements Pastoraux et Foncier
DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
DFN : Domaine Foncier National
DGE : Direction Général de l'Environnement
DGPSA : Direction générale des Prévisions et des Statistiques Agricoles
DGRE : Direction Générale des Ressources en Eau
DPI : Droit de Propriété Intellectuelle
DRA : Direction Générale de l'Agriculture
DRAHRH : Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques
DRECV/CE : Direction Régionale de l'Environnement et du Cadre de Vie du Centre-Est
DREP-CE : Direction Régionale de l'Economie et de la Planification du Centre-Est
DRS : Défense et Restauration des Sols
DS : Dégradation Spécifique
DSA : Direction des Statistiques Agricoles
DVA : Direction de la Vulgarisation Agricole
ECOLOC : développement Economique Local
EEA : *European environment Agency*
EIER : Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Equipement Rural
EMHV : Ester Méthylique d'Huile Végétale
EMV : Equateur Météorologique Vertical
ETSHER : Ecole des techniciens supérieurs de l'hydraulique et de l'équipement rural
FAD : Fond Africain de Développement
FAED : Fonds d'Appui à l'Environnement et au Développement
FAO : Food and Agriculture organization
FCFA : Franc CFA
FED : Fonds Européen de Développement
FNCOFOR : Fédération Nationale des Communales Forestières de France
FIT : Front Intertropical
FRIEND : Flow Regimes from International Experimental and Network Data

GEF : *Global Environment Facility*
GCES : Gestion Conservation de l'Eau, de la biomasse et de la fertilité des sols
GERES-VOLTA : Groupe Européen pour la Restauration du Sol en Haute Volta
GIEC : Groupe d'expert Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat
GIPD : Gestion Intégrée de la Production et des Déprédateurs
GIRE : Gestion Intégrée des Ressources en Eau
GPC : Groupement des Producteurs de Coton
GPS : *Global Positioning System*
GV : Groupement villageois
GVF : Groupement villageois de Femmes
GVH : Groupement villageois d'Hommes
HVB : Huile Végétale Brute
HYCOS-AOC : Système d'Observation du cycle Hydrologique en Afrique de l'Ouest et Centrale
IB : Indice de Brillance
ICCARE : *Interactive Community Care*
ICRAF : Centre International pour la Recherche en Agroforesterie
IFAD : *International Fund for Agricultural Development*
IFS : Initiative pour la Fertilité des Sols
IGB : Institut Géographique Burkinabé
INERA : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles
INSD : Institut National de la Statistique et de la Démographie
INVS : Institut de Veille Sanitaire
IRD : Institut de Recherche et de Développement
IRCT : Institut de Recherches sur le Coton et les Textiles Exotiques
IRSAT : Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologiques
IRSS : Institut de Recherche en Science de la Santé
ISAAA : *International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications*
ISCO : *International Soil Conservation Organization*
IST : Infection Sexuellement Transmissible
JEA : Jet d'Est Africain
JET : Jet d'Est Tropical
LPDRD : Lettre de Politique de Développement Rural Décentralisé
MAHRH : Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques
MD : Matières dissoutes
MES : Matière En Suspension
MENV : Ministère de l'Environnement (Québec)
MG : Matières Grossières
MOB : Maîtrise d'Ouvrage de Bagré
MWRWH : *Ministry of Water Resources, Works and Housing*
NDVI : Indice de Végétation Normalisé
NEPAD : *New Partnership for Africa's Development*
NERICA : *New Rice for Africa*
NPK : Azote, Phosphore, Potassium

OAPI : Organisation Africaine de la Propriété Intellectuelle
OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économiques
OFNACER : Office National des Céréales
OGM : Organisme Génétiquement Modifié
OMC : Organisation Mondiale du Commerce
OMD : Objectif du Millénaire pour le Développement
OMM : Organisation Météorologique Mondiale
OMS : Organisation Mondiale pour la Santé
ONEA : Office National de l'Eau et de l'Assainissement
ONG : Organisation Non Gouvernementale
OPS : Organisation Pelliculaire de Surface
ORSTOM : Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer
PADAB II : Programme d'Appui au Développement de l'Agriculture du Burkina Faso Phase II
PAFN : Plan d'Action Forestier National
PAGEV : Projet pour l'Amélioration de la Gouvernance de l'Eau dans le bassin de la Volta
PAGIFS : Plan d'Action de Gestion Intégrée des Sols
PAGIRE : Plan de mise en œuvre de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau
PAN : *Pesticide Action Network*
PDA : Programme de Développement de l'Agriculture
PDM : Partenariat pour le Développement Municipal
PDR/B : Programme de Développement Rural du Boulgou
PED : Pays En Développement
PEP : Projet d'Elevage Piscicole
PFN-BF : Plan d'Action Forestier National du Burkina Faso
PGM : Plante Génétiquement Modifiée
PHI : programme Hydrologique International
PIB : Produit Intérieur Brut
PIWAMP : *Participatory Integrated Watershed Management Project*
PNAE : Plan National d'Action pour l'Environnement
PNE : Politique Nationale de l'Eau
PNGT : Programme National de Gestion des Terroirs
PNGTV : Programme National de Gestion des Terroirs Villageois
PNLCD : Plan National de Lutte Contre la Désertification
PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement
POP : Polluant Organiques Persistant
PPDEL : Plan Programme de Développement Economique Local
PRESAO : Prévision Saisonnière des Pluies d'Afrique de l'Ouest
PRFCB : Projet de Renforcement de la Filière Cotonnière Burkinabée
PROGEREF : Projet de Gestion durable des Ressources Forestières
PTM : Plateforme Multidimensionnelle
PTR : Plateforme Multifonctionnelle avec Réseau
RAF : Réforme Agraire Foncière
RESE : Réseaux d'Echange en Santé-Environnement

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitation
ROIs : *Region of Interest*
RTM : Restauration des Terrains de Montagne
SACOF : Société Africaine de Conditionnement et de Formulation
SAGE : Schéma d'aménagement et de gestion de l'eau
SAM : *Spectral Angle Mapper*
SCAB : Société Chimique et Agricole Burkinabé
SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de gestion de l'eau
SERAGRI : Société d'Etude et de Réalisations Agricoles
SNGIFS : Stratégie Nationale de Gestion Intégrée de la Fertilité des Sols
SOCOMA : Société Cotonnière du Gourma
SOFITEX : Société des Fibres et Textiles du Burkina
SOGREAH : Société Grenobloise d'Etude et d'Application Hydraulique
SONABEL : Société Nationale d'électricité du Burkina
SOSUCO : Société Sucrière de la Comoé
SYNTAP : Syndicat national des travailleurs de l'agropastoral
TD : Travaux Dirigés
TEJ : *Tropical Easterly Jet*
TIC : Technologies de l'Information et de la Communication
UCOBAM : Union des Coopératives agricoles et Maraîchères du Burkina
UE : Union Européenne
UEMOA : Union Economique et Monétaire Ouest Africaine
UGFS : Unité de Gestion de la Fertilité des Sols
UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature
UNCDF : *United Nations Capital Development Fund*
UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'Éducation, la Science et la Culture
UNPC/B : Union Nationale des Producteurs de Coton/Burkina
USA : *United States of America*
USAID : *United States Agency for International Development*
USLE : *Universal Soil Loss Equation*
UTM : *Universal Transverse Mercator*
VIH : Virus de l'immunodéficience humaine
WACIP : *West Africa Cotton Improvement Program*
WALTPS : *West Africa Long Term Perspective Study*
WRC : *Water Resources Commission*
WVBB : *White Volta Basin Board*
ZCIT : Zone de Convergence Intertropicale
ZOVIC : Zones Villageoises de Chasse

Introduction

« Il est donc impératif et urgent d'étudier les phénomènes de déstabilisation du milieu et leur double impact sur l'homme et la nature. Ce n'est qu'ensuite qu'on pourra proposer des solutions pour maîtriser des exploitations forestières et de l'agropastoralisme, de l'évolution et de l'occupation du sol, de la protection de la vie et de la santé humaine, des développements touristique et culturel (parcs naturels aménagés, faune, flore etc..) ... Il reste à espérer que comme conséquence logique à l'impératif écologique, apparaisse graduellement également un impératif moral ... En clair le développement, notamment en zone tropicale, ne pourra s'effectuer sans une gestion intelligente de l'environnement » (SALOMON, 1994).

Deux des principaux enjeux du millénaire sont l'accès à l'eau et à une alimentation suffisante (Objectifs du Millénaire pour le Développement¹). Il s'agit de réduire de moitié, entre 1990 et 2015, la part des individus souffrant de la faim (malnutrition, sous-nutrition) et de diminuer le pourcentage de la population n'ayant pas un accès durable à un approvisionnement en eau de boisson salubre et à des services d'assainissement de base. L'objectif poursuivi est de mieux gérer les ressources que sont l'eau mais aussi les sols et la végétation à l'échelle mondiale. L'idée de développement durable est au cœur de ces préoccupations. Or, la gestion de ces ressources est un enjeu encore plus majeur pour les PMA (Pays les Moins Avancés²), et plus particulièrement pour le Burkina Faso qui est un pays où les activités agro-pastorales représentent 32 % du PIB et occupent 80 % de la population active.

Parcours de recherche

Passionnée par ces questions d'accès aux ressources, de réduction de leur dégradation, de recherche et d'étude de leurs causes afin de mettre en place des solutions, j'ai pu concrétiser ces réflexions au cours de ma maîtrise (2005 - 2006), de mon Master 2 (2006 - 2007), et surtout dans le cadre de cette thèse.

Ainsi, l'étude sur les risques de pertes en terre et leur impact sur les éléments hydrologiques a débuté en 2005 dans le cadre de mes travaux de recherches effectués lors de la Maîtrise de Géographie (Univ. Bordeaux 3) sur l'envasement du lac de barrage de Bagré (Burkina Faso). Ce processus était la résultante d'une conjonction de plusieurs facteurs

¹ Ces Objectifs du Millénaire pour le Développement ont été adoptés en 2000 par les États membres de l'ONU avec l'engagement d'être atteints en 2015.

² Classement de l'ONU.

d'ordre physique et humain. Le choix s'était opéré sur ce plan d'eau créé en 1992 sur le fleuve Nakambé. Son implantation a entraîné le développement de nouvelles activités et l'arrivée de populations originaires principalement du Nord. L'approche était alors qualitative. Il s'agissait de rechercher les causes et les mécanismes de l'envasement du lac, d'identifier les facteurs physiques et humains en cours, d'indiquer la part de chacun d'entre eux, d'établir une cartographie de l'occupation des sols, de mettre en évidence la perception paysanne, et de proposer des solutions. Ce premier terrain m'a permis de prendre conscience des nombreux enjeux en cours dans le bassin versant du lac de barrage de Bagré comme la régression du couvert végétal, les risques de pertes en terre, les conséquences sur le lac et les menaces pesant sur les activités humaines : ce sont les premières victimes, mais aussi bien souvent les premières responsables, de cet état des lieux. Dès cette époque, je projetais de réaliser une thèse sur ces thèmes. Cette étude s'est opérée au sein du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée (LGPA). Par ailleurs, un partenariat existe depuis de nombreuses années entre Bordeaux 3 et certains pays de l'Afrique de l'Ouest : le Niger, le Cameroun, le Burkina Faso... Lors mon Master 1, j'ai fait le choix de travailler en coopération avec l'université de Ouagadougou en particulier avec Tanga Pierre ZOUNGRANA et Jean-Marie DIPAMA.

L'étude de ces thèmes s'est poursuivie en Master 2 (Univ. Paris 7, Étude des Dynamiques et des Milieux à Risques), toujours dans un milieu tropical, mais cette fois-ci au Cameroun. J'ai alors travaillé sur les impacts naturels et anthropiques suite à la création du lac de barrage de la Mapé. Cette étude a continué d'aiguiser mon intérêt sur ces thématiques. J'ai ainsi pu poursuivre la lecture de la bibliographie de référence et j'ai procédé aux premiers relevés d'ordre quantitatifs sur la turbidité et les matières en suspension de ce plan d'eau et de deux de ces affluents. La mise en perspective et en parallèle de ces deux études m'a alors confortée dans l'idée qu'il faudrait à présent travailler au niveau d'un bassin amont pour comprendre plus précisément les mécanismes naturels à l'œuvre, ainsi que le rôle joué par les activités anthropiques sur les différentes ressources présentes : végétation, sol, et eau. Par ailleurs, un trait commun à ses deux études a été l'emploi de questionnaires. Dès ma maîtrise, j'ai tenu à associer des enquêtes et des entretiens aux observations puis aux mesures de terrain. Ainsi, les enquêtes réalisées lors de ces années de recherches en Master m'ont permis d'acquérir la méthodologie nécessaire et de tester les questionnaires utilisés par la suite dans la présente thèse.

Mon choix de terrain de thèse s'est porté sur le Burkina Faso, État inscrit dans la Boucle du Niger, possédant un climat tropical de type soudano-sahélien, et tout particulièrement sur le secteur de Bagré. La recherche dans le cadre de ma thèse a alors officiellement débuté à la fin de l'année 2007.

J'ai de nouveau été rattachée au LGPA dont les travaux, depuis une vingtaine d'années, se sont élargis aux recherches sur la dynamique érosive du littoral aquitain en collaboration avec l'ONF (Office National des Forêts), aux hydrosystèmes et à leurs dynamiques. Ce dernier thème comprend l'étude de la qualité des eaux sur des terrains français et étrangers. Le thème général des recherches du LGPA se situe au cœur de nos

préoccupations que sont les modifications des dynamiques naturelles liées aux hommes³. Les recherches et l'emploi de la turbidité comme lien et révélateur de l'érosion découlent directement de ce partenariat et de mes recherches au cours de ma maîtrise et de mon Master 2.

Cette recherche s'est également intégrée dans le programme interdisciplinaire « Les Risques en Afrique » de la Maison des Sciences de l'Homme d'Aquitaine (2007-2010) sous la direction de Simon POMEL. Ce programme a regroupé des chercheurs de formations diverses⁴ et a permis la réalisation de travaux interdisciplinaires divisés en quatre groupes de travail (représentation – risques religieux, conditions de vie – Ressources – Environnement - Santé, travail, pouvoirs). Un colloque portant sur les risques en Afrique et l'interdisciplinarité s'est déroulé le 04 et 05 avril 2011 et un ouvrage de synthèse est en rédaction, auquel j'ai participé. Désirant associer des méthodologies relevant des sciences humaines et des sciences dites dures, le travail interdisciplinaire et son approche étaient pour moi essentiels. Dans le cadre de mon travail, les méthodes employées relèvent principalement de l'histoire, du domaine de la santé, de la sociologie et de l'anthropologie.

Par ailleurs, le partenariat avec l'Université de Ouagadougou, mis en place lors ma maîtrise, s'est poursuivi au cours de mon doctorat. Cela m'a permis d'avoir accès à certains matériels. Il a également été à l'origine d'échanges très enrichissants avec les étudiants burkinabés ayant travaillé ou étudiant toujours la région de Bagré. Enfin, l'Institut de Recherche et de Développement à Ouagadougou m'a ouvert les portes de son centre de recherche, ainsi que de son laboratoire, pour les traitements de sols effectués avec l'aide de Moussa BARY et Adèle TONDE.

Pendant ces 3 ans et demi de recherche de thèse, j'ai été rattachée à l'UMR 5185 ADES CNRS dans deux programmes : marqueurs environnementaux et gestion des ressources, et vulnérabilité sanitaire et sociale des populations (quadriennal 2007-2010), puis en 2011 dans le pôle 1 (Paysage et environnement, qualité et ressource) et plus précisément dans l'opération 3 (Temps et durabilité : observation des environnements et des paysages).

Présentation de la zone d'étude

Les problématiques de la disponibilité, de l'accès à l'eau potable et du maintien de sols « productifs » sont au cœur du développement du Burkina Faso. Dans un contexte de péjoration climatique et de besoins croissants pour leur population, les gouvernements burkinabés successifs ont réalisé un certain nombre d'ouvrages hydrauliques, dont le barrage de Bagré en 1993, situé sur le fleuve Nakambé, le second bassin hydrologique du Burkina Faso. La question de la gestion des sols et du couvert végétal est également de plus en plus importante et difficile dans ses conditions climatiques mais aussi suite à l'accroissement de la population, des activités anthropiques. Le bassin versant de la Doubégué appartient à cette

³ Les terrains privilégiés sont : le Périgord et le Quercy (HOFFMANN et TARISSE, 2000 et HOFFMANN, 2005), la Dordogne (PAULAIS, 2003 et STEYAERT, 2009), le Bassin d'Arcachon (AULY *et al.*, 2002), le Médoc (LAVIE, 2005), le Gers (MACARY *et al.* 2006), Saint-Emilion (CATTANEO, *et al.*, 2008) ; et à l'étranger Tucuman (HOFFMANN, 2004), Mendoza (DAVID, 2009 ; LAVIE, 2009, STARCK, 2011), le Cameroun (DA COSTA *et al.*, 2005), le Burkina Faso (ROBERT, 2006).

⁴ Des politologues, des anthropologues, des socio-anthropologues, des juristes, des géographes, des historiens, des spécialistes des sciences de l'information de la communication, des économistes, des journalistes.

unité physique et se localise dans la région Centre-Est en Pays Bissa (**Fig. 1**)⁵. Par ailleurs, dans un pays, où la population rurale est de 79,7 % et où l'agriculture est l'activité économique la plus importante, l'étude de la ressource, qu'est la terre, est essentielle. Cependant, la prise de conscience du rôle et de l'enjeu de cette dernière est plus récente. Or, le sol agit comme une interface dans l'environnement, principalement vis-à-vis des activités anthropiques. Ces deux ressources, eau et sol, dans le bassin versant de la Doubégué et leurs impacts sur les sociétés se situent au cœur de mon étude.

Le bassin versant de la Doubégué est représentatif de la région de Bagré tant d'un point de vue physique (pédologie, évolution du couvert végétal, géomorphologie) qu'anthropique (activités agro-pastorales, ethnie Bissa). Son intérêt réside également dans la présence du site de Bagré (lac de barrage et complexe éco-touristique), et de la ville de Tenkodogo (première ville de la région). Étant l'un des principaux barrages du Burkina Faso, Bagré est l'objet de nombreuses études. Cependant, ces dernières portent principalement sur l'ouvrage et les aménagements réalisés en aval et, peu sur les sous-bassins d'alimentation du lac de Bagré, qui ont pourtant des impacts importants et directs sur ce plan d'eau.

Cette région est sous la dépendance d'un climat nord-soudanien (800 - 900 mm) et subit une double irrégularité inter et intra-annuelle à laquelle s'ajoute une péjoration climatique observable principalement depuis une trentaine d'années. De ce vaste glacis, formé de roches métamorphiques de granites syntectoniques, subsistent quelques reliefs résiduels. C'est une région où prédominent les sols pauvres essentiellement de type ferrugineux et peu évolués. La savane arborée et les forêts galeries ont laissé la place à la savane arbustive dans une région où l'empreinte humaine ne cesse de s'étendre. Le bassin versant de la Doubégué appartient au bassin du Nakambé. Quant à la présence du barrage de Bagré, elle est perçue comme un eldorado par les populations du Nord, du Centre et est également synonyme d'attraction pour les autochtones. Ainsi la phrase de BETHEMONT *et al.* (2003), relative à la vallée du Sourou, peut être parfaitement employée également pour le lac de Bagré : « *tous sont venus, sur les rives [...] les aléas du temps et du climat aidant, il constitue un pôle d'attraction et une aire de fixation pour des hommes venus de tout le Faso par vagues successives [...] les pasteurs en quête de pâturages, les pêcheurs dont les filets seront toujours pleins, les agriculteurs qui pourront récolter le riz flottant et pratiquer des cultures de décrue...* ». Ces migrations se sont déroulées dans un contexte de réforme agraire et foncière (RAF). Les terres mises en culture ont connu une forte expansion.

La zone d'étude appartient à la région du Centre-Est, plus précisément à la Province du Boulgou dont la ville principale est Tenkodogo, et se localise en Pays Bissa. Ce dernier a subi, comme beaucoup de régions burkinabées, les mutations de l'ère coloniale, puis de l'Indépendance et de l'Aménagement des Vallées de la Volta (AVV)⁶. Le bassin versant de la Doubégué comprend également des populations Mossi et Peul. La gestion des ressources naturelles doit faire face à la coexistence de deux systèmes : le traditionnel et le moderne. L'agriculture occupe 70 % de la population active, et 84 % des superficies cultivées sont des

⁵ Cette carte a été intégrée en dernière page de la thèse afin de pouvoir déplier la feuille A3 et ainsi pouvoir garder visible tout le long de la lecture la carte au format A4 représentant le bassin de la Doubégué, avec d'une part l'ensemble des points de prélèvement d'eau, de sols et d'autre part les villages cités tout au long de l'écrit ainsi que les pistes, les noms des affluents et quelques points cotés.

⁶ Ces aménagements comprennent l'éradication de l'onchocercose et l'aménagement de la vallée.

cultures pluviales (mil, sorgho, arachide, niébé...). Le mode d'exploitation est de type familial et de petite taille : 50 % des parcelles font moins de 4 ha et 80 % moins de 6 ha. Les cultivateurs de la zone utilisent peu d'intrants agricoles, exception faite pour la spéculation cotonnière. Par ailleurs, l'activité pastorale s'est accrue depuis l'arrivée massive de Peul dans les années 1980, et a eu de multiples conséquences dont l'apparition de nouveaux conflits, la pression grandissante sur l'environnement physique... Enfin, la proximité du Togo et du Ghana favorise les échanges et le commerce. En définitive, il s'agit d'une région devant faire face à une pression démographique dans un contexte de diminution des disponibilités en ressources naturelles.

Aux contraintes pédologiques et climatiques préexistantes se sont combinées, depuis les années 1970, une sécheresse et un accroissement de la population et de ses activités, remettant en cause et perturbant les équilibres anciens du milieu. Ces espaces « naturellement » fragiles ont alors été, au fil des années, de plus en plus soumis à une dégradation du couvert végétal et à une modification de leur évolution morphopédologique. Par ailleurs, l'augmentation de la population et l'occupation anarchique de l'espace, dominé par des cultures extensives, sont à l'origine de l'amplification des défrichements et des coupes abusives, du raccourcissement des jachères et des pâturages... **Dans ce contexte, on s'interroge sur l'impact subi par l'environnement et plus particulièrement sur les éléments que sont la terre et l'eau.** En 1992, Le Plan de Gestion Intégré du Projet Bagré (vol. II, p 92) confirmait la dégradation des sols sur toute l'étendue du bassin versant et relevait un risque d'envasement de l'ouvrage de Bagré. Le paysage est en effet marqué par la présence de ravins de plus en plus nombreux, les cours d'eau se sont fortement modifiés et l'eau stagne moins longtemps qu'auparavant. Il est alors essentiel de comprendre les processus à l'œuvre dans ces pertes en terre et en eau, ainsi que leur risque d'amplification et leurs conséquences dans le bassin versant du Nakambé, et plus précisément au niveau de la Doubégué.

Objectifs de la thèse et intérêt scientifique du sujet

La pression anthropique combinée à la péjoration climatique, fait peser un risque accru sur l'environnement. Dans cette région fragile, l'intervention massive et rapide de l'homme a modifié les conditions d'évolutions morphopédologiques, en accélérant, en particulier, l'érosion du sol et donc la turbidité. Ainsi, comme le souligne MAIRE et POMEL (1994), *« l'action de l'homme a transformé les couvertures végétales, a augmenté la vulnérabilité des aquifères. Mesurer et comparer le poids respectif des phénomènes de déstabilisation naturelle et de déstabilisation anthropique permet d'évaluer les dangers qui pèsent sur l'homme et son environnement en raison de l'accélération de certains processus naturels »*. Le lien entre l'homme et son milieu, et surtout sa compréhension, est l'essence même de l'analyse réalisée ici afin de mettre en place une gestion intégrée de l'environnement dans le bassin versant de la Doubégué⁷.

⁷ Une autre région du bassin versant du Nakambé (bassin versant du Tougou), en domaine sahélien, est en cours d'étude sur des thématiques proches. L'analyse se concentre sur les risques d'érosion et de perte de fertilité. Le programme est réalisé

La finalité principale de notre réflexion est de mener une étude sur les pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué. Elle s'articule autour de quatre objectifs spécifiques :

- l'étude de l'évolution de l'occupation du sol avant la mise en eau du barrage, après sa mise en service et aujourd'hui, une vingtaine d'années plus tard, afin de rendre compte des modifications apparues. Le couvert végétal joue un rôle essentiel dans la préservation du capital du sol qui est l'un des deux domaines d'étude de cette thèse ;
- le suivi spatio-temporel de la turbidité : il s'agit d'un paramètre hydro-qualitatif. Il permet d'évaluer les matières en suspension présentes dans un cours d'eau. Son étude rend compte en partie des phénomènes se déroulant sur les versants et également de l'état du cours d'eau ;
- la connaissance et la compréhension de la perception et des réalités vécues par les populations locales et les organismes présents sur place face à la dégradation de leur milieu. Une fois les faits scientifiques établis, cette étape est primordiale afin de savoir si oui ou non les populations ont conscience des modifications de leur environnement. De plus, dans le cadre de la mise en place de solutions, il est essentiel de faire participer et d'intégrer les riverains ;
- la présentation des différentes actions réalisées et à entreprendre afin de limiter le processus érosif et afin de permettre l'amélioration des conditions de vie. L'objectif final est la mise en place d'une gestion intégrée.

L'étude s'articule alors autour d'une hypothèse principale : **les pertes en eau et en terre, tant en termes qualitatif que quantitatif, résultent de facteurs d'ordres physiques (caractéristiques biophysiques du bassin versant associées aux changements climatiques) et humains (activités agropastorales et modifications des pratiques culturelles, accroissement démographique naturel et migratoire dans le cadre de la réalisation d'un barrage)**. En effet, pour comprendre la façon dont les terres sont dégradées ou risquent de l'être, il faut connaître la diversité de l'environnement physique, de la population et du mode d'exploitation. En d'autres termes, il s'agit de dresser l'esquisse du milieu physique et socio-économique (BRABANT *et al.*, 1996). Néanmoins, il semble que la part anthropique ait eu, ait, et aura encore davantage de poids.

D'autres hypothèses plus spécifiques accompagnent cette hypothèse générale. On peut présumer que :

- l'érosion de type hydrique prédomine dans la région ;
- la relation érosion/turbidité est importante dans cet espace. Dans un contexte de régression du couvert végétal, combinée à des sols pauvres et fragiles, l'érosion par l'eau transporte et apporte de nombreuses particules jusqu'au cours d'eau ;

dans le cadre de l'AMMA et s'intitule ICCE-BF : Impact du Changement Climatique sur les processus de dégradations de l'Environnement dans le Nord du Burkina Faso : application à l'identification des zones à risques majeur d'érosion et de perte de fertilité. Des mesures pédologiques, hydrologiques et socio-économiques sont effectuées afin de connaître les tendances évolutives de l'environnement. Les chercheurs partent du postulat que les problèmes d'érosion et de fertilité sont prépondérants causés par une densité rurale élevée, une très forte pression agricole et un état de dégradation avancé de la surface du sol dans un environnement fragile.

- l'augmentation des usages, la multiplication des acteurs ont entraîné et/ou renforcé des conflits d'usage ;
- le bassin versant de la Doubégué a subi de profondes modifications à la fin des années 1980. Suite à la sécheresse observée dans le Nord et le Centre du Burkina Faso, les populations ont dû trouver de nouvelles terres, et l'implantation du barrage de Bagré a ainsi été perçue comme un eldorado. Ces changements se sont renforcés au cours des années 1990 ;
- la modification de l'environnement peut avoir de lourdes conséquences au niveau sanitaire. C'est le plus souvent par la voie de l'eau, de l'air ou indirectement du sol, que peuvent se propager de très nombreuses maladies ;
- le rapport avec l'environnement est essentiel et important pour les communautés agropastorales. La perception de ces changements doit donc exister, de même que la mise en place de solutions face à ces modifications ;
- la décentralisation a créé un nouvel échelon et joue un rôle dans la mise en place d'actions de gestion. Le modèle « moderne » avec ses lois et ses institutions tend alors à prendre le dessus sur le « traditionnel ». Or, ce nouvel ordre n'étant pas toujours accepté, la coexistence de plusieurs modèles n'est par conséquent pas aisée ;
- la méthode participative semble être la seule solution applicable et viable pour un réel résultat d'où la nécessité de la mise en place d'une gestion intégrée.

Approche méthodologique

La protection des ressources en eau et en sol est la préoccupation centrale aux vues des usages et des conséquences sanitaires et économiques qui lui sont associées. L'objectif final est la mise en place d'une gestion intégrée du bassin de la Doubégué, soit l'instauration de solutions répondant d'une part aux problématiques de dégradation des ressources naturelles (eau, sol végétation) et d'autre part au développement socio-économique de la région, à l'échelle du bassin versant qui semble la plus appropriée.

Il s'agit de la délimitation la plus pertinente afin de mettre en œuvre des stratégies globales d'aménagement du territoire et de prévention des risques. Au niveau international, le modèle retenu est français, avec la mise en place des agences de l'eau ou agences de bassin. En 2007, Lasserre et Brun soulignent parfaitement cette réalité « *en créant une institution chargée de gérer tous les segments de la demande et d'optimiser ces usages, voire d'arbitrer les usages conflictuels, ainsi que les risques liés à l'eau, avec un pouvoir de taxation pour financer des travaux public, le concept de gestion par bassin versant à la française est peu à peu devenu la référence internationale en matière d'approche institutionnelle* ». Une gouvernance de l'eau s'est mise en place à partir de l'échelle du bassin versant : la logique sectorielle de gestion et d'étude uniquement par cours d'eau a ainsi peu à peu été abandonnée au profit de celle par bassin. Par ailleurs, il convient de dépasser le cadre strict du bassin versant de la Doubégué afin d'avoir une vision et une réflexion à une plus petite échelle. Il faudra mettre en place une coopération entre tous les bassins versants du lac de barrage de Bagré, ainsi qu'avec l'amont et l'aval de la retenue ; c'est-à-dire sur l'ensemble du bassin

versant du Nakambé. Le bassin versant n'a souvent de réalité administrative qu'avec la mise en œuvre de politiques interrégionales, d'autant plus qu'il s'agit d'un fleuve transfrontalier. Afin de résoudre ce problème, sur l'initiative de l'UICN, un projet dénommé « Projet d'Amélioration de la Gouvernance en Eau dans le Bassin de la Volta » (PAGEV) a été créé en 2004. Il a pour objectif principal d'aider le Burkina Faso et le Ghana à définir ensemble des principes fondamentaux de la gestion de l'eau et à instaurer un cadre de collaboration pour la gestion de leurs ressources communes en eau. La zone en aval du barrage de Bagré (2 700 km²) a ainsi été retenue afin de mettre en place des interventions pilotes de type GIRE (Gestion Intégrée des Ressources en Eau). Cet espace regroupe des villages burkinabés (Béyerlé, Zékézé, Sampéma, Mogr-noré) et ghanéens (Sapelia, Sakom, Mognore, Kugrasia). Un forum consultatif a été créé. Les principaux objectifs concernent la restauration des berges, la réhabilitation de petits réservoirs, et l'amélioration de la capacité de collecte et le partage de données transfrontalières. La zone étudiée joue également un rôle dans ce projet par la participation de la MOB (Maîtrise d'Ouvrage de Bagré), la DRAHRH (Direction Régionale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques) de Tenkodogo, et des préfectures des départements de Tenkodogo et Bagré. Enfin, Tenkodogo est la ville burkinabée où se tiennent les réunions importantes. L'échelle du bassin versant a, ainsi pour principal avantage qu'elle oblige à prendre en compte l'interdépendance entre l'amont et l'aval, que ce soit entre pays ou entre communautés qui partagent un même bassin ou sous bassin.

A l'inverse, le petit paysan est davantage concerné par ce qui se passe sur sa parcelle. Il convient donc d'accorder l'échelle d'analyse à la question posée, et c'est ce que nous effectuerons grâce à une réflexion sur la mise en place de solutions (Partie 4).

La méthodologie s'articule autour de trois axes principaux. Tout d'abord, il a fallu mettre en évidence et étudier le principal facteur de l'évolution du risque érosif : le couvert végétal (analyse diachronique). Puis, l'étude de ce risque a nécessité d'effectuer des relevés de turbidité et de phosphates dans les eaux du bassin de la Doubégué. Ces relevés sont, d'une part, intimement liés au processus d'érosion des sols ; d'autre part, ils ont permis de répondre à la question de la qualité des ressources en eaux. Ensuite, une attention toute particulière a été portée au point de vue des populations et des organismes locaux et régionaux face à cette dégradation, ainsi que sur leurs actions pour y remédier dans un dernier temps.

La méthodologie regroupe une étude bibliographique, une **analyse spatiale, deux séjours - terrains** (saison sèche 2008 et saison des pluies 2009) et **l'exploitation des données recueillies**. Nous reviendrons par la suite sur les détails de la mise en œuvre de ces méthodologies.

Ainsi, une **étude bibliographique** a été réalisée sur les processus et les mécanismes d'érosion et de dégradation (physique, chimique et biologique) intervenant dans la région étudiée, la description des états de surface de la zone soudanienne, la turbidité et le rôle des particules comme support des vecteurs de maladies hydriques. Par ailleurs, pour comprendre ces processus, il était important de connaître le contexte physique (nature du sol, pente, ensemble géomorphologique, pluviosité, agressivité climatique, couvert végétal, etc.) et humain (histoire, culture, densité, relation agriculture/élevage, modes d'exploitation et d'utilisation des terres). Le type de dégradation dépendant de la relation homme - milieu, il

fallait alors, dans un premier temps, dresser une esquisse du milieu physique et socio-économique.

Il s'agissait également de réaliser une **étude diachronique de l'occupation du sol** du bassin de la Doubégué à partir de 6 images satellites Landsat : de 1985 (avant la construction du barrage), 1994 (mise en eau de l'ouvrage) et 2005 (pour chaque année, deux images ont été nécessaires afin de couvrir la zone d'étude). Cette étape avait pour principal Elle a permis de localiser les secteurs les plus affectés par le risque érosif. Cette méthode a donc été essentielle dans le cadre de la réflexion sur les solutions à apporter face à ce risque.

Par ailleurs, les **deux séjours-terrains effectués** ont permis de connaître l'environnement physique et humain de la zone d'étude. Des relevés hebdomadaires d'eau, en plusieurs points du cours d'eau de la Doubégué et au niveau du lac de barrage de Bagré ont été réalisés afin de mesurer la **turbidité** et les teneurs en **phosphates**. Ces prélèvements se sont effectués à différentes périodes : d'octobre à décembre 2008 (après la saison des pluies) et de mi-juin à mi-septembre 2009 (pendant l'hivernage). La récolte d'informations sur la **bathymétrie** du lac de barrage de Bagré, et des **prélèvements de sols** sont venus clore ces travaux de terrain afin d'avoir un aperçu du bilan d'érosion (départ, relais et dépôt).

Le manque de données quantitatives concernant l'érosion aréolaire est le fruit de plusieurs facteurs. Pour disposer de données représentatives (spatialement et temporellement) il aurait été nécessaire de mettre en place une observation suivie de parcelles d'érosion dans l'ensemble du bassin versant de la Doubégué sur plusieurs années. Dans le cadre d'une thèse en quatre ans sans coordination avec un organisme sur place et sans financement, ce qui empêchait une présence permanente sur place pour surveiller ces parcelles, cela n'était pas possible. En effet, évaluer l'érosion aréolaire impliquait une présence permanente sur le terrain sur plusieurs années et une connaissance exacte de l'usage de chaque parcelle agricole ce que le traitement d'images satellitaires ne permet pas. L'étude des états de surfaces (de leur évolution et donc l'érosion aréolaire en fonction des usages) pourrait être le sujet d'une thèse à part entière.

Par ailleurs, les relevés de turbidité soulignent fortement ce qui se déroule dans l'ensemble du bassin versant de la Doubégué et non pas uniquement les mécanismes en aval. L'étude de ces relevés de turbidité a permis de mettre en évidence un système variable aux réponses multiples selon les zones du bassin versant sous la dépendance de facteurs plus ou moins importants.

L'analyse réalisée ici de la turbidité du bassin versant de la Doubégué est susceptible de poser les jalons d'une étude future sur l'érosion aréolaire en soulignant les meilleurs secteurs où placer et observer les parcelles d'érosion.

De plus, l'étude diachronique de l'occupation du sol permet d'avoir déjà une connaissance des zones les plus affectées par l'érosion aréolaire. Faute de quantification, nous disposons d'une localisation ainsi que des données qualitatives, par l'intermédiaire d'enquêtes précises sur les thèmes de l'érosion des parcelles, de la régression du couvert végétal et de l'évolution de la physionomie des cours d'eau. En effet, les populations mettent clairement en avant ce processus.

Lors de chaque étude de terrain, des **enquêtes** ont été effectuées auprès des populations riveraines selon leur type d'activités. Les thématiques abordées ont été les pertes en terre, l'érosion sur les versants, la modification d'écoulement de la Doubégué et de ses

affluents, la dégradation du couvert végétal, et l'interdépendance de ces différents phénomènes. 270 enquêtes ont été réalisées, ainsi que de nombreux entretiens auprès de différents organismes et associations. L'ensemble de ces échantillons a été construit sur une base qualitative. L'objectif était d'appréhender le plus précisément possible les attitudes et le vécu des populations du bassin versant de la Doubégué sur les thèmes des pertes en terre, en eau et sur la dégradation du couvert végétal. Les enquêtes ont donc répondu à ce double objectif : d'une part connaître les usages des sols par la population, de manière à mieux appréhender les résultats du suivi hydro-qualitatif, d'autre part comprendre les représentations de la population, afin de proposer des solutions plus adaptées à leurs besoins.

L'analyse des prélèvements de sols s'est effectuée au laboratoire de l'IRD à Ouagadougou. Les relevés d'eau ont nécessité l'utilisation d'un turbidimètre (photolab WTW). L'ensemble des données a été exploité à l'aide de logiciels de cartographie, de statistiques, et d'enquêtes. L'objectif fut de créer un **Système d'Information Géographique** sur l'état de l'occupation du sol, le risque érosif et les données relevant de la turbidité des eaux. La réalisation de ces documents cartographiques avait pour objectif d'aider à réfléchir sur les solutions existantes ainsi que d'initier celles à mener afin de ralentir la dégradation du couvert végétal, de freiner l'érosion des sols et la turbidité des cours d'eau.

Enfin, nous avons voulu que cette étude relie en permanence les résultats issus des relevés dits scientifiques et les observations obtenues suites aux enquêtes et aux entretiens. Une approche simultanée de l'étude diachronique, des relevés et des enquêtes m'a semblé primordiale pour comprendre l'ensemble des mécanismes en cours dans cette région de la Doubégué. Il s'agit donc d'une approche systémique faisant également appel à l'interdisciplinarité (histoire, géographie, santé, anthropologie...) par le biais des différentes méthodes employées pour la compréhension de l'interaction de l'homme et de son environnement.

Structure de la thèse

L'étude de la régression du couvert végétal, des risques de pertes en terre et leur conséquence sur la ressource en eau, et plus généralement sur l'environnement humain et physique, constitue le fil directeur de cette thèse, avec pour objectif de mettre en place une gestion intégrée de ces ressources en tenant compte du capital humain. Ainsi de nombreuses interrogations ont été soulevées.

Il convient de s'intéresser au risque érosif dans le contexte de péjoration climatique et d'accroissement démographique. En effet, cette région du globe semble, pour des raisons climatiques et anthropiques, soumise à une modification de la surface du sol. Suite à l'évolution des modalités de ruissellement et d'infiltration, les écoulements de versants augmentent, et sont à l'origine d'une érosion hydrique des sols exacerbée. Les conséquences sont alors multiples : perte de fertilité, augmentation de la turbidité des cours d'eau ainsi qu'un envasement progressif des lacs de barrage. L'étude spatio-temporelle de la turbidité a ainsi apporté un certain nombre d'éléments dans la compréhension et le déroulement du phénomène érosif. Néanmoins, ce processus n'est pas uniforme à l'échelle d'un bassin versant ; c'est le cas de celui de la Doubégué qui regroupe différentes occupations du sol.

Quels sont le type et l'ampleur du processus érosif ? Quel est le paramètre principal dans ce phénomène ? Quelle est la place du couvert végétal et de sa dégradation ?

Par ailleurs, il est nécessaire d'aller plus loin et de se pencher sur la réalité de cette évolution vécue et perçue par les populations riveraines et les organismes. Le bassin de la Doubégué se situe dans un secteur de savane dont « l'existence » et la « présence » est fortement influencée par l'Homme. Comme le souligne RIOU (1995), ce sont des « *paysages d'hier, apparus dans un lointain passé, paysages d'aujourd'hui déjà menacés avant d'être achevés* ». Les populations, fortement ancrées dans leurs terroirs, conditionnent particulièrement la morphogenèse actuelle en modifiant les recouvrements végétaux ainsi que la structure du sol. En parallèle de l'étude de la compréhension du fonctionnement de ce processus dans le bassin versant, il est essentiel de savoir si les populations ont conscience ou non de ce phénomène, de connaître comment elles le définissent, et de comprendre leur rôle dans cette région. Le lien à la nature est encore prégnant dans les sociétés agropastorales subsahariennes mais cette relation s'est modifiée depuis quelques décennies avec l'instauration de déséquilibres visibles dans le milieu : appauvrissement des sols, régression du couvert végétal, des cours d'eau, disparition de certaines espèces animales et végétales, etc. Ces modifications sont-elles alors vécues par les populations locales ? Comment sont-elles ressenties, expliquées ? Par ailleurs, on peut supposer que la perception de l'évolution de l'environnement est différente selon les différents acteurs (pasteurs, agriculteurs). Enfin, les populations locales ne sont pas les seules présentes dans cet espace. De nombreux organismes sont installés dans le bassin versant de la Doubégué et plus largement dans celui du lac de barrage de Bagré et du Nakambé. Dans le contexte d'une décentralisation générale des institutions, effectuée au cours des années 1990 sous l'impulsion des organisations internationales, et la mise en place des Politiques d'Ajustement Structurel, ce sont ces institutions décentralisées qui ont été chargées (et qui le seront encore) de répondre à cette évolution et de mettre en place un certain nombre d'actions. L'étude de leur perception de la dégradation de la zone est primordiale afin de comprendre comment se sont organisées les luttes, et comment vont s'appliquer les solutions.

Enfin, on se tourne vers une nouvelle organisation en termes de protection et de gestion intégrée du bassin versant de la Doubégué. Dans le contexte de décentralisation évoqué précédemment, les organismes présents dans la région ont un rôle essentiel à jouer dans la maîtrise et l'évolution des pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué. Quelles sont les solutions réalisées et préconisées par les associations, les ONG, la MOB, la Sonabel (Société Nationale d'électricité du Burkina), Faso Coton ? Il faut également étudier l'avis des populations résidentes dans cet espace afin de connaître les actions qu'elles ont, vont ou souhaiteraient réaliser. Quelles sont les opérations entreprises par les habitants du bassin de la Doubégué et quels sont leurs désirs ? Il est primordial que ces activités ne concernent pas exclusivement l'environnement. Il faut que les populations aient aussi un intérêt par un accroissement des rendements, des fourrages, des revenus, des bénéfices au niveau de la santé. Par ailleurs, elles doivent être suivies sur le long terme. Comment est-il possible d'arriver à une gestion intégrée, à l'échelle du bassin versant, afin de résoudre les questions de pertes en terre et en eau et d'améliorer les conditions de vie ?

Ainsi, notre réflexion prend en compte à cinq grands thèmes essentiels au Burkina Faso, et donc également dans le bassin versant de la Doubégué (**Fig. 2**):

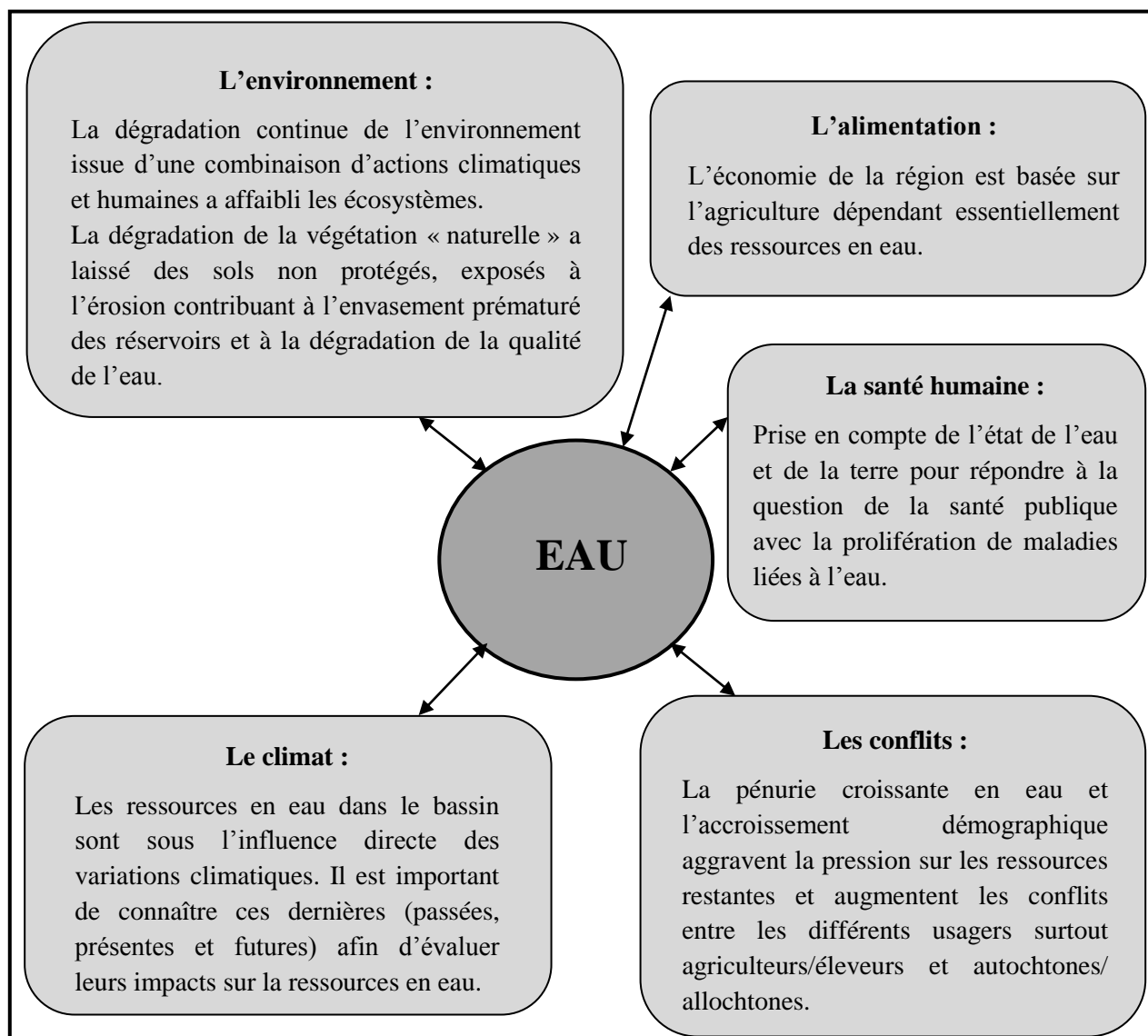


Fig. 2 : Les thèmes principaux liés à l'eau au Burkina Faso

Ma Première partie permettra de souligner à quel point cette région est en mutation, aussi bien sur le plan physique qu'humain. Dans un premier chapitre, nous reviendrons sur les modifications d'ordre climatique, et sur la présentation du contexte géomorphologique, pédologique, biogéographique et hydrologique de la zone d'étude. En effet, la présentation de l'organisation géophysique est essentielle afin de comprendre les processus en jeu quant aux risques de pertes en terre et en eau. Néanmoins, on ne peut omettre l'étude de la sphère humaine. C'est pourquoi le chapitre 2 exposera le contexte historique et présentera les différents domaines d'activité et les usages de l'eau. Cette première partie permettra de mieux comprendre cette région affectée conjointement par une péjoration climatique et une pression démographique et foncière croissante.

La Partie exposera les éléments à prendre en compte dans la thématique des pertes en terre tant d'un point de vue qualitatif que quantitatif : l'intensité pluviale, le type de sol, la pente, le couvert végétal, les activités anthropiques. Une analyse granulométrique de la zone sera également présentée. Cette étude soulignera à quels points les agents « naturels » sont

amplifiés par l'agent anthropique. La réalisation d'une étude diachronique de l'occupation du sol mettra en évidence que le principal facteur jouant un rôle dans ce bassin versant est le couvert végétal. Suite à une enquête, nous montrerons que cette réalité est aussi mise en évidence par les populations locales. Après avoir identifié les causes, et les agents responsables (principalement hydriques), le chapitre 7 abordera les conséquences : le ruissellement sur les versants dû à une érosion hydrique avant tout diffuse, ainsi que l'impact grandissant, sous l'influence de l'environnement humain, de l'érosion linéaire.

La partie III découle comme « un fleuve » des observations de cette deuxième partie. En effet, la Doubégué semble être le témoin, et une des premières victimes, de l'amplification de l'érosion des sols. On s'intéressera à établir un diagnostic des taux de turbidité de ce bassin versant. Une présentation succincte des caractéristiques physico-chimiques du lac de barrage de Bagré complétera ce chapitre. Une nouvelle fois, face à cette réalité physique, scientifique, il conviendra de s'interroger sur la prise de conscience de ce phénomène par les populations locales, et sur la volonté et les moyens mis en œuvre par les personnes pour y remédier, grâce à une enquête réalisée auprès des populations. Enfin, après avoir établi ce diagnostic, nous aborderons les conséquences tant sur le milieu physique que sur la sphère humaine, en particulier dans le domaine de la santé. En effet, l'eau, indispensable à la vie et au progrès économique, constitue paradoxalement dans les pays tropicaux, et plus particulièrement en Afrique, le véhicule le plus commun de la transmission des maladies, qui sont le plus souvent mortelles⁸.

Enfin, la quatrième et dernière partie constituera une réflexion sur la mise en place de solutions et d'une gestion intégrée. Dans un premier point, nous reviendrons sur les grands courants qui ont guidé la protection des ressources : la CES/DRS (Conservation des Eaux et des Sols/ Défense et Restauration des Sols) puis la GCES (Gestion Conservation de l'Eau, de la biomasse et de la fertilité des sols). Le gestionnaire du lac de barrage de Bagré propose également un certain nombre de solutions, auquel il faut associer celles du Projet de Gestion durable des Ressources Forestières (PROGEREF), les Activités Génératrices de Revenus (AGR) et les autres actions réalisées par les associations (Dakupa) et organismes (PADAB II : Programme d'Appui au Développement de l'Agriculture du Burkina Faso Phase II) présents dans le bassin versant. Cependant, la mise en place de ces diverses opérations a rarement été couronnée de succès. C'est pourquoi le chapitre 9 présentera trois solutions permettant d'une part un développement humain, et d'autre part une protection et/ou une régénération de l'environnement. Il s'agit du *Moringa oleifera*, du *Jatropha curcas*, du neem, et de la combinaison de ces trois végétaux. Enfin le dernier chapitre, aura pour objectif de mettre en place un cadre de réflexion plus vaste. Il s'agit de replacer le bassin de la Doubégué et de Bagré dans le cadre de la GIRE en y développant davantage la composante sol et d'aborder la question du développement économique de la région toute entière en s'appuyant sur le complexe éco-touristique de Bagré et le pôle qu'est Tenkodogo.

⁸ Comme le souligne SHERIDAN (1985) : « là où va l'eau, la maladie suit ».

PREMIÈRE PARTIE

BAGRÉ ET LA DOUBÉGUÉ, UNE RÉGION EN MUTATION

Dans un pays où la ressource eau est rare, l'installation à proximité d'un point d'eau est primordiale. Ce fait, est d'autant plus vrai, pour les populations burkinabées rurales dont l'existence repose sur les activités agropastorales. Le Nakambé (ex Volta Blanche et ses affluents), second bassin hydrographique du Burkina Faso, couvrant 63 % du pays, est alors fortement occupé.

Les cours d'eau burkinabé, et tout particulièrement celui-ci, sont alimentés essentiellement d'une année sur l'autre par les précipitations directes tombant pendant 4 à 5 mois. Dans cet État sahélo-soudanien, afin d'exploiter leurs terres et tout simplement de vivre, les populations dépendent alors principalement des pluies. Or, au cours des 50 dernières années, les disponibilités en eau ont baissé de façon drastique, conséquence de la baisse pluviométrique. Par ailleurs, à cette contrainte climatique se combine des sols souvent pauvres, peu fertiles, ainsi que la dégradation du couvert végétal sous la pression anthropique. Suite à l'essor démographique du Burkina Faso et afin de répondre à la demande alimentaire, les agriculteurs étendent leur surface exploitée. Face à ces réalités, il est alors essentiel de conserver le capital de ces ressources.

Le bassin versant de la Doubégué, situé en Pays Bissa dans le secteur de Tenkodogo, est soumis à l'ensemble de ces modifications. L'activité principale de cette région est une agriculture essentiellement vivrière pratiquée sur des exploitations familiales de petite taille reposant sur des systèmes d'associations et de rotations. Par ailleurs, la réalisation du barrage hydroélectrique de Bagré a fait de cette zone une région particulièrement attractive. Les densités ont augmenté, de nouvelles populations sont arrivées (agriculteurs, éleveurs) afin d'exploiter de nouvelles terres, et, par la même, cette ressource tant précieuse qu'est l'eau (pêcheurs). Le bassin de la Doubégué subi alors de nombreuses pressions, faisant peser de lourdes menaces sur les différentes ressources « naturelles » (sol, eau, végétation) originellement fragiles. Enfin, il ne faut pas omettre, une dernière mutation affectant la société burkinabé : l'interpénétration des pouvoirs coutumier, traditionnel et moderne. On assiste alors au recul du premier et l'apparition de nouvelles organisations « mixtes ».

Quel est le cadre physique du bassin versant de la Doubégué et plus largement de Bagré ? Quelles sont les ressources dites « naturelles », présentes dans ce bassin versant ? Comment sont-elles affectées et comment réagissent-elles dans ce contexte d'évolution climatique, d'accroissement démographique et de tentatives de mutations des systèmes agropastoraux ? Quels étaient le mode d'occupation des sols auparavant et l'actuel ? Et surtout quelle est la répartition, l'adaptation des activités à l'aube du XXI^{ème} siècle dans le bassin versant de la Doubégué ?

Cette Partie 1 a pour intention de présenter le contexte environnemental de cette région au niveau de la ressource eau (pluviométrie et hydrologie) mais également de celles en sol et en végétation. Toutes trois sont essentielles à la vie quotidienne des populations Mossi, Bissa et Peul résidentes dans le bassin versant de la Doubégué reposant principalement sur les activités agropastorales.

Dans un premier chapitre, nous ferons le point sur les disponibilités des ressources « naturelles » dans le cadre de l'évolution climatique que connaît cette région, et plus l'Afrique de l'Ouest. Dans le cadre de notre étude sur les risques de perte en terres, il est également primordial de connaître le contexte géomorphologique et pédologique de ce bassin

versant. Cette première étape est essentielle pour comprendre les risques encourus par les populations.

Dans un deuxième temps, face à ces conditions naturelles peu favorables, il conviendra de présenter les évolutions que le Pays Bissa a connu depuis la période précoloniale (modification de l'organisation territoriale, des textes législatifs en particulier du droit foncier, du système agricole...). En effet, la part historique et l'impact de la réalisation d'un barrage hydroélectrique, ne peuvent être omise afin d'expliquer l'organisation territoriale et le contexte dans lequel se sont développés et adaptés les systèmes agropastoraux.

Chapitre 1 :

Un contexte physique peu favorable

Afin de connaître comment s'organise et se déroule les pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué, il est essentiel d'exposer le cadre physique de cette région qui se subdivise en cinq éléments principaux. Il faut tout d'abord présenter le caractère irrégulier (inter et intra-annuel) des précipitations, et la mise en place et les impacts de la péjoration climatique au Burkina Faso, particulièrement marquée au cours des années 1970 et 1980. Conjointement, il convient de prendre en compte l'ensemble des paramètres météorologiques (température, ensoleillement, évapotranspiration, humidité, vents). Par ailleurs, il est nécessaire de connaître le contexte géologique et géomorphologique de la région de Bagré et du bassin versant de la Doubégué sans omettre la présentation pédologique. Il s'agit d'un vaste glacis sur lequel reposent des sols essentiellement pauvres où prédominent des sols ferrugineux tropicaux lessivés. L'environnement biogéographique, qui est l'un des principaux éléments à prendre en compte lors d'une étude sur les risques de pertes en terre et en eau, sera abordé et présenté dans un quatrième point. Cette région est dominée par une végétation savanicole évoluant sous l'action anthropique. Enfin, il conviendra d'exposer le cadre hydrographique : le fleuve Nakambé (second bassin hydrographique et premier bassin humain) sous la dépendance des fluctuations pluviométriques, le lac de barrage de Bagré (sa mise en place et ses conséquences en termes de recompositions territoriales), et le bassin versant de la Doubégué (notre zone d'étude).

Cette présentation générale est alors un préalable indispensable. Cette étape est nécessaire afin, d'une part de connaître l'environnement physique dans lequel se développe les risques de perte des deux ressources vitales que sont l'eau et la terre, et d'autre part de comprendre l'organisation des sociétés dans cet espace.

1.1 Une pluviométrie irrégulière sous l'impact de la péjoration climatique

Le Burkina Faso appartient à un climat subtropical ou tropical à saisons alternées. Il se situe dans une zone de transition entre le Sahel au Nord (pluviométrie de 350 mm/an) et la région soudanienne au Sud (pluviométrie moyenne de 1 000 mm à 1 200 mm par an) (**Fig. 3**). Ce type de climat se caractérise par une saison pluvieuse de quatre à cinq mois (mai à septembre), et une saison sèche de sept à huit mois (octobre à avril). Néanmoins, depuis la fin des années 1960 et plus particulièrement pendant les années 1970 et 1980, une sécheresse persistante s'est installée avec des conséquences climatiques multiples.

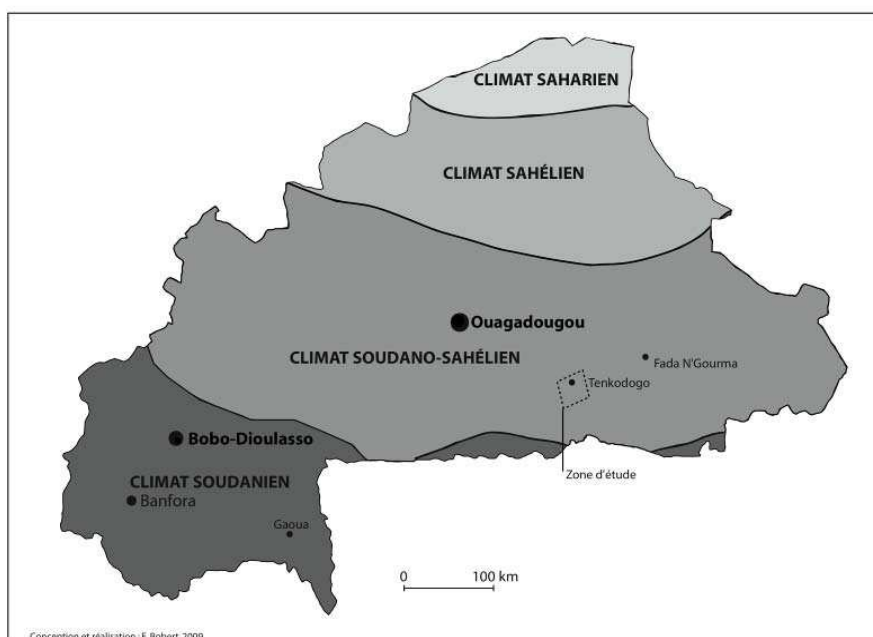


Fig. 3 : Les différents climats au Burkina Faso

Sources : Direction de la Météorologie, Centre Régional Agrhymet (CRA), CSAO/OCDE (2005)

1.1.1 Le Burkina Faso dépendant du Front Inter Tropical

1.1.1.1 Le FIT synonyme de précipitations

Dans la zone intertropicale, les températures variant peu, les saisons sont réglées par la répartition des pluies. L'unique période pluvieuse coïncide avec le déplacement de l'équateur météorologique (à différencier de l'équateur géographique) qui accompagne le passage du soleil au zénith. Il se traduit en surface par un marais barométrique qualifié de dépression équatoriale : le Front Intertropical (FIT) pour la région ou encore ZCIT (Zone de Convergence Intertropicale). Dans cette zone de dépressions de la ZCIT (où convergent les alizés), les masses d'air « s'heurtent » et donnent naissance à des précipitations majeures discontinues : des lignes de grains d'Est en Ouest.

La distribution des pluies, des températures et de l'humidité de l'air est alors soumise au déplacement annuel de deux masses atmosphériques bien distinctes qui s'affrontent le long du FIT (**Fig. 4**). La première est constituée d'un air boréal, continental, chaud, sec subsident de N.E à E venant des hautes pressions sahariennes : le Harmattan. Il s'agit d'un anticyclone permanent dans les hautes couches de l'atmosphère. La seconde correspond à un air maritime, tiède et très humide de S.O provenant des hautes pressions océaniques (anticyclone de Sainte-Hélène) de l'Hémisphère Sud, responsable de la mousson. Ainsi, le balancement et le déplacement du FIT sont liés aux mouvements apparents du soleil et au renforcement successif des centres d'action de chacun des deux hémisphères. Il occupe sa position la plus méridionale en janvier (5 - 6° N). Puis, à partir de février - mars, il remonte lentement vers le nord, et occupe sa position la plus septentrionale à la fin août : 20^{ème} parallèle. Enfin, au début du mois de septembre, il « redescend » vers le sud pour rejoindre sa position de janvier. L'installation de la saison humide est donc plus progressive (2 à 3 mois) que son retrait en octobre (15 jours à 1 mois).

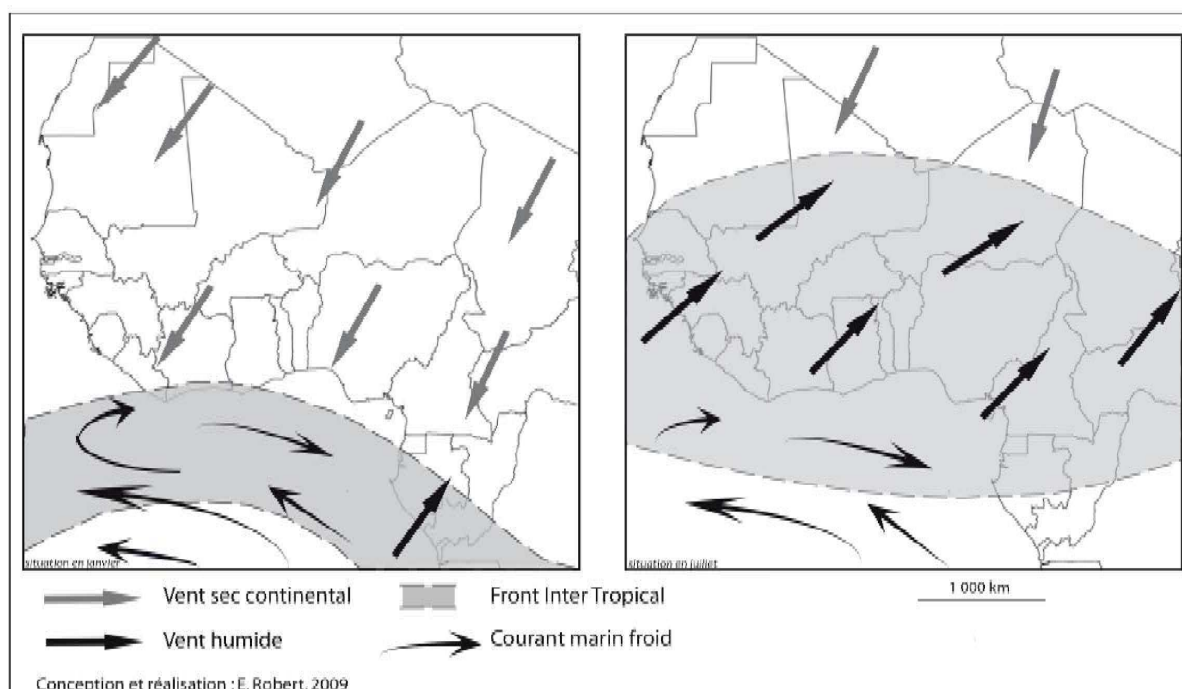


Fig. 4 : Les migrations du FIT en Afrique de l'Ouest

Source : Universalis, 1988

1.1.1.2 La mousson africaine et les lignes de grains résultantes : moteur des précipitations

La climatologie régionale s'explique donc par les contrastes de température et d'humidité entre les masses d'air océaniques et continentales à l'origine de la mousson : principale source des pluies au Burkina Faso et plus largement en Afrique de l'Ouest. La mousson est une réponse de l'atmosphère aux contrastes thermiques méridiens qui opposent un océan à faible amplitude thermique annuelle et une surface continentale qui s'échauffe et se refroidit plus rapidement et fortement. Ainsi, les précipitations sont issues des flux d'humidité transportés par l'alizé maritime de l'Atlantique Sud, dévié au passage de l'équateur qui prend le nom de mousson. Cette dernière est définie soit par « *une circulation d'ouest, plus ou moins généralisée dans les basses couches de la zone intertropicale en relation avec le décalage latitudinale entre l'équateur météorologique et géographique (notion d'alizé dévié par la force de Coriolis et aspiré par des dépressions thermiques sahariennes d'été) et qui de vent d'Est dans son hémisphère d'origine devient à composante Ouest* » ; soit par *une circulation d'Est, de la moyenne troposphère, associée à l'oscillation thermique au-dessus de substrat à comportement radiatif très différents : jets d'Est.* (FRÉCAUT ET PAGNEY, 1983). En réalité, les deux définitions se complètent.

Il est également essentiel de rappeler le caractère unique de la mousson africaine comparée à la plus connue, celle indienne. L'élément central est la répartition zonale des précipitations qui en découle, couplée plus ou moins fortement à celle de la végétation. En effet, d'une part on se situe dans les basses latitudes, la force de Coriolis est donc faible ; d'autre part, les reliefs sont peu importants, n'ayant en définitive qu'une influence marginale sur cette circulation régionale. L'orientation Est/Ouest de la côte bordant le Golfe de Guinée n'explique qu'en partie cette distribution zonale de la végétation ; la conception climacique de la zonalité, qui a perduré durant des années, doit être remise en cause. Il est essentiel de

souligner l'impact que les sociétés humaines ont eu sur l'évolution des couvertures pédologiques et végétales. Ces dernières sont ainsi « *plus proches d'anthroposystèmes ou de paysages culturels – au sens de « kulturlandschaft» - que de systèmes écologiques* » (POMEL, 2002). Ainsi, il ne faut pas oublier que l'homme est un agent important et que son action a été et est toujours particulièrement déterminante dans les régions de savanes

Par ailleurs, l'un des faits majeurs du climat tropical à saisons alternées est l'irrégularité interannuelle des précipitations. Ainsi, la mousson peut être plus ou moins vigoureuse selon l'ampleur du gradient d'énergie statique humide qui est sous la dépendance de facteurs globaux tels que la température de surface, les océans, la dynamique des autres moussons (notamment celle indienne agissant en amont d'un point de vue de la circulation tropicale), et locaux (principalement la modification de la couverture végétale dans la région depuis les années 1950).

En définitive, c'est la migration du FIT (sous l'influence de dynamiques l'une continentale et l'autre maritime) qui détermine les périodes de pluies en Afrique de l'Ouest, et ainsi la pénétration de la mousson dans la zone soudanienne, lors de la remontée septentrionale du FIT. La première phase s'étend de février à mai. Située sur le Golfe de Guinée, la mousson va alors se propager vers le nord pour atteindre le Sahel Central (13°N). Pendant cette phase d'installation, les pluies sont intermittentes au Burkina Faso. Il s'agit des premières averses. A partir de juin, les précipitations s'accroissent, avant que ne débute la seconde phase. Cette dernière se caractérise par une brutale intensification des précipitations touchant simultanément l'ensemble de la zone sahélienne. A cette période, l'épaisseur de la mousson est maximale. Les formations nuageuses, plus instables, donnent lieu à des pluies beaucoup plus prolongées (juillet et août) au caractère continu symbolisant le centre de la saison des pluies. Au Burkina Faso, la mousson atteint alors une épaisseur de 2 000 m. Toutefois, entre la première et la seconde phase, on peut considérer qu'il existe une phase de stabilisation en mai et juin.

La mousson est alors à l'origine de deux principaux types de précipitations. Tout d'abord les lignes de grains⁹ principalement observables lors du passage et du retrait de la mousson, et qualifiées également de tornades. Elles se déplacent d'Est en Ouest, se produisent le plus souvent en fin d'après-midi et principalement pendant la nuit, et se décomposent en trois périodes (BRUNET-MORET, 1986) :

- la préliminaire de courte durée, pendant laquelle l'intensité moyenne est de 10 à 30 mm/h
- le corps de la tornade qui dure de 5 à 20 min avec souvent un paroxysme de 5 à 10 min pendant lequel les intensités, déjà fortes (40 à 100 mm/h), atteignent 150 à 200 mm/h ou plus ;
- la traîne de la tornade se déroulant pendant 30 min à 2 h, de faible intensité : 15 - 30 mm/h au début puis très vite elle diminue de 10 à 5 mm/h puis à 1 mm/h.

Il existe également un autre type d'averse qualifié de système orageux, moins intense que la précédente mais plus durable et fréquent.

¹ Ce type de précipitation dont une part se déroule en début de saison pluvieuse est essentiel dans le processus érosif de la région et par la même dans l'explication du risque de pertes en terre. C'est pourquoi il est essentiel de le présenter afin de mieux comprendre les mécanismes en jeux qui seront développés en partie II.

Néanmoins, depuis les années 1970, ce **système climatique a été perturbé** entraînant la mise en place d'une sécheresse permanente. Les modifications ont affecté la seconde phase de la mousson ; or, 90 % des pluies lui sont associées. Son affaiblissement est donc à l'origine de la péjoration climatique affectant cette zone de l'Afrique. La présentation de ce phénomène est importante afin de comprendre les conséquences, en particulier migratoires, qui ont affecté la région de Bagré et de la Doubégue. En effet, face à l'instauration de cette sécheresse persistante de nombreuses populations ont été obligées de se déplacer vers des régions plus propices en terme climatique. Un des enjeux de la gestion du risque érosif se situe alors dans la prise en compte de cet élément central. On se devait également de s'interroger sur l'évolution du caractère érosif des lignes de grains dans ce contexte de péjoration climatique.

Ainsi, au cours du siècle dernier, la mousson africaine a subi ses plus fortes perturbations posant un certain nombre d'interrogations : les causes sont-elles régionales (déforestation, pression anthropique..), existe-t-il des facteurs globaux (réchauffement de l'océan tropical), préfigure-t-elle des modifications profondes du système climatique liées en particulier à l'augmentation des gaz à effet de serre ?

1.1.2 La sécheresse des années 1970 et 1980

Au cours des années 1990, le thème du réchauffement, ou plus exactement des changements climatiques est au cœur de nombreuses préoccupations d'organismes mondiaux¹⁰. Il convient alors de revenir sur leur définition. Selon la CCNUCC (Convention - Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques), le changement climatique est « *dû à l'activité humaine directe ou indirecte, activité altérant la composition de l'atmosphère générale et qui vient s'ajouter à la variabilité naturelle observée sur une échelle de temps comparable* » ; et selon le GIEC (Groupe d'expert Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat), il s'agit d'une « *variation statistiquement significative dans l'état moyen du climat ou dans sa variabilité, variation persistante sur une longue période de temps (décades ou plus). Le changement peut être dû aux processus naturels internes ou à des forçages exogènes ou à des changements anthropogéniques persistants dans l'atmosphère ou dans les usages des sols* ».

Aux vues des conséquences ravageuses de la sécheresse des années 1980 (images de famine, de carcasses de vaches, de terre craquelée) et faces aux enjeux tant humains, qu'environnementaux et économiques, de nombreux programmes et organismes ont travaillé et travaillent sur cette problématique : PRESAO (Prévision Saisonnière des Pluies d'Afrique de l'Ouest), FRIEND ((*Flow Regimes from International Experimental and Network Data*)), AGRHYMET (Centre Régional de Formation et d'Application en Agrométéorologie et Hydrologie opérationnelle), HYCOS-AOC (Système d'Observation du cycle Hydrologique en Afrique de l'Ouest et Centrale), AIACC (*Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change*), mais aussi le Comité Permanent Inter-États de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS), etc.

¹⁰ Premier rapport du GIEC en 1990. Sommet de la terre à Rio de Janeiro en 1992 : la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques est ouverte à la signature. Second rapport du GIEC en 1995. Adoption du protocole de Kyoto en 1997 qui entrera en vigueur en 2005. 6 conférences des Nations Unies sur les changements climatiques (Genève 1996, Kyoto 1997, Buenos Aires 1998, Bonn 1999, La Haye 2000). Ces réunions se poursuivent au cours du XXIème, soulignant à chaque fois le caractère alarmant de cette évolution climatique. L'année 2006 est qualifiée d'année la plus chaude.

1.1.2.1 L'impact sur la réduction pluviométrique

Ainsi, la fin du XXème siècle a été marquée par l'augmentation de la variabilité climatique dans la zone intertropicale africaine. Par ailleurs, dans de nombreux pays africains, dont le Burkina Faso, les 30 dernières années ont été synonymes de déficits pluviométriques systématiques et d'un décalage des saisons des pluies. La rupture nette des séries pluviométriques et hydrométriques se situe autour de 1968 -1972, avec 1970 en année charnière (UICN, 2004).

Le Programme de recherche ICCARE (Identification et Conséquence d'une variabilité du climat en Afrique de l'Ouest non sahélienne), une composante du projet FRIEND-AOC (*Flow Regimes from International Experimental and Network Data* en Afrique de l'Ouest et Centrale) du Programme Hydrologique International (PHI) de l'Unesco (Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture), a observé les données de 193 stations de 16 pays entre 1950 et 1989. Il a pu mettre en évidence que bien que l'Afrique ait connu des périodes sèches et humides tout au long du siècle, les déficits se sont amplifiés à partir des années 1960 et accentués pendant les années 1980. Deux périodes paroxysmales ont été soulignées en 1972 - 1973 et 1983 – 1984, et 1984 est l'année la plus sèche du siècle.

En définitive, on distingue deux périodes depuis l'existence d'un bon réseau de suivi. L'une de 1951 à 1968 est composée d'années majoritairement excédentaires ; l'autre de 1969 à 1991 se caractérise par des années essentiellement déficitaires, avec pour la zone soudanienne des déficits de l'ordre de 13 - 14 % (ALBERGEL, BADER, LAMAGAT, SÉGUI, 1993). Toutefois, depuis les années 1990, les totaux pluviométriques semblent réaugmenter ; néanmoins ils demeurent bien inférieurs à ceux des années 1950. Cette sécheresse persistante depuis 1969 se singularise des autres (1913 (période 1910 - 1916) et 1939 (période 1939 - 1949)) par sa durée et son ampleur, et se traduit par :

- une descente de près de deux degrés en latitude des isohyètes interannuels de la décennie 1970 - 1980 ;
- une concentration exceptionnelle d'années sèches depuis 1970 ;
- une très forte diminution du volume d'eau apporté par les précipitations journalières supérieures à 40 mm. Les variations de cette fraction de la pluviométrie expliquent à elles seules 50 % en moyenne de la variabilité de la pluviométrie annuelle (ALBERGEL, CARBONNEL, GROUZIS, 1984).

Les conclusions de l'étude réalisée par le programme ICCARE souligne la réalité des diminutions pluviométriques qui sont de l'ordre de 20 %, voire de 25 % pour le Sénégal et la Gambie (Institut de Recherche et de Développement, programme ICCARE, 1998). En réalité, il s'est opéré un glissement des isohyètes de 200 km (UICN, 2004). Les diminutions les plus importantes ont alors été observées en région soudano-sahélienne, comme au Burkina Faso et au Mali (réduction respectivement de 22 % et 23 % selon le laboratoire Hydros, IRD, 2002), ainsi que dans les régions exposées aux vents des Monts de Guinée. D'ici 2025, il est également prévu des diminutions de 0,5 à 40 % avec des moyennes de 10 - 20 % (UICN, 2004) (**Fig. 5**).

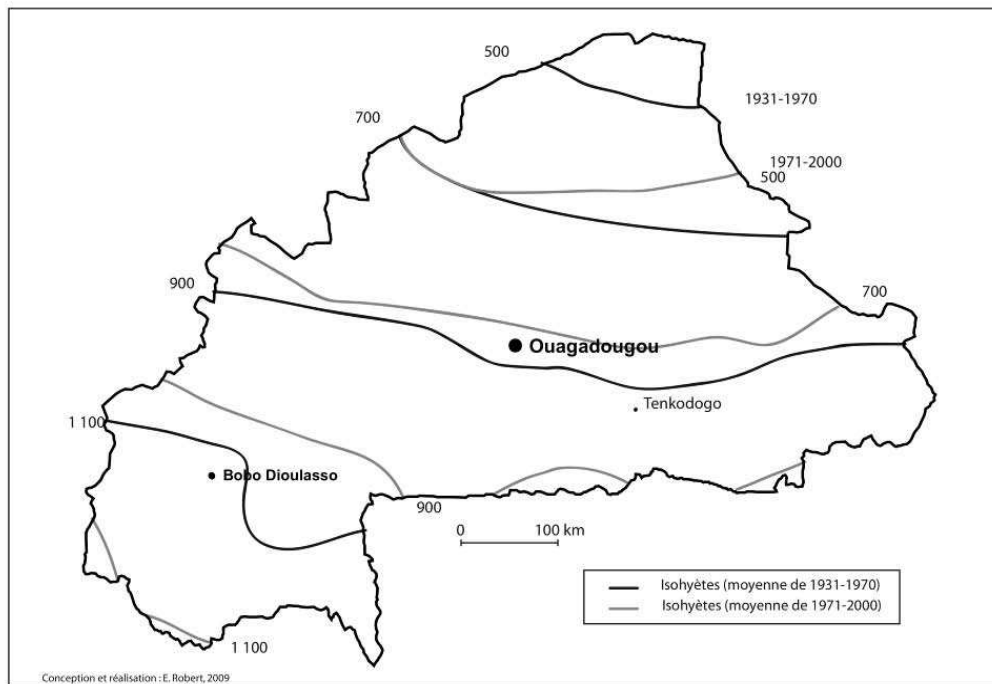


Fig. 5 : Le glissement des isohyètes au cours du XXème siècle au Burkina Faso

Par ailleurs, des essais de suivi et de prédiction de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest se développent par l'étude du phénomène el Niño (ayant une action inhibitrice), de l'Océan Global, des *upwellings* équatoriaux (corrélation positive avant la saison des pluies et négative pendant), et de l'Atlantique Equatorial Sud (bonne corrélation). D'autres observations s'intéressent également aux Jets d'Est Tropicaux (anagramme de TEJ : *Tropical Easterly Jet*) et aux JEA (Jet d'Est Africain).

1.1.2.2 Les boucles de rétroaction : risque de maintien et d'amplification de la sécheresse

Il semble que la persistance de la sécheresse serait à l'origine de l'instauration de boucles de rétroactions.

Les quantités d'eau précipitées, issues de la mousson, sur le continent proviennent de la condensation de la vapeur d'eau emmagasinée par la masse d'air lors de son passage au-dessus de l'océan. Néanmoins, l'incursion de la mousson africaine et des masses d'air humides dépendent également du gradient entre l'Océan Atlantique et le continent Africain, qui est lui-même (le gradient) sous la dépendance de la température de surface moyenne et des propriétés de surface sur le continent (albédo, humidité des sols, couvert végétal). Plus ce gradient sera fort, meilleure sera l'incursion de ces masses d'air et de la mousson, synonyme d'une saison des pluies plus marquée.

Or, la sécheresse persistante est à l'origine de l'instauration d'une variabilité conjointe de la température de surface moyenne et du couvert végétal modifiant les contrastes océan - terre et les flux verticaux de chaleur sensible et latente. Ainsi, la teneur en vapeur d'eau de la masse d'air porteuse de la mousson dépend du processus d'évaporation à l'interface végétation/atmosphère. Elle peut alors être remise en cause par la diminution de la couverture

végétale à l'origine de modifications des taux d'humidité atmosphérique, de la formation de nuages cumuliformes et des précipitations.

C'est également l'idée générale supposée par le scientifique CHARNEY, dans les années 1970, (« la théorie de Charney ») qui intègre la notion de boucles de rétroactions. Il propose que les modifications climatiques et/ou l'action humaine causeraient une variation du pouvoir absorbant du rayonnement solaire (albédo) et de la capacité des surfaces à restituer l'eau à l'atmosphère, à l'accumuler en profondeur, ou à lui permettre de ruisseler. Elles seraient alors à l'origine de la modification d'un bilan d'énergie de surface. La végétation enregistrerait, par conséquent, de profonds changements qui à leur tour influenceraient le bilan d'énergie, d'où la formation de boucles de rétroactions.

La cause principale serait que l'EMV (Equateur Météorologique Vertical) est davantage dans sa position méridionale, d'où un déficit plus important sur le sud de l'Afrique occidentale. La saison estivale faiblement pluvieuse est alors plus courte.

Cette sécheresse persistante a été accentuée par l'explosion démographique qui s'est produite simultanément. Cela a eu pour conséquence une expansion des zones cultivées en système extensif dévoreur d'espaces et devenant réducteur de la jachère. Les causes sont aussi la RAF (Réforme Agraire Foncière) et l'accroissement de l'élevage pouvant conduire au surpâturage. La dégradation de la végétation et des sols s'est amplifiée, au point que certains secteurs soient à présent à nu. Ce phénomène est à l'origine d'une augmentation de l'albédo. On assiste alors à une extension et à une aggravation de la subsidence atmosphérique s'opérant sur le Sahara. Les pluies ne peuvent plus pénétrées, ce qui accélère le recul végétal. Cependant, ces mécanismes sont, en réalité, plus complexes. Il convient de prendre également en compte la convection thermique et le creusement de dépressions thermiques de surface sur le Sahara. Le Cap Vert, par exemple, a été affecté par cette diminution pluviométrique et pourtant albédo océanique demeure égal.

En définitive, les impacts « naturels » sont renforcés par ceux humains. Il est alors essentiel de tenir compte de ces différents éléments. Ainsi, il existe une forte corrélation entre la pluviométrie annuelle, le niveau d'écoulement et le taux de croissance économique (UICN, 2004). Dans cette région du monde, 60 % de la production agricole s'explique par les précipitations.

Enfin, il est également important de prendre en compte l'idée de « téléconnexion ». Un changement géophysique intervenu régionalement pourrait alors avoir théoriquement des conséquences éloignées spatialement sur le cycle de l'eau par le biais de rétroactions impliquant à la fois l'atmosphère et la végétation.

L'ensemble du Burkina Faso a été affecté par la diminution pluviométrique apparue à la fin des années 1960 : de 600 à 400 mm en zone sahélienne, 900 à 700 mm en zone soudano-sahélienne ou nord-soudanienne, et 1 150 à 900 mm en zone soudanienne (**Fig. 5**). Autre phénomène marquant à l'échelle régionale, dans le centre du pays, au mois d'avril survient une pluie plus ou moins dense, la « *pluie des mangues* » (période pendant laquelle les fruits arrivent à maturité) ; or, depuis quelques années, cette averse ne se produit plus aussi régulièrement. Il est également essentiel de préciser l'augmentation du nombre d'évènements climatiques extrêmes : inondations et crues dévastatrices, sécheresses, changements brusque de température...).

1.1.3 Un nouveau contexte de sécheresse

Le bassin versant de la Doubégue, localisé dans la partie sud du Burkina Faso, est sous la dépendance d'un climat nord-soudanien. La circulation due aux phénomènes de convection, à la subsidence et aux flux de mousson explique la variabilité climatique de ce pays. Dans l'ensemble de son territoire, la variation saisonnière est spectaculaire. Ainsi, la variation interannuelle est de l'ordre de +/- 50 % sur 10 ans.

1.1.3.1 Une variabilité pluviométrique, aggravée par la péjoration climatique

La région de la Doubégue (847,7 mm à Tenkodogo et 932,1 mm à Bagré) est soumise à un climat tropical de type nord soudanien : 650 - 1 000 mm (classification d'Aubreville ou Richard - Molard), caractérisé par deux saisons tranchées (**Fig. 6** et **Fig. 7**) :

- une saison sèche de novembre à mai, influencée par les vents secs du Harmattan et caractérisée par deux périodes distinctes :
 - une période sèche et fraîche de novembre à janvier : température de 17 à 35°C,
 - une période sèche et chaude de février à mai : maxima de 40 - 41°C ;
- une saison humide de juin à octobre, influencée par les vents de moussons de sud-ouest : température de 21 à 36°C.

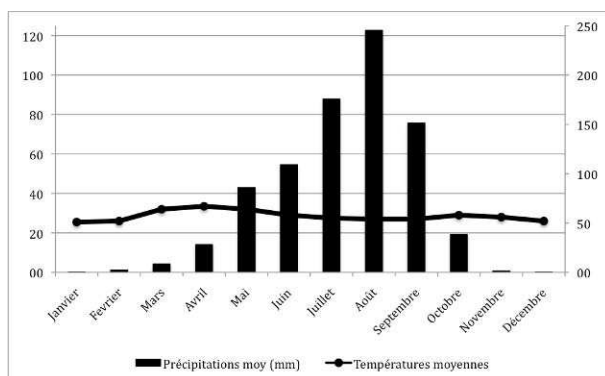


Fig. 6 : Diagramme ombrothermique de Tenkodogo
Source : Direction Nationale de la Météorologie

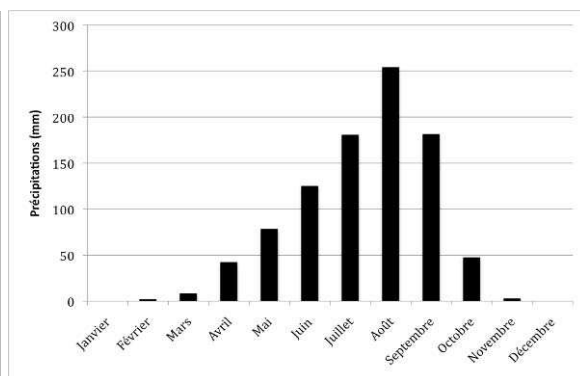


Fig. 7 : Précipitations mensuelles à Bagré (1994 à 2009)
Source : Sonabel

Ainsi, de décembre à mars, la région est sous influence des hautes pressions de Sahara qui se manifeste par un flux d'air frais et desséchant de N.E à O : le Harmattan. Ce vent sec repousse tous les nuages vers le sud ; le ciel est alors bleu. Néanmoins, c'est une période de brume sèche pendant laquelle l'air contient des poussières véhiculant des maladies. Puis de mars à avril, le FIT s'étend au sud du Burkina Faso. Le Harmattan disparaît progressivement pour laisser place à l'alizé, ou mousson guinéenne, venue de l'Océan Atlantique apportant les précipitations. La fin de cette période est synonyme du début de l'hivernage qui s'étend sur 6 mois mais principalement sur quatre mois de la mi-juin à la mi-septembre. La saison des pluies débute alors en avril. Elle connaît une augmentation progressive des précipitations les deux premiers mois, puis on assiste à d'intenses et brèves averses sous forme de lignes de grains. Ce sont souvent des pluies torrentielles : 100 mm/h avec des intensités instantanées de 300 mm/h (NEBIE, 2005). Le mois d'août connaît le maximum pluviométrique environ 250 mm (253 mm pour Bagré et 245,4 mm pour Tenkodogo), suivi de juillet pour Tenkodogo avec 175,8 mm (Bagré 180,2 mm) et de septembre pour Bagré : 181,1 mm (Tenkodogo 151,5 mm). A l'inverse, l'arrêt est brutal en octobre. L'agressivité des pluies s'exerce, par

conséquent, principalement entre mars - avril et juillet lorsque les sols sont dépourvus de végétation. Elle perdure au cours du mois d'août, car les champs, bien que semés, ont une faible protection de leur surface. Il existe une exception au niveau de certaines cultures, telle que les arachides, protégeant mieux les sols (cf. Chapitre 2).

Par ailleurs, comme dans l'ensemble du Burkina Faso, les pluies sont inégalement réparties dans l'espace et dans le temps. Les fluctuations peuvent atteindre jusqu'à 50 % comme le souligne le graphique de Bagré (**Fig. 8**) : 600 et 704 mm respectivement en 1997 et 2006, et 1 215 mm en 1999, jusqu'à 1250 mm en 1994. Le phénomène s'observe également à Tenkodogo (**Fig. 9**). Cette irrégularité est une contrainte supplémentaire pour les activités agricoles. A cette irrégularité interannuelle se combine celle intra-annuelle. En effet, à Bagré la moyenne annuelle est de 925,2 mm (période 1994 – 2009), or en moyenne 700 mm sont précipitées pendant l'hivernage (juin à octobre), soit 75 % des pluies (**Fig. 7**). A Tenkodogo, le total pluviométrique au cours de la saison des pluies est de 680 mm pour un bilan annuel de 847,7 mm, soit 80 % des précipitations (**Fig. 6**). Les populations de la région et leurs activités dépendent donc d'une ressource précipitant principalement pendant quatre mois.

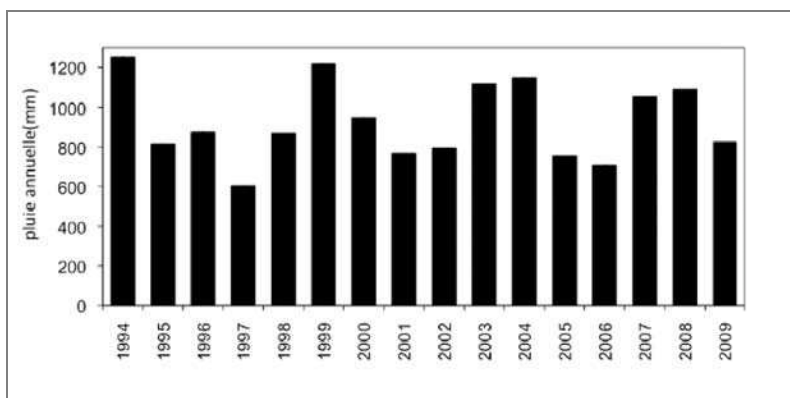


Fig. 8 : Irrégularité interannuelle à Bagré (précipitations annuelles à Bagré 1994 à 2009)
Source : Sonabel

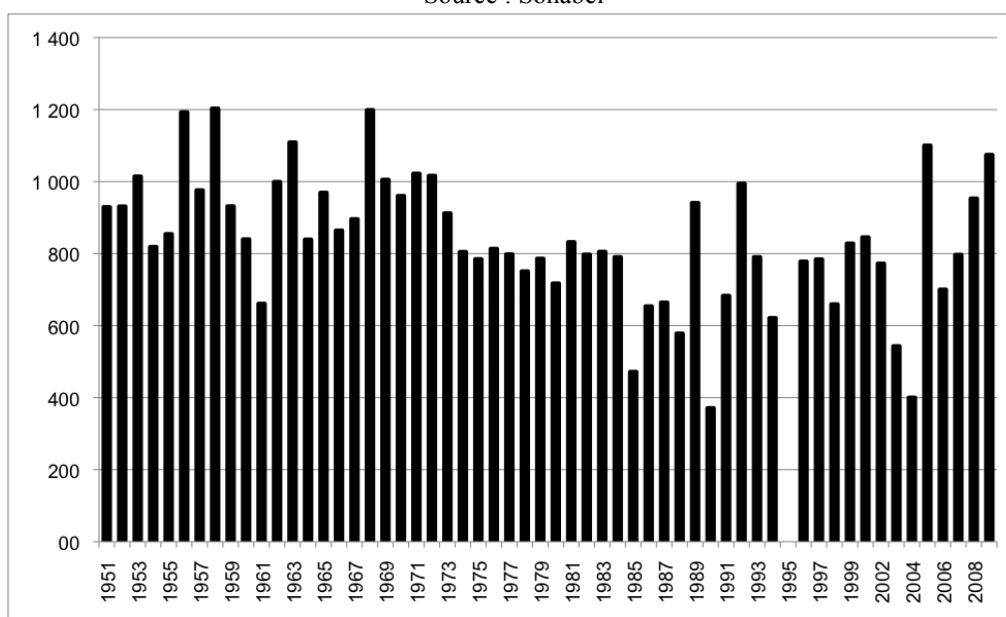


Fig. 9 : Irrégularité interannuelle à Tenkodogo (évolution des précipitations annuelles de 1950 à 2009)
Source : Direction Nationale de la Météorologie

A cette difficulté de gérer cette double irrégularité inter et intra-annuelle se combine un autre handicap apparu depuis une trentaine d'année : la régression des totaux pluviométriques annuels. Il s'agit d'une des conséquences visibles du changement climatique et de la péjoration climatique persistante, qui ont affecté l'ensemble régional Ouest Africain (cf. 1.2). Bien que d'importance plus faible et aux impacts moins dramatiques que ceux observés en région sahélienne burkinabé ; il n'en demeure pas moins qu'ils affectent également cet espace. En conséquence, depuis les années 1970, on observe une tendance à la baisse des précipitations. En effet, la carte présentant les isohyètes 700, 900 et 1 150 mm, au cours de la période 1931-1970 et 1971-2000, souligne leur déplacement vers le sud (**Fig. 5**). Ainsi, la région de Tenkodogo appartenait à la zone délimitée par les isohyètes 900 à 1 150 mm ; or, depuis les années 1970 ce n'est plus le cas. Actuellement, elle est comprise entre 700 et 900 mm. Comme dans l'ensemble du Burkina Faso, la décennie la plus sévère pour la région de la Doubégue est celle de 1980. Cette dernière a connu une régression de 229,7 mm en trente ans (23,7 % de régression) (**Fig. 10**). A Tenkodogo, l'année la plus sèche est 1984 avec seulement 510 mm. Cette tendance régressive des précipitations annuelles est également confirmée par l'évolution des données pluviométriques (pluies et nombres de jours plus) de Tenkodogo et de deux stations localisées dans la même zone climatique (Zorgho au nord et Manga à l'est du lac de Bagré) (**Tab. 1**).

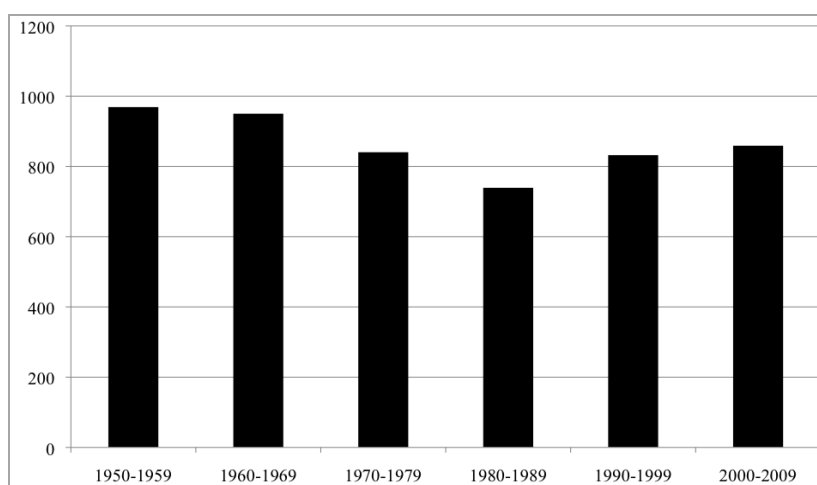


Fig. 10 : Évolution décennale des précipitations (mm) de 1950 à 2009 à Tenkodogo
Source : Direction Nationale de la Météorologie

Stations	1960-1969		1970-1992	
	Pluviométrie moyenne/an	Nb de jours moyenne/an	Pluviométrie moyenne/an	Nb de jours moyenne/an
Zorgho	870	57	692	50
Tenkodogo	949	75	775	57
Manga	918	76	712	59

Tab. 1 : Régression de la pluviométrie moyenne et du nombre de jours de pluies
Source : Direction Nationale de la Météorologie

A l'échelle annuelle, des études ont montré une dégradation de la pluviosité annuelle se manifestant par une diminution de nombre total des pluies supérieurs à 40 mm sans pour autant affecter les valeurs extrêmes. Ainsi, bien que le total des précipitations diminue, la capacité érosive des pluies demeure identique (ALBERGEL, 1986). La réduction

pluviométrique des plus fortes averses (supérieures à 40 mm) est de 5 %. Cette information signifie que la **régression affecte essentiellement les pluies se déroulant entre juillet et septembre**. Cette réduction a deux effets. D'une part, la diminution du stock hydrique du sol au cours de la saison des pluies ; d'autre part une dégradation de la végétation favorable à la formation d'OPS¹¹ (Organisation Pelliculaire de Surface) imperméables. Ainsi, les ressources en eau diminuent pour la végétation naturelle et les plantes agricoles. Le couvert végétal est donc soumis à des conditions climatiques plus difficiles tendant à accentuer et à accélérer sa régression. **Les sols sont alors dépourvus de couverture et soumis à l'action érosive des premières pluies du mois d'avril à juin.**

1.1.3.2 Les températures et l'ensoleillement

On distingue deux saisons l'une sèche et l'autre pluvieuse. La première connaît les maximas et les minimas de température. La température moyenne annuelle est de 27,5°C. Les minimas sont respectivement de 17,86°C et 17,95°C en décembre et en janvier ; et les maximas sont observés au cœur de la période chaude et sèche débutée en mars et s'achevant fin mai : en avril et en mai (40 - 41°C). Le maximum correspond au premier passage au zénith (fin avril). L'amplitude thermique est de 7 - 10°C pendant la saison sèche et de 4 - 5°C au cours de la saison pluvieuse. L'abaissement maximal des températures de surface s'effectue en mai : 18 °C en 15 minutes dans les cuirasses à 2 cm. Il suffit de quelques millimètres de pluies pour déclencher une diminution sensible de la température à la surface de la roche. La fréquence des chocs thermiques en est plus grande. Il s'agit de la période du passage des lignes de grains principalement en début de saison des pluies, et secondairement à la fin de l'hivernage (octobre) (MIETTON, 1988). Ces précipitations sont alors importantes dans l'explication de l'érosion des sols qui sera décrite dans la deuxième partie.

L'insolation est forte du fait de la latitude : 11°12 et 11°53 Nord. Par ailleurs, selon l'année solaire, l'ensoleillement maximal devrait être entre le 21 juin et le 21 septembre. Or, l'arrivée de masses d'air humide du Golfe de Guinée entraîne une chute de l'ensoleillement moyen dès le début du mois de juin. Par conséquent, l'ensoleillement fonctionne à l'inverse de l'année solaire. Il est plus important durant la saison sèche surtout en avril et mai. A l'échelle journalière, le maximum s'observe à 11 heures. La durée, la verticalité des rayons et la qualité de l'ensoleillement jouent également sur le maximum des températures.

En conséquence, ces variations thermiques et ces alternances pluviométriques saisonnières représentent des contraintes considérables pour les écosystèmes ; elles engendrent des pressions abiotiques très importantes.

1.1.3.3 L'évapotranspiration et l'humidité

A Ouagadougou, l'évapotranspiration moyenne annuelle varie entre 1 800 mm et 2 800 mm. Le maximum est atteint lors des plus fortes chaleurs en avril et en mai

¹¹ « La surface des sols est composée de plages organisées en mosaïques, appelées OPS, qui se distinguent par leurs compositions minéralogiques et organiques, leurs couleurs, leurs textures, leurs propriétés physiques et physico-chimiques, ainsi que par les actions de l'homme (...) Les OPS traduisent donc les états de surface qui jalonnent les étapes de structuration des sols et des sédiments laminés en cas de déstabilisation anthropique ou climatique » (POMEL, PICS franco-allemand, n°521, 1997-2000).

(respectivement 177 mm et 180 mm à Fada). En moyenne, l'évapotranspiration potentielle est de 1 850 – 1 870 mm par an à Fada, et l'évaporation varie de 2 600 à 3 000 mm.

Au niveau du lac de barrage de Bagré, du fait de l'insolation, l'évaporation est importante (2 517 mm). On peut observer jusqu'à 10 mm/j au cours du mois d'avril ; et même au cœur de l'hivernage, l'évaporation est de 4 - 5 mm/j¹². A titre d'exemple, en 2007, le plan d'eau avait perdu 43 millions de m³.

Par ailleurs, l'hygrométrie fluctue selon les saisons en fonction du régime des vents et des masses d'air associées. L'humidité moyenne varie de 59 à 96 % de 0 à 6 heures, et de 7 à 31 % à 12 heures. Plus importante durant la saison humide, la valeur est alors supérieure à 70 % (maximum en août : 79 % en moyenne). A l'inverse, en saison sèche, le taux d'humidité excède rarement les 25 %, le mois de février connaissant le taux le plus faible (21 %).

1.1.3.4 Les vents

Les vents varient entre le « calme plat » (0,8 m/s) et de violentes rafales (2,8 m/s). La force héliométrique est plus importante en saison sèche, à l'origine d'une forte évaporation du lac. En définitive, la région est balayée par deux types de vents liés au FIT :

- le Harmattan qui est un vent continental sec, de secteur NE, venant du Sahara. Il souffle de décembre à février et transporte des particules fines. Ce vent est assez faible voir quasiment nul au début et en fin de saison sèche. Néanmoins, sa vitesse moyenne est de l'ordre de 1,5 m/s ;
- les vents de mousson, de direction SSO, sont chargés d'humidité et peuvent apporter des précipitations. On assiste donc de mai à octobre, à un régime de pseudo-mousson. Ces vents sont forts en début et en fin de saison humide, et leur vitesse est de l'ordre 2 m/s. Ils précèdent souvent de violents orages.

La majeure partie de l'année, la direction des vents est NE (en lien avec la saison sèche), excepté en avril et mai pendant lesquelles les maximums mensuels sont au Sud.

Sur l'année, le vent moyen joue essentiellement un rôle dans les secteurs où la savane est dégradée. Néanmoins, chaque année une période exceptionnelle demeure : les vents accompagnant les lignes de grains (13 - 18 m/s) (LEMAITRE, 1981). Ainsi, 50 % des coups de vents supérieurs à 5,4 m/s s'observent au cours des phénomènes orageux accompagnés de précipitations, principalement lors de la phase d'installation de la mousson (en mai et en juin) pendant laquelle les lignes de grains sont nombreuses. Ces vents particulièrement violents peuvent alors arracher les arbres avec leurs racines superficielles. En conséquence, en début de saison des pluies, l'agressivité pluviale et éolienne convergent. Elles agissent sur des sols vulnérables peu ou pas protégés. Ces lignes de grains ont alors une double efficacité morphogénique : le transport des particules grâce à la vitesse de déplacement horizontal, et l'alimentation du transport par la force d'arrachement liée à la composante verticale.

Au quotidien, la fréquence maximale s'opère entre 9 et 11 heures alors que l'atmosphère est déjà chaude et turbulente. A l'échelle mensuelle, on observe deux pics : au cœur de la saison sèche (janvier/février) et en juin/juillet. Le maximum secondaire se déroule en saison sèche pendant le souffle régulier du Harmattan.

¹² Ces conditions correspondent aux travaux de SALLY *et al.*, de 1994 qui ont montré que l'évaporation annuelle en zone nord soudanienne sur bac classe A varie entre 2 600 mm et 2 900 mm.

Cependant, le climat de cette région a également subi les conséquences de la sécheresse persistante apparue aux débuts des années 1970.

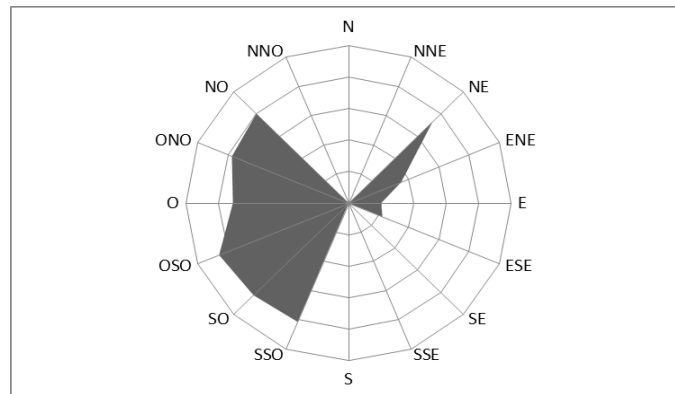


Fig. 11 : Vitesse des vents à Tenkodogo (équidistance des cercles : 4 km/h)

1.1.3.5 Un contexte de sécheresse toujours présent

L'Homme au cours de son évolution et de son histoire a connu plusieurs sécheresses. Face aux cycles de ces dernières, il a su adapter, depuis plusieurs siècles, son mode de fonctionnement et ses systèmes de production. Néanmoins, la persistance de la péjoration climatique de la fin des années 1960 n'a pas permis le développement et l'émergence de cette régulation. De plus, entre 1968 et 1974, le Burkina Faso a subi quatre années sèches (ZOUNGRANA, 1995).

La température moyenne historique a connu une augmentation en regard de la normale de 1961 - 1990. Ainsi, sur l'ensemble du bassin versant du Nakambé, la moyenne des écarts est de 0,3°C, et les pluies annuelles ont diminué (- 22,19 %).

Ainsi, la « sahélisation » progressive du domaine savanien est marquée d'une part par la persistance de la sécheresse jusqu'aux latitudes sud-soudaniennes ; et d'autre part, par sa vulnérabilité croissante vis-à-vis d'un climat dont l'agressivité demeure potentiellement élevée en relation avec des précipitations extrêmes et/ou renforcé dans sa dynamique éolienne (MIETTON, 1988). Cette diminution du total pluviométrique concernant principalement le corps de la mousson, elle n'a pas affecté l'agressivité même des pluies (ALBERGEL, 1986). En effet, la diminution n'agit pas sur les valeurs extrêmes de pluviosité journalière.

Ce phénomène est également clairement perceptible dans le bassin versant de la Doubégue. Pour justifier cette réalité, on s'appuiera sur l'évolution pluviométrique enregistrée à Tenkodogo entre 1950 et 2007 (Fig. 10). Au cours de la décennie 1950 - 1959, la moyenne était de 968,8 mm, puis de 950 mm au cours des années 1960 soit une diminution de 2 %. La réduction pluviométrique s'amplifie réellement au cours des années 1970 : - 11,5 % par rapport à la décennie précédente et - 13,3 % en comparaison des années 1950. La plus forte diminution s'opère entre les années 1970 et 1980 : - 12,10 %. La réduction est alors maximale par rapport aux années 1950 : - 23,7 %. Cependant, la décennie 1990 témoigne de la reprise pluviométrique, mais elle demeure inférieure à la moyenne des années 1950 : 832 mm contre 968,8 mm, soit toujours un écart de - 14,10 %. La période actuelle semble poursuivre s'est tendance positive avec une moyenne annuelle de 858,9 mm pour les années 2000. Toutefois, elle demeure toujours inférieure aux années 1950 : - 11,6 %. La région d'étude a donc également été témoin de la péjoration climatique qui a affecté l'Afrique de l'Ouest. On peut qu'espérer que cette tendance, à l'accroissement des précipitations, se poursuivra.

Néanmoins, un second problème réside dans l'accentuation de la variabilité interannuelle. En effet, la zone du barrage de Bagré y est de plus en soumise. D'une part, cette région a été le témoin d'inondations comme en 1999, 2003, 2007 (952,9 mm à Tenkodogo et 1054,3 mm à Bagré) et 2008 (1074 mm pour Tenkodogo et 1089,9 mm Bagré) ; d'autre part, elle a subi des années « sèches » en 1997, 2002, 2006, et 2009. Par ailleurs, ces phénomènes se couplent à une mauvaise répartition spatio-temporelle. Chaque année, cette incertitude laisse peser de lourdes menaces sur la menée des travaux agricoles. Ainsi, les problèmes lors de la période des semences s'amplifient. Les agriculteurs se retrouvent soit dans l'obligation de semer plusieurs fois, soit d'attendre et de devoir ensemençer différents types de cultures et donc des parcelles éloignées les unes des autres au même moment. **Cette évolution complique donc fortement l'organisation du calendrier agricole de la région.** L'année 2009 est particulièrement explicite sur ce fait. En effet, au cours de mes enquêtes, de nombreux cultivateurs ont souligné ce problème. Quant aux années à fortes pluviométries, elles ont pour conséquence le pourrissement des cultures réalisées dans les bas-fonds. La récolte de riz 2007 - 2008 en est le témoin parfait ; dans la région du Boulgou, la récolte a été de 4 391 tonnes contre 18 816 t lors de la campagne 2006-2007, et 15 184 t en 2005-2006.

En définitive, l'évolution pluviométrique de la région se caractérise par des précipitations de plus en plus agressives pour les cultures (champs rizicoles endommagés, détruits) et l'eau ne stagne plus dans les différents cours d'eau. L'ensemble du bassin versant de la Doubégue est touché par ce phénomène qui sera souligné au cours de la Partie 2 et clairement mis en évidence dans le chapitre 4.

Néanmoins, il ne faut pas omettre que les causes relèvent aussi bien de la sphère naturelle que de l'humaine. Pendant longtemps, les systèmes sociaux et les changements techniques développés par l'agriculture et le pastoralisme ont témoigné d'une adaptation aux contraintes climatiques et aux risques de sécheresse. Or, de nos jours, ce n'est plus toujours, certaines dynamiques environnementales et sociales (persistance d'un mode d'exploitation extensif, croissance démographique) sont même en train d'aggraver les effets de la sécheresse. Faute de réserves foncières, cette agriculture pluviale qui, pratiquée depuis plusieurs siècles, permettait la régénération des sols et des couverts par l'utilisation de la jachère de longue durée et la mobilité des installations est, à l'heure actuelle, difficile à faire perdurer. Ainsi, « *la crise écologique et sociale se nourrissent l'une de l'autre* » (LUXEREAU, 2003).

Ce dernier paragraphe et cette citation mettent en avant l'ambiguïté existante lors de l'emploi du terme « sahélisation ». En effet, il semble les causalités ne soient pas essentiellement climatiques, mais qu'elles se combinent bien souvent à certaines anthropiques. La « sahélisation » serait la « *dégradation des écosystèmes, la chute des productions agricoles et économies nationales désemparées* » (BERNUS, 1993). Par conséquent, j'utilise ce terme dans cet objectif qui est de souligner **l'évolution du contexte physique sous l'impact d'évolutions climatiques et humaines.**

Dans le cadre de l'étude des risques de pertes en terre et en eau, la connaissance du cadre climatique bien qu'essentielle n'est pas suffisante, il est primordial de connaître le contexte géologique et surtout géomorphologique

1.2 Un vaste glaciais

1.2.1 Le Burkina Faso au cœur du bouclier Ouest Africain

L'ensemble de l'Afrique de l'Ouest appartient au socle africain. Les reliefs sont peu contrastés et uniformes. La morphologie du sous-continent est alors un bouclier ancien consolidé pour l'essentiel depuis environ 600 millions d'années (fin du Précambrien). Quant au socle, il appartient au craton (partie de socle très anciennement consolidées) de l'ouest africain, plus précisément au bouclier éburnéo-libérien formé à la suite de l'orogénèse éburnéenne. L'ensemble de ce dernier est constitué de roches métamorphiques fortement plissées et redressées à la verticale (gneiss, schistes cristallins, quartzites) et de massifs cristallins intrusifs (granites..).

En réalité, le bouclier africain a été marqué au cours du Précambrien par une succession de cinq orogénèses (plissements) dont les trois dernières (Éburnéenne 1 800 M.A, Kibarienne 1 200 M.A, Panafricaine 600 M.A) ont laissé d'importances traces. Ainsi, la granitisation éburnéenne s'est produite, et s'est traduite par l'intrusion de massifs granodioritiques circonscrits. La mise en place progressive du socle est suivie par une période d'aplanissement et par l'installation de la mer protérozoïque vers 1 300 M.A. La couverture sédimentaire, où dominent les grès, s'est mise en place lors de cette période. Par la suite, on observe de longues phases d'altération et d'érosion. Les parties aplanies et déstabilisées depuis la fin de l'orogénèse éburnéenne (1 600 M.A) et kibarienne (de 1 200 à 800 M.A) constituent quatre cratons : Ouest Africain (**Fig. 12**), Congo, Kalahari, et Nilotique. Les parties affectées par la dernière orogénèse n'ont été aplanies et stabilisées que depuis 600 à 500 M.A.

Le **craton Ouest Africain**, qui nous concerne directement, est issu de l'assemblage des chaînes arasées largement granitisées du Précambrien ancien. Un immense bassin marin subsident s'est formé. Il est bordé par des sillons dont les dépôts épais volcano-sédimentaires, ou uniquement sédimentaires, ont été plus ou moins transformés et plissés lors de différentes orogénèses. La plate-forme d'érosion mise en place suite à la destruction des chaînes panafricaines fut donc partiellement envahie par des transgressions marines au cours de l'Ère Primaire. Il reste des dépôts de couvertures principalement formés de grès et de schiste. Puis l'Ère Secondaire et l'Ère Cénozoïque sont marquées par une érosion subaérienne qui accumule les dépôts continentaux. Néanmoins, à la fin du Crétacé inférieur, un nouveau bassin se dessine dans la partie centrale et orientale de la plate-forme Ouest Africaine. Ainsi, du Crétacé supérieur jusqu'au Néogène, on assiste à l'alternance d'influences marines et continentales (grès et calcaire). Il s'opère également la transgression crétacée liée à la dislocation de la Pangée. Cette dernière, initiée au Jurassique, s'achève avec la séparation de l'Afrique et du bouclier brésilien.

Enfin, au cours du Quaternaire, les dépôts lacustres, l'éolisation ancienne et fluviale forment d'importantes accumulations auxquels s'ajoutent des formations dunaires recouvrant de larges étendues dans la zone saharienne.

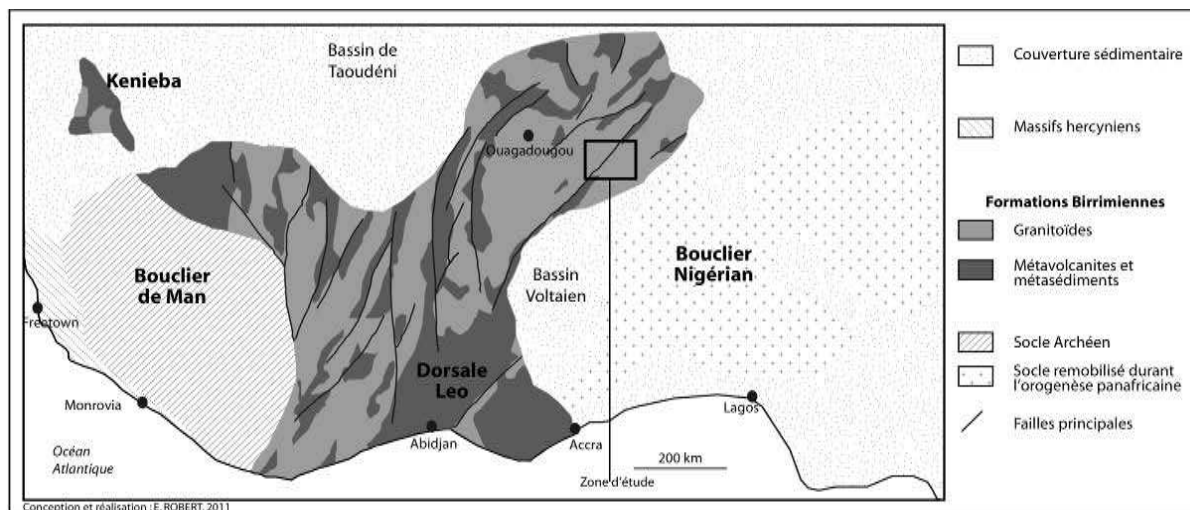


Fig. 12 : Croquis géologique de la région Ouest - Africaine

Au niveau national, la structure géologique du Burkina Faso se caractérise par l'ancienneté, l'uniformité morphologique, la stabilité et l'homogénéité lithologique. Elle correspond à un vaste élément du craton précambrien formé tout au long du Primaire par l'assemblage de chaînes arasées, largement granitisées, comme présenté précédemment. Il s'agit d'une plateforme ancienne (3 000 - 2 700 M.A) dont le socle s'est mis en place de manière progressive. Vers 2 400 M.A, le fond régional granito-gneissique antébirrimien (Précambrien D) est déformé et morcelé par des failles. Il donne naissance à des bassins, des sillons envahis par la mer et par des émissions volcaniques et plutoniques. Puis vers 2 100 M.A, la tectonique et le métamorphisme birrimiens (Précambrien C) s'exercent sur les sillons et les anciens bâtis granito-gneissique. A la même période, la granitisation éburnéenne se traduit par l'intrusion des massifs granodioritiques circonscrits. Tout cela s'est déroulé entre 2 100 et 1 600 M.A. **L'essentiel des formations du Burkina Faso appartiennent alors au Birrimien.** Par la suite, on assiste à une longue période de calme, pendant laquelle se modèlent les surfaces d'aplanissements. La mer protérozoïque s'installe comme nous l'avons dit il y a 1 300 M.A. et recouvre la marge ouest, nord et sud-est. La couverture sédimentaire, où domine le grès à faciès variable, se met alors en place. L'évolution tectonique se « fige », et on assiste à de longues phases d'altération et d'érosion.

En définitive, suite à la mise en place du vieux socle africain, cette région de l'Afrique n'a pas connu, depuis le Primaire, d'évolution géologique marquée. On observe une longue période au cours de laquelle se forment les **surfaces d'aplanissement**. Ainsi, le socle émergé a subi, au cours du temps, les climats successifs avec l'alternance de phases de morphogénèses et de pédogénèses. Cela a abouti à un **aplanissement généralisé (pénéplanation)**, à l'altération des roches, et au déblayage du manteau d'altération. Seul l'aplanissement, toujours remodelé, demeure l'unique témoin des actions du Primaire au Cénozoïque (série de grands cycles d'aplanissement). Ainsi, on distingue la surface de Gondwana (infra-crétacée, antérieure à la coupure Afrique - Brésil), la surface crétacée, la surface éocène, et la surface pliocène. Ce dernier processus s'est poursuivi au Quaternaire. Ces surfaces correspondent à des **pédiplaines** constituées sous un climat tropical à nuance aride.

1.2.2 Une immense pénéplaine

L'histoire géologique du Burkina Faso a été marquée par les éruptions volcaniques précambriennes, les failles et les cassures éburnéennes, et les fluctuations du niveau marin contemporaines des mouvements hercyniens notamment avec le dépôt des sédiments. Ces événements géologiques suivis des phases successives d'érosion sont à l'origine des grands traits du relief comprenant **une immense pénéplaine et des plateaux gréseux**.

Le territoire du Burkina Faso forme au centre du bouclier Ouest Africain une pénéplaine au relief uniforme dont **l'altitude moyenne est de 300 m**. Les trois quart du pays sont situés sur cet immense espace. Le trait dominant de la morphologie est donc la présence de surfaces planes ou très largement convexes, presque horizontales où les **pentés sont inférieures à 2 %**. La majorité des altitudes varie entre 240 et 350 m. Cette monotonie n'est rompue, que de manière ponctuelle, par quelques buttes cuirassées, des dômes granitiques, des inselbergs, des chaînons birrimiens isolés et éparés dont l'altitude est de 400 à 500 m.

Ainsi, des roches cristallines aux séries sédimentaires, l'organisation d'ensemble des modelés au Burkina Faso présente un dénominateur commun : **une action érosive très ancienne tendant vers une pénéplanation généralisée**. Le modelé de pénéplaine ne traduit qu'en apparence un état de stabilité. En effet, malgré la faiblesse de la pente, le ruissellement diffus et aréolaire conserve suffisamment d'énergie pour poursuivre l'action de décapage des sols, comme nous le développerons au cours de la Partie 2. Les versants s'aplatissent et les lits fluviaux s'abaissent. Cette réduction lente, mais continue, du relief aboutit à la formation d'une surface à pente faible s'élevant lentement depuis le niveau de base général. Les cours d'eau s'enfoncent peu dans ces roches dures. Il existe une légère adaptation des tracés du réseau hydrographique à la structure géologique résultant du jeu des captures fluviales réalisées au cours d'une longue morphogénèse.

Le relief est donc « monotone », il s'agit d'une succession de croupes molles et de vallons évasés, avec de loin en loin une butte isolée (**photo 1**) ou un groupe de collines aux pentes raides. Les parties basses et planes correspondent aux granites et gneiss du socle, consolidés et usés par l'érosion depuis le Précambrien.



Photo 1 : Colline de Garango
Cliché : E. Robert, 2008

En résumé, 85 % du territoire est constitué de roches cristallines (roches granitiques syntectoniques (granitogneiss¹³, batholites (de très grande étendues se suivant sur des centaines de kilomètres)) et métamorphiques (en majorité des migmatites¹⁴ à biotite, à amphibole) qui sous-tendent une plaine impressionnante d'uniformité dont la monotonie n'est rompue que de manière ponctuelle par quelques reliefs résiduels.

Ainsi, sur les interfluvies de la région de Bagré, comme dans l'ensemble du Burkina Faso, les versants polygéniques prennent le nom de **glacis**. Les buttes témoins, d'une dizaine de mètres, sont rares. Le profil de ces vastes espaces est lié au caractère affleurant ou sub-affleurant d'une **carapace ferrugineuse** qui ne s'interrompt que sur les bas de versants.

1.2.2.1 La région de Bagré, un vaste glacis

Dans la région du lac de barrage de Bagré, le substratum est partout sub-affleurant sur les versants de la vallée du Nakambé. Il est principalement constitué de migmatites associées à des filons de pegmatites, et plus localement à des amphibolites notamment sous les alluvions du lit du fleuve sous l'emprise du barrage. L'ensemble de la formation à une direction sud-ouest/nord recoupée par des filons de quartz suivant la direction tectonique birrimienne (**Fig. 13**).

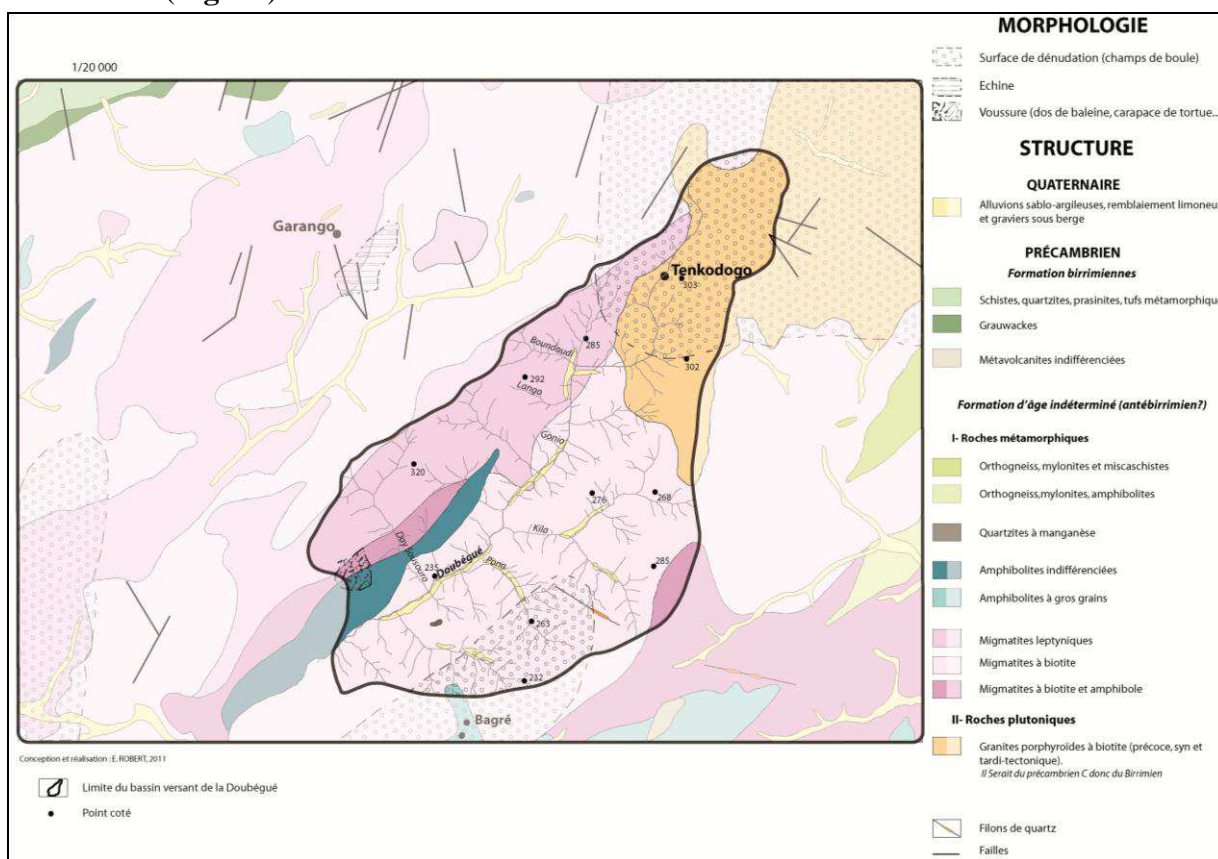


Fig. 13 : Carte morphostructurale de la région de Tenkodogo

Sources : carte morpho-pédologique de la province du Boulgou, 1989 et carte géologique de Tenkodogo, 1971

¹³ Les granitogneiss sont des granites calco-alcalins allant du granite calco-alcalin à la granodiorite.

¹⁴ Les migmatites sont des gneiss à grain grossier, à foliation confuse, dont les principaux minéraux sont le plagioclase, le quartz, le mica.

Le département de Bagré est également marqué par ce relief en pente douce, peu accidenté à l'exception de la vallée principale formée par le lit du fleuve Nakambé. Toutefois, elle incise peu le modelé. L'ensemble du territoire départemental a un modelé très légèrement ondulé (plaine) d'une altitude de 250 à 300 m, dominé par des reliefs résiduels rocheux dégagés par l'érosion différentielle. Il s'agit en réalité d'une pénéplaine. C'est une forme en pente douce plus ou moins fortement entaillée par un réseau de talwegs et de vallons, comme la Doubégué ; mais, seules les grandes vallées présentent des formations alluviales. Le modelé en pénéplaine, d'une grande simplicité dans ses lignes, ne traduit qu'en apparence un état de stabilité. Malgré la faiblesse de la pente, le ruissellement diffus et aréolaire conserve en effet suffisamment d'énergie pour poursuivre l'action de décapage des sols, accéléré par l'emprise humaine et l'extension des surfaces cultivées. Néanmoins, quelques buttes cuirassées se trouvent au niveau du haut glacis. La colline de Lenga culmine à 386 m, ce sont le plus souvent des buttes ou des chicots rocheux à faible dénivellation. Ils correspondent à des pointements rocheux de migmatite, d'amphibolite, de granite, à des filons de quartz, et, plus rarement, à des anciennes surfaces cuirassées. Ces reliefs dominent la vaste plaine peu ondulée ou s'y raccordent localement (**photo 2**).



Photo 2 : Vue de la pénéplaine de la région de la Doubégué depuis le relief résiduel de Soné (312 m)
Cliché : E. Robert, 2008

1.2.3.1 Les cuirasses, armature du relief de la région de Bagré

Au Burkina Faso, les **cuirasses** sont un trait dominant du paysage. On parle aussi de dalle. Le bassin versant de la Doubégué ne fait pas exception. Ainsi, la géomorphologie de la région a été commandée par le cuirassement. Le phénomène a été découvert par BUCHAMAN en 1807 et n'a eu de cesse d'intéresser les géologues, les pédologues et les géomorphologues. La cuirasse ou encore carapace, qualifiée de latéritique, est constituée d'un squelette d'oxydes de fer brun - rougeâtre et d'alumine tantôt scoriacé, tantôt vacuolaire, enserrant des grains de sable et autres minéraux résiduels. C'est une formation très dure (autant qu'une roche), d'un rouge souvent noirci par le manganèse, et épaisse de quelques décimètres à une vingtaine de mètres. Sous le climat actuel soudanien, elle est davantage ferrugineuse.

En l'absence de couvert forestier et sous climat contrasté, comme c'est le cas dans la région, l'horizon A devient une cuirasse. Sa mise en place s'opère par l'intermédiaire de processus se produisant d'une part en saison humide pendant laquelle les oxydes de fer sont mobilisés ; et d'autre part en saison sèche où la nappe phréatique, en baissant de niveau,

immobilise et précipite l'oxyde de fer qu'apporte la migration du complexe d'altération, constituant peu à peu des granules puis une cuirasse continue. On a alors un jeu d'apport et de concentration, la cristallisation du fer hydraté (hématite de couleur rougeâtre), et le départ de la silice et de l'argile. L'eau joue donc le rôle principal. Elle dissout les minéraux et certains, mis en solution, sont évacués (métaux alcalins et alcalinoterreux) ; alors que d'autres se concentrent (fer, phosphore, cuivre...).

Pendant longtemps, il a existé une controverse sur l'origine allochtone ou autochtone des cuirasses au Burkina Faso. Pour certains, la cuirasse s'est formée en tant qu'horizon interne du sol et non en surface, par remontée capillaire. Il s'agit de la **théorie d'autochtonie**, défendue par A. BLOT (1973, 1976, 1978), R. BOULET (1978), J.C. LEPRUN (1976, 1978, 1979), J.C. PION (1976, 1978, 1979), J.M. WACKERMANN (1975). Or, d'autres chercheurs ont mis en avant une explication différente qualifiée d'**allochtoniste** présentant soit des mouvements latéraux de fer en solution (R. MAIGNIEN (1958), P. MICHEL (1973), M.J. McFARLANE (1976)), soit des transports d'éléments figurés sur d'importantes distances (M. LAMOTTE (1962), G. ROUGERIE (1962), J. VOGT (1967) et G. SERET (1978)). Dans les années 1950 à 1970, ces dernières thèses (allochtonie) dominaient. Elles se justifiaient par le fait que, dans les régions soudaniennes où les précipitations sont inférieures à 1 m, les cuirasses dues aux migrations verticales du complexe d'altération ne se forment plus actuellement et ne semblent plus s'être formées depuis une époque ancienne (Oligocène ou Miocène). Les cuirasses d'apport latéral se seraient mises en place pendant plusieurs époques du Quaternaire jusqu'à environs 40 000 ans, et constitueraient une série de glacis. Néanmoins, ces dernières années, les preuves d'autochtonie des cuirasses se sont multipliées. Ainsi, « *elles montrent souvent une dépendance structurale, minéralogique ou chimique plus ou moins marquée avec un matériau parental localisé à proximité immédiate* » (TARDY *et al.*, 1988). On peut alors parler de lithodépendance. Par conséquent, on rencontrerait une prédominance de **cuirasse ferrugineuse autochtone** fruit d'une longue évolution qui s'étend au-delà du Quaternaire. Cependant, on ne peut omettre que des différenciations latérales existent. Les cuirasses seraient donc les témoins relictuels d'une grande épaisseur de roches. Le paysage actuel est issu de l'altération, de la fonte chimique et de l'érosion de surface qu'ont subi ces surfaces. Le principe de lithodépendance s'applique parfaitement au moyen et bas glacis. Quant au haut glacis, faciès plus évolué (d'origine plus ancienne), le principe d'homogénéisation prend le pas sur celui de lithodépendance. Enfin, il faut convenir que si la structure est oblique, ce qui n'est pas le cas dans la région d'étude, la théorie allochtone peut être avancée (TARDY *et al.*, 1988).

En définitive, l'armature du relief est principalement constituée par des cuirasses. Ce phénomène de cuirassement a abouti, depuis l'Éocène, à la formation de trois unités : **les reliefs résiduels (buttes témoin), les surfaces résiduelles (glacis supérieur, moyen et bas) et les terrasses et bas-fonds**. Ce sont donc les témoins d'anciennes surfaces, dont les sols ont subi un cuirassement partiel ou généralisé qui ont été ensuite décapées et entaillées par l'érosion. Ces unités se succèdent et contrôlent ainsi la répartition des sols, de la végétation, de l'occupation humaine ; et par là même les mécanismes de l'érosion (cf. Partie 2).

1.2.3.2 Les grandes unités géomorphologiques du bassin versant de Bagré

Les **reliefs résiduels** sont constitués de matériaux durs, de roches, ou de cuirasses ferrugineuses du moyen glaciaire. Ils correspondent aux buttes rocheuses, aux niveaux cuirassés plus anciennement dégagés par l'érosion et aux terrasses anciennes. En relation avec les zones de dénudation formées par le déblaiement des altérites et possédant des épaisseurs variables, des « noyaux durs » émergent rompant la monotonie des surfaces pédimentaires. Ces surfaces portent quelques modelés caractéristiques qui leur sont intimement liés, issus du régime de fracturation, du processus de météorisation, comme par exemple des diaclases rectilignes. On peut distinguer des formes mineures telles que **les champs de boules** (forme issue de l'exportation sélective des arènes du profil contenant des corps épargnés par l'altération) qui se localisent, entre autre, au niveau de Tenkodogo. Des formes moyennes existent également comme des **voussures**. Selon leur forme, elles peuvent évoquer des dos de baleine, une carapace de tortue. Tous ces reliefs à large convexité possèdent principalement des flancs nus, lisses ; et portent parfois des lames d'exfoliation qui se sont fragmentées, en partie, sur place. Les **échines granitiques** constituent, quant à elles, les formes majeures. Elles sont partiellement couvertes par les produits issus de leur destruction, et laissent apparaître, localement, quelques dalles fines (**Fig. 13**).

Ces cuirasses sont très anciennes. Elles sont généralement constituées de kaolinite, d'hématite, de goéthite, de quartz. Ce sont des accumulations de fer et d'aluminium. Bien que nous ayons souligné que dans le contexte climatique actuel, les cuirasses de structure verticale ne se forment plus ; il n'en demeure pas moins que des faciès différents de cuirasses ferrugineuses apparaissent. Les causes sont d'une part la différenciation latérale, et d'autre part l'action de l'érosion de surface. Cette dernière décape les parties superficielles les plus évoluées, les plus riches en fer. Ces deux processus peuvent se relayer dans le temps et dans l'espace si bien que les cuirasses ne sont pas au même degré d'évolution, ni de la même composition chimique et minéralogique. En définitive, ce sont des accumulations superficielles qu'accompagne un cortège de minéraux résistants et d'éléments peu mobiles. Elles semblent être le témoin relictuel d'une grande épaisseur de roches, aujourd'hui attaquée par l'érosion de surface et l'altération chimique. Ce sont les **zones de dépôts de matière**. Enfin, on peut présenter deux variantes de la cuirasse selon l'intensité d'induration : la carapace et les indurations en taches non jointives formant des masses compactes en sec, et friables en humide (LAMACHERE *et al.*, 1993).

Les **surfaces résiduelles** regroupent les glacis non mis en relief. Il s'agit des croupes des interfluviaux découpées faisant transition avec les buttes rocheuses. Ce sont des cuirasses ferrugineuses postérieures aux cuirasses anciennes. On peut distinguer **trois types de glacis : le haut, le moyen et le bas**. Il s'agit de plans faiblement inclinés souvent 1 à 2°, à profil rectiligne, et pente latérale nulle. Les glacis se forment pendant la morphogenèse active. Il y a démantèlement de la surface, incisions et dénudations. Ils se façonnent par aplanissement sous l'effet du ruissellement pelliculaire, puis diffus. On observe alors des apports de matériaux détritiques. Il y a donc une opposition entre le glacis haut et moyen pouvant être qualifiés de figés et le bas glacis demeurant fonctionnel.

Ainsi, la partie amont du glacis peut être dans cette région une zone de versants peu élevés, une crête structurale isolée, ou un mont isolé. Elle domine le glacis moyen et constitue

des buttes témoins. Elle peut être épaisse (3 - 4 m) et dispose de nombreux éléments détritiques issus de la cuirasse ferrugineuse ancienne.

Le glacis moyen porte une cuirasse ferrugineuse plus fine (inférieure ou égale à 1 m), et moins d'éléments détritiques. En aval, il débouche sur une terrasse alluviale ou sur une pédiplaine à laquelle il se raccorde sensiblement, ou sur une zone d'accumulation. Il résulte un processus de glacisplanation.

Le bas glacis est formé de matériaux meubles, sensibles aux agents morphogénétiques. Il résulte de processus d'érosion et d'épandage complexes liés aux fluctuations climatiques du Quaternaire récent. Par ailleurs, ces variations climatiques sont responsables de la mise en place le long des vallées, comme le Nakambé, de remblais sablo-argileux. Cependant, dans les petits axes de drainage, comme la Doubégué, il est difficile de les dissocier. Au niveau du bas glacis, on peut également rencontrer des sols pouvant être épais et évolués.

Ces surfaces résiduelles constituent donc une **zone de transition**, à la fois zone de départ et d'apport. Subissant les fluctuations climatiques, ces surfaces évoluent dans un sens ou dans l'autre selon l'intensité de la morphogénèse.

Enfin, les terrasses et les bas-fonds sont des formations colluvio-alluviales et alluviales plus récentes que les basses terrasses. Il s'agit des **zones d'accumulations** de matière. Bien qu'il soit possible d'observer des dépôts, les apports dominent. Ces espaces peu nombreux englobent toutes les branches hiérarchisées du réseau hydrographique et se rencontrent au niveau des affluents du Nakambé. Les vallées des grandes rivières, comme le Nakambé, qui entaillent la cuirasse sont formées d'alluvions récentes. Ce sont des bancs de graviers, de gravillons et de sables dans le lit mineur, et des fines pellicules successives de limons déposées par les crues dans les dépressions et berges (ALBERGEL, 1988).

Ces différentes unités géomorphologiques s'observent dans le bassin de la Doubégué, qu'il convient de présenter plus en détails.

1.2.3 Le bassin versant de la Doubégué : une opposition de rives

La majorité du bassin versant de la Doubégué appartient au domaine des **migmatites**. La formation la plus ancienne est représentée par les migmatites à biotites, les migmatites à biotites et amphiboles, et les amphibolites à grains qui leur sont associées.

On peut mettre en évidence une opposition entre les deux rives (**Fig. 13**). La rive gauche (Pata, Douka, Zaba, Kaladouki, Séla, Gouni, Koama, Ouanagou) est dominée par la présence de **migmatites à biotite**. Il s'agit de roches, le plus souvent claires, ponctuées de noir verdâtre (la biotite), recoupées en tous sens par des filonnets de granite à grain fin et de pegmatite quartzo-feldspathique.

A l'inverse, la source et l'essentiel de la rive droite (surtout la partie amont sud-ouest : Loanga, Togo, Sasséma, Bado, Zaka, Vagaga (rive gauche), Ounzéogo, Minda) reposent sur des **migmatites leptyniques**. Elles constituent un axe orienté Nord 45° Est du sud de Kampalaga au Nord de Tenkodogo, au lieu-dit Pésséré, où se localise la source. A l'affleurement, elles forment des collines aux pentes raides (**photo a de la planche photos 1**) dominant la pénéplaine de parfois 50 m. Ces dernières présentent d'énormes quantités de

blocs sub-anguleux non altérés formant des cônes éluviaux sur l'ensemble de leur pourtour. Ce sont des roches résistantes formant des reliefs résiduels (**photo b** de la **planche photos 1**). Leur altération produit un sable composé de grains rougeâtres (présence de fer) et noirs (**photo c** de la **Planche photo 1**). On peut également remarquer, en rive droite amont, la présence d'une cuirasse ferrugineuse ancienne.

Dans la partie aval du bassin versant de la Doubégué ces deux espaces sont séparés d'une part par une portion de **migmatites à biotite et amphibole** (rive gauche) et d'autre part par une zone **d'amphibolites indifférenciées** de Zabatorla au Tcherbo (en passant par la Nouando).

Le bassin de la Doubégué appartient également au massif de Tenkodogo composé de **granites porphyroïdes**. Il s'agit de granites précoces, syn et tardi-tectoniques. Ces roches granitiques accidentent le relief¹⁵. Elles sont non orientées et présentent souvent des contacts discordants avec les roches encaissantes. Ce granite est à grain grossier, souvent plagiodiomorphe et porphyroïde ; bien que le grain puisse être fin localement. Sa couleur est variable, mais il renferme toujours des points grisâtres et roses (présence de feldspath rose et blanc). Ainsi, le granite de Tenkodogo est légèrement fracturé. Les failles, quant à elles, ont guidé la mise en place de microgranite. Ce type de structure, située dans la partie amont date du Birrimien. Enfin, les contacts du granite avec les migmatites sont nets. Ces dernières ont pour origine le l'Antébirrimien.

Par ailleurs, cet espace comprend huit zones d'alluvions sablo-argileuse de remblaiement limoneux et de gravier sous berge (Dazé, Koama, Ouanagou, affluent Douka/Zaba, Séla, Bindéguo/Bidiga, affluent Pata/Doubégué). Les alluvions sablo-argileuses et sableuses actuelles (dans le lit de la rivière, dépôts fins, peu épais et discontinus) recouvrent quasiment entièrement le deux autres types que sont les graviers sous berge inférieure (riches en gros matériaux et en minéraux lourds) et ceux sous berge supérieure (composés d'éléments plus fins, peu de minéraux lourds, dominés par le remblaiement limoneux). Tous les graviers sous berge, ainsi que le remblaiement limoneux, sont latéritisés et en partie cuirassés. L'épaisseur de la latéritisation semble décroître vers le remblaiement limoneux.

On peut également mettre en évidence quelques modelés observés dans le socle. Une voussure existe juste en amont de la confluence avec le Tcherbo en rive droite. Quant à la zone amont du bassin versant de la Doubégué, elle présente une surface de dénudation : un champ de boules (**photo d** de la **Planche photos 1**). Ce type de formation s'observe également dans la région de Soné (**photo e** de la **Planche photos 1**).

Enfin, le drainage des eaux pluviales et de ruissellement est bien assuré de telle sorte que les eaux transportent des matériaux colluviaux vers les dépressions provoquant un phénomène de sédimentation et de pédogenèse.

Cette présentation géomorphologique permet de comprendre et de présenter l'importance du phénomène de cuirassement dans la formation et l'évolution des sols qui est à l'origine d'une surreprésentation des **sols ferrugineux et peu évolués**.

¹⁵ Dans l'ensemble le relief est plat, les pentes sont orientées Est-Ouest présentant quelques ondulations donnant des vallons évases.



a et b : Reliefs résiduels

*a : Relief résiduel rencontré à Soné (rive droite)
haut de d'une cinquantaine de mètres dominant
le bassin versant de la Doubégué*

b : Zoom sur un des reliefs résiduels



c : Sable

*Sables issus de la décomposition des migmatites
leypinique du relief résiduel*



d : Champs de boules

Champs de boules à l'entrée de Tenkodogo



e : Champs de boules et reliefs résiduels
Région de Soné

Clichés : E. Robert, 2008

Planche photos 1 : Reliefs résiduels et champs de boules dans le bassin versant de la Doubégué

1.3 La prédominance des sols pauvres

A l'échelle régionale, la majorité des sols est issue des roches antécambriennes du socle africain. Les formations sont principalement métamorphiques : migmatites variées et orthogneiss riches en minéraux verts avec localement des amphibolites pures. L'altération de ces formations est à l'origine de **la formation de sols ferrugineux, sur matériau sableux, sablo-argileux ou argilo-sableux**, pauvres mais modérément acides, généralement remaniés par l'érosion. Ils se rencontrent essentiellement au niveau du haut et du moyen glacis. On observe également des sols peu évolués d'érosion associés à des lithosols sur cuirasses. Le **bas glacis**, quant à lui, présente une **évolution vertique** liée à un milieu riche en bases, et montre un drainage externe. Enfin, les **zones alluviales** arborent des **sols hydromorphes** sur matériaux hétérogènes pauvres chimiquement, de structure instable, sur matériaux hétérogènes (vallons principalement colluviaux) ; des sols limoneux très fertiles sur les terrasses (sols jaunes au niveau de Béguedo et Niaogho) ; des petits bourrelets de berges sableux ; et différents types de dépressions argileux d'hydromorphie variable.

Ainsi, le bassin versant de Bagré comprend 7 types de sols : des sols ferrugineux tropicaux lessivés, des sols peu évolués d'érosion régosolique, des sols peu évolués d'apport sableux, gravillonnaire, des sols hydromorphes, des lithosols, des sols bruns eutrophes tropicaux à caractère vertique très marqué, et des sols vertiques dégradés (**Fig. 15**). Et, le bassin versant de la Doubégué présente principalement des sols ferrugineux (55,4 %), des sols peu évolués d'érosion régosolique (15,7 %), des sols hydromorphes (11,5 %), des lithosols (9,5 %) et des sols bruns eutrophes tropicaux (7,8 %) (**Fig. 14**).

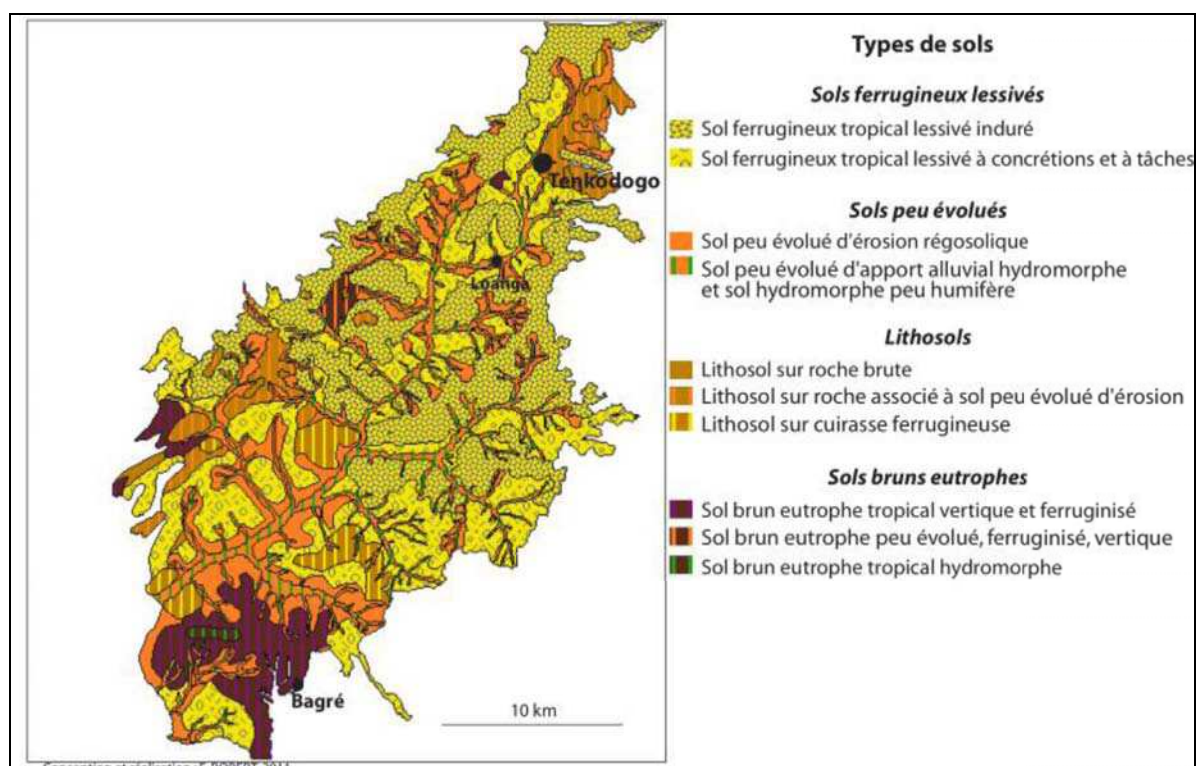
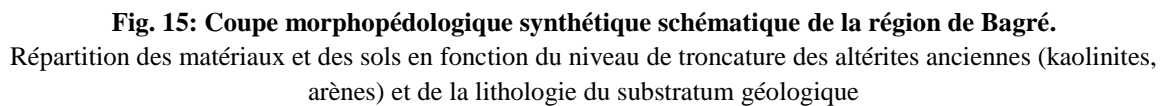


Fig. 14 : Carte pédologique du bassin versant de la Doubégué

Source : Carte d'aptitude des terres de la province du Boulgou, Bunasol, 1987



1.3.1 La prépondérance des sols ferrugineux tropicaux lessivés

Les sols ferrugineux tropicaux caractérisent la zone tropicale ayant une pluviosité habituellement légèrement inférieure à 1 m et une saison sèche marquée.

Les sols ferrugineux tropicaux peu lessivés et lessivés sur matériau sableux, sablo-argileux et argilo-sableux se rencontrent dans les parties hautes et médianes. Ils sont issus de l'altération par l'hydrolyse des minéraux primaires poussée et généralement profonde qui conduit à la néoformation d'argile (kaolinite) et à la libération de sesquioxydes (surtout ceux du fer). Le fer ensuite réduit est facilement déplacé et s'indure après oxydation sous forme de concrétions, de carapaces ou de cuirasses dans les horizons B/C. Leur couleur rougeâtre est due à l'hématite (forme cristalline déshydratée et naturellement rouge). Néanmoins, comme l'horizon superficiel est lessivé, il est alors décoloré et prend une couleur beige

Ces sols ont un profil textural lessivé ou appauvri en éléments fins, mais à texture sableuse en surface. La part d'argile augmente en profondeur. On trouve également des gravillons ferrugineux. Ils se caractérisent par un couple d'horizon éluvial - illuvial :

- l'horizon d'accumulation riche en sesquioxydes (surtout en fer) et en kaolinite ;
- l'horizon A supérieur : lessivé, appauvri, plus clair, de texture sableuse suite à l'érosion sélective au détriment des particules fines ;
- l'horizon A1 (15 - 20 cm) : souvent compacté, de structure massive ;
- l'horizon A2 (20 à 60 - 80 cm) : lessivé souvent appauvri, de couleur brun, jaune, peu structuré ;
- l'horizon Bt : enrichi en argile, ayant une structure polyédrique avec un enrobement argileux (argillans), brillant. La couleur est vive : rouge - brun, ocre et la kaolinisation des feldspaths est forte. En profondeur, les taches et les concrétions liées à l'hydromorphie sont fréquentes.

La capacité d'échange augmente de l'horizon A vers l'horizon Bt, en raison du lessivage préférentiel des argiles 2/1 qui sont les plus dispersables dans l'eau. En définitive, par suite de l'accumulation relative, la kaolinite est plus présente en surface. Ces sols sont souvent profonds, mais à fort concrétionnement ou à un cuirassement voisin de la surface, ce qui limite l'enracinement. Par ailleurs, **la matière organique est peu abondante et le pH acide**. Par conséquent, ces **sols sont faciles à travailler, mais peu fertiles**. Ils portent essentiellement des cultures de **mil, de légumineuses (niébé), et de l'arboriculture**.

Dans le bassin versant de la Doubégué, on rencontre deux types de sols ferrugineux tropicaux. Le premier lessivé et induré domine la partie amont et médiane (au niveau des versants) de cet espace. Quant au second, à concrétion et à taches, il s'observe principalement le long des cours d'eau dans la partie amont et médiane. Ce dernier type se rencontre également dans la partie avale, mais cette fois-ci sur le glacis moyen, plus particulièrement, en rive droite.

1.3.2 La présence modérée des sols peu évolués d'érosion régosolique...

Les sols polyphasés ou sols peu évolués d'érosion sont issus de matériaux le long des versants et des glacis ; et sont souvent associés à des lithosols sur cuirasses. Ils se situent en périphérie amont dans les zones de ruptures de pente où se concentrent les ruissellements superficiels lors des précipitations. La formation de ces sols est donc bien souvent mécanique

(pente) ; et leur évolution est alors freinée. Ainsi, sur roche tendre, même une pente faible suffit à empêcher l'évolution et permet la formation de régosols.

Les sols peu évolués ont un profil AC qui ne contient plus que des traces de matière organique dans les 20 premiers centimètres, et plus ou moins de 1 à 1,5 % sur les 2 à 3 premiers centimètres. On a donc une couche mince de matière organique apparaissant en surface. La roche mère est inaltérée ou peu altérée, et apparaît immédiatement en dessous. On observe alors un horizon humifère A clairement identifiable, mais jamais d'horizon B d'altération car la dégradation est peu poussée et localisée en surface. La zone altérée se confond donc avec l'horizon superficiel. L'altération est freinée par l'érosion, d'où leur nom. Enfin, ils sont riches en fragments de roche mère.

Ainsi, bien que l'horizon supérieur soit plus épais, leurs contraintes physiques sont liées à une faible profondeur, une texture grossière, une faible disponibilité en eau, une forte sensibilité à l'érosion, et une discontinuité texturale pouvant provoquer au sein du profil des horizons engorgés. Quant aux contraintes chimiques, elles reposent sur une pauvreté en matière organique induite par l'érosion et la minéralisation rapides, ainsi que sur une faible teneur en azote et phosphore.

Par conséquent, ces sols sont réservés au **pâturage extensif**, et aux **cultures pluviales de céréales** sur les bordures gravillonnaires.

1.3.3 ... et des sols hydromorphes

Les sols hydromorphes minéraux à pseudogley sont associés aux sols ferrugineux remaniés et aux concrétions sur matériaux gravillonnaire en profondeur. Ils se rencontrent sur les surfaces topographiques les plus basses du modelé où convergent les eaux des unités sus-jacentes : marigots, bas-fonds. Il dispose d'au moins un horizon à structure fine, cubique à polyédrique très bien individualisé (friabilité). Leurs caractères sont dus, en grande partie, à la présence temporaire ou permanente de l'eau. L'horizon à engorgement périodique est, ici, caractérisé par une alternance de phénomènes de réduction et d'oxydation avec redistribution du fer. La présence de tache de rouille et de concrétions en est la preuve. La texture de l'horizon A est alors sablo-argileuse ou argilo-sableuse alors que l'horizon B est une zone d'accumulation de kaolinite évoluant en pseudogley. Ils sont soumis à ruissellement peu intense. On peut distinguer trois horizons :

- l'horizon A1 à humus de type hydromoder ou moder. Il s'agit d'un horizon foncé, épais avec juxtaposition de la matière organique et de la matière minérale ;
- l'horizon g ou de pseudogley caractéristiques à taches et concrétions ;
- l'horizon (B)g de structure prismatique et ayant des taches blanches disposées en bande verticales (glosses) alternant avec des bandes de couleur ocre ou rouille. Il est souvent le terme ultime d'une évolution pédologique faisant intervenir des processus d'entraînement en profondeur (« lessivage ») d'argile et de fer.

Ce sont donc des sols de couleur gris - rosâtre à rose dans les dix premiers centimètres, puis jaune - brunâtre. Par ailleurs, même s'ils manquent de phosphore, leurs **propriétés physiques sont moyennes**. Il demeure le problème de l'imperméabilité. Ils nécessitent alors pour une bonne exploitation une amélioration de leurs paramètres physiques et chimiques, et

la mise en place de techniques culturelles appropriées. Les cultures sont **le sorgho, le riz (pluviale), et celles de contre saison**.

Enfin, on distingue aussi les sols ferrugineux hydromorphes constitués par des colluvio-alluvions anciens et à texture sablo-argileuses à argilo-sableuse. Ils se concentrent en bas des versants et dans les grands bas-fonds, le long des fleuves et des rivières.

1.3.4 Des lithosols peu présents

Les lithosols se rencontrent sur des surfaces cuirassées en relief (cuirasse ancienne et cuirasse conglomératique supérieure) où l'érosion élimine au fur et à mesure la fraction fine susceptible de se former par désagrégation de la dalle cuirassée. Ils correspondent à l'ensemble des affleurements des cuirasses ferrugineuses, des roches granitiques et gneissiques, des schistes et des quartzites. On parle aussi de sols minéraux bruts d'érosion. Ce sont des sols dont les caractéristiques sont proches de la roche mère, de texture gravillonnaire à sableuse. Ils sont meubles, sensibles à l'érosion, légers, pauvres, et peu profonds.

Ils sont constitués, le plus souvent, à plus de 90 %, par des graviers ou des blocs avec un premier horizon inférieur à 10 cm. Ce dernier limite leur disponibilité en eau et est défavorable à l'enracinement. Les rendements sont alors médiocres. Le profil est souvent réduit à la roche mère de type ici R car elle est dure (M si elle est meuble). La présence d'une couche O (horizon organique) est parfois possible. L'aptitude agronomique de ces sols est faible (champs de case, aires de pâturage).

1.3.5 Des sols bruns eutrophes tropicaux à caractère vertique peu étendus

Les sols bruns eutrophes sont la dernière classe de sols observée dans le bassin versant de la Doubégué. Ils sont peu présents dans cette région (7,8 %) et localisés essentiellement dans le secteur aval (zone de Bagré).

Les sols bruns eutrophes vertique sont principalement développés sur les roches basiques birrimiennes, ainsi que sur les granites et migmatites riches en amphiboles. Ce sont des sols jeunes en début d'évolution, moins profonds que les sols ferrugineux sur affleurement de roches basiques. Certains se forment et se localisent en bas de pente, où ils sont soumis à une hydromorphie temporaire (la teneur en montmorillonite augmente) comme c'est le cas pour la majorité de ces sols dans le bassin versant de la Doubégué. Ils sont très proches des vertisols ; ils n'en sont que des types atténués, moins largement structurés, à manifestations vertiques peu accentuées, et à porosité d'ensemble mieux développée dans les horizons supérieurs. Ils sont riches en bases et argiles gonflantes.

Les vertisols, ou sols vertiques se situent dans les zones d'inondation (leur nom vient du latin *vertire*, retourner). Qualifiés de sols noirs, ils sont composés en profondeur de 45 % d'argile, dont une grande partie est de type gonflant (montmorillonite). La fraction organique, réduite à la fraction stabilisée par maturation, est seulement de 1 à 2 %. Ils sont pauvres en limon. La présence d'argile les rend plastiques et collant à l'état humide ; alors qu'à l'état sec, ils sont durs, compacts, et profondément fissurés. Ils se forment dans les milieux contenant une quantité suffisante de magnésium et de calcium nécessaire à la synthèse et à la stabilité des argiles gonflantes. Ces éléments proviennent soit de l'altération de roches basiques, soit d'un enrichissement secondaire à partir des eaux de circulation latérale interne en bas de pente

ou de ruissellement en terrain plat et dans les dépressions. Quant à leur couleur foncée, elle est due à un complexe stable de matière organique et d'argile dont la formation est favorisée par les conditions hydromorphes prédominant en saison humide. Par ailleurs, les alternances de gonflement et de dessiccation entraînent une fissuration marquée influant sur les modalités de l'écoulement concentré des bas-fonds.

Ces sols ne présentent pas d'horizons nettement différenciés entre eux. Leur profil est généralement de type AC ou A (B) C. L'horizon B n'est jamais un horizon d'altération, mais un horizon structural proche de l'horizon C plus massif. Ainsi, l'horizon A, sombre, passe progressivement à un horizon B de structure, dont la profondeur correspond à celle des fentes de retrait. De 0 à 20 cm, on observe un sol brun foncé, une cohésion forte et homogène. Puis, de 20 à 75 cm, la couleur s'éclaircit (brun plus clair) et la cohésion augmente. Enfin, entre 75 et 180 cm, la teinte peut être qualifiée de brun - rouge (plus clair et légèrement rouge). La structure est prismatique.

Les sols bruns eutrophes à caractère vertique ont une **richesse minérale assez élevée**, même s'il peut exister une déficience en azote, en phosphore et en potasse. De plus, ils ont une bonne structure superficielle, une capacité élevée de rétention en eau, une grande activité biologique, et une grande capacité d'échange. Grâce au brassage (comblement des fentes de retrait par des matériaux de surface, suivi d'une remontée d'horizons), ils résistent à la salinisation excessive en surface. Le pH varie entre 6 et 7,5 en augmentant en profondeur. En raison de leur compacité, ils ont une densité apparente élevée de 1,5 à 2. Cependant, leur teneur en matière organique est faible. D'un point de vue agronomique, ce sont des sols peu perméables et lourds sur lesquels sont cultivés **le maïs, le riz, le sorgho, le mil, et le coton** (*black cotton soils*). Très compacts, ils sont donc difficiles à travailler. Ce dernier fait est dommageable, car ils disposent d'un potentiel de production considérable.

La profondeur, la texture, la richesse chimique de la couche arable, et la topographie du terrain ainsi que les conditions météorologiques conditionnent la pérennité de la mise en culture, ainsi que la répartition des différentes espèces végétales. Par ailleurs, l'état et la répartition du couvert végétal jouent un rôle essentiel dans la problématique des pertes en terre et en eau.

1.4 Une végétation « naturelle » savanicole qui tend à disparaître sous l'action anthropique

La végétation « naturelle » du Burkina Faso a fait l'objet de nombreuses études. Les travaux de GUINKO (1984) constituent une référence de bonne facture. Par ailleurs, ses travaux en coopération avec FONTES, portant sur la cartographie de la végétation et de l'occupation du sol, sont une source d'information utile sur la diversité biologique. La végétation « naturelle » de la région est alors la savane arborée avec quelques arbres, arbustes, herbes, remplacée, le long des cours d'eau, par les forêts galerie. La savane a souvent fait l'objet de débat afin de savoir si son origine tenait du rôle de la géomorphologie et de la répartition des substrats (COLE, 1986), ou de l'impact de l'homme. Il nous semble que ce dernier soit le facteur le plus déterminant (BLASCO, 1987 et GUINKO, 1984). Ainsi, la

savane peut être décrite comme « une formation végétale permanente diffuse qui incorpore des arbres et des graminées vivaces ou annuelles, sous un climat tropical à saisons contrastées et parcourue régulièrement par les feux » (SCHULTZ et POMEL, 1994). Les savanes sont, bien souvent, le résultat d'actions anthropiques réalisées depuis des millénaires. Il s'agit, alors, de savanes secondaires. Le bassin du Nakambé est soumis à une forte dégradation due aux effets conjugués du climat (sécheresse) et des activités anthropiques.

Ainsi, cette région appartient au groupe Soudan caractérisé par les savanes et les forêts claires sèches (feu, arboriculture, culture du mil et du manioc) ; et plus précisément à une sous-zone de savane à *Parkia*, *Butyrospermum*, et *Terminalia* (MAIRE et al. 1994).

1.4.1 Un secteur de transition entre les forêts guinéennes et les savanes herbeuses

Il s'agit d'une zone de transition, où l'on rencontre des lambeaux de forêts, des savanes à graminées, et des forêts galeries (*Anogeissum sp*, *Combretum sp*, *Khaya sp*, *Diospyros sp*, *Mitragyna sp*). Cette région appartient au secteur phytogéographique soudanien septentrional où domine la savane. Il s'agit d'une « formation végétale tropicale, plutôt fermée, fondamentalement constituée d'herbes hautes et dures, parmi lesquelles dominent les graminées à rhizome : *Aristida*, *Imperata Pennisetum* (herbe à éléphant). L'odeur en est forte et épicée » (DEMANGEOT, 1976). Le secteur d'étude se situe dans la **zone des savanes arborées et arbustives**, que l'on rencontre principalement sur les pentes et les glacis. GUINKO et FONTES distinguent, alors, deux types de savanes arborées et arbustives (Fig. 16).

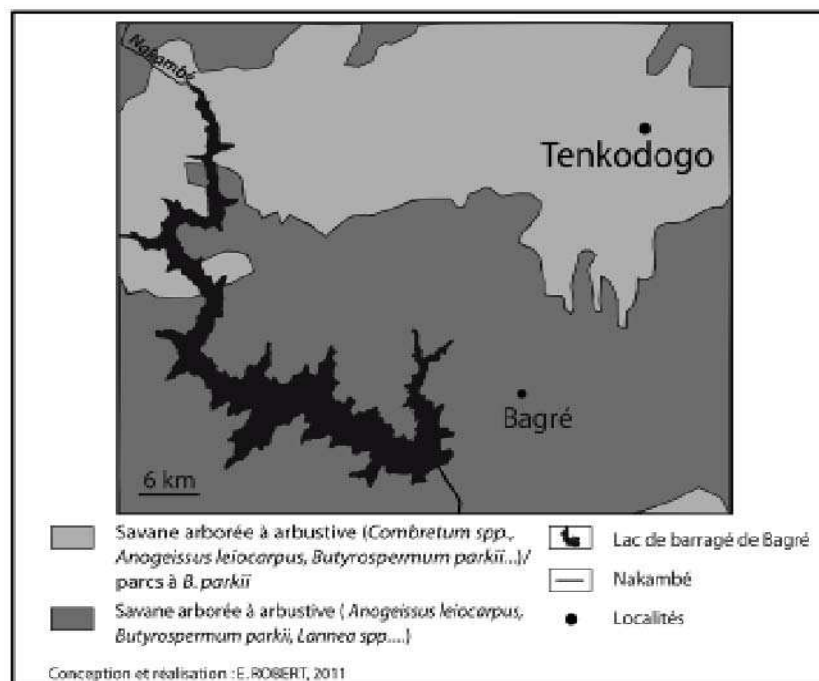


Fig. 16 : Carte biogéographique (domaine nord-soudanien) du secteur de Tenkodogo et de Bagré
Source : Fontès et Guinko, 1995

Les premières sont composées d'*Anogeissus leiocarpus*, de *Butyrospermum parkii*, de *Lannea sp*, etc. Le couvert ligneux est assez dense. Ces espèces se rencontrent sur des sols ferrugineux peu évolués et sur des lithosols à cuirasses. Ce sont des secteurs peu cultivés. Quant aux secondes, elles comprennent des *Combretum sp.*, des *Anogeissus leiocarpus*, des *Butyrospermum parkii*. Cette catégorie comporte de nombreuses **espèces indicatrices de**

milieux perturbés. Les sols sont majoritairement pauvres, peu profonds, et gravillonnaires (lithosols sur cuirasse ferrugineuse associés à des sols ferrugineux remaniés ou à des sols hydromorphes). Ce second type comporte une occupation du sol plus importante (cultures en vallées, parc à karité)

Les savanes arbustives (**photos a et b** de la **Planche photos 3**) sont la formation végétale la plus représentée dans le bassin versant de la Doubégué, bien que très éparpillées. Ce type de savane est constitué d'espèces végétales culminant entre 4 et 7 m ayant un enracinement puissant (possibilité d'atteindre la nappe d'eau en profondeur), un tronc épais et noueux, et une écorce épaisse, souvent scoriacée (résistance aux feux et à la sécheresse). Ce sont essentiellement des espèces de rejet de souches à forte capacité de résistances aux coupes multiples opérées par les populations pour les besoins domestiques : *Acacia dudyenio*, *Acacia gourmanensis*, *Lannea acida*, *Combretum glutinosum*. Ce dernier, à titre d'exemple, est un arbuste buissonnant de 8 à 12 m de hauteur, dont la floraison s'effectue en saison sèche. Il est utilisé en pharmacopée, pour les teintures, le bois de construction de charbon, de feu, ou encore comme outil. L'*Acacia seyal* est, quant à lui, utilisé pour la gomme ; et c'est un ligneux à production fourragère très appréciée.

En définitive, au cours des 25 dernières années, la savane arbustive s'est étendue au détriment principalement de la savane arborée, mais également de celle boisée, des forêts galeries et des formations ripicoles, essentiellement sous l'impact anthropique combiné à la péjoration climatique (cf. chapitre 4).

La savane arborée est alors en régression. Elle se situe à la suite des savanes boisées et des forêts galeries entre le lac et le front de culture en rive droite, et le lac et les réserves foncières en rive gauche. Elle comprend quelques arbres utiles à l'homme comme :

- le *Butyrospermum paradoxum* subsp *parkii* : le karité (**photo a** de la **Planche photos 2**) est une espèce agroforestière à valeur économique très exploitée et utilisée pour le bois de chauffage, de charbon, le latex, et la noix de karité. Sa graine donne naissance au beurre de karité et a des usages multiples (pharmacopée, cosmétique, alimentation, etc.) ;
- le *Parkia biglobosa* : le néré (**photo b** de la **Planche photos 2**) est maintenu dans les parcs agroforestiers dans la tradition Mossi et Bissa (fétiche). Il a une valeur économique, c'est une plante médicinale remarquable, un aliment de complément (noix, graine, fruit) et est utilisé comme insecticide dans la fabrication des crépis ;
- le *Tamarindus indica* : le tamarinier (**photo c** de la **Planche photos 2**) est cultivé pour ses fruits (« dattes de l'Inde ») et pour ses valeurs socioculturelle ;
- le *Faidherbia albida* (syn. *Acacia albida*) (**photo d** de la **Planche photos 2**) : le balazan est un arbre de grande taille, conservé sur les champs. Il est résistant à la sécheresse, perd ses feuilles en début de saison des pluies, et reverdir pendant la saison sèche offrant alors son ombre et un excellent fourrage aux troupeaux. S'alimentant dans les nappes phréatiques, il ne concurrence donc pas les cultures. Il fixe l'azote de l'air par le biais de bactéries (rhizobium) enfouies sous terres dans des nodules fixés sur le chevelu racinaire (DREYFUS in VINCENT, 1990) ; on observe alors le transfert d'importantes quantités d'azote vers ses feuilles. Sa

litière améliore donc le sol (structure homogène, meilleure cohésion, augmentation de la capacité d'échange en cation (CEC), de l'azote, de l'oxyde de calcium, et de l'oxyde de magnésium) (SCHULTZ et POMEL, 1994). Avant la période coloniale, cet arbre était emblématique du paysage Bissa ; les causes de sa destruction sont l'extension de la culture d'arachide, le surpâturage, et son utilisation comme bois d'œuvre. Fournissant du bois, son tanin, ses fruits et ses feuilles sont également utilisés dans la pharmacopée traditionnelle ;

- le *Ceiba pentandra* : le fromager ou kapokier (**photo e** de la **planche photos 2**) est un bois sacré, moyennement utilisé ;
- le *Lannea microcarpa* : le raisinier (**photo f** de la **planche photos 2**), dont la floraison s'effectue en fin de saison sèche, est utilisé comme bois de construction, de feu, de charbon, mais aussi en menuiserie, comme teinture, et pour la réalisation de cordage. Il a également une valeur coutumière (masque) ;
- le *Ficus granpholocarpa* : le figuier,
- l'*Acacia senegalensis* : le gommier blanc ou encore « werek » (en wolof), gomme arabique,
- et certaines variétés de *Combretum*, de *Terminalia*, de *Disopyros*, de *Mytragyna*, etc.

Enfin, il est intéressant de noter qu'en 1988, selon MIETTON, la région d'étude présentait encore une formation ligneuse, haute claire : savane arborée à *Parkia biglobosa* et à *Butyrospermum paradoxum*.

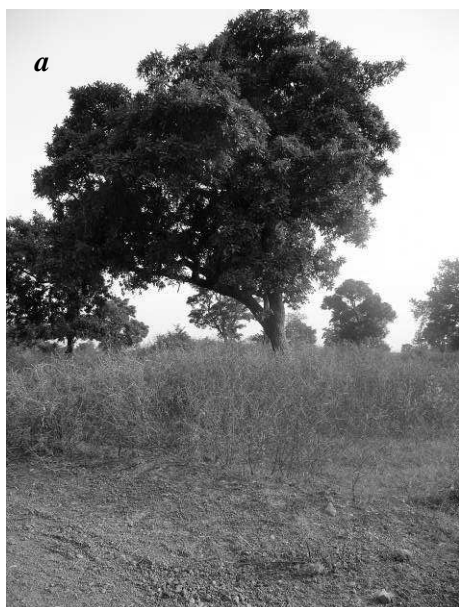
La savane boisée a, quant à elle, quasiment disparu sous l'action de la pression humaine. Néanmoins, bien qu'une immense partie ait été envoyée ou remplacée par des activités humaines, les berges du Nakambé, celles de ses principaux émissaires et des affluents du lac (comme la Doubégué) portent encore des reliquats de forêts galeries¹⁶ et des formations ripicoles. Ces dernières demeurent plus importantes sur la rive droite de la retenue, et surtout en aval du barrage (**photo 3**).



Photo 3 : Vue de la forêt ripicole de la Doubégué (second plan)

Cliché : E. Robert, 2009

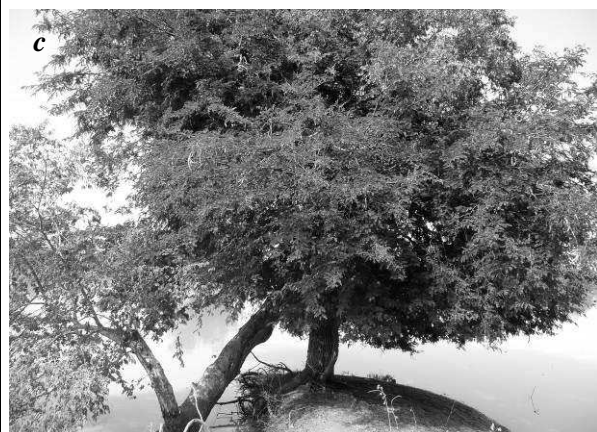
¹⁶ Les galeries forestières se distinguent, davantage par la hauteur des ligneux, que par leur densité.



a : Karité



b : Néré



c : Tamarinier



d : *Faidherbia albida*



e : Fromager ou kapokier



f : Raisinier

Cliché : E. Robert, 2009

Planche photos 2 : Arbres encore présents dans le bassin de la Doubégué

-Elodie ROBERT-

Les risques de pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué (Burkina Faso) : pour une gestion intégrée

La strate herbacée est composée d'Andropogon, d'*Heteropogon* (plante annuelle ou vivace de 20 à 200 cm), de *Vetiveria* (dans la forêt galerie), d'*Hyparrhena*. A titre d'exemple, l'*Hypparrhenia rufa* est en forme de touffe de 3 m de haut si elle n'est pas pâturée. Néanmoins, elle supporte le pâturage en rotation. On rencontre cette espèce naturellement en prairie au bout de 2 ans. Si elle est travaillée avec des semis de graines nettoyées, la formation s'effectue alors en 5 mois. Dans les zones de savanes, on rencontre des espèces de la famille des Andropogons (*Andropogon Gayanus*) (**photo c de la Planche photo 3**), des *Aristida*, des *Loutetia*, ou encore des *Ziziphus mauritania* (jujubier). Leur hauteur est d'environ 1,5 à 2 m. Cette strate est principalement constituée de graminées pérennes et de thérophytes (plantes annuelles) desséchées ; leurs racines ou leurs graines, résistantes aux feux, donnent une végétation nouvelle dès les premières pluies. Les racines constituent un feutrage épais pouvant descendre jusqu'à 50 cm de profondeur, augmentant la résistance aux feux.

En partie basse inondable, les genres les plus fréquents sont l'Andropogon l'*Heteropogon*, l'*Hypparrhenia*, le *Vetiveria*, et le *Pennisetum*. Les espèces ripicoles constituant les zones de frayères en période de hautes eaux sont représentées par six genres dominants : le *Fimbristilis*, l'*Echinochloa*, le *Mimosa*, le *Corchorus*, le *Cyperus*, et le *Gynandropis*. Quant au lac, il possède sa propre végétation aquatique, bien qu'elle soit réduite ; trois espèces sont répertoriées : le *Nymphaea lotus*, l'*Oriza longistaminata*, et l'*Utricularia stellaris*.

On rencontre aussi des espèces exotiques : l'*eucalyptus camaldulensis*, l'*Anacardium occidentale*, le *gnemila arborea*, etc. A titre d'exemple, l'Eucalyptus (**photo f de la Planche photos 3**), du fait de sa croissance, a été une des premières essences employées lors des grandes opérations de plantations qui ont suivies les sécheresses des années 1970 et 1980. Ces arbres s'adaptent parfaitement aux conditions difficiles et peuvent croître sur des milieux très pauvres. Par ailleurs, ils permettent de réduire les effets du vent et produisent de la biomasse végétale. Néanmoins, des controverses ont toujours existées quant à l'impact de l'eucalyptus sur « la biodiversité génétique et fonctionnelle des microorganismes du sol » (DUPONNOIS, 2008). Suite à une étude réalisée en 2005, il a pu mettre en évidence que son implantation réduit la diversité, en particulier, des champignons mycorhiziens. Un nouvel écosystème se met, alors, en place ; et des modifications apparaissent dans la fertilité des sols. Actuellement, le neem est davantage employé pour les reboisements (**photo e de la Planche photos 3**).

En définitive, suite à la péjoration climatique, au surpâturage, à l'épuisement des sols, les espèces sahéliennes augmentent peu à peu au détriment des espèces de types soudaniennes. **La végétation « naturelle » tend à disparaître, et laisse place à une végétation anthropique composée de jachère (en régression) et de champs de cultures où subsistent encore des espèces utiles clairsemées, épargnées pour leur ombrage ou leur fruit : *Butyrospermum*, *Parkia*, *Adansonia*, *Bombax*, *Pterocarpus*, etc.** Par exemple, l'*Adansonia digitata* (le baobab) est protégé car il a une valeur économique, alimentaire (fruit, feuille, graine, et noix), culturelle, sacrée, et artisanale. Mais il a subi un fort dépérissement (**photo d de la planche photos 3**). De même, le *Bombax costatum* (le kapokier rouge) est un arbuste conservé aux nombreux usages : sa fleur et ses calices sont des organes alimentaires en Pays Bissa. Quant au *Pterocarpus erinaceus*, il est utilisé en ébénisterie (jaunâtre, veiné brun violacé à beau poli), comme bois d'œuvre, de chauffage et de charbon.



a : Savane arbustive avec au premier plan un Guiera senegalensis
b : Savane arbustive (secteur aval du bassin versant de la Doubégué)



c : Andropogon gayanus
Végétal utilisé pour les greniers, les bandes enherbées



d : Baobab
Arbre aux vocations multiples (fruit, feuille, graine, noix)



e : Neem
Arbre pour le reboisement et la production d'insecticide naturel



f : Eucalyptus
Employé dans les années 1990 pour le reboisement, moins utilisé actuellement

Clichés : E. Robert, 2009

Planche photos 3 : Formations végétales, arbres utiles et végétaux pour le reboisement

-Elodie ROBERT-

Les risques de pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué (Burkina Faso) : pour une gestion intégrée

En définitive, la forte pression humaine a entraîné des modifications du couvert végétal. La savane parc prend, désormais, de plus en plus d'importance.

1.4.2 Une végétation marquée par l'empreinte humaine

En 1994, comme le souligne POMEL, « *l'étude des savanes demeure, en Afrique, un des thèmes clés des effets de l'anthropisation* ». **Le milieu naturel des savanes est souvent le cadre de vie d'une population profondément ancrée dans ses terroirs.** Elle conditionne passablement la morphogénèse actuelle en modifiant les recouvrements végétaux et la structure des sols. Ainsi, nous sommes davantage partisan de la théorie selon laquelle les savanes sont le résultat de système agro-pastoraux (BARRY *et al.* 1986 ; KRINGS, 1991 ; SEIGNOBOS, 1982), plutôt que de l'interprétation purement climacique s'appuyant sur une succession de climax et de zonalités. Ces régions sont des paysages de cultures fortement modifiés et domestiqués par l'homme. Par ailleurs, il faut tenir compte de l'histoire écologique des environnements. En effet, « *la nature biologique en Afrique est devenue indissociable de l'histoire humaine* » (GILLON, 1992).

Le bassin versant de la Doubégué est une région en déséquilibre entre la capacité de charge des écosystèmes naturels et l'intensité des utilisations. On observe alors une dégradation avancée du couvert végétal. Les causes de cette évolution négative du couvert végétal sont d'ordre physiques (aléas climatiques), mais surtout humaines (crise démographique, pratiques culturelles, élevage...). « *Par la répétition et la combinaison du défrichage, de la sélection, de la mise en culture, du pâturage et surtout de l'usage du feu* », les hommes ont un impact sur la végétation. Ils rendent alors encore plus « *délicate l'interprétation climatique exclusive des paysages végétaux* » (SCHULTZ, 1994).

En effet, on assiste à une progression des zones cultivées et des sols nus au détriment des zones naturelles ; 72 % des formations forestières du bassin versant ont régressé entre 1958 et 1979 (HIEN *et al.*, 1996). Le changement de comportements des Bissa depuis la conquête coloniale (abandon des pratiques culturelles intensives au profit d'une agriculture vivrière extensive) combiné à la mise en eau du barrage a entraîné une extension des surfaces cultivées, et l'arrivée massive de migrants (Mossi et Peul) associée à un essor démographique. L'évolution observée au cours des années 1980 dans l'ensemble du bassin versant du Nakambé s'est également réalisée au niveau de Bagré et de la Doubégué. Ainsi, entre 1982 et 1996, le couvert végétal du bassin supérieur du Nakambé est passé de l'hétérogénéité à l'homogénéité du fait de l'extension des surfaces cultivées et dénudées sous l'impact croissant de l'anthropisation (YONKEU, 2006). Entre 1965 et 1995, la végétation naturelle a alors régressé de 43 à 13 %, alors que les superficies cultivées ont augmenté de 53 à 76 % et que les sols nus ont été multipliés par trois (de 4 à 11 %) (MAHE *et al.*, 2005). En 1983, DOSSO *et al.* soulignaient déjà une dégradation de 23 % des terres étudiées dans la région de Bagré. Une perte de la biodiversité s'est alors opérée avec comme corolaire la dominance d'une formation anthropique : la savane parc (HIEN *et al.*, 1996). Cette problématique sera le thème central de notre Chapitre 4.

En définitive, on observe la présence d'une savane arbustive et/ou arborée claire où la strate herbeuse laisse fréquemment de grands espaces de sol nu, surtout sur les glacis cuirassés, en saison sèche. La végétation est entamée par l'action destructive de l'homme :

pression démographique, hydroaménagement, irrigation. Cette « érosion » est renforcée par la coupe abusive du bois (chauffage, construction...), des feux de brousse, de l'incidence de l'activité de transformation qu'est le fumage. Ainsi, dans le bassin versant de la Doubégué, on distinguait (FONTES et GUINKO, 1995) :

- une vaste zone amont, périphérique de Tenkodogo où l'occupation agricole est forte (plus de 30 % de champs et de jeunes jachères). La densité de la population est trop importante et le temps de jachère est tellement raccourci que les sols n'ont plus le temps de se régénérer. Les rendements diminuent et les sols s'appauvrissent ;
- une zone intermédiaire plus restreinte où le taux d'occupation agricole est moyen (entre 10 et 30 %) ;
- une zone aval où le taux d'occupation est plus faible (moins de 10 %). Les rotations de cultures - jachères sont assez longues afin de permettre une bonne régénération des sols.

Comme on le développera au cours du Chapitre 4, cette situation s'est aggravée, au cours de la fin des années 1990 et du début du XXIème siècle, suite à l'extension et l'amplification des activités humaines.

Or, cette diminution du couvert végétal est le plus souvent irréversible. Des gravillons ferrugineux apparaissent. Les sols se retrouvent alors sans aucune protection antiérosive. Sous l'action de l'agressivité climatique (pluie et vent), ils sont lessivés. Il s'y développe des croûtes de battance ou des taches d'induration favorisant, renforçant, et accélérant l'érosion et le ruissellement de ces zones. C'est ce risque érosif qui sera principalement étudié dans la deuxième partie. La morphogenèse étant conditionnée par le climat, le modelé, et le couvert végétal, nous avons tenu à présenter dans ce premier chapitre ces facteurs primordiaux pour comprendre le fonctionnement de ce processus. L'Homme joue également un rôle important et ne doit pas être occulté. Il agit directement et indirectement sur la régression du couvert végétal et sur les sols ; c'est pourquoi le cadre humain sera le thème central de notre deuxième chapitre.

Le couvert végétal et les totaux pluviométriques ne sont pas les seuls affectés par cette péjoration climatique, ces changements climatiques et l'action humaine ; la faune du bassin versant de la Doubégué est également victime de tous ces phénomènes.

1.4.3 Une faune sous la menace climatique et anthropique

Pendant l'hivernage, l'abondance de la végétation herbacée permet la présence d'animaux herbivores de grande taille (hippopotames, phacochères...), de leurs prédateurs, de fauves carnassiers et de leurs auxiliaires mangeurs de charognes. L'herbe explique la présence d'oiseaux granivores dont les fameux « mange-mil » (*Quelea*) fléau pour les cultivateurs. On trouve aussi un certain nombre d'insectes telles que les termites construisant des termitières souvent petites (cubitermes) mais nombreuses, ou parfois plus grandes (*Bellicositermes Rex* : 10-60 m à la base et 3 - 6 m de hauteur). Il s'agit également d'une zone d'insectes redoutables : sauterelle, criquet pèlerin (criquet migrateur)... Quant à la strate arborée, elle abrite des oiseaux et des singes.

Le problème d'alimentation et de manque d'eau pour la majorité de ces animaux se pose en saison sèche. Ils se concentrent alors autour des quelques points d'eau, des cours d'eau permanents ; ou migrent vers des régions plus humides.

Bien que l'on trouve encore des petits et grands gibiers, des crocodiles, des phacochères, des hippopotames, des carnassiers (lions, panthères), la faune est en diminution. Les principales causes sont le braconnage et les défrichements.

La présentation du contexte biogéographique souligne à quel point l'impact anthropique ne doit pas être omis tant d'un point de vue pédologique que végétal. Au fil des millénaires, par ses actions répétées (déforestation, feux, pâturage, arboriculture), l'Homme a profondément affecté la couverture végétale et, par la même, les sols. La formation savanicole témoigne pleinement du lien existant entre paysage et agriculture. Il s'agit donc de véritables anthroposystèmes. Cet impact humain se retrouve également lors de l'aménagement des cours d'eau, principalement par la création de barrages, de périmètres irrigués, de digues...

Par ailleurs, le cycle hydrologique continental dépend des processus océano-atmosphériques à l'échelle intertropicale, de la capacité d'évaporation, et de l'albédo de la végétation. Le changement d'occupation des sols dans un contexte de forte pression et de sécheresse entraîne une modification dans la répartition des zones de cultures, de savanes et d'espaces arborées, et donc de fortes perturbations du cycle hydrologique continental.

1.5 Le Nakambé, seconde artère du « corps burkinabé »

1.5.1 L'Alphée¹⁷ « un cours d'eau qui fait rêver »

1.5.1.1 Le second bassin hydrographique burkinabé

Le Burkina Faso comprend quatre bassins versants nationaux : du Niger, du Nakambé, du Mouhoun, et de la Comoé. Le bassin international des Voltas est important ; il s'étend au centre et à l'ouest du pays sur 120 000 km² (**Fig. 17**). Il comprend quatre fleuves et rivières : le Mouhoun (ancienne Volta Noire), le Nazinon (ancienne Volta Rouge), le Nakambé (ancienne Volta Blanche), et l'Oti et son affluent le Pendjari. Ils se rejoignent au centre du Ghana pour se jeter dans le barrage d'Akosombo.

Le fleuve Nakambé (40 836 km²) se situe entre les latitudes 14°1' et 10°9' N, et les longitudes 2°5' et 0°1' E. Il draine l'un des plus importants bassins hydrographiques du Burkina Faso après celui du Mouhoun. Ainsi, le bassin du Nakambé, au sens bassin versant national, s'étend sur 81 932 km² (soit 30 % du territoire national). Il englobe le Sissili (7 559 km²), le Nazinon (11 370 km²), le Pendjari - Kompienga (21 595 km²), et le Nakambé (41 407 km²) (UNESCO, 2005 ; MEI, 2004).

¹⁷ Dans la mythologie grecque, l'Alphée est un « dieu fleuve ». En regard de l'importance du Nakambé au Burkina Faso, nous nous sommes permis d'employer ce terme.

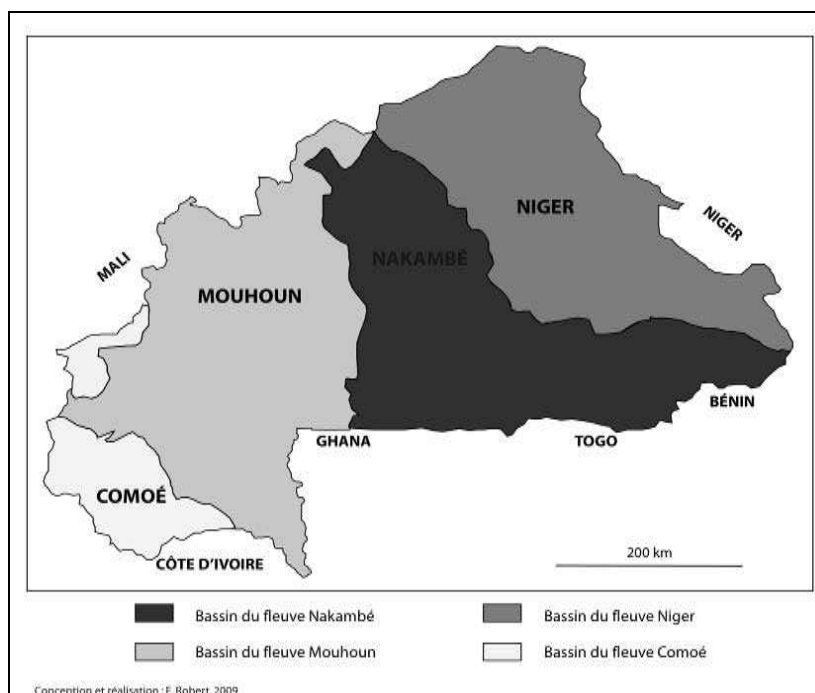


Fig. 17 : Les bassins hydrographiques du Burkina Faso

Long de 516 km, sur le territoire burkinabé, le Nakambé prend sa source, en zone sahélienne, à Yatenga à 335 m d'altitude dans la région nord-est de Ouahigouya sur le 14^{ème} parallèle (**Fig. 18**). Le bassin a une forme assez ramassée avec des indices de pente égaux à 0,46 m/km, son altitude moyenne est de 270 m (70 % de sa superficie est comprise entre 100 et 300 m d'altitude) avec un minimum de 60 m et un maximum de 530 m. Sa pente moyenne est de 0,33 m/km. Il s'écoule vers l'est jusqu'à Khaya. Puis, il prend la direction du Ghana où il reçoit le Nazinon après avoir traversé la frontière Burkina Faso/Ghana entre les villages Youda et Magommoé. Ces principaux affluents sont le Tcherbo, le Koulpélé, l'Ouaré, la Doubégué, la Nouhao, le Dougoula, le Moundi, le Yamako, le Bomboré, le Zini, le Diaoya, et le Massili. Ce dernier, le plus important (2 612 km²), draine les marigots de la région de Ouagadougou. Il s'agit d'une rivière temporaire s'écoulant de mai à octobre. La lame d'eau écoulée entre 1956 et 1970 a varié de 3,7 mm à 47,7 mm avec une valeur moyenne de 19,3 mm (MONIOD *et al.*, 1977).

Dans la région de la source du Nakambé, le bassin est quasiment endoréique. Les écoulements se concentrent dans les talwegs et les dépressions selon un réseau de chenaux d'érosion désordonné. Les lits des marigots bien marqués à l'amont, disparaissent progressivement vers l'aval, et évoluent vers des bas-fonds inondables. Cette organisation s'explique par un substrat géologique précambrien peu perméable et insoluble, et des stockages superficiels médiocres et aléatoires, accentués par la sécheresse persistante des dernières années.

Son système alluvial jeune, reproduit l'histoire de l'érosion de la plaine. Il comprend une plaine de remblaiement dans laquelle la rivière serpente en venant butter dans les convexités de sa courbe contre sa pénéplaine constituée soit par une cuirasse ancienne, soit par des granito-gneiss et des schistes. La plaine de remblaiement conserve les témoins des

divagations du lit sous forme de bras morts. Cette dernière est limono-sableuse à sableuse à l'aval, et argileuse à argilo-limoneuse en amont.

Ce fait s'explique par les caractéristiques des deux phases de sédimentations. D'une part, une première phase concomitante à la phase de colmatage. La Volta a alors remblayé son lit aval par les matériaux issus de l'attaque du socle par ses petites affluents et les rivières elles-mêmes. Le remblaiement a été principalement sableux, plus grossier en profondeur et plus limoneux en surface. Pendant que la Volta a remblayé son lit aval, les produits grossiers se sont déposés dans les affluents. D'autre part, durant la seconde phase le transport a été moindre sur la pénéplaine et le Nakambé. Des argiles se sont décantées dans la zone amont. Actuellement, le Nakambé et ses grands affluents entaillent ces alluvions récentes, surtout le remblaiement sableux à limoneux dans lequel ils s'encaissent. Dans la partie amont, l'encaissement est moins marqué. Malgré la fragilité des matériaux, il existe une symétrie des versants. Enfin, la largeur du système alluvionnaire est limitée à celle de l'ancien chenal : 300 - 500 m parfois 700 - 800 m.

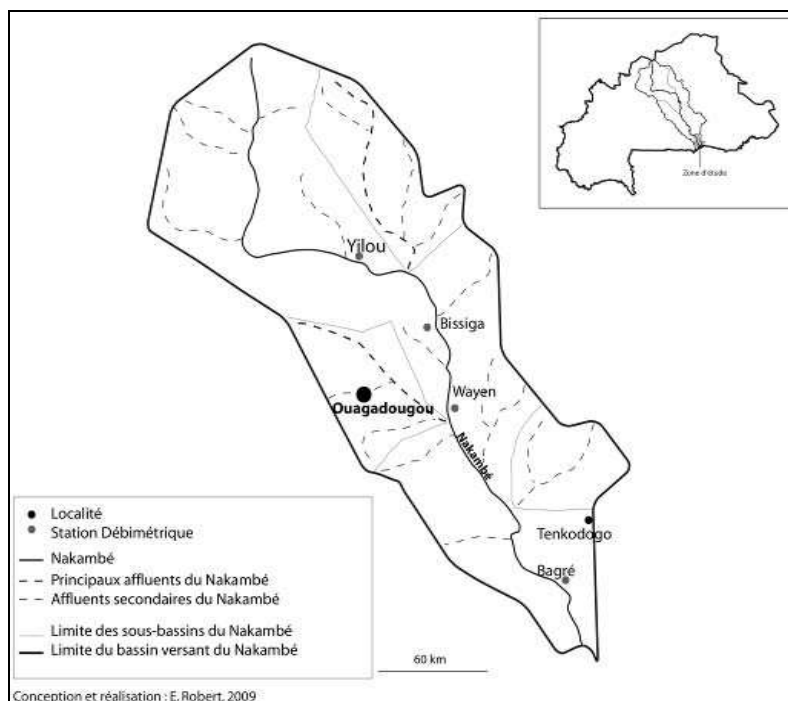


Fig. 18: Le bassin versant du Nakambé

Le module annuel médian de Nakambé est de $26,3 \text{ m}^3/\text{s}$, son débit spécifique de moins de $0,65 \text{ l/s/km}^2$, et son coefficient d'écoulement de $3,4 \%$ (MAHE *et al.*, 2010). La valeur maximale est observée avant la pointe de débit liquide. Le débit moyen interannuel est alors de $77,4 \text{ m}^3/\text{s}$. Quant aux mois de juillet, d'août et de septembre, ils représentent 88% des écoulements annuels avec respectivement des débits de $65,4 \text{ m}^3/\text{s}$, $145 \text{ m}^3/\text{s}$ et $107 \text{ m}^3/\text{s}$. Il est à noter, que lors de l'ouverture des vannes (en septembre) du barrage de Bagré, le débit du Nakambé a atteint $843,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (le 03/09/2008). Le 02/09/2008, à Wayen en période de crue, il était alors de $52,6 \text{ m}^3/\text{s}$ (YAMEOGO, 2009) (Fig. 19). Afin d'avoir une meilleure connaissance du bassin versant du Nakambé, il est intéressant de présenter les caractéristiques de ses sous - bassins (Tab. 2).

Les plus fortes concentrations s'observent en début et milieu de saison des pluies. L'écoulement est alors de $54 \text{ m}^3/\text{s}$ et la charge de $2,08 \text{ kg}/\text{m}^3$. Le transport de fond représente 25 % du transport en suspension. La charge dissoute est de 33 000 tonnes pour un taux de dissolution de $6 \text{ t}/\text{km}^2/\text{an}$. Le taux d'érosion est de $90 \text{ t}/\text{km}/\text{an}$ et la dissolution chimique représente 7 % de l'érosion totale (MIETTON, 1988).

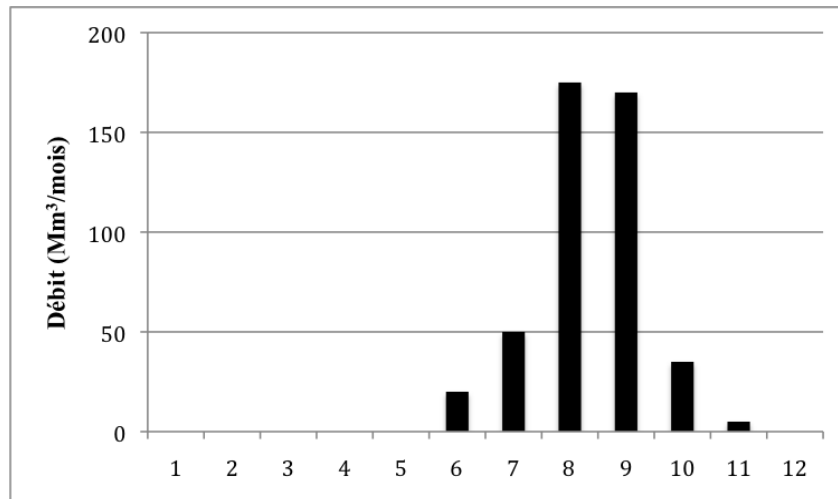


Fig. 19 : Débit moyen mensuel à Wayen (1990 à 2000)
Source : Volta HYCOS

Sous-bassin	Direction du drainage	Superficie 10^6m^2	Débit interannuel (10^6m^3)	Pluviométrie mm/an	Coefficient de ruissellement (%)
Yilou	Est	10,1	98	561	1,73
Bissiga-Yilou	Sud	6,865	54	574	1,37
Wayen-Bissiga	Sud	3,835	108	623	4,51
Bagré-Wayen	Sud-est	12,320	574	754	6,18
Bagré	Sud-est	33,120	826	643	3,88

Tab. 2: Caractéristiques hydrologiques du bassin du Nakambé
Sources : stations débit-métriques, stations météorologiques

Enfin, pour résumer, le bilan hydrologique du bassin du Nakambé (MEÏ, 2004) est :

- un volume de précipitations de 62,3 milliards de m^3 ;
- un écoulement à la sortie du territoire de 2,44 milliards de m^3 ;
- une capacité des retenues de 4,23 milliards de m^3/an , dont 2,2 milliards stockés ;
- 3,08 milliards de m^3/an de ressources renouvelables et 1,66 milliards de ressources exploitables. En année sèche, la ressource exploitée est de 0,77 milliards de m^3 pour une demande de 0,144 milliards de m^3 . La proportion de la demande par rapport à la ressource exploitable est de 8,7 % en année moyenne et de 18,7 % en année sèche,
- 80 milliards de m^3 d'eau souterraine, et 8,4 milliards d'eau infiltrée.

1.5.1.2 Le premier bassin démographique burkinabé

Le bassin du Nakambé est une zone de transition entre le Sahel et les régions forestières. Il s'agit de l'espace hydrographique le plus anthropisé du pays. En effet, il représente 80 % de la demande en eau du pays ; il alimente, en particulier, la capitale Ouagadougou. Par ailleurs, ce bassin versant regroupe plus d'un tiers de la population burkinabée soit environ 5 millions de personnes. Il a subi d'importantes migrations depuis les sécheresses des années 1970 et 1980. Son taux de croissance est de 3,5 % (supérieur au niveau national de 2,4 %). Il englobe également la plus grande zone de transhumance du pays, et comprend la majorité des activités agricoles, en particulier le long de son lit et de ses affluents. Les densités y sont donc fortes, supérieures à la moyenne nationale : 53 hab/km² contre 50 hab/km² (Recensement Général de la Population et de l'Habitation de 2006).

De multiples ouvrages hydrauliques ont alors été édifiés afin de répondre aux différentes demandes. Il constitue un véritable « pôle économique ». En conséquence, le fleuve Nakambé est barré par une quinzaine de retenues collinaires de 1 à 6 m et par de nombreux barrages plus ou moins importants (Loumbila, lac de Dem et de Bam, retenue de Bourzanga), Ziga et Bagré étant les deux plus étendus. Au total, ce bassin versant compte 436 ouvrages soit 40 % des barrages du Burkina Faso¹⁸ (Fig. 20).

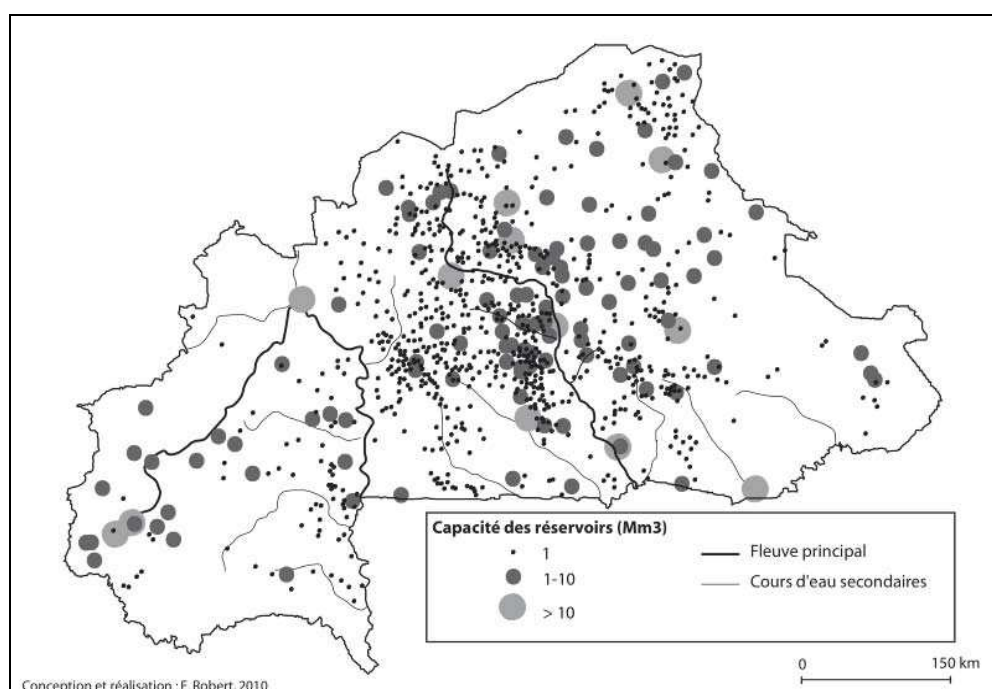


Fig. 20 : Les retenues d'eau au Burkina Faso
Sources : CPWF

Par ailleurs, l'utilisation de l'eau est une source de conflit dans certains secteurs notamment entre les agriculteurs et les éleveurs. Le bassin du Nakambé renferme également de nombreuses problématiques d'ordre environnementales. On peut citer la dégradation de l'environnement et la réduction de la fertilité des terres dues aux facteurs climatiques difficiles (pluie, ruissellement de surface, vent) et à l'action humaine. Des problèmes de pollution apparaissent aussi. Ce phénomène affecte les eaux de surface et celles souterraines

¹⁸ Ce pays comprend 1 500 lacs et réservoirs.

(agriculture, eaux usées domestiques, orpaillage, brasseries, tanneries, abattoirs...), ainsi que l'air (Ouagadougou)

Enfin, dans un contexte d'accroissement de l'envasement des retenues, on peut s'interroger sur les capacités des ouvrages à fournir de l'eau en quantité nécessaire. L'État burkinabé commence alors à porter son attention aux eaux souterraines.

1.5.2 Des écoulements de surface liés aux fluctuations pluviométriques saisonnières

Le réseau hydrographique est dense mais constitué de nombreux cours d'eau intermittents. Les écoulements s'effectuent entre la fin du mois de mai et le mois de mars. Cependant, dès les mois de novembre et de décembre, son niveau diminue ; et, à partir de janvier, les écoulements cessent comme pour la Doubégué. En avril et mai, dans les principaux affluents du Nakambé, il ne subsiste que des « trous » profonds (4 - 5 m) et des mares isolées. Néanmoins, en aval, la présence du barrage de Bagré permet une meilleure régulation.

En réalité, le régime du Nakambé est soumis aux fluctuations pluviométriques. La position géographique de sa partie supérieure influe donc beaucoup sur le régime fluvial. La pluviométrie de cette zone est seulement de 300 - 400 mm. Le débit du fleuve est constitué par une succession de crues causées par les précipitations, sous formes de lignes de grains ou d'orages brefs, et localisés sur des zones de 100 à 1 000 km. On observe trois mois de crues de la mi-juillet à la mi-octobre. La saison des pluies, correspond, alors, à la période de collecte des eaux.

La majeure partie du débit, à hauteur de Bagré, est fournie par le sous - bassin versant compris entre Wayen (situé après Ziga) et Bagré. Il couvre 15 000 km². En année normale, les aménagements et les utilisations en amont de Wayen influencent peu la retenue au niveau de Bagré. De même, lors de débits normaux, l'impact de l'ouvrage de Bagré sur le réseau ghanéen est faible. Ce qui est loin d'être le cas en année déficitaire ou excédentaire (inondations meurtrières au Ghana le 12 septembre 2010).

Enfin, la nappe phréatique est plus ou moins exploitable et peut être utilisée par l'intermédiaire des puisards. La nappe souterraine se situe à environ 60 m de profondeur. Cependant la géologie n'est pas favorable pour la formation de grandes nappes exploitables (les débits sont faibles moins de 5 m³/s) ; ces eaux dépendent de facteurs tectoniques et des zones lithologiques :

- des zones granito-gneissiques ou magmatiques correspondant aux nappes les plus étendues, dont l'épaisseur d'altération est faible, et donc le potentiel hydraulique limité ;
- des zones schisto-gréseuses ou volcano-sédimentaires représentant 15 % de la superficie du bassin du Nakambé. La frange d'altération est épaisse et composée d'argiles. L'altération est favorisée par l'hétérogénéité lithologique liée à l'alternance de roches vertes, de schistes, de quartzites... L'aquifère se recharge alors par infiltration directe, mais le renouvellement est lent 50 à 70 mm/an.

1.5.3 Le Nakambé, un fleuve affecté par la péjoration climatique

Suite à l'instauration de la sécheresse persistante, à partir de la fin des années 1960, on aurait pu penser que les débits diminueraient, or ce n'est pas le cas. Comme dans d'autres bassins versants (augmentation du coefficient d'écoulement de la Sirba, de la Gorouol, de la Dargol, de la Tapoa appartenant au bassin du Niger) (MAHE *et al.*, 2003), on observe une augmentation des débits du Nakambé suite à l'accroissement des coefficients de ruissellement en saison sèche causée par la dégradation des sols et de la végétation (changement dans le mode d'occupation des sols ayant des impacts sur le cycle hydrologique et la relation pluviométrie/ruissellement). Les régimes d'infiltrations ont diminué : moins de 10 mm/h. Les débits, quant à eux, ont augmenté de plus de 60 % entre 1965 et 1998 (PEUGEOT, 2003).

Le changement environnemental associé aux activités anthropiques a donc entraîné des modifications des cycles hydrologiques et des taux d'érosion hydrique. On a alors assisté à une augmentation des écoulements de surface et donc un envasement plus rapide, ainsi qu'une dégradation de la qualité des eaux (YONKEU, 2006). On se situe alors dans un contexte de dégradation de l'environnement s'accroissant et se traduisant par une réduction de la production des écosystèmes et par une surexploitation des différentes ressources naturelles. Par conséquent, on observe un déséquilibre entre la capacité de charge des écosystèmes naturels et leur intensité d'utilisation (MAHE *et al.*, 2005). Ce dernier est à l'origine d'une dégradation des états de surface et d'une modification de l'écoulement sur l'ensemble du bassin (HIEN *et al.*, 1996). Par conséquent, malgré la diminution des précipitations, on remarque une augmentation des écoulements à l'exutoire du bassin de Wayen : 19,10 mm de 1972 à 2001 contre 8,48 mm entre 1961 et 1970.

Les causes de la dégradation sont alors multiples. L'origine est, en particulier, la réduction pluviométrique observée depuis 1969. Les activités humaines jouent, également, un rôle important dans ce processus. Il s'agit tout d'abord de l'impact de la déforestation pour satisfaire les besoins en bois (chauffage, construction, industrie, délimitation de nouveaux champs, enclos, alimentation pour le bétail), mais aussi du défrichement afin d'augmenter les surfaces cultivées et d'amplifier la production tout en réduisant la jachère et en développant les cultures de contre saison. Par ailleurs, il ne faut pas omettre le surpâturage nuisant à la productivité de la strate herbacée et au développement de ligneux (ébranchage). Enfin, les feux de brousse, bien qu'interdits actuellement, ont eu aussi un impact.

Ainsi, cette augmentation de l'écoulement se traduit, d'une part, par une perte de terre par érosion provoquant une diminution de la réserve utile du sol et une perte d'éléments nutritifs pour les plantes. D'autre part, un comblement précoce des retenues d'eau s'opère : réduisant alors la capacité d'emménagement, conduisant à des conflits d'usage, entraînant une dégradation de la qualité des eaux. A titre d'exemple, dans le lac de Bagré, on assiste depuis 5 ans au développement de la jacinthe d'eau et de la salade d'eau mises en place suite à l'eutrophisation (elles favorisent aussi ce processus) et concurrençant les espèces indigènes. Les ouvrages risquent donc d'être sous dimensionnés et le bilan radiatif modifié.

En définitive, la majorité du bassin versant du Nakambé est un **milieu instable, où prédomine la morphogénèse sur la pédogénèse**. Il est donc peu propice aux actions biologiques et physico-chimiques susceptibles d'approfondir les sols. La combinaison entre les facteurs climatiques et les activités anthropiques donne lieu à des formes de dégradation allant de la disparition des formations forestières à l'apparition des sols nus avec formation de

croûte de battance. La question des impacts du changement climatique sur les ressources du Nakambé reste entière. Elle est essentielle vis-à-vis des enjeux socio-économiques et de la disponibilité en eau et en terre ; en particulier dans cet espace où l'occupation humaine est importante.

Il est alors essentiel d'appréhender conjointement les impacts de l'évolution pluviométrique et environnementale sur les ressources en eau et en terre. Le lac de barrage de Bagré en est un parfait exemple.

1.5.4 Le barrage de Bagré comme *eldorado*

1.5.4.1 Quelques données techniques

Le barrage de Bagré a été construit sur la partie du Nakambé appelé autrefois le « Zangoula » en référence à la forme de canari de la roche qui recevait les chutes d'eaux. Aujourd'hui, il s'agit d'un village situé à 18 km de Bagré chantier, abritant la dite roche (**Fig. 21**).

Le site a été repéré dès 1972. L'ouvrage a été bâti entre 1989 et 1993, et mis en eau en 1992, pour être inauguré le 13 janvier 1994. D'une longueur de 4,3 km pour une hauteur de 40 m et une largeur de 8,5 m, il est ainsi érigé dans la moyenne vallée du fleuve Nakambé. Le lac de Bagré est alimenté par un bassin versant de 33 500 km². Il est établi sur un substrat constitué de roches cristallines du socle précambrien. Le modèle est celui d'un vaste glacis descendant très lentement vers le lit du Nakambé par des pentes rectilignes rarement interrompues par des reliefs résiduels. La pente, de part et d'autre du Nakambé, est de 0,4 % à 1 % ; tandis que la pente générale du lit de la rivière, dans la zone du barrage, est de 0,365 % (ALOU, 1997). Il s'agit d'un bassin faiblement entaillé par un réseau hydrographique peu encaissé et assez diffus. L'espace du lac du barrage de Bagré dispose d'un réseau hydrographique bien hiérarchisé. Tous les cours d'eau, y compris le Nakambé, sont temporaires. Les principaux affluents de la zone sont la Bègue, la Derpi, la Doubégué, la Koulipélé, la Koulwoko, la Lempa, la Niassa, la Nouaho, et le Tcherbo.

La superficie moyenne du lac de Bagré est de 20 000 ha, soit 14 % de la superficie en eau du Burkina Faso (**photo 4** et **photo 5**). Celle maximale est de 25 500 ha, avec un volume de 1,7 milliards de m³. L'apport annuel moyen est de 1 267 millions de m³. L'utilisation se répartie alors comme suit : 12 % pour les besoins agricoles, 68 % au turbinage, 13 % d'évaporation, et 7 % au déversement. Il s'agit donc d'un ouvrage à double vocation hydroélectrique et hydroagricole. Il est important de souligner que 30 000 ha sont irrigables (MOB, 2002) : 22 900 ha par pompage en amont, et 13 900 ha en aval (7100 ha par gravité). Ces espaces sont cultivés en riz. La zone d'influence relève de la MOB (Maîtrise d'Ouvrage de Bagré) ; quant à l'usine hydroélectrique, elle est gérée par la SONABEL (Société Nationale de l'Electricité du Burkina). La MOB est un établissement public à caractère administratif doté de personnalité morale et d'autonomie financière. Elle coordonne toutes les opérations pour la réalisation et la valorisation de l'aménagement de Bagré. Elle s'est occupée des appels d'offres pour les travaux du barrage, de la centrale, des lignes électriques, ainsi que de la mise en eau et de l'inauguration officielle par les autorités. Elle a réalisé le volet agricole par la mise en place de 2 100 ha en rive gauche du Nakambé, et de la mise en valeur de la retenue par le développement de la pêche à partir de 1994. De nouveaux travaux

d'aménagement en rive droite (1 000 ha) ont débuté en 1995 avec l'aide technique et financière de la République de Chine. Actuellement, la SONABEL assure l'exploitation du barrage. La MOB se préoccupe de la mobilisation financière pour l'aménagement des périmètres irrigués à l'aval du barrage.

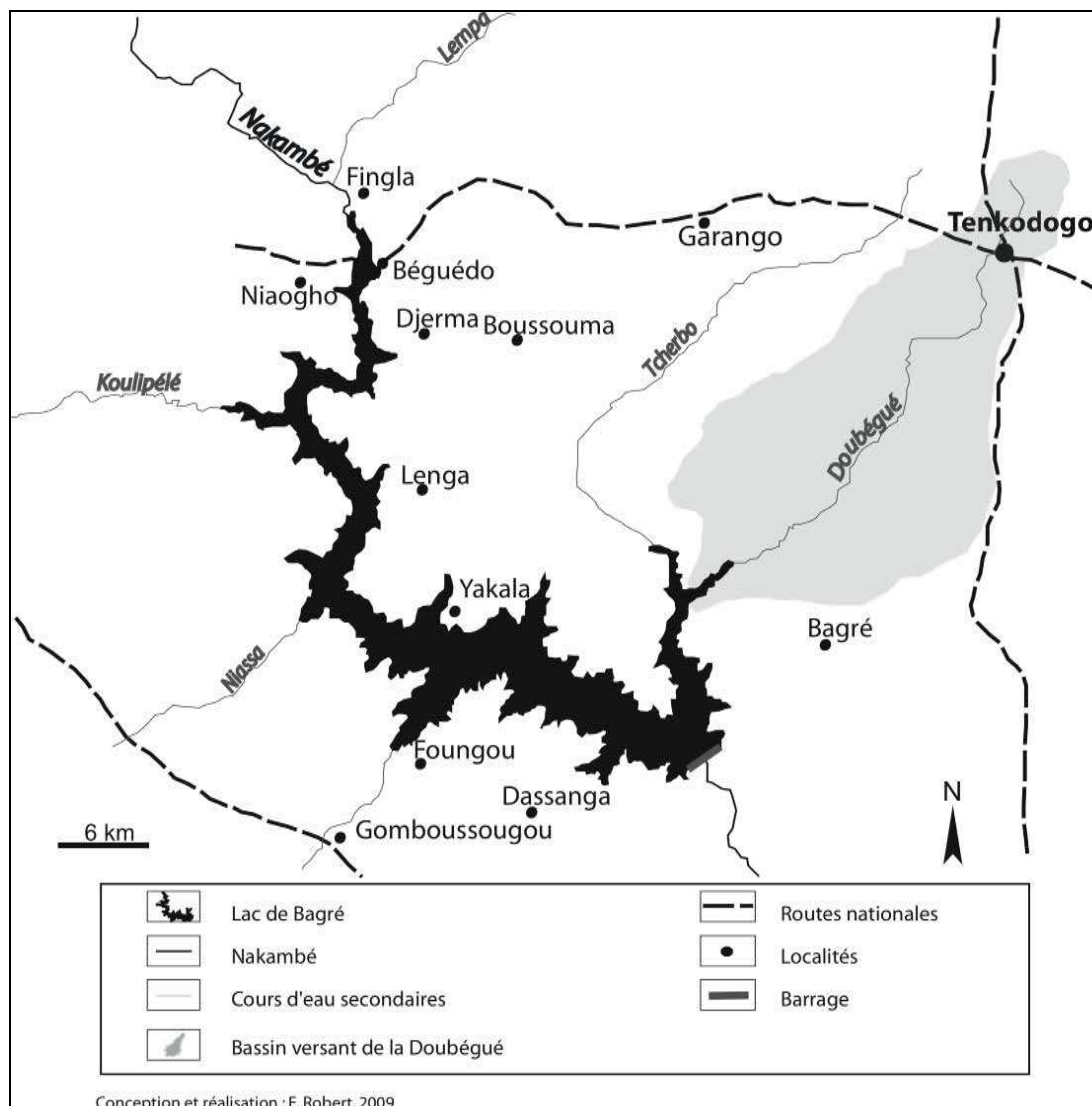


Fig. 21: Présentation de la région du lac de barrage de Bagré



Photo 4: Le barrage de Bagré (second plan)



Photo 5: Le lac de barrage de Bagré

Clichés : E. Robert, 2009

-Elodie ROBERT-

Les risques de pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué (Burkina Faso) : pour une gestion intégrée

Le marnage du lac de barrage de Bagré oscille entre 2,3 m et 8 m. Il existe une forte corrélation entre la pluviométrie annuelle et les variations du marnage. Les années excédentaires d'un point de vue pluviométriques sont 1998, 1999, 2003, et 2008. L'apport en eau se fait dès le mois de juin. Puis, à l'arrivée de la saison sèche l'intrant devenant inférieur au flux sortant (turbinage, irrigation, évaporation (perte de 27 % du volume)), les côtes chutent. Les minimales et les maximales s'observent respectivement en mai - juin et en septembre et début octobre. Ces variations importantes du niveau de l'eau laissent apparaître de larges zones inondables sur les rives. La superficie augmente de 50 à 70 % au moment des fortes pluviosités. Il n'y a pas de variations brutales mais un cycle annuel régulier que l'on peut diviser en trois périodes: une baisse lente en saison sèche et froide, une diminution plus rapide en saison sèche et chaude, et une augmentation nette et franche en saison humide. Nous présenterons les caractéristiques physique (turbidité, température, pH et conductivité) et physico-chimiques au cours du chapitre 6 lorsque nous aborderons les questions de turbidité dans le bassin de la Doubégué.

Enfin, dans l'ensemble on observe une mauvaise recharge des nappes du fait de la faible perméabilité des argiles gonflantes et des potentialités moyennes en eau souterraine. Cependant, la mise en eau du barrage a permis une remontée de la nappe phréatique facilitant les forages (eau claire, très calcaire avec une dureté élevée) et le creusement de puits traditionnels.

La création de cette retenue a profondément modifié le milieu physique de Bagré mais elle a également affecté l'environnement humain.

1.5.4.2 Un lac qui attire : immigration et recompositions territoriales

Le lac de barrage de Bagré a des buts multiples. Il doit prioritairement assurer l'irrigation de 7 400 ha de périmètre en aval et produire de l'électricité pour la ville de Ouagadougou. Par ailleurs, l'ouvrage a été bâti afin de pallier les aléas de la pluviométrie. Il s'agit donc de maîtriser l'eau et de parvenir à l'autosuffisance alimentaire. Bien qu'elle rencontre des difficultés d'ordre climatique (péjoration climatique), les caractéristiques de la zone du lac de Bagré rendent cette région propice aux activités agricoles et pastorales. Par ailleurs, depuis la mise en eau du barrage, ces dernières se sont fortement développées, auxquelles s'est associée la pêche. La construction de cet ouvrage constitue alors un apport pour les populations locales et les nouveaux arrivants. La zone est redevenue attractive, bien que le niveau de vie reste faible.

La création du lac de barrage a donc été à l'origine d'arrivée de nouvelles populations, comme les pêcheurs. Les professionnels sont principalement des étrangers (Togolais, Béninois, Ghanéens, Maliens). Par ailleurs, de nouvelles activités sont apparues telles que les transformatrices de poissons. Les Peul manquant d'espace et d'aliment en quantité suffisante ont également choisi cette région comme nouvelle terre. Certaines populations agricoles du Plateau Mossi, densément peuplé, ont aussi tenté leur chance en direction du lac. Dans un cadre de modifications climatiques et foncières, ces arrivées ont entraîné une pression sur l'environnement et de nouveaux conflits. Nous développerons davantage ces points dans le deuxième chapitre.

Pour les populations autochtones, la mise en eau du lac de barrage de Bagré a surtout entraîné de profondes modifications et recompositions territoriales. De nombreuses terres cultivables ont été ennoyées. Les espaces les plus affectés se localisent dans la zone amont du lac qui a subi la perte de parcelles riches. Les populations ont alors dû faire face en s'orientant principalement vers la rive droite. Cette recomposition s'observe également dans le domaine sanitaire. Suite à la mise en eau du lac, la progression des fronts agricoles s'est faite selon la dynamique classique des terroirs soudano-sahéliens. Les hameaux de culture (**photo 6**) ont été réactivés principalement en direction de la rive droite (**Tab. 3**). Les mouvements de déplacements ont ainsi été allongés en distance et en durée. Par conséquent, **la mise en eau du lac a modifié l'espace agraire et augmenter le parcellaire** (« terroir éclaté ») (**Fig. 22**).



Photo 6: hameau de culture en Pays Bissa, localisé sur une parcelle de coton
Cliché : E. Robert, 2009

Année	Rive droite du Nakambé	Rive gauche du Nakambé	Total
1991	44,0	56,0	100
1998	57,4	42,5	100

Tab. 3 : Répartition (en %) des zones de culture déclarées par les exploitants (n=186),
Source : d'après OUEDRAOGO F.C., JANIN P. 2004.

Cependant, en zone amont, la création du lac de barrage a entraîné un avantage par la création de trois CSPS (Centre de Santé et de Promotion Sociale¹⁹). De plus, la pratique du maraîchage, sur les bords du lac, a favorisé l'apport d'argent, et, par la même, une meilleure fréquentation des structures sanitaires. Quant aux marchés, ils ont gagné en importance. Les populations se rendent, alors, plus facilement et fréquemment aux CSPS localisés dans les mêmes villages que les marchés, ou se situant sur leur trajet. Malheureusement, ces déplacements au centre de soins sont essentiellement saisonniers. Ainsi, au cours de l'hivernage, le taux de fréquentation chute. A l'inverse, en saison sèche, il y a une meilleure disponibilité temporelle conditionnant le recours aux services médicaux (**Tab. 4**). Celle-ci est due au retour des actifs dans les concessions villageoises.

¹⁹ Il s'agit d'un ensemble d'infrastructures comprenant un dispensaire, une maternité, un centre social et un dépôt pharmaceutique.

Suite à la création du lac de barrage, les déplacements aux CSPS sont donc dictés par le calendrier agricole et par la recomposition territoriale (allongement des temps de déplacement) (OUEDRAOGO *et al.*, 2004).

Enfin après avoir présenté le fleuve Nakambé et un de ses principaux ouvrages (le barrage de Bagré) essentiel dans la région, il convient de présenter un des affluents de ce lac : la Doubégué qui est le cadre de notre étude.

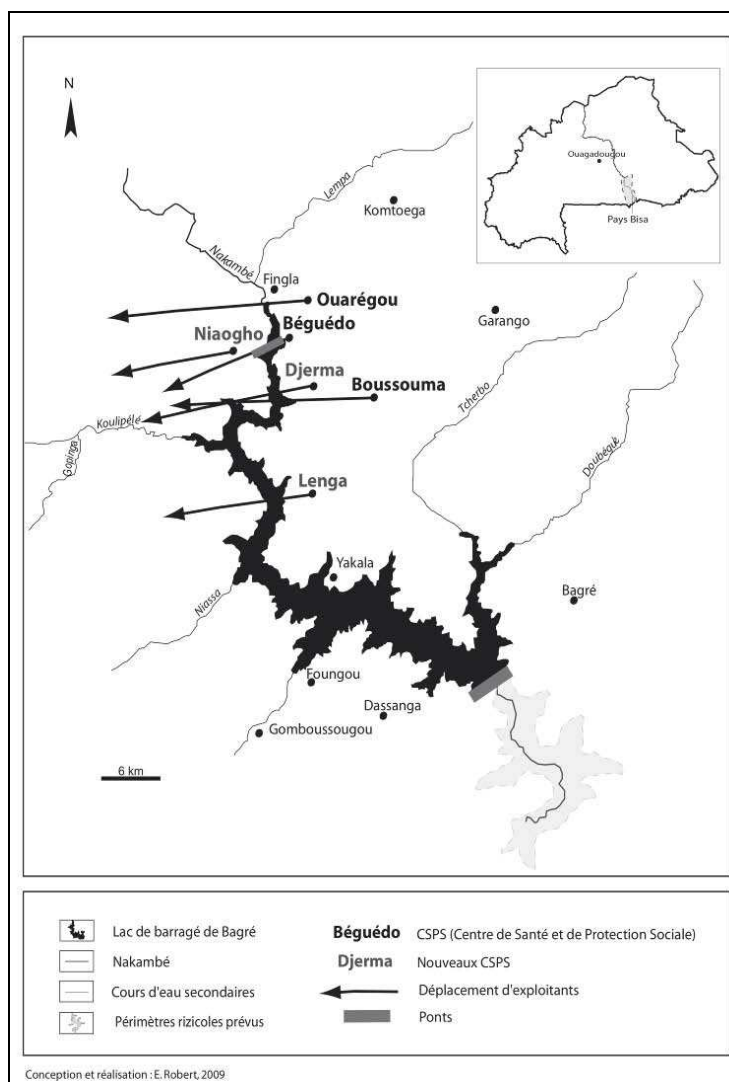


Fig. 22 : Les recompositions agraire et sanitaire suite à la mise en eau du lac de Bagré
Sources : d'après données Ouédraogo et Janin, 1998

CSPS	Béguedo	Boussouma	Djerma	Lenga	Niaogho	Ouarégou	Total
Saison pluvieuse	38,7	47,4	45,3	49,4	35	44,1	41,4
Saison sèche	61,3	52,6	54,7	50,6	64,9	55,9	58,6

Tab. 4: Variation saisonnière de la fréquentation (en %) des CSPS, en 1997

Source : d'après OUEDRAOGO et JANIN. 2004

1.5.5 Le bassin versant de la Doubégué, liaison entre Tenkodogo et Bagré

La Doubégué est une rivière prenant sa source au nord de Tenkodogo au lieu-dit Pésséré. Il s'agit d'un affluent de rive de gauche du lac de barrage de Bagré. Ce cours d'eau est particulièrement intéressant à étudier car il relie la principale ville de la région, Tenkodogo, à ce grand barrage. Son bassin versant s'étend sur 500 km² (**Fig. 23**). Sa longueur est d'environ 35 km. La Darzé, le Bassaré, le Vavaguin, le Nama rejoignent la Doubégué dans le département de Bagré.

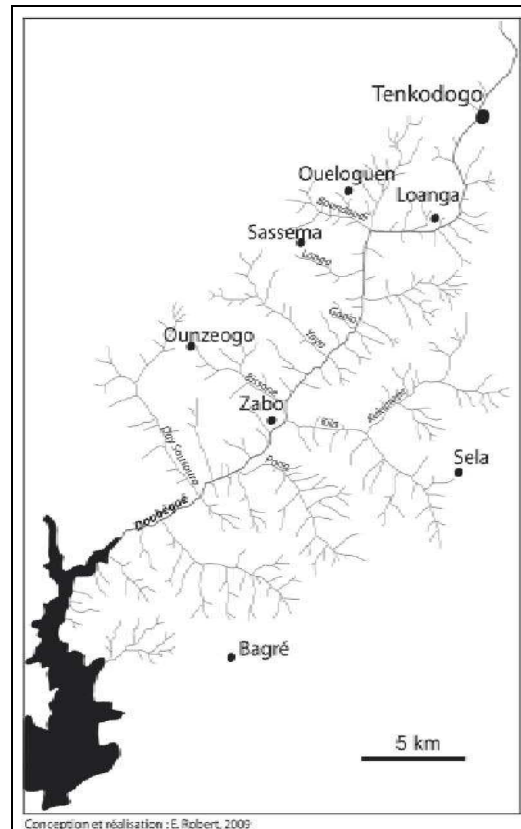


Fig. 23 : Le bassin versant de la Doubégué

Le nom de « Doubégué » n'évoque pas, pour la majorité de la population ce cours d'eau. En effet, au niveau de Tenkodogo, où il s'agit d'un lieu sacré, il est alors appelé **Kulbalé**. Parfois, il est nommé Bissogota (principalement dans sa partie amont), Loung Kwila au niveau de Belcé, Koukoulé, ou encore Zangola (en zone aval). Ces principaux affluents sont en rive droite le Boundoudi et le Day Sousouro ou Guy, et en rive gauche le Gnagna ou Kila et le Pona.

Par ailleurs, comme de nombreux cours d'eau burkinabé, la Doubégué et ses affluents sont soumis aux fluctuations saisonnières. Ils sont alimentés par les eaux de pluies s'arrêtant de s'écouler après la saison des pluies, principalement en décembre. Néanmoins, certains conservent de l'eau en contrebas de leurs lits. Toutefois, ces derniers se tarissent également après leur utilisation par les populations et les animaux.

Enfin, le bassin versant de la Doubégué comprend l'ensemble des activités agropastorales présentes dans la région de Bagré.



Le Burkina Faso, et plus précisément la région de Bagré et de la Doubégué, ont été affectés par une péjoration climatique principalement pendant les années 1970 et 1980. Cette réalité a alors accru la fragilité préexistante de ce « milieu » (sols pauvres, irrégularité des pluies inter et intra-annuelles, dépendance des écoulements de surface à la pluviométrie...). La végétation a également été affectée et on a assisté à des modifications dans les faciès biogéographiques.

À ces changements « naturels » qui ont influencé l'évolution de l'environnement de la région de Bagré, se sont associées des modifications causées par les activités humaines (mise en eau du barrage de Bagré, accroissement démographique, arrivée de nouvelles populations pratiquant de nouvelles activités, réformes politiques et foncières...), ainsi que des adaptations des sociétés face à ces perturbations du milieu. Le paysage est bien souvent à l'image de l'Homme. Ce sont ses choix, ses activités, ses actions qui le façonnent et lui donnent son visage. Ainsi, le Pays Bissa a, au cours de son histoire, dû prendre possession et construire son territoire.

En effet, dès la fin des années 1980, la Province du Boulgou est touchée par des problèmes de conservation des ressources naturelles. En 1988, le BUNASOL a établi que 25 % des terres étaient dégradées. Or, la « dégradation des ressources se nourrit de plusieurs paramètres. L'Homme est au centre de tout » (NIMY, 2006). Il est alors essentiel de s'intéresser à la sphère anthropique de ce territoire, afin de le comprendre dans sa totalité avant d'aborder le thème central de notre écrit : les risques de pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué.

Chapitre 2

Une anthropisation en pleine mutation

Au Burkina Faso, la question agraire a une place majeure dans la compréhension du fonctionnement des sociétés, et, par la même, dans leurs rapports à leur environnement. Ainsi, le rapport à la terre induit un système agraire. « *La compréhension d'une situation agraire à un moment donné suppose nécessairement celle de son histoire, au moins récente, ainsi que l'identification des phénomènes qui ont participé aux transformations constatées* » (BOSC et al., 1991 in. NIMY, 2006). Il est alors essentiel de connaître : les origines du peuplement de cette région burkinabée et ses évolutions lors de la période coloniale puis à l'Indépendance ; le droit relatif à la propriété terrienne (l'accès à la terre) ; la tenure foncière (les types de cultures et d'exploitation familiale, les pratiques agricoles). Dans un secteur où la majorité de la population travaille et vit du secteur agricole, la compréhension du système agraire est alors essentielle. Elle permettra de mieux comprendre les processus en jeux et à l'œuvre au niveau du sol. En effet, ce dernier est la matière première pour le cultivateur, mais est aussi révélateur des pertes de fertilité et des marques d'érosion. La connaissance de ces risques de pertes en terre requiert donc la **compréhension du système agraire** dans le pays Bissa.

Il convient également de présenter la seconde activité du bassin versant : l'élevage. En 2000, suite à l'augmentation des conflits entre pasteurs et agriculteurs, dans un contexte d'accroissement démographique et de dégradation du couvert végétal, deux zones pastorales ont été créées dans le bassin versant de Bagré : du Tcherbo et de la Doubégué. On peut alors s'interroger sur l'intérêt et l'efficacité d'une telle réalisation. Face aux modestes résultats, on s'interrogera sur la pertinence et la viabilité de ce nouveau territoire afin de réfléchir aux évolutions qu'il serait susceptible d'y être apporté dans la perspective d'un développement socio-économique des populations pasteurs en partenariat avec les autres communautés de la région de Bagré. Enfin, afin de compléter ce chapitre et d'avoir une vision globale de l'environnement humain du bassin versant de la Doubégué, nous présenterons les autres activités qui jouent également un rôle important dans le fonctionnement et le développement de cette région : la pêche, le commerce, ainsi que le complexe éco-touristique de Bagré.

2.1 Une occupation ancienne bouleversée au cours du XX^{ème} siècle

2.1.1 À l'origine, le Pays Bissa

2.1.1.1 Un espace fortement peuplé

Le Pays Bissa²⁰ est l'une des régions les plus peuplées du Burkina Faso, après le pays Moose (ou Mossi). Il se localise dans la région Centre-Est du Burkina Faso, et est traversé par le fleuve Nakambé (second bassin hydrographique du Burkina Faso) (**Fig. 24** et **Fig. 25**). Cet espace s'étend sur les départements de Niaogho, Béguedo, Boussouma, Komtoéga, Garango,

²⁰ Le mot Bissa peut également s'écrire Bisa.

Zabré, Yargatengo, Bittou, Bané (province du Boulgou), de Gomboussougou, et sur une partie de celui de Gogo (province de Zoundwéogo). Dans cette région ouest du Pays Bissa, le dialecte est principalement le *lebiri* ou *lebri*.

L'économie de cet espace repose essentiellement sur la culture de productions vivrières (84 % des cultures). Il s'agit principalement du mil, du sorgho, et du maïs. Cette région compte également une agriculture commerciale de céréales comme le riz, mais aussi de l'oignon, de légumes européens, et d'arachides. Par ailleurs, c'est un espace d'élevage de bœufs (appartenant pour 40 % aux Peul), et une des plus importantes zones de transhumance. Il est traversé par les troupeaux venus du plateau Mossi.

Enfin, la densité de la région est de l'ordre de 75 hab/km², supérieure à celle du pays (50 hab/km² en 2006). Cette différence est récente et repose sur les efforts d'assainissement des aménageurs de l'AVV (Aménagement des Vallées des Voltas) entamés dans les années 1970, dont les résultats ont été perceptibles à partir de la décennie suivante. Dans la région de Bagré, à l'ethnie autochtone principale Bissa (71,14 % de la population totale), s'adjoignent les Mossi (18,74 %) et les Peul (8 %) (MANDE et DIARRA, 2002).

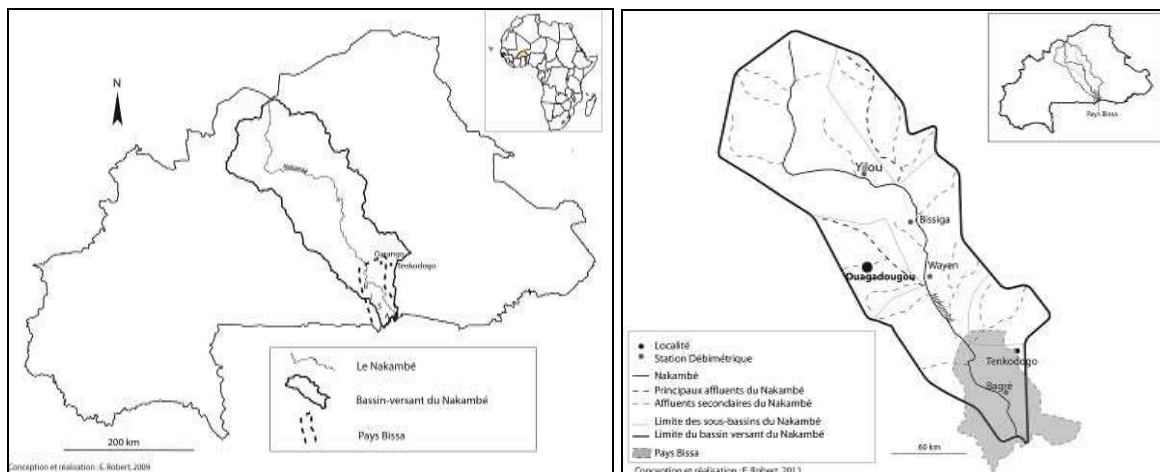


Fig. 24 et Fig. 25 Localisation du Pays Bissa au Burkina Faso

2.1.1.2 Le peuplement en Pays Bissa

Il semble que les populations Bissa aient été chassées au XVII^{ème} siècle par les Mossi. Ils durent quitter Ouargaye et Bittou et s'installèrent au niveau de Garango (nord et est du Nakambé), de Boussougou (plus au sud et à l'ouest), de la Zabré, de la Yoroko et de la Béka (trois rivières situées plus au sud), où ils créèrent de nouvelles chefferies. Les villages comptaient souvent plus de 800 personnes, et n'étaient pas considérés comme une unité d'habitat mais comme « une agglomération qui fait bloc dans un paysage » (GOSSELIN, 1978). Il s'agit de multiples concessions dont chacune représente un lignage ou segment de lignage. Elle se caractérisait par une vaste enceinte close. Le chef de la Terre se nommait le *Tengsoba*. La femme était plus autonome par rapport à son mari que dans la société Mossi. Elle disposait de son ou de ses propres champs, et pouvait avoir des activités personnelles en dehors de l'activité familiale. Ces faits sont encore une réalité aujourd'hui. Par ailleurs, des réseaux d'entraides existaient : le *yawolé* (forme d'association de cultures : invitation de cultivateurs pour des travaux durs (sarclages, récoltes, battages) aux différents membres des concessions, des voisins) et le *yéwolé* (association d'entraide principalement chez les jeunes). La cohésion à cette époque est donc un élément central de l'organisation du territoire Bissa.

Actuellement, ce schéma classique a évolué suite à des scissions, au développement du salariat agricole, à l'émigration, à la modernisation agricole, au courant monétaire...

A la différence de l'organisation Mossi, l'occupation en Pays Bissa se caractérisait par de **grandes discontinuités et des noyaux de peuplement d'importances variables entre lesquels subsistaient d'importants espaces forestiers**. Pour les Mossi l'organisation était politisée, centralisée, hiérarchisée. Il s'agissait de petits villages, de concessions réduites à une famille. L'unité de résidence était le *zaka* (8 à 10 personnes) et le territoire agraire se décomposait en champs de case (mil, sorgho blanc et condiments) et en champs de brousse (sorgho, maïs, sésame, coton, et arachides). Les femmes n'avaient pas de liberté d'exploitation ; l'ensemble des productions était géré par le mari. Les réseaux d'entraides étaient également présents : le *ossoagha* peut être comparé au *yawolé*, et le *nam* au *yewolé*. Comme pour les Bissa, l'organisation a perduré mais la cohésion n'est plus aussi présente.

A l'origine, la majorité des groupements Bissa étaient de petites tailles. Néanmoins ils ont augmenté au fil des temps, en particulier au cours du XIX^{ème} siècle. Leur aire d'occupation s'est agrandie, et on a observé la création de nouveaux villages dans la brousse : Niarba (à l'ouest), Niaogho, Samsagbo, Gotinga, Kagna, Bourma et Zépa (toutes trois au sud), Sawatoré, Sao, etc. Cependant, la colonisation des vallées ne s'est pas réalisée du fait de l'insalubrité du milieu et des attaques des différents Royaumes Mossi (Manga, Ouagadougou, Koupéla, Tenkodogo).

A l'aube du XX^{ème} siècle, le terroir Bissa supportait de fortes densités. Cette organisation était liée à la mise en place d'une agriculture intensive sous parc à *Acacia albida*, avec fumure animale, effectuée sur des espaces réduits. Dans les années 1980, ils demeuraient encore quelques exemples (**photo 7**). Cette méthode a été évoquée par HERVOUET (FAURE, 1996).



Photo 7 : Parc à *Acacia albida* en Pays Bissa

Sources : FAO, Y. Roederer/CTFT (Centre Technique Forestier Tropical), 1986

2.1.2 L'ère coloniale et l'Indépendance

2.1.2.1 La modification des pratiques culturelles sous l'ère française

A la fin du XIX^{ème}, les Français et les Anglais étaient en sérieuse rivalité pour contrôler le territoire suite aux accords de Berlin. « *Il s'agissait de gagner de vitesse les Anglais afin de tirer parti des stipulations de l'acte final de la conférence de Berlin (26/02/1885) qui mettait comme condition à toute possession de territoires africains, une occupation effective* » (BLET, 1980, tome 3, cité page 138). Les transformations résultant de la conquête firent désormais des vallées des lieux de sécurité, au détriment des espaces densément peuplés. Auparavant l'insalubrité du milieu, les incursions Mossi, Dagomba et Djerma en avaient fait une zone d'insécurité hostile à toute installation humaine. Cela a alors affecté sérieusement les systèmes agraires et a favorisé l'émergence d'une **nouvelle territorialité contraire aux relations préexistantes**. L'occupation française a rendu caduc le savoir territorial et les interdits construits au tout de l'insalubrité de la vallée.

En définitive, le régime administrant colonial a joué involontairement un rôle déterminant dans le **peuplement des vallées** par l'intermédiaire de mouvements de fuites de populations voulant se soustraire à l'impôt de captation, au recrutement de tirailleurs, aux cultures de rentes obligatoires (en particulier du coton), aux réquisitions de main d'œuvre pour les chantiers publics ou privés, aux travaux locaux pour l'entretien des routes, des ponts et au portage. Les populations Bissa des villages des interfluves se sont donc réfugiées dans la « brousse » et une émigration massive s'est également opérée en direction de la *Gold Coast* (actuel Ghana) entre les années 1920 et 1940. On a assisté à une diminution du nombre de travailleurs agricoles. Cette époque a aussi synonyme de la fin de l'utilisation des parcs à *Acacia albida* et des techniques agricoles intensives.

Dans un premier temps, la pénétration française a **inversé le rôle des deux espaces** (interfluves/bas-fonds) : déplacements des populations vers la vallée devenue un lieu de refuge. Dans un second temps, l'occupation coloniale a surtout été à l'origine de l'essor et/ou de l'aggravation de l'onchocercose contenue jusqu'alors par les fortes densités de l'occupation de l'espace et les pratiques agricoles intensives.

2.1.2.2 Le développement de l'onchocercose jusqu'aux années 1970

En introduction, il convient de présenter l'onchocercose qui est une maladie répandue dans l'ensemble de la zone intertropicale, et endémique du Pays Bissa. Cette filariose provoque des lésions cutanées et oculaires sévères, et dans sa phase ultime une cécité irréversible. Elle est due à une filaire (un ver : *Onchocerca volvulus*) se développant (phase larvaire et nymphale) dans les courants rapides des rivières et transmise à l'homme par un moucheron de couleur sombre (une simule, *complex Simulium damnosum*). L'onchocercose ne se déclare qu'à partir d'un certain nombre de piqûres infectantes de mouches ; il s'agit d'une maladie par accumulation (**Fig. 26**). Quelques mois après, trois types de lésions peuvent apparaître : des tumeurs saillant sous la peau renfermant les vers adultes, des lésions cutanées aiguës et chroniques source de grattage (la gale filarienne), et des manifestations oculaires pouvant entraîner la cécité.

La densité de la population prévient la déclaration de la maladie. Cette dernière se **développe alors lors d'un déséquilibre entre l'organisation des groupes sociaux et l'exploitation de leur environnement**. Le système de culture intensif associant agriculture et

élevage sous parc *Acacia albida* a permis aux paysans Bissa de contenir la maladie par ces fortes densités ; le nombre de piqûres était insignifiant par rapport aux nombre d'habitants.

Mais, la quantité de piqûres par personne a augmenté lorsque les villages ont été contraints par l'exigence de la mise en valeur coloniale (obligation de doubler les emblavures pour augmenter la production) d'adopter des techniques de cultures extensives et par la fuite des populations. La maladie est alors passée à un stade épidémique dégradant la santé des habitants de la région, et multipliant les cas de cécité (FAURE, 1996). Cette évolution s'est opérée pendant la 1^{ère} moitié du XX^{ème} siècle, avec son apogée dans les années 1940. HERVOUET estime qu'en zone soudanienne des densités inférieures à 35 et 50 hab/km² entraînent un taux de transmission tel que la maladie évolue rapidement vers la forme la plus grave : la cécité.

Enfin, les médecins et les entomologistes distinguent trois niveaux d'endémicité :

- l'hyperendémie : plus de 60 % d'onchocerciens, et 5 à 14 % d'aveugles (exemple de Niarba pendant la période coloniale avec respectivement 82 % et 10 %) ;
- la mésoendémie : 30 à 60 % d'onchocerciens, et un taux de cécité de 1 à 1,5 % ;
- l'hypoendémie : taux de prévalence inférieur à 30 %.

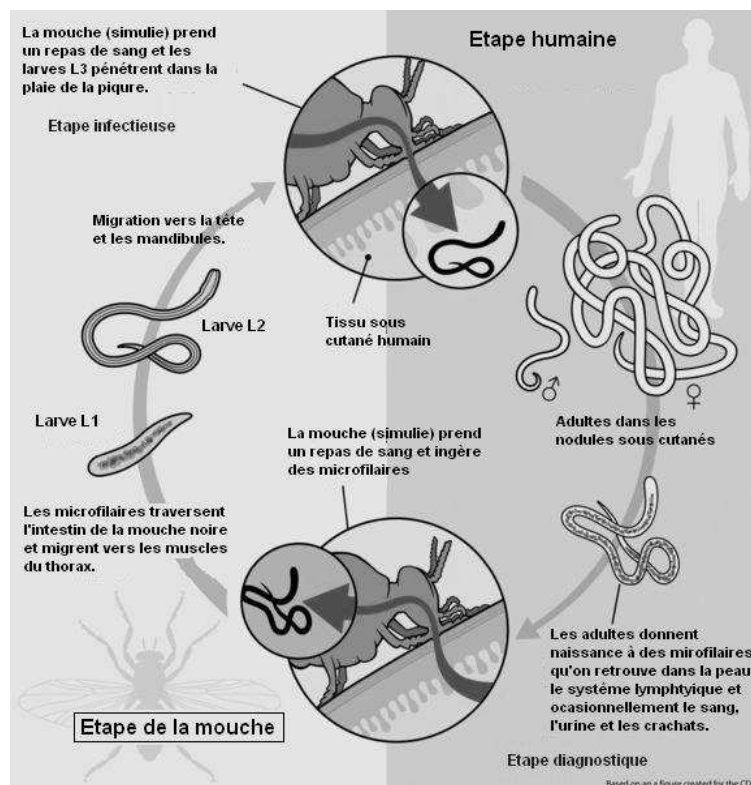


Fig. 26 : Schéma du fonctionnement de l'onchocercose

Source : [http://fr.academic.ru/pictures/frwiki/76/Life_Cycle_of_Onchocerca_volvulus\(French_version\).JPG](http://fr.academic.ru/pictures/frwiki/76/Life_Cycle_of_Onchocerca_volvulus(French_version).JPG)

Il est alors important d'étudier la transmission de la maladie et ses effets sur la démographie dans le Pays Bissa.

2.1.2.3 L'adaptation des populations à l'expansion de la maladie : « vallées désertes » et « plateaux surpeuplés » (LACOSTE, 1980)

L'onchocercose existe depuis longtemps dans cette région, le 1^{er} rapport administratif la signalant est daté de 1917 dans le canton de Loaba (sous-préfecture de Tenkodogo). Il en

est fait également état en 1927 lors du recensement à Mankarga (sous-préfecture de Zorgho). Puis, en 1938, RICHET chargé de l'assistance médicale aux populations de Niarba a dépeint cette maladie comme un grave problème de santé publique détruisant les énergies humaines. « *Enfin, nous avons remarqué en plusieurs villages que l'association de la volvulose avec d'autres affections endémiques (ankylostomiase notamment) aggrave le tableau morbide à tel point que les villages éprouvés sont parfois menacés de disparition complète* » (RICHET, 1938). L'occupation des vallées par de faibles densités de population a alors entraîné le l'essor de l'onchocercose (identification du foyer d'onchocercose par Richet en 1938). Le nombre de piqûres par personne a alors augmenté ; la maladie a atteint un stade épidémique dégradant la santé des populations et multipliant les cas de cécité (FAURE, 1996). Ainsi, pendant la période 1900 - 1947, un nombre important de village a été créé en direction des vallées pour fuir le joug colonial. Souvent insuffisamment peuplés, ils n'ont pu faire face à la l'onchocercose. L'impact de cette dernière a alors eu comme corollaire l'abandon de nombreux sites. Avant 1947, elle avait alors causé l'abandon de 63 villages sur 124. L'organisation du territoire Bissa a donc évolué sous le poids de cette maladie avec comme conséquence la disparition de nombreux villages : Gotinga, Zindi, Bourma et Zépa au sud de la circonscription de Garango ; Sao et Sawatoré très proches de la vallée (au sud de Lenga) ; Tapsé, Kalhini et Gargandé au nord de Garango ; et Niarba en rive droite (**Fig. 27**) (ROLLAND et BALAY, 1969). La durée moyenne des implantations humaines était alors très faible : 51 % des sites n'atteignant pas 20 ans (HERVOUET, 1983). Les vallées ont donc été totalement désertées sur plusieurs kilomètres de part et d'autre du Nakambé.

La maladie a essentiellement touché les petites communautés rurales isolées perturbant l'équilibre économique de subsistance. L'onchocercose affecte davantage les espaces de savanes que les domaines forestiers. Ainsi, pour les habitants très affaiblis tout travail devenait impossible abaissant la productivité. La sous-nutrition résultante a alors aggravé les conséquences désastreuses des parasitoses. Un cercle vicieux s'est trouvé constitué : volvulose, ankylostomiase, avitaminose (LAHUEC, 1979). Au cours de la 1^{ère} moitié du XX^{ème} siècle, l'organisation du territoire Bissa a évolué sous le poids de l'onchocercose.

Cependant, après les années 1950, les habitants de la région ont établi un système minimisant les effets de l'onchocercose. LAHUEC a mis en évidence une différenciation entre les lieux d'habitations et les terres agricoles. La colonisation agricole s'effectuait à de longues distances (20 km) des espaces habités. Les populations avaient pleinement conscience de la maladie. « *On cultive là-bas pour gagner la nourriture, mais on ne peut pas y habiter car on deviendrait tous aveugles* » (paroles de paysans LAHUEC, 1979). Elles établissaient donc la relation entre le mal dont elles souffraient et la proximité des cours d'eau (biotope du vecteur onchocerquien) ; elles ont donc développé une attitude d'évitement de ces lieux.

Néanmoins, il existait aussi des facteurs secondaires accélérant ces abandons : les animaux sauvages carnassiers, les prédateurs de cultures, la trypanosomiase, et les autres endémoépidémies (méningites cérébro-spinale, grippe espagnole de 1918 faisant 8 000 morts), les contraintes coloniales, et les exactions des chefs (LAHUEC, 1979).

Dans les années 1970, les densités étaient alors de nouveau particulièrement fortes au niveau des interfluvies et diminuaient en direction de la vallée. Le secteur sud de Tenkodogo portait des densités supérieures à 75 hab/km², puis de 20 à 49 hab/km² jusqu'au nord de Zaba,

et après une courte transition (5 à 19 hab/km²) la région localisée jusqu'au fleuve présentait des densités inférieures à 5 hab/km² (LAHUEC, 1979). Il faudra attendre les années 1980 et surtout 1990 pour que les vallées soient de nouveau davantage habitées.

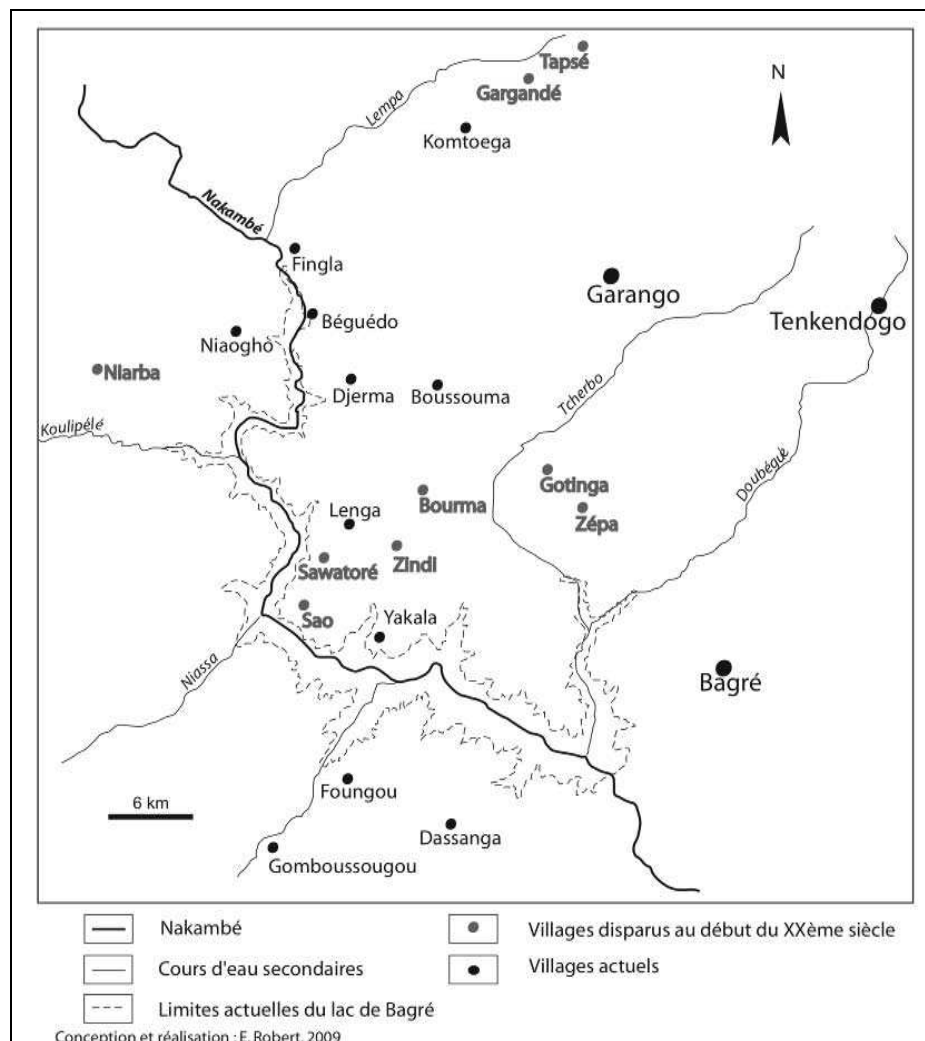


Fig. 27 : L'impact de l'essor de l'onchocercose sur quelques villages de la région de Bagré
Sources : BD ORTHO, BD TOPO, Lahuec 1979

2.1.2.4 L'éradication du fléau : l'essor de la vallée

A Partir des années 1960, suite à la fin des travaux forcés et aux retours des migrants, les mouvements démographiques ont repris. Il faut, toutefois, attendre les années 1970 pour que soit lancé un plan d'éradication de la maladie.

En 1966, un programme d'action de développement et d'aménagement est mis en place à Ouagadougou. Puis, durant les années 1970 est lancée l'éradication de l'onchocercose au Mali, au Togo, en Côte d'Ivoire, au Bénin et au Niger (650 000 km² et 11 millions d'habitants). En 1973, au Burkina Faso est démarré l'aménagement de Linoghin. C'est à la suite de l'application du programme OCP (*Onchocerciasis Control Program*) par l'OMS, à partir de 1974, que la vallée du Nakambé, et plus largement des Volta, est devenue l'objet de convoitises d'acteurs divers à des fins agricoles (riziculture irriguée et cultures céréalières sous pluies), pastorales, piscicoles... Ce programme, d'une durée de 20 ans, avait pour objectif de réduire la transmission de l'onchocercose. Son succès est indéniable. Avant la

mise en place du programme OCP, on évaluait le nombre de personnes infectées en Afrique de l'Ouest entre 2 et 2,5 millions de personnes affectées. En 1986, on estimait que 3 millions d'enfants étaient nés sans être infectés (KELLY *et al.*, 1986). Au Burkina Faso, 12 000 personnes entre 1976 et 1982 ont évité la perte de leur vue grâce à ce programme (PROST et PRESCOTT, 1984). Le but était d'interrompre le cycle porteur - vecteur - parasite de l'onchocercose en détruisant le vecteur. La stratégie de l'OCP consistait à détruire les larves du vecteur (*simulium damnosum*) se développant à partir des œufs déposés dans les eaux à courant rapide des rivières et des cours d'eau. Le programme a traité 18 000 km de gîtes larvaires en appliquant des larvicides par l'intermédiaire d'hélicoptères et d'avions à voilure fixe. Ainsi, la simule a été contrôlée et la transmission de l'onchocercose interrompue. Dans un second temps, ce dispositif a été couplé à un suivi épidémiologique et à la distribution de médicament aux populations à risque ou contaminées. Cela a fait suite à la découverte par le centre de recherche des laboratoires Merck&Co.Inc en 1975, d'une substance active : l'ivermectine qui prendra le nom de Mectizan®²¹. En conséquence, en 1988, le programme de donation Mectizan® a été lancé (GAXOTTE, 1998). Son objectif était la distribution gratuite de ce médicament. Sa diffusion a connu une progression constante du fait du partenariat entre les organismes privés et publics, notamment dans le cadre de l'OCP (reconduit jusqu'en 2014).

Parallèlement à l'OCP, le 05/09/1974 était créé l'AVV, établissement public, chargé, entre autre, d'éradiquer la maladie. Son objectif était la mise en valeur des zones inhabitées ou sous-peuplées des vallées des Voltas et de leurs affluents. Sa mission se subdivisait en trois points principaux. D'une part, elle devait organiser l'implantation des colons volontaires, diminuant ainsi la population du Plateau Mossi. D'autre part, il s'agissait de promouvoir l'utilisation des techniques agricoles améliorées en vue d'obtenir une production maximum tout en sauvegardant la fertilité des sols et en préservant les équilibres écologiques. Le développement d'infrastructures de base était nécessaire. Enfin, elle devait protéger les réserves naturelles et les forêts dans lesquelles la faune sauvage sera préservée, et établir un programme de reboisement.

Au cours des années 1980, on a observé un retour à un système d'agriculture intensive traditionnelle, mais cette fois-ci de décrue avec des associations complexes en saison sèche (oignon, patate douce, manioc et sorgho). Suite à l'accélération du processus de destruction des galeries forestiers et des formations arborées secondaires, on s'est inquiété de savoir si la mise en culture des vallées libérées de l'onchocercose par le Programme de Lutte contre l'Onchocercose (OCP) n'aurait pas des conséquences écologiques irréversibles, notamment pour l'érosion des sols (MOUCHET et BRENGUES, 1990).

La maladie a donc obligé à repenser l'aménagement du territoire en passant par son éradication. Ces actions ont entraîné de nouvelles mobilités : arrivées de migrants (surtout depuis les années 1980), retour vers le fleuve, modifications des pratiques... Toutefois, l'implantation du lac de barrage de Bagré va être à l'origine de l'apparition et/ou de la recrudescence de maladies (paludisme, bilharziose...), de recompositions territoriales, de nouvelles mobilités (entre les deux rives, selon les saisons), et de nouveaux rapports à l'eau.

²¹ Son absorption provoque une diminution rapide du nombre de microfilaires. Il provoque la paralysie des microfilaires détruits dans les ganglions lymphatiques, et empêche la reproduction du parasite adulte.

2.1.2.5 Les conséquences sanitaires de la mise en eau du barrage de Bagré

Les lacs de retenue des barrages submergent des gîtes à simuliés. Mais, ils créent également d'énormes possibilités de développement du paludisme, de la bilharziose et de filarioses. Leur incidence sur ces maladies dépend des conditions épidémiologiques locales.

Tous les lacs de retenues sont colonisés par des hôtes intermédiaires (bulins ou planorbe) de schistosomes entraînant au bout d'un délai variable une apparition ou une augmentation des bilharzioses. Ce sont des affections parasitaires dues à de petits vers du genre *Schistosoma* déclenchant chez l'homme des troubles urinaires, intestinaux, hépatiques ou spléniques. Le cycle biologique exige deux hôtes : un mollusque, hôte intermédiaire, qui abrite la forme larvaire, et un vertébré hébergeant le parasite adulte. Le cycle évolutif du parasite explique que les enfants soient particulièrement vulnérables (jeux d'eau et baignades), ainsi que les adultes travaillant au contact de l'eau. En définitive, le mollusque se positionne comme une usine multipliant les schistosomes qu'il déverse dans le milieu aquatique. L'augmentation concomitante des surfaces hydriques et des densités humaines, rendue possible par le lac de Bagré, a donc abouti à une multiplication des rapports homme - eau bénéficiant aux parasites des bilharzioses. Des études menées au niveau du site de Bagré ont mis en évidence la présence de schistosomes dans 92 % des 443 échantillons d'urine analysés (ZAN, 1992). Et en 1998, suite à une analyse des impacts de ce barrage et de ses aménagements, le Ministère de la Santé estimait à 80 % le nombre d'enfants de plus de 8 ans atteints de la bilharziose. Cette même année, une campagne de lutte a alors été lancée dans la région.

Par ailleurs, la prolifération des plantes aquatiques entraîne celles des moustiques (*Mansonia*). Les gîtes pour les vecteurs du paludisme ne poseraient pas un problème si la région avait une haute endémicité. Or, ce n'est pas le cas dans la région Bissa. Ainsi, les conséquences pathologiques du paludisme ne sont pas directement corrélées à l'intensité de la transmission, mais sont modulées par l'immunité. Cette dernière se fragilise lors d'un changement de faciès épidémiologique. Il faut un certain temps avant que la relation homme/milieu se stabilise vers un nouvel équilibre (au bout de 2 ans, puis diminution). Ce fait dépend des caractéristiques entomologiques : anthropophilie (tendance de certains insectes à s'alimenter de préférence sur l'homme) des vecteurs, durée du cycle gonotrophique (succession des phénomènes physiologiques qui se produisent chez un arthropode vecteur entre le repas sanguin et la ponte des œufs) (MOUCHET *et al.*, 1991). Suite à la mise en eau du barrage de Bagré, **le paludisme est devenu la première affection de transmission hydrique**. Il provoque des absences répétées aux champs, le non-respect du calendrier agricole et donc un plus faible investissement au travail. Cette maladie affecte donc la capacité productive des exploitants. Néanmoins, suite à une adaptation au milieu, on peut envisager une immunisation partielle.

Par ailleurs, les canaux d'irrigation constituent de bons gîtes pour certaines espèces anophèles et les mollusques. Les surfaces irriguées, en particulier les rizières, comme à Bagré, sont des sites de production à grande capacité pour certains anophèles et culicidés (sous famille de moustique comprenant les genres *Aedes*, *Culex* et *Mansonia* pouvant transmettre des maladies comme des affections virales, la filariose lymphatique, la fièvre jaune, la dengue mais pas le paludisme). Ce sont des milieux évoluant en quelques semaines, formant une succession de biotopes très favorables à la pullulation de diverses espèces de moustiques.

L'ombrage des tiges de riz évite de brusques réchauffements de l'eau. La végétation fournit aux larves de moustiques des abris contre les prédateurs. Ainsi, *A. gambiae* est pullulant dans les rizières à Bagré.

Enfin, les insecticides employés en agriculture, surtout pour le coton et le riz, ont entraîné un développement de la résistance chez les anophèles (en particulier pour le *A. gambiae* au Burkina Faso).

En définitive, dans ce nouveau contexte écolo-anthropique, il existe une faiblesse des moyens de prévention des maladies à vecteurs. D'un point de vue médical, la région de Bagré semble particulièrement vulnérable. De plus, la dégradation de son environnement risque d'accentuer cet état sanitaire (bactéries et éléments chimiques adsorbés sur les particules ou directement transportés par les écoulements de versants jusqu'aux cours d'eau). Il conviendrait alors de généraliser l'emploi de moustiquaires, de les imprégner de deltaméthrine. La prise de médicament pourrait être favorisée par des campagnes de sensibilisation et par la mise à disposition des produits dans les dépôts pharmaceutiques. On pourrait ainsi diminuer l'incidence des manifestations pathologiques du paludisme. Il faudrait recommander d'installer les habitations à 3 ou 4 km de la rizière afin de diminuer le risque d'impaludation. La construction de latrines pourrait également abaisser les schistosomiasés. Le succès de ces mesures de lutte aura une retombée sur le développement agricole. Il est, alors, essentiel de **développer des actions intersectorielles (médicale et agricole) dans le domaine de la prévention des maladies à vecteur.**

Après avoir présenté, l'évolution du peuplement, des pratiques culturelles et des maladies observées dans la région de Bagré, il convient d'aborder le mode d'accès aux différentes ressources, et principalement la terre ; thème essentiel pour comprendre la gestion des sols. Il s'agit des prémices pour appréhender le rôle de l'Homme dans la dégradation et la protection des sols et plus largement des ressources naturelles qui sera davantage développé au cours des chapitres suivants.

2.2 Le mode de contrôle foncier actuel : coexistence des systèmes traditionnel et moderne

Le foncier est défini comme un « *ensemble de rapports entre les hommes impliqués par l'organisation de l'espace* » (FRECHOU in. LE BRIS *et al.*, 1982). Pour les Bissa, « *on désigne par propriété un ensemble de règles abstraites qui déterminent l'accès, le contrôle, l'usage et le transfert et la transmission de n'importe quelle réalité sociale qui peut-être un enjeu (...) c'est-à-dire apparaître comme une condition de la reproduction de la vie humaine* » (GODELIER, 1978).

Dans la région Bissa, depuis l'instauration du droit moderne, on dénombre quatre types de droits combinés : le droit traditionnel, le droit coutumier, celui instauré à partir de 1984 suite à la RAF (Réforme Agraire Foncière), et donc le moderne. Le droit instauré dans les années 1980 a eu, comme conséquences, de profonds bouleversements dans les conditions d'accès aux terres et explique les pratiques actuelles.

2.2.1 Le droit avant l'Indépendance, un droit traditionnel puis coutumier

Le droit traditionnel est aussi qualifié de droit précolonial. Il intègre les droits de chasse et de pêche des « maîtres de génies ». Le mode d'accès des producteurs à la terre est l'héritage, le prêt, ou le don. L'accès au foncier se fait de manière traditionnelle. L'idée principale qui prévaut, est que l'accès à la terre ne peut être refusé à tout homme ayant besoin de faire vivre sa famille. Tout demandeur s'adresse à un « *gâag-soba* » (un hôte) qui le conduit au chef de village. La terre n'est ni vendue, ni soumise à un impôt. Pour les Bissa, « *la terre est notre mère* ». Selon leurs croyances, « *nous vivons grâce au soutien de Dieu et de la terre et nous, à l'époque moderne, même avec de grandes eaux telles celle de Bagré, nous continuons d'avoir recours à la terre* ».

Dans le droit coutumier, la terre revient au premier occupant. Ce droit a été inventé sous la colonisation, et relève de la chefferie du village. La loi coloniale a introduit la notion romaine de propriété individuelle, aliénable et prescriptible, distincte du Domaine d'État. Les législateurs ont ainsi invité les possesseurs de terre à procéder à l'immatriculation de leur bien. Les décrets, de 1906 et de 1928, donnent la primauté du titre foncier sur le droit coutumier. A partir de 1955, les titres fonciers sont délivrés seulement si la terre est mise en valeur. En réalité, ces différents décrets sont peu appliqués.

2.2.2 Le droit moderne « révolutionnaire »

Suite à la Réforme Agraire et Foncière de 1984, un décret a été promulgué en 1985. Il a supprimé la propriété individuelle des fonds de terre. La terre est alors transférée à l'État par la création du Domaine Foncier National (DFN) annulant les titres fonciers précédents et incluant les terres « *détenues en vertu des droits coutumiers* ». L'article 1 stipule que « *la terre appartient à l'État* ». Les titres sont remplacés par des droits de jouissance. Les terres de la région Bissa font partie des terres détenues en vertu des coutumes. Certaines sont intégrées au programme de mise en valeur du barrage de Bagré, les autres devront être aménagées dans le cadre du Programme National de Gestion des Terroirs (PNGT).

La RAF a purgé les droits coutumiers, et mis fin aux conflits sur le statut des terres libres (appartenant à aucun clan ou chef coutumier). Mais le droit a été détourné de son sens et interprété comme : « *les terres libres appartiennent à ceux qui les travaillent* ». La RAF a alors donné l'impression d'un accès ouvert et gratuit aux réserves frontalières. En conséquence, dès 1984, des défrichements hâtifs se sont effectués en prévision d'un éventuel remaniement de la tenure foncière qui tiendrait compte de l'occupation effective des sols. Cela se traduit, entre autre, dans la région de Bagré, par la création de nouveaux villages par des populations allochtones chassées par les sécheresses successives.

L'année 1984 est marquée par un événement purement naturel (l'année la plus sèche du siècle), et par une modification de l'ordre institutionnel et politique (l'annonce de la RAF). Après en avoir ou non avisés les autorités coutumières, les migrants spontanés se sont enhardis et installés sur les terres fertiles des abords du Nakambé. Il s'agit d'une véritable révolution idéologique qui a permis à ces derniers de s'établir sans craindre les discours et les pratiques d'intimidation des gardiens des réserves foncières (chefs de villages et prêtres de la terre). Parallèlement, les CDR (Comités de Défense de la Révolution) ont été créés pour

disposer et exploiter les terres, et délimiter les superficies et leur exploitation. Souvent, ils ont été composés par des parents des responsables villageois. En réalité, les CDR ont été davantage des surveillants ; et leurs recours furent rares. En effet, la réforme n'est pas acceptée par tous. En 1987, un chef de village résume parfaitement la situation de l'époque : *« on dit que la terre n'appartient à personne, ou bien qu'elle appartient à tout le monde. Mais notre terroir c'est quand même notre terroir ; et on ne peut pas venir l'occuper sans notre consentement »* (Ministère de l'eau, société africaine d'études et de développement, bureau pour le développement, 1987).

Suite à ces événements, en 1987, le gouvernement a adopté le PNGT. Il s'agissait d'un programme de développement à petite échelle permettant aux populations résidentes de renforcer leur pouvoir de décisions dans les terroirs et de contrôler l'utilisation des ressources naturelles. La gestion était collective, participative, et encadrée par des équipes professionnelles agissant comme des conseillers. La réussite était liée à une restructuration concertée de l'espace. Il fallait que le programme soit participatif sans devenir un programme d'assistance. Une autre solution aurait pu être d'éliminer les conditions d'accès libre et de réduire la destruction des ressources naturelles en privatisant les terres et en incitant les individus à investir. Et, la mise en place de ce programme n'a pas empêché, entre 1985 et 1990, la poursuite de la colonisation de nombreuses terres libres par des cultivateurs Bissa des départements très peuplés du nord (Béguédo, Ouarégou, Niaogho), et par les Peul et les Mossi originaires respectivement du Nord et du Plateau Central. On a aussi assisté à la renaissance de certains villages créés pendant la période de résistance à la colonisation.

Cependant, à partir de 1991, ce droit « moderne » est devenu plus libéral en permettant l'appropriation des terres. Ainsi, la loi de janvier 1997 a autorisé la propriété privée, et a rendu l'investissement plus attractif. *« Les terres du Domaine Foncier National peuvent être cédées à titre de propriété privée aux personnes physiques ou morales dans des conditions fixées par le kiti²². Les terres ainsi cédées cessent d'être la propriété de l'État »*. Cette loi introduit un nouvel organe la Commission Villageoise de Gestion du Terroir (CVGT). L'accès à la propriété s'appuie sur un bornage ponctuel au cas par cas. Il n'existe pas de cadastre national. Néanmoins, aucune modification du statut des terroirs ni des pratiques coutumières n'a été entreprise par les services publics dans la région. En définitive, **la RAF prévoit le côtoisement de trois systèmes : le public (Domaine Foncier National), le privé, et le coutumier**. Les deux premiers sont reconnus explicitement dans le texte alors que le dernier est considéré comme transitoire, en attendant la mise en place effective des CVGT.

En 2001, Louis Berger et Sahel Consult résume l'état de la question foncière dans la région de Bagré, et par la même dans le bassin versant de la Doubégué. *« Le régime foncier moderne tire sa force de la loi et se résume, pour tous ceux à qui cette loi est opposable, à un principe : la terre appartient à l'État qui peut, dans certaines conditions, accorder le droit d'exploitation (mines et carrières) ou le droit d'appropriation (cour d'habitation). La prééminence du droit de propriété de l'État sur la terre lui permet, dès que ses intérêts le commandent, de prendre toutes les dispositions utiles (déguerpissement, relogement, etc.) pour permettre l'utilisation des terres dans leurs domaines d'utilité : tel le cas de Bagré. »*.

²² Kiti signifie décret sous la Révolution.

2.2.3 L'interconnexion des lois modernes et traditionnelles

À l'heure actuelle, malgré toutes ces évolutions, le droit coutumier prédomine encore pour les populations. La logique d'appropriation est le droit des autochtones, le droit de conquête, et celui de mise en valeur. Pour ne pas perdre leur droit, les propriétaires exercent alors une surveillance sur l'usage qui est fait des terres qu'ils prêtent. Une telle situation rend difficile l'édification de sites antiérosifs, l'amendement des sols, la plantation d'arbres régénérant, et l'aménagement des bas-fonds. En effet, l'usager désirant mettre en valeur sa terre sait que le détenteur du sol peut lui reprendre à tout moment. Néanmoins, face au droit moderne, la coutume recule, comme le déclare un chef de village : « *l'État fait reculer la coutume, mais la coutume fait rarement reculer l'État* » (BERGER et Sahel consult, 2001). Par ailleurs, **les agriculteurs sont de plus en plus nombreux à être propriétaires de leur terre**. « *Il s'est donc instauré une dualité entre les règles traditionnelles et les lois modernes et le double jeu des acteurs* » (OUEDRAOGO, 2002 in. NIMY, 2006).

Ce nouveau droit est assez mal accepté par les populations qui ont le sentiment que ces réformes (comme la création des CVGT) sont imposées de l'extérieur (État). Il est alors essentiel de mettre en place « *un mode de régulation négocié, adopté et légitimé localement, tout en se calant dans la législation nationale en vigueur* » (BARRIERE, 2002 in. NIMY, 2006). Ainsi, depuis juin 2009, la loi (Loi 034-2009/AN) reconnaît les maîtrises foncières traditionnelles ; et les populations lésées par la mise en eau du barrage de Bagré entendent bien faire valoir leur droit en s'appuyant sur ce nouveau texte (UICN, 2010).

Par ailleurs, il réside un problème qui est la superposition des différentes normes internationales, étatiques, privées, et locales. Par conséquent, il existe un flou. En réalité, le droit burkinabé prend comme modèle la législation internationale et entrelace certains éléments de la législation des différentes autorités. En définitive, les villageois « jonglent » avec les deux modèles. Ils suivent les règles du « *village tout en se rappelant celles administratives surtout si elles peuvent être utiles* » (NIKIEMA, 2005).

2.2.4 Les cas particulier de l'arbre et de l'eau

En pays Bissa, il n'existe pas d'arbre libre. A l'état sauvage, il appartient à un génie (*toor*), dans le cas contraire à un homme : celui qui l'a planté ou ses descendants.

Le mode d'accès à l'eau, contrairement à celui de la terre, n'est pas autant règlementé. L'utilisation est libre pour l'ensemble des usages domestiques et les abreuvements des animaux. L'eau est considérée comme libre d'accès, elle est gratuite. Il n'y a pas de gestion particulière. Dans la culture traditionnelle, il existe des prêtres chargés de satisfaire les génies de l'eau (*Mamy-wata*). Chaque année, il y a, alors, des sacrifices.

Néanmoins, il existe une gestion moderne qui rappelle celle de la terre. Les ressources superficielles et souterraines appartiennent à l'État. Il y a une distinction pour les populations entre le droit d'usage qui est libre, et la propriété. Dans le cas des ouvrages hydrauliques, l'eau revient d'abord à l'initiateur de la construction, puis aux populations riveraines.

Enfin, la gestion des ressources forestières est fondée sur des usages traditionnels. L'accès est peu règlementé, ce qui compromet leur gestion durable. Toutefois, des textes sont peu à peu créés, reste à les mettre en application.

Le mode d'accès au foncier est alors en pleine transition et tend à l'extension de la propriété. Sa présentation et sa compréhension sont essentiels, mais doivent être complétées par l'exposé des types de culture et des modes d'exploitation afin d'avoir une vision globale du système agraire de notre zone d'étude.

2.3 Les types de cultures et l'évolution des modes d'occupation des sols

Le secteur agricole représente 33 % du PIB du Burkina Faso et occupe 85 % de la population active. Le bassin versant de la Doubégué ne fait exception. La part de l'espace cultivé s'est étendue au détriment du « milieu naturel » principalement depuis le milieu des années 1980 (cf. Chapitre 2). Il s'agit d'un système essentiellement de type vivrier, de petites superficies (exploitations familiales).

2.3.1 La prédominance de l'agriculture pluviale de faible productivité

L'agriculture est tributaire de facteurs climatiques peu favorables, de l'accroissement rapide de la population, de la gestion traditionnelle des terres, et de la dégradation des ressources naturelles. Cela se traduit par une agriculture de subsistance, extensive et une pratique rudimentaire. Le moyen le plus répandu est la daba traditionnelle (**photo 8**). Toutefois, elle cède, peu à peu, la place à la charrue (**photo 9**).



Photo 8 : Daba
Cliché : E. Robert, 2008



Photo 9 : Agriculteurs de Douka préparant un champ
Cliché : E. Robert, 2009

Les semis s'effectuent en ligne (forte diversification et peu d'engrais), en quinconces (peu de fumure), ou en poquets. En définitive, les engrais sont rarement utilisés.

La quasi-totalité des superficies cultivables sont exploitées entraînant une réduction de la jachère, et l'exploitation des zones fragiles ou de pâturage (surtout dans les bas-fonds).

2.3.1.1 Les principales denrées alimentaires cultivées

L'agriculture est l'activité dominante des habitants de la région de Bagré occupant plus de 70 % de la population active. Elle s'étend durant la majeure partie de l'année avec l'exploitation des périmètres agricole, et la pratique de cultures maraîchères (comme activité de contre saison), ainsi qu'un peu d'arboriculture.

On rencontre essentiellement une agriculture de type pluviale, en particulier des cultures vivrières, notamment des céréales. Ces dernières représentent plus de 90 % des besoins calorifiques de la population et occupent 84 % des superficies cultivées. Les

rendements moyens du mil, du sorgho, du maïs et du riz ont connu un accroissement. La consommation des céréales locales, base de l'alimentation humaine, est estimée à 180 kg/personne/an. Afin de mieux comprendre la répartition des différents types d'occupation du sol, le calendrier agricole, et par conséquent l'état de protection des sols, il convient de présenter les cultures exploitées dans le bassin versant où dominent celles du mil, du sorgho et du maïs :

- le mil est la principale culture céréalière pluviale (**photo c de la Planche photos 4**). Elle s'effectue essentiellement sur les sols sableux. Il s'agit d'une graminée de haute taille 2 à 4 m, se reproduisant par fécondation croisée. La durée du cycle équivaut à celui de la saison humide (3 à 4 mois). La technique culturale privilégie la précocité des semis (pendant les premières pluies). La fumure animale est la seule forme d'apport d'éléments fertilisants. Les rendements sont de 891 kg/ha/an (moyenne 1994 - 2004, MAHRH/DGPSA/DSA). La paille du mil peut être consommée par le bétail. Il s'agit principalement du mil blanc, *Panicum miliaceum*. Il représente 39 % des superficies cultivées et sert de base à l'alimentation locale. Comme le sorgho, les graines du mil peuvent être utilisées pour la fabrication du *dolo* qui est une bière locale. Sa préparation se déroule en trois étapes. La première consiste à étaler le mil et à le faire germer en le mouillant régulièrement pendant 3 jours. Puis, il est séché et moulu. On ajoute de l'eau à la farine obtenue, on la remue pendant 2 h, et on met le mil dans un *canari* en le laissant bouillir 2 à 3 h ;
- le sorgho ou gros mil, venant de l'italien *sorgo* ou *surgo* signifiant « je pousse », est une céréale à petite graine, d'une grande résistance à la sécheresse. La graine une fois pilée, dans un mortier en bois, en farine ou semoule par les femmes sert à la confection du *tô* (bouillie épaisse à base de farine de mil, de sorgho ou de maïs) qui est le plat le plus répandu au Burkina Faso. Cette pâte se mange avec une sauce pimentée dont les ingrédients varient : feuilles d'oseille, feuilles de baobab pilées, *soumbala*, pâte d'arachide, gombos frais ou secs... Le sorgho permet également de produire le *dolo*. Dans la région de Bagré, on distingue le sorgho blanc (*barringa*, *Sorghum bicolor*) (**photo a de la Planche photos 4**) et le sorgho rouge (*naam ou naaga*, *Sorghum bicolor*) (**photo b de la Planche photos 4**). Ils représentent respectivement 35 % et 19 % des superficies cultivées ;
- le maïs (*kaara ou kampaaga*, *Zea mays*) est une plante tropicale herbacée de la famille des *Poaceae* (graminées) (**photo d de la Planche photos 4**). Elle dispose de nombreuses racines adventices. C'est une culture préférant les sols profonds et riches, mais elle peut s'accommoder de conditions plus difficiles comme des sols sableux ou plus argileux sous réserve de lui assurer les apports d'eau et d'éléments nutritifs nécessaires. Il s'agit d'une culture améliorante grâce à son enracinement profond et aux apports de matière organique assurés par les résidus de culture. C'est une céréale sarclée. Le binage est utile afin d'éliminer les mauvaises herbes, et de limiter les pertes en eau. Sa production est croissante, bien qu'étant la troisième céréale derrière le mil et le sorgho. On la qualifie souvent de « céréale d'avenir ». Il s'agit d'une variété de maïs dont les grains sont blancs à albumen semi-vitreux. Cette céréale est cultivée pour ses grains riches en amidon (63 %), et

comme plante fourragère (plante d'élevage d'embouche). Le grain sec est transformé pour la préparation des aliments culinaires dont la production de farine et de semoule à l'aide d'un pilon, d'un mortier ou d'un moulin villageois pour la confection du *tô*, du couscous, de bouillies, de *gonré* (beignets), et pour la préparation du *dolo* (maltage du maïs). L'épi est consommé grillé sur un feu de bois ou de charbon. Cette culture a été retenue par l'association ATTRA/B (Association de Transfert de Technologie de la Recherche Agronomique du Boulgou) développant la production de semences améliorées (cf. 8.5.3) ;

- le fonio (espèce de millet) blanc (*Digitaria exilis*) est une plante annuelle herbacée de 80 cm de haut, également de la famille des *Poaceae*. Il s'agit de la plus ancienne céréale cultivée en Afrique de l'Ouest. Semée en zone de savane, elle se contente de sols pauvres, non fumés, et s'adapte aux conditions pluviométriques variables. Pendant longtemps, elle a été considérée comme une céréale de soudure. Elle est consommée sous forme de couscous, de beignet, de bouillie, de soupe... Néanmoins, elle est plus pauvre en protéines que les autres céréales, bien que ses teneurs en méthionine et en cystine soient intéressantes. Elle est recommandée pour les diabétiques, et les personnes souffrant de surpoids. Sa paille est utilisée pour nourrir les animaux, ainsi que comme matériau de construction, et combustible. Par ailleurs, la demande urbaine est de plus en plus importante ; mais sa culture demeure faible dans la région de Tenkodogo. On ne dispose pas de statistique concernant la superficie de cette denrée ;
- l'arachide (*sinkaam*, *Arachis hipogea*) est une plante de la famille des *Fabaceae* (légumineuses) originaire du Mexique. Elle est cultivée pour ses graines oléagineuses. Il s'agit d'une plante annuelle à fleurs jaunes de 20 à 90 cm de haut, enterrant ses fruits après fécondation. Le cycle de culture est de 90 à 150 jours. Cette culture est alors particulièrement bien adaptée à la courte saison des pluies. Plantées en juin, la floraison se produit un mois après le semis (**photo e** de la **Planche Photos 4**). A la veille de cette dernière, il doit être pratiqué des binages et un buttage. La récolte a lieu 4 à 5 mois (septembre - octobre) après le semis. Lorsque les feuilles se dessèchent, que les gousses sont sèches, les pieds sont arrachés et laissés en petits tas pour que les grains achèvent de mûrir. La récolte doit donc s'effectuer dès la maturité (lorsque que la pellicule recouvrant la graine se détache facilement) afin d'éviter le développement de moisissures pouvant produire des aflatoxines dangereuses pour le bétail qui mangerait des tourteaux contaminés. Par ailleurs, l'arachide exige un sol léger, bien drainé, perméable, comme le sable, et assez riche pour donner un rendement intéressant. Il faut éviter les sols mal drainés et ceux très vulnérables à l'érosion éolienne. Les terres argileuses doivent donc être éliminées. On évitera également les sols lourds trop enclins à la compaction et à l'encroûtement, ainsi que les sols pierreux. Les rendements sont de 720 kg/ha/an (moyenne 1994 - 2004, MAHRH/DGPSA/DSA). Cette plante à des utilisations diverses : l'huile (huile de table ou matière première pour la margarine mais elle a de mauvais niveau nutritionnel : trop d'acides gras et pas assez d'oméga 3), le beurre, la farine (pour la biscuiterie), les arachides en coques, décortiquées, grillées, bouillies, dans la cuisson de ragoûts et de sauces, le

- tourteau, le fane comme fourrage, l'huile de 2^{ème} extraction pour la savonnerie, les coques comme combustible, l'enrichissement des sols en azote (engrais vert), et dans la pharmacopée française comme solvant médicamenteux ;
- le riz (*muè*) est une plante annuelle appartenant également à la famille des *Poaceae*. Il est à la base de la cuisine burkinabée. L'*Oryza glaberrima* est le riz africain. Cependant, il lui est, de plus en plus, préféré le riz asiatique. Il est cultivé dans les bas-fonds, le plus souvent à mains et pieds nus, et est à l'origine de nombreuses maladies. L'utilisation de la charrue et des bottes est rare (**photo f** de la **Planche photos 4**). Il existe une production de riz local : le *New Rice for Africa* (NERICA) a été introduit en 2006 et adopté immédiatement par les plupart des producteurs. Il est issu d'un croisement entre un riz asiatique et un riz africain (7 T/ha contre 4 - 5 T/ha pour l'autre variété). Par ailleurs, il est important de rappeler que l'espace de Bagré représente un espace stratégique dans l'optique d'atteindre l'autosuffisance en riz. Actuellement, le Burkina Faso importe 300 000 tonnes de riz. Or, l'indépendance alimentaire semble essentielle aux vues des crises alimentaires qui ont traversé le Monde comme en 2008. Mais, il manque encore une bonne organisation de cette filière tant pour la vente, que pour la mise à disposition d'engrais spécifique. Les principaux efforts portent sur la zone aménagée en aval du barrage servant de vitrine pour développer l'idée « *d'une Afrique qui gagne, une Afrique qui donne des résultats et qui montre qu'elle est en marche* » (GOUEDE, 2008). Le riz représente alors 4 % des superficies cultivées ;
 - le niébé (*zar*, *Vigna ingiculata*) est une plante proche du haricot (**photo a** de la **Planche photos 5**). Appartenant à la famille des légumineuses, il satisfait donc les besoins azotés à partir de l'azote de l'air, et enrichi les sols. Les graines sont destinées à l'alimentation humaine (**photo b** de la **Planche photos 5**). Les feuilles, après cuisson, peuvent être également consommées dans différentes préparations culinaires. Au Burkina Faso, il est traditionnellement cultivé en association avec les céréales. Destiné, pendant longtemps, à l'autoconsommation, il est, depuis les années 1990, davantage produit à destination des marchés urbains, ou pour l'exportation vers les pays côtiers. Il combine deux atouts. D'une part, c'est une plante riche en protéine, en amidon, en vitamines B, pouvant contribuer à la sécurité alimentaire des populations, ainsi qu'à l'équilibre de l'alimentation de base de céréales. On utilise le haricot dans la confection de beignets appelés *samsa*. D'autre part, le niébé est une culture de rente qui pourrait devenir une source de revenus pour les familles, principalement dans les zones où le coton est absent. De plus, à partir de ses fanes, on peut produire un fourrage de qualité. Enfin, c'est également une des variétés promues par l'association ATTRA/B ;
 - le vouandzou (*wur*, *Vigna subterranea*, pois de terre ou pois bambara) appartient à la famille des *Herbaceae* et est originaire de l'Afrique Occidentale (le Burkina Faso est un des plus gros producteurs). Il est surtout cultivé pour ses graines se récoltant sous terre à l'instar des arachides en saison des pluies (**photo c** de la **Planche photos 5**), et son cycle est de 5 à 6 mois. Le pois de terre a l'avantage de se contenter de sols médiocres. Les sols plats doivent être drainés et pas trop acides, et les sols sableux correspondent parfaitement au pois de terre. Il s'installe

bien en ouverture de jachère, sur des végétations d'Aristida. Cette culture ne nécessite pas de buttage ni de sarclage, mais un arrachage régulier des mauvaises herbes. Il faut maintenir une bonne hauteur de paille de qualité (Aristida, *Imperata cylindrica*) et parfois la compléter avec du paillage. Sur de bonnes terres, le pois de terre peut être succédé par le mil, le sorgho, ou le maïs. Il est consommé à l'état frais, ou sec après cuisson (**photo d** de la **Planche photos 5**) ;

- le gombo ((*koor*, *Abelmoschus esculentus*) ainsi que de nombreuses plantes dites à sauce sont plantées tout autour des habitations, et utilisées dans la confection des différentes sauces accompagnant les céréales (**photo e** de la **Planche photos 5**). Le gombo est principalement cuisiné afin d'être joint au *tô*. C'est une grande herbe, annuelle dont la tige peut atteindre 2,5 m de haut appartenant à la famille des *Malvaceae*. Son nom est issu du bantou de la région angolaise *ki-ngombo* ;
- le soja est une culture de plus en plus prisée, pour réaliser le *soumbala* : ingrédient essentiel des sauces de la cuisine burkinabée (**photo f** de la **Planche photos 5**). Par ailleurs, des usines localisées à Ouagadougou sont intéressées afin de les griller et de s'en servir pour l'alimentation des animaux. Cette semence est aussi développée par l'ATTRA/B. Elle est de plus en plus demandée dans la région de Bagré.

Dans cette région soudano-sahélienne, le risque d'échec par sécheresse est estimé à 24 %. Les agriculteurs ont donc développé des stratégies multiples comme l'association. Ainsi, le mil et le haricot sont souvent associés dans les champs. De même, l'arachide et le pois de terre se retrouvent en alternance sur les mêmes terres. Plus rarement le maïs et le haricot sont aussi associés, ou encore le maïs et le sorgho blanc. De plus, au cours de la saison des pluies, il existe un risque important pour les cultures pluviales lors d'interruption des précipitations de 5 jours ou plus. Si cette dernière intervient à des périodes critiques du cycle végétatif, elle peut alors avoir un fort impact sur la récolte.

Dans ce pays reposant essentiellement sur son secteur primaire, le développement de semences améliorées et le progrès des techniques sont alors indispensables afin d'atteindre l'autosuffisance alimentaire, et ainsi protéger les populations. Le Burkina Faso pourra alors entamer un essor économique qui a longtemps principalement reposé sur la culture du coton.

2.3.1.2 Les cas particuliers du coton et des arbres utiles

Il est essentiel de présenter la culture du coton (*lanni*) pratiquée depuis longtemps au Burkina Faso. Elle a d'abord été cultivée pour répondre à une demande locale. Ainsi, « *en Afrique, la culture du coton remonte à la nuit des temps. De siècle en siècle, les traditions se perpétuent. Les villages plantent pour seulement se vêtir* » (ORSENNA, 2006).



a : Sorgho blanc

Sorgho entrain de sécher et épis de maïs en arrière-plan



b : Sorgho rouge

Sorgho rouge récolté entrain de sécher

Clichés : E. Robert, 2009



c : Champ de petit mil (août 2009)

Principale denrée cultivée

Cliché : E. Robert, 2009



d: Champ de maïs (27/10/2008)

Céréale de plus en plus cultivée

Cliché : E. Robert, 2008



e : Champ d'arachides

Parcelle au 10/08/2009 présentant une bonne couverture du sol qui a été rarement observée.

Cliché : E. Robert, 2009



f : Récolte du riz pluvial

Récolte manuelle sans matériel de riz pluvial (27/10/2008)

Cliché : E. Robert, 2008

Planche photos 4 : Les principales cultures pratiquées dans le bassin versant de la Doubégué



a : Plant de niébé (27/10/2008)



b : Graine de niébé

Niébés après récolte prêts à être vendus ou cuisiner



d : Champs de pois de terre

Clichés : E. Robert, 2008



c : Pois de terre

Séchage des pois de terre sur pierre



e : Gombos

Séchage de gombo aux abords des habitations

Cliché : E. Robert, 2008



f : Plants de soja

Culture en progression dans la région de Bagré

Cliché : E. Robert, 2009

Planche photos 5 : Cultures récoltées dans le bassin versant de la Doubégue

Puis, cette spéculation a connu son véritable essor sous la période coloniale. Producteur depuis 1920, ce n'est qu'à partir de la seconde moitié du XX^{ème} siècle qu'elle sera cultivée de manière importante. L'objectif était alors de trouver une solution afin de réduire la dépendance vis-à-vis des États-Unis. À cette époque, des sociétés coloniales s'instaurent ; elles sont chargées de la recherche, de la production, de la collecte et de l'exportation vers la Métropole. Parallèlement, l'Institut de Recherches sur le Coton et les Textiles Exotiques (IRCT) et la Compagnie Française pour le Développement des Textiles²³ (CFDT) sont respectivement créés en 1946 et en 1949. La production cotonnière était alors sous le contrôle de cette société étatique.

Après l'Indépendance de 1960, entre 1970 et 1979, une phase de transition s'est mise en place : « Haute Volta/CFDT ». Puis, en 1979, la Société Voltaïque des Fibres et Textiles est créée et les parts sont réparties entre l'État (55 %), la CFDT²⁴ (44 %), et les privés voltaïques (1 %). En 1984, cette société est devenue la Sofitex (Société des Fibres et Textiles du Burkina) sans que la part respective des actionnaires ne soit modifiée.

Au cours des années 1990, la production du coton subit des réformes principalement suite à l'application des Programmes d'Ajustement Structurels des Institutions de Bretton Woods. Les producteurs de coton sont alors rémunérés en fonction de la cotation mondiale de cette spéculation. L'État s'est peu à peu désengagé des secteurs de production et de commercialisation. En 1999, il a cédé une part de ses actions aux producteurs qui se sont réorganisés en GPC (Groupement des Producteurs de Coton), et qui avaient créé, en 1998, l'Union Nationale des Producteurs de Coton Burkinabés. Entre temps, l'État a profité de la dévaluation du franc CFA (en 1994) et du relèvement du cours mondial du coton pour relancer la filière. Pour chaque campagne un prix plancher garanti est alors fixé. À l'aube du XXI^{ème} siècle, l'implication des différents acteurs était alors de 35 % (État burkinabé), 34 % (Dagris (ex CFDT)), 30 % (UNPC/B), et 1 % (privés burkinabés).

La production burkinabée est augmentée : 100 000 t en 1980, 150 000 t au début des années 1990 et 276 000 t en 2001. Cette progression se poursuit jusqu'au milieu des années 2000. Ainsi, la production est multipliée par trois entre les campagnes de 1998 - 1999 et de 2005 - 2006. L'augmentation de la production a été davantage liée à l'extension des superficies, suite au développement du nombre d'exploitations cotonnières, qu'à une amélioration de la productivité.

Par ailleurs, le monopole de la Sofitex a été de plus en plus remis en question. En 2005, elle s'est alors scindée en trois et a rétrocédé les zones de l'Est à la Socoma (48 703 membres et 1 528 GPC) et celles du Centre à Faso Coton (41 539 membres et 1 128 GPC)²⁵. Néanmoins, la Sofitex demeure la principale société (234 758 membres et 9 598 GPC) ; et, bien que séparés, ces structures restent intrinsèquement liées. Elles ont créé en janvier 2006 l'Association Professionnelle des Sociétés Cotonnières du Burkina (APROCOB) et en février l'Association Interprofessionnelle du Coton du Burkina (AICB). Enfin, la BACB (Banque Agricole et Commerciale du Burkina) est le maillon le plus important dans le système du

²³ La CFDT est devenue en 2000 Dagris (Développement agricole et industriel du Sud) puis Géocoton.

²⁴ Bien que la CFDT ait été remplacée par une compagnie d'économie mixte, la société française conserve une part importante des actions. Le modèle de production qu'elle avait mis en place demeure alors pratiquement à l'identique.

²⁵ D'après données des sociétés cotonnières et UNPCB, 2007.

coton burkinabé. Elle est la principale source de financement. Malgré les différentes réformes, depuis les campagnes de 2006-2007, la production est en baisse.

Actuellement, le coton demeure « l'or blanc » du Burkina Faso. Les principaux producteurs de la zone de la Doubégue appartiennent à des groupements cotonniers et dépendent de la firme Faso Coton qui leur fournit les semences et les intrants, et récolte les productions pour les acheminer à l'usine basée à Ouagadougou. En 2009, les zones de Bagré et de Tenkodogo comptaient respectivement 29 et 71 groupement (1 302 et 3 704 exploitations). Le coton est semé à la mi-juin pour être récolté en décembre (**photo 10**). Chaque groupement réunit en un point l'ensemble des récoltes des producteurs. A une date fixée par Faso Coton, un camion (sous-traité) vient charger ces dernières (**photo 11**). Les cotonculteurs sont payés en février, voir mars ; de leurs rétributions a été soustrait le prix des intrants. Le développement de cette culture de rente s'est souvent faite au détriment des jachères aggravant la réduction de la couverture végétale, et augmentant alors les érosions hydriques et éoliennes, et la dégradation des sols. Ces risques se sont amplifiés avec l'accroissement de la variabilité climatique. Toutefois, la culture du coton, exigeante en engrais, est à l'origine de la mise en place par les paysans d'un assolement coton - céréale qui entraîne, grâce à « l'effet retard », une augmentation de la production de la céréale en seconde année.



Photo 10 : Champ de coton



Photo 11 : Coton prêt à être pesé et transporté

Clichés : E. Robert, 2008

Cette culture a également subi des fluctuations au niveau de ces cours et surtout une chute des prix ayant pour conséquence le retrait de certains agriculteurs des groupements (147 départs pour la zone de Tenkodogo et 33 pour celle de Bagré entre 2008 et 2009). En 2008, le prix du kilo de coton de premier choix était de 165 F CFA et celui de second choix de 145 F CFA. On observe alors des démotivations et la diminution des superficies cultivées (réduction de 14 % dans l'Est (USAID 2009)). En conséquence, les cotonculteurs s'orientent vers le maïs et d'autres cultures de rente pour lesquelles il y a moins d'intermédiaire et des délais de paiement plus courts. Un problème apparaît alors au niveau de la production des autres cultures en particulier du maïs. En effet, ce dernier bénéficiait en seconde année des restes d'intrants du coton. L'agriculteur s'appuyait sur ces derniers pour mettre en place ses rotations culturales. On assiste à une diminution des rendements et à un accroissement des superficies cultivées. Ce retrait des cultivateurs de la filière coton a également une incidence sur la production d'huile et des tourteaux de coton. Ainsi, on observe une hausse des prix des

sous-produits agro-industriels. Le prix des tourteaux a augmenté de 3 500 à 7 500 F CFA entre 2007 et 2008.

Pour parer au manque de compétitivité de la filière burkinabée, Faso Coton a alors implanté le coton Bt qui est une Plante Génétiquement Modifiée (PGM). Sa mise en place a été présentée par le gouvernement burkinabé comme la principale solution afin de faire face aux crises successives du secteur cotonnier et répondre à la concurrence internationale. Il permettrait un gain de production et une réduction de l'utilisation des pesticides. Or, cette PGM a été « créée » et expérimentée aux États-Unis où les contextes environnementaux, institutionnels et organisationnels sont différents. De 2003 à 2005, des essais ont été menés sur des variétés américaines puis à partir de 2005 sur celles burkinabées. Avant même la fin de ces tests, la semence Bt a été vulgarisée au cours de la campagne 2008-2009. Le Burkina Faso est alors devenu en juillet 2008, le 3^{ème} producteur d'OGM en Afrique après l'Afrique du Sud et l'Égypte. Or, on peut s'interroger sur la transposition aussi rapide de cette « innovation ». Ainsi, au Burkina Faso, où dominent les exploitations de type familiales pas ou peu équipées (**Tab. 5**)²⁶, on peut objectivement remettre en cause le choix de cette orientation. De plus, il existe un certain nombre de risques humains et environnementaux non négligeables (ROBERT, à paraître). La firme Monsanto sait qu'en mettant la main sur la production semencière du Burkina Faso, disposant d'une bonne production et placé au cœur de l'Afrique de l'Ouest, elle va pouvoir « toucher » d'autres États. En effet, il semble que le Burkina Faso ne soit qu'un de ces exemples des effets de contagion par des chevaux de Troie. Comme le souligne GÉRARD, « *les frontières sont poreuses : on sait que les usines d'égrenage favorisent des échanges involontaires. La contamination « accidentelle » des plantes par les OGM profite aux firmes conquérantes, une plante contaminée ne pouvant revenir à son état antérieur et rien ne distinguant à l'œil nu une plante génétiquement modifiée d'une autre* ». Il s'agit, alors, d'un test pour le développement des PGM dans toute l'Afrique de l'Ouest. Et, c'est l'AICB, en concertation avec les chercheurs de l'INERA et Monsanto, qui a fixé le prix de la semence Bt à 27 000 F CFA²⁷ (GERARD, 2009 et Faso Coton (entretien 2009)).

	Exploitation non équipées		Exploitations peu équipées		Exploitations bien équipées		Total	Sup	Sup/Expl (ha)
	Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%			
Sofitex	62 829	33,7	79 334	42,6	44 129	23,7	186 292	558 611	3,00
Faso Coton	9 905	23,2	18 413	43,2	14 336	33,6	42 654	41 620	0,98
Socoma	15 297	31,4	24 584	50,5	8 444	17,5	48 703	73 834	1,57

Tab. 5 : Typologie des exploitations dans les trois sociétés cotonnières en 2005-2006

Sources : Sofitex, Faso Coton et Socoma

Enfin, certains arbres qualifiés « d'utiles » sont parfois conservés sur les champs. Ainsi, le karité (*kur*) est utilisé afin de fabriquer le beurre de karité. Son élaboration nécessite la réalisation d'une succession d'opérations : bouillir les amandes, les sécher, les décortiquer à l'aide de pierre ; sécher les noix, les écraser, et les moudre ; ajouter de l'eau à la poudre

²⁶ Le terme de peu équipée signifie que l'agriculteur possède une paire de bœufs ou un âne et une charrue ; et celui de bien équipée, qu'il a au moins deux paires de bœufs et un équipement complet (charrue, sarcleur, butteur...).

²⁷ En 2011, le prix de la semence Bt est identique, mais celui du coton conventionnel est passé de 870 F CFA à 3 255 F CFA (semence traitée).

obtenue et la remuer. Le mélange gonfle et laisse apparaître une pâte blanche d'où sera extraite l'huile après la cuisson dans une marmite. En refroidissant, elle donnera le beurre de karité.

Quant au néré (*kar go*), il permet la réalisation du *soumbala*. Les graines sont mouillées, bouillies pour être ramollies. Après avoir enlevé la peau, elles sont pilées dans le sable, puis lavées à l'aide d'eau et d'argile, triées et de nouveau lavées à l'eau. La cuisson est l'avant dernière étape avant de les placer dans des paniers afin d'être décomposées. Le *soumbala* est alors obtenu. Il sera étalé au soleil pour être moulu et séché.

Le bassin versant de la Doubégué présente un paysage où dominant les cultures de types vivrières et secondairement les champs de coton. Toutefois, en parallèle de l'installation de la saison sèche, des parcelles maraîchères (dites de contre-saison) apparaissent ; et certains agriculteurs pratiquent également ce type de culture lors de l'hivernage.

2.3.2 Une région non exempte de cultures maraîchères

Au Burkina Faso, le développement des cultures maraîchères remonte, comme pour le coton, aux années 1920. Elles se sont principalement développées à partir de la grande sécheresse (1967 - 1974). Leur première vocation était de répondre aux besoins des européens vivant dans le pays. Les missions catholiques de Pabré et de Bam ont été parmi les premières à instaurer cette culture. Puis, leur essor s'est opéré au moment de l'Indépendance avec le développement en particulier de l'oignon le long de la voie ferrée Ouagadougou - Abidjan et dans les régions frontalières du Togo et du Ghana. Par la suite, le marché français s'est ouvert au haricot vert. Suite à l'appui de l'État et des ONG, les cultures maraîchères ont alors commencé à approvisionner les centres urbains et à s'intégrer au système cultural burkinabé.

Les cultures maraîchères (*dusira* signifiant champs pour la sauce) sont rythmées par les cycles saisonniers. Elles se développent essentiellement entre les mois d'octobre et de juin. La principale culture est l'oignon (*du nye* que l'on peut traduire par « l'enfant de la sauce », *Alium Cepa*). On cultive également la tomate, le chou, l'aubergine (**photo 12**), la carotte, la laitue, le piment, l'ail, le haricot vert, le melon, le poivron, le concombre, la calebasse (*peer*), et la patate douce. Il est important de souligner que les légumes de type européens (carotte, laitue, chou, tomate, aubergine...) prennent peu à peu le pas sur la calebasse et les légumes traditionnels (niébé, manioc (*bancè*), patate douce (*nyinya*, *Hipoma batatas*)...). Trois techniques sont utilisées le système de décrue, l'irrigation et/ou le système gourde - arrosoir.

L'oignon, culture principale, est une plante herbacée bisannuelle, de la famille des *Liliaceae*, cultivée comme une plante potagère pour ses bulbes (**photo 13**). Il s'agit à la fois d'un condiment et d'un légume.

La calebasse (*Lagenaria siceria*) ou gourde est une plante herbacée annuelle de la famille des *Cucurbitaceae*. Elle est importante dans la culture burkinabée (utilisée comme bols, assiettes, récipients, couverts, instrument de musique...). Il s'agit d'une plante rampante. Les sols sableux en surface, argileux en profondeur permettent de conserver suffisamment l'humidité.



Photo 13 : A l'arrière-plan culture d'oignon et au 1^{er} plan plants de piment
Clichés : E. Robert, 2008



Photo 12 : Culture d'aubergine

Quant à la tomate (*Solanum lycopersicum*), c'est une plante herbacée annuelle à port rampant et aux tiges ramifiées. La patate douce supporte des sols pauvres, mais préfère un sol profond, frais riche en humus. C'est une culture sensible au pourrissement en cas d'excès d'humidité. Son feuillage est très couvrant et limite donc la croissance des mauvaises herbes. Le piment et l'ail (*Allium sativum*) sont de préférence cultivés sur les sols légers, profonds, riches en éléments nutritifs et bien drainés, à 3 - 5 cm de profondeur en rangs espacés environs de 25 cm. Il ne faut pas les cultiver dans les sols organiques, ni utiliser des fumiers frais afin d'éviter qu'ils pourrissent.

Il est important de rappeler qu'en Afrique, les légumes sont utilisés comme condiment dans la sauce. L'écoulement de ces produits maraîchers concerne surtout le marché local.

La majorité des producteurs utilise un matériel rudimentaire. Néanmoins, la pratique de la culture attelée est en progression, et elle est parfois motorisée, principalement au niveau des villages de Béguédo et Niaogho réputés pour ce type de cultures.

Les cultures maraîchères sont pour la plupart exploitées en décembre et janvier par le système de décrue. Avant la mise en eau du lac, elles se situaient le long du Nakambé. Ces deux mois constituent la période de semis. Durant la saison sèche, des gourdes - arrosoirs, des puisards peu profonds ou des motopompes sont combinés à ce système. Par ailleurs, des planches d'irrigation ont été mises en place pour les semis et les pépinières. Cette introduction a permis que la culture de l'oignon seul jusqu'en mai, et associé à la calebasse de novembre à février. Auparavant, les agriculteurs utilisaient la décrue. Puis, ils creusaient des sillons jusqu'aux planches d'oignons, ou ils appliquaient le système des gourdes.

Cependant depuis la construction du barrage, la MOB a tenté d'interdire cette pratique au niveau des berges du lac. Elle l'a fait officiellement le 1^{er} avril 2006. Actuellement, trois zones officielles de maraîchage demeurent, ainsi que quelques parcelles éparpillées autour du lac et au niveau des affluents du lac. En réalité, elle est quasiment autant pratiquée qu'auparavant.

Enfin, il est à noter qu'au niveau du barrage de Bagré, il existe des superficies dédiées à la riziculture de type moderne, principalement dans la partie aval (cf. chapitre 10).

Le trait dominant et commun de ces parcelles vivrières ou maraîchères, c'est leur petite taille et leur faible mécanisation.

2.3.3 Des petites exploitations familiales prédominantes

Il est intéressant de se pencher sur le **système d'exploitation** décrit par BADOUIN (1985) comme un **mode d'organisation et de fonctionnement de l'exploitation agricole**. Dans la région de la Doubégué, l'unité d'exploitation est la famille restreinte ou élargie. On peut distinguer trois types d'organisation. Le premier correspond à la **grande unité familiale** regroupant l'aîné de la famille, ses frères mariés ou célibataires, ses enfants mariés ou célibataires. On observe alors un système principalement collectif assurant les besoins de subsistance de la famille. Pour autant, il est possible de cultiver des champs personnels. Actuellement, ce type d'organisation est en recul, car l'autorité des aînés est de plus en plus remise en cause. Par ailleurs, il peut exister une **cellule monogame ou polygame** issue d'une scission avec la grande unité familiale. Ce second type d'organisation s'accroît dans un contexte d'individualisation économique et moral. En définitive, le domaine familial se fractionne. Cette situation se rencontre de plus en plus dans la région. Étant davantage orientée vers le marché, elle est plus réceptive aux innovations. Enfin, le troisième type comprend les **dépendants célibataires, les ménages semi-indépendants** disposant de peu de ressources productives. Ils sont particulièrement ouverts aux changements technologiques.

L'organisation familiale va directement influencer l'organisation de la production. Les superficies sont en moyenne de **2 à 4 ha** (50 %) et rarement supérieures à 6 ha (20 %) (résultats d'enquêtes, Robert 2008 et 2009). La taille des exploitations est fonction de la quantité de terre dont dispose l'exploitation, du type d'équipement, mais également des relations de solidarité qui ont été tissées. Il existe différents types d'espace composant le système de production : les champs de case et de village (62,7 %), ceux de brousse (27,9 %), et ceux de campement (9,4 %), auxquels s'ajoutent les périmètres aménagés. Les trois premiers types correspondent aux trois anneaux de culture décrits par PRUDENCIO (1987).

Les champs de case (*naam sira* : champ de mil rouge) sont des champs permanents, enrichis par les fumures domestiques. Leur importance dépend de la disponibilité des terres aux alentours immédiats. Ils sont généralement de taille réduite. Ils sont cultivés en sorgho rouge, sorgho blanc ou maïs, ainsi qu'en légumes (gombo, oseille, aubergines, tomates...). Ils sont collectivement sous la responsabilité du chef de famille, à l'exception de quelques parcelles réservées aux femmes et aux vieillards. Du fait de leur plus grande fertilité, ils sont cultivés de manière permanente et intensive : épandage de fumier (résidus domestiques et déchets organiques des animaux), semis serré, buttes et diguettes pour conduire les eaux ruisselantes. Sur les bords de ces parcelles, les femmes cultivent des plantes à sauce : le gombo (*koor*), l'*Hibiscus Esculentus* et le *da* l'*Hibiscus Subdariffa* (**photo a** de la **Planche photos 6**). Ainsi, les jardins et les parcelles situés aux abords des maisons sont cultivés essentiellement par les femmes. Auparavant, lorsque l'on se promenait dans ces champs de case, on pouvait remarquer la présence de plantes pérennes (*waa*, *Andropogon*) délimitant les parcelles. Suite à l'instauration de la houe à traction bovine, elles ont été arrachées en grand nombre. Néanmoins, certains agriculteurs commencent à en replanter. Ils se sont rendus compte que cette délimitation jouait le rôle de digue filtrante en favorisant l'infiltration des

eaux et en retenant les particules de terre. De plus, ces plantes peuvent être coupées en fin de saison agricole pour la fabrication de chapeaux ou pour la vannerie (FAURE, 1996).

Les champs de village se situent de 1 à 2 km des habitations. Ils sont appropriés par l'incendie. On y cultive le petit mil ; quant au pois de terre il est associé aux arachides, alors que le niébé est cultivé avec le mil et le sorgho blanc. Les rotations sont principalement du type sorgho - mil. Les arachides interviennent également souvent dans la rotation. Les légumineuses ont alors remplacé la fonction de l'*Acacia albida*. La culture du riz s'effectue dans les bas-fonds (FAURE, 1996). Et ces champs de village portent également quelques arbres fruitiers espacés (le karité, le néré). Auparavant, après une mise en culture de 6 ans sur sols légers et de 8 à 10 ans sur sols lourds, ces champs étaient remis en jachère pour 4 à 6 ans. Actuellement, cette dernière a été réduite voire arrêtée. L'agriculteur recherche le rendement maximum par des pratiques culturales plus soignées et un surcroît de travail. Ces parcelles sont moins fertiles que les champs de case. Elles disposent de peu de fumier et peuvent parfois recevoir de petites doses de fumure minérale. Toutefois, c'est au niveau de cet espace que l'on a pu observer l'application des techniques de conservation des eaux et des sols. PRUDENCIO (1987) nommait ce type de champs le « *minimum food security field* ».

Les champs de brousse (*poo sira*) sont cultivés de manière temporaire et extensive. La jachère est également en régression dans cet espace. Auparavant, ils étaient cultivés pendant 5 à 10 ans, puis laissés au repos de 15 à 30 ans ; mais suite à la pression démographique, cette pratique de longue jachère a presque totalement disparu. Les parcelles sont généralement de grande superficie. Les semences sont espacées, la disponibilité en fumure organique est faible, et le manque de moyen de transport un facteur limitant (labours rapides). Le mil et le sorgho sont les principales cultures associées au niébé ou au pois de terre. Les pratiques culturales sont donc sommaires, et les rendements sont fonction de la qualité du sol, des variétés cultivées, et des conditions climatiques. Ces champs se localisent, en moyenne, de 2 à 5 km.

Néanmoins, certains sont éloignés, jusqu'à 30 à 40 km. Il existe alors des installations temporaires (quelques cases en paille tressée) afin de pouvoir rester plusieurs jours, semaines sur ces espaces. Depuis la mise en eau du barrage, une modification dans les migrations agricoles s'est produite. Ainsi, dans la région amont du lac (Niaogho, Béguedo, Ouarégou), la création de cet ouvrage combiné à l'appauvrissement des sols, à la réduction de la jachère, et à la faible artificialisation des pratiques culturales a réactivé les hameaux de culture localisés en rive droite alors que la majorité des villages sont situés en rive gauche (FAURE, 1996).

Il existe alors un gradient de fertilité des champs de case vers les champs de brousse. Ce gradient a été établi, par les travaux de SEDOGO en 1981, à partir d'analyses chimiques des différents types de sols présents dans ces trois espaces (**Tab. 6**). Aux vues de la perpétuation de cette organisation de l'espace agricole, on peut objectivement penser que ce gradient est toujours en vigueur. Les apports que reçoivent les champs de case (minéraux et organiques) augmentent le taux de carbone et d'azote total, et surtout la capacité d'échange cationique. Quant aux teneurs en bases échangeables en phosphore assimilable, elles seraient liées à des apports de cendres.

	C total (%)	N total (%)	Complexe absorbant (me/100 g)				Phosphore	pH	
			CEC	Ca ²⁺	Mg ⁺	K ⁺		Eau	Kcl
Champ de case	1,1 - 2,2	0,95 - 1,75	4,2 - 12	2,25 - 10,25	1,3 - 5,15	0,45 - 2,35	20 - 220	6,7 - 8,25	6,4 - 7,45
Champ de village	0,50 - 0,95	0,55 - 0,85	3 - 4,2	1,30 - 1,60	0,85 - 1,30	0,4 - 1,10	13 - 16	5,75 - 7	4,60 - 5,5
Champ de brousse	0,24 - 0,43	0,23 - 0,45	2,4 - 4,3	0,85 - 1,30	0,25 - 0,85	0,06 - 0,13	5 - 16	5,75 - 6,2	4,20 - 5,3

Tab. 6: Caractéristiques chimiques des types de champs paysans (SEDOGO, 1981)

C = carbone ; N = azote ; CEC = capacité d'échange cationique ; Ca²⁺ = calcium échangeable ; Mg⁺ = magnésium échangeable ; K⁺ = potassium échangeable ; Kcl = chlorure de potassium

Par ailleurs, pendant longtemps, les bas-fonds (*birka*) ont été des champs individuels (*yirbaa hosira* signifiant « champs du soir ») avant d'intéresser les groupements villageois. Leur haute valeur agronomique et la présence d'eau attirent de plus en plus d'agriculteurs. Leur mise en valeur s'est surtout opérée après l'assainissement des vallées de la Volta par l'OMS et l'AVV. La principale culture est le riz pluvial et les céréales précoces. Des puisards sont creusés afin de permettre un arrosage (manuel). Cependant, en raison de la concurrence temporelle entre les différents types de cultures sur l'ensemble des parcelles, le riz bénéficie de moins de soins pour le repiquage, le démariage et le désherbage des pieds. La récolte est suivie d'une culture maraîchère souvent en oignons, calebasse, tomate - kumba (*basi*), en tabac, et en légumes européens (carotte, salade, tomate). Il s'agit de culture de contre-saison débutant en mars. Dans les bas-fonds ainsi que dans les jardins, on rencontre également des arbres fruitiers (manguiers, citronniers, goyaviers) (FAURE, 1996).

Enfin, bien qu'ils soient en recul, il existe encore des types d'entraide : le *yawolé* pour les Bissa, ou *ossoagha* pour les Mossi, et le *yéwolé* ou *nam* (cf. 2.1.1.2).

En définitive, au fil du temps, la densité n'a cessé d'augmenter avec pour corollaire une pression humaine sur les terres cultivées et cultivables toujours plus fortes. Toutefois, le calendrier agricole a peu évolué.

2.3.4 Le calendrier agricole

Le calendrier agricole des céréales, principales ressources alimentaires, est privilégié par les exploitants. On peut distinguer cinq périodes.

2.3.4.1 La préparation des sols

La préparation des sols débute dès le mois de mars et s'achève à la fin du mois d'avril avant l'arrivée des premières pluies. Il s'agit de la première étape dans la préparation du champ. Elle regroupe le nettoyage des parcelles cultivées (arrachage des tiges de cultures), le défrichement, voire le dessouchage lorsque ce sont des terres qui ont été laissées longtemps en jachère, ou qui n'ont jamais été exploitées. Cette activité est essentiellement pratiquée par les hommes car elle nécessite un engagement physique considérable.

2.3.4.2 Le labour et les semailles

Pendant les mois de mai et de juin, le paysan « attend » que les précipitations de la saison pluvieuse humectent suffisamment ses champs afin de pouvoir les travailler. Les labours, beaucoup pratiqués avant les semis, peuvent alors commencer. Ils sont essentiellement réalisés à l'aide de la daba, bien que l'utilisation de la charrue augmente dans le bassin versant de la Doubégué²⁸ (elle peut être louée). L'objectif est d'ameublir le sol, et ainsi de permettre l'enfouissement de la matière organique, la pénétration et la mise en réserve des eaux de pluie. La germination et le développement des plants seront alors facilités.

Les semis s'opèrent entre le 1^{er} juin et le 15 juillet. La date diffère d'une année à l'autre en fonction de la quantité d'eau précipitée, des types de cultures, et de la main d'œuvre disponible. A titre d'exemple, en 2009, suite à l'arrivée tardive des pluies, les paysans de la région de Bagré se sont retrouvés dans l'obligation d'ensemencer quasiment en même temps la grande majorité de leurs champs. Les exploitations disposant de peu « de bras » se sont alors retrouvées dans une difficulté extrême et ont dû abattre un travail titanesque. Or, lors d'une année normale, la préparation des champs se déroule au fur et à mesure selon le type culture.

La technique consiste à tenir dans une main (ou dans une calebasse) les graines et dans l'autre la houe à semer. A l'aide de cette dernière, le cultivateur ouvre légèrement la terre, et par un mouvement du pouce laisse tomber deux ou trois graines au fond de chaque trou refermé à l'aide de l'outil (**photo b** de la **Planche photos 6**). Le travail s'effectue en ligne droite (**photo c** de la **Planche photos 6**) ou parfois selon les courbes de niveau (**photo d** de la **Planche photos 6**). Suivant les espèces végétales, l'écartement entre et sur les lignes varie, ainsi que le nombre de graines par poquet. Les semis de toutes les variétés vivrières produites se réalisent dans un intervalle de temps très réduit. Les premiers sont le sorgho et le riz, ensuite le petit mil souvent en association avec le haricot, puis le maïs, le pois de terre, l'arachide, la patate douce...

L'apport de fumure organique ne s'opère pas toujours et les quantités sont faibles, voire insuffisantes, environ 1 t/ha (REIJ *et al.*, 2005)

2.3.4.3 Le sarclage

Le sarclage consiste à désherber les champs. Il est fait manuellement à l'aide du petit matériel aratoire. Les mauvaises herbes se développent au cours du mois de juillet parallèlement à la saison pluvieuse. Le problème réside dans le fait que l'ensemble des cultures réclame d'être sarclé en même temps. C'est la levée des plants et la disponibilité du paysan qui dictent tout. Faute de main d'œuvre en quantité suffisante, il faut faire des choix. Ainsi, on privilégiera les cultures les plus exigeantes comme le coton, puis les autres : le sorgho, le mil... Si le sarclage est mal réalisé ou non fait, les récoltes seront mauvaises. Pour faire face à cette difficulté, les paysans ont souvent recours à l'entraide.

Il est recommandé d'effectuer trois sarclages. Le plus souvent, le dernier est remplacé par le buttage consistant à rassembler la terre au pied des plantes afin de renforcer leur enracinement (éviter la verse des pieds lors des vents importants de septembre - octobre), de

²⁸Les agriculteurs ont reconnu que cette technique était intéressante afin de faciliter le travail. Elle permet de creuser profondément la terre et ainsi d'aller plus vite. Néanmoins, elle exige également un défrichage plus complet des champs que l'exploitation dite traditionnelle.

conserver l'humidité pour les racines, et d'éviter la stagnation des eaux de pluie. Cette étape commence avec les pluies torrentielles du mois d'août.

Enfin, le mois de juillet est également la période du démariage du mil, du sorgho et du coton. Pour le sorgho, par exemple, elle s'effectue deux à trois semaines après le semis, et consiste à garder trois pieds par poquet.

2.3.4.4 L'épandage des engrais et les traitements phytosanitaires

L'épandage d'engrais est principalement destiné au coton, au maïs, au sorgho et aux cultures maraîchères. A titre d'exemple, on peut citer les doses recommandées par l'AVV : 150 kg/ha d'engrais NPK pour le sorgho et le coton, ainsi que 50 kg/ha juste pour ce dernier. Cette activité s'échelonne du 15 août à la fin du mois novembre. Quant aux traitements phytosanitaires, ils concernent principalement le coton. Cependant, on rencontre de plus en plus de produits sur les différents marchés comme à Bagré ou à Tenkodogo (cf. 7.2.2) en particulier des herbicides. Le recours ou non à ces produits dépend des finances de l'agriculteur. Dans le cadre de notre étude sur les risques de pertes en terre et en eau (ici en termes de qualité), on doit s'interroger sur les proportions utilisées et les substances actives présentes. Certaines ont été interdites en Europe ; quelles sont alors les conséquences environnementales et humaines (cf. 7.2.2) ?

2.3.4.5 Les récoltes

Les récoltes se déroulent de la fin du mois d'août au mois de décembre. Elles débutent avec celles du maïs, suivies des arachides hâtives vers la mi-septembre. Ces dernières sont essentielles, car elles permettent de faire face au problème de soudure, de plus en plus persistant au Burkina Faso. Puis, dès le mois d'octobre, c'est au tour du sorgho, du haricot et du pois de terre. A cette date, la maturation se généralise sur l'ensemble des terres agricoles, excepté le petit mil qui est encore à l'épiaison. La « pleine période » des récoltes débute pendant le mois d'octobre. De plus, le souffle du Harmattan accélère la maturité du mil et du sorgho. Toutes les personnes de la famille participent à cette activité. Après le séchage, l'ensemble des récoltes est conservé dans des greniers.

La récolte du coton intervient plus tardivement, en novembre. Elle est réunie par groupement de coton lors d'un jour fixé par Faso Coton. Puis, le coton est pesé, avant d'être transporté en direction des usines basées à Ouagadougou. Cette dernière opération marque la fin de la campagne agricole.

Auparavant il existait des formes de travail communautaire permettant l'entraide pour ces travaux. Il s'agissait des aides réciproques (l'aide est reçue à tour de rôle), des invitations de cultures pour les grands travaux (le bénéficiaire fournit la nourriture et la boisson), et des jeunes offrant leurs services contre une rémunération (en nature ou en espèce). Actuellement, les exploitants sont davantage regroupés en groupements villageois ou en associations. Cette nouvelle organisation fait suite à la venue à partir du milieu des années 1970 des missions, des programmes et projets de développement, et des ONG.

Dans cette région, la pression foncière est telle qu'on se localise dans ce que l'on pourrait appeler : une aire de culture continue (la pratique itinérante a quasiment disparu) extensive (système de culture peu mécanisés et insuffisamment productifs) où prédomine de

petites exploitations familiales. Les techniques et les pratiques traditionnelles et majoritairement manuelles sont peu productives et ne permettent pas de maintenir des rendements stables et encore moins leur accroissement dans un contexte de forte croissance démographique et de saturation foncière. Cependant, l'association culturale, en particulier avec les légumineuses, semble être une bonne voie pour répondre l'augmentation de la production et à la préservation du capital environnemental.

2.3.5 Les systèmes d'association et de rotation, et le problème des intrants

2.3.5.1 Les systèmes d'association et de rotation des cultures

Il est essentiel de se replacer dans un cadre historique. Il est alors intéressant de présenter l'extrait d'une conversation tenue entre le *Tengsoba* (maître de la terre) de Niaogho et Jean-Pierre HERVOUET en 1978. « *Lorsque les Bissa arrivèrent dans la région, ils ne trouvèrent personne. Il n'y avait que la brousse dans laquelle ils ouvrirent des clairières. Au début, leurs concessions étaient entourées par des Parkia africana ; mais comme les bisca avaient beaucoup de bétail et que les Parkia africana n'aiment pas la terre sale (terre bien fumée) ils furent remplacés par des Faidherbia albida. Les F. albida marquaient la limite des terres cultivées et les Bissa n'avaient pas besoin d'aller cultiver en brousse. Tous les enfants apprenaient alors à élever les F. albida en les taillants. Avec l'arrivée des blancs, il fallut cultiver plus et l'on étendit le terroir. Puis les F. albida commencèrent à périr et on en coupa pour fabriquer des pillons et des mortiers car le blanc interdisait de couper les Khaya senegalensis et nous n'avions pas d'argent pour payer le permis* ». Lors de la période précoloniale, le Pays Bissa organisait son activité agricole selon un système agraire intensif sous parc à *Faidherbia albida* avec fumure animale sur des espaces restreints.

Suite à la colonisation et aux contraintes mises en place par l'administration coloniale (en 1923), des systèmes extensifs ont été mis en place. Cette dernière a tenté de doubler les surfaces emblavées et de pratiquer la culture du coton. C'est au cours des années 1950 que le mouvement d'abandon des parcs et des cultures intensives s'est accéléré. Et l'Indépendance n'a pas permis un retour à l'ancien système.

Ainsi, la jachère est restée le principal moyen de régénération de la fertilité du sol. Elle a assuré la durabilité des systèmes de production. Mais, elle suppose suffisamment d'espace. L'accroissement de la population a entraîné une diminution des terres cultivables et par conséquent de la jachère. Face aux problèmes d'érosion, de maintien de la fertilité, et d'accroissement démographique, il serait intéressant de réintégrer cet ancien système dans les pratiques actuelles. En effet, des efforts doivent être entrepris afin de diriger les agriculteurs vers une agriculture intensive en leur apprenant à utiliser (ou réutiliser) le *Faidherbia albida* entretenus par leurs ancêtres (**photo e** de la **Planche photos 6**).

Par ailleurs, comme dit précédemment, le système de production repose sur une organisation de l'espace divisé en trois types de champs : de case cultivés en permanence, de villages cultivés en quasi permanence, et de brousses alternant avec des jachères. Quant à la superficie agricole, elle est répartie en soles (sole de coton, soles de sorgho...).

Les champs de case sont fumés à partir des résidus domestiques et des déchets organiques des animaux. Ce sont les espaces disposant du plus d'apports d'intrants minéraux. Il y a peu de rotation.

Dans le système traditionnel, les champs de village disposent de faible ou de non apport de matière organique. La fumure minérale est uniquement employée sur les parties du champ jugées les plus pauvres. Les superficies de mil et de sorgho sont à peu près identiques. Les paysans sèment d'abord le sorgho sur les meilleures terres, et le mil sur les terres les moins fertiles lorsqu'il y a une main d'œuvre disponible, ou lorsque les terres sont impropres à la culture du sorgho. Auparavant, ces champs étaient cultivés pendant 5 à 7 ans, puis laissés en jachère quelques années. C'était l'apparition d'un certain type d'herbe (principalement le *Eragrostis tremula* et dans une moindre mesure du *Digitaria gayana*, du *Setaria pallidifusca*) qui décidait le paysan à mettre en jachère régénératrice sa parcelle. A l'inverse, la mise en place de l'*Andropogon gayanus* incitait le paysan à remettre en culture sa terre. Néanmoins, l'apparition de ce dernier ne signifie pas une reconstitution complète de la fertilité du sol. Le réel indicateur est l'*Andropogon ascinodi* n'apparaissant qu'au bout de 20 ans. Dans un contexte d'agriculture consommatrice d'espace, le paysan ne peut plus attendre.

Sans prendre en considération le coton, le système de culture est à base de sorgho ou de mil presque toujours en association avec le niébé, l'arachide, et plus rarement avec le sésame et l'oseille (**photo f** de la **Planche photos 6**). Les cultures associées sont les plus répandues. Il ressort de nos enquêtes de terrain que les champs de village comprennent essentiellement un système d'association sorgho rouge - niébé ou arachides, et plus rarement une association sorgho rouge - niébé - mil ou encore mil - sorgho blanc - niébé. Celui mis en place sur les champs de brousse est mil - sorgho blanc - niébé.

La rotation culturale est pratiquée par plus de 90 % des producteurs (résultats d'enquêtes). Celle qui prédomine est la succession mil - arachide, puis sorgho - mil. L'introduction de l'arachide (au milieu du XIX^{ème} siècle) a entraîné la mise en place d'une rotation triennale jachère - mil - arachide sur la couronne extérieure à la place de la succession mil - jachère. Sous l'impact de la pression démographique, le temps de jachère s'est peu à peu réduit, jusqu'à parfois disparaître. Par ailleurs, dès que les agriculteurs pratiquent la culture du maïs et/ou du coton, ces denrées deviennent le moteur de la rotation et le système se complexifie. Il s'agit de bénéficier des effets des fertilisants chimiques (l'urée et le NPK), et de lutter contre certains adventices. Ainsi, dès que l'on intègre le coton, le mode de succession coton - céréale - coton prédomine (mil ou sorgho pour la céréale). Dans le bassin versant de la Doubégué, d'après nos résultats d'enquêtes, les principales successions sont : mil - arachide - mil, coton - mil - coton, maïs - mil - maïs ; maïs - sorgho - maïs, mil - sorgho - mil, coton - sorgho - coton ; sorgho - coton - sorgho, coton - maïs - coton, arachide - mil - arachide, haricot - maïs - haricot, mil - maïs - coton, coton - mil - sorgho.

2.3.5.2 L'emploi croissant des intrants

Comme dans l'ensemble du Burkina Faso, les agriculteurs de la région de la Doubégué utilisent encore peu d'intrants. Dans la pratique, l'emploi de l'engrais vert se heurte à une contrainte économique. Il existe deux types d'engrais utilisés par les cultivateurs : le complexe NPK (azote, phosphore, potasse) appelé aussi engrais noir à 200 kg/ha, et l'urée nommé également engrais blanc à 150 kg/ha. Le coût du sac de 100 kg est respectivement de 13 350 F CFA et de 15 200 F CFA (Faso Coton et enquêtes de terrain). Aux vues de ces prix, ces derniers doivent bien souvent faire un choix ; ils privilégient alors la culture du maïs.



a : Culture d'Hibiscus dans les champs de case
Utilisé dans les sauces culinaires
Cliché : E. Robert, 2008



b : Technique d'ensemencement
Réalisé manuellement à l'aide d'une daba
Cliché : E. Robert, 2009



c : Culture en lignes droite
Risque d'accroissement de l'érosion sur parcelle

Clichés : E. Robert, 2009



d : Culture suivant les courbes de niveau
Méthode réduisant l'impact de l'érosion hydrique (Kwila)



e : Faidherbia albida
F. albida maintenu au sein d'un système d'une exploitation Système prédominant dans la région de Bagré
Cliché : E. Robert, 2008



f : Association d'haricot et de mil

Cliché : E. Robert, 2009

Planche photos 6 : Systèmes de culture

Face au manque de moyens, la solution est souvent l'utilisation de la fumure organique. Des résidus de culture (**photo 14**) ou des déchets d'animaux sont alors intégrés au sol. La grande majorité des agriculteurs dispose au minimum d'une fosse fumière, et beaucoup en possèdent plusieurs. Elles sont le plus souvent confectionnées à l'aide de pierres ou juste creusées dans le sol, et ne durent pas (**photo 15**). Le problème réside dans le manque d'accès au ciment. La cause est une fois de plus le coût. Toutefois, suite aux efforts de formation, de sensibilisation des agriculteurs et par la reproductibilité entre village, le compost ou la fumure organique sont de plus en plus utilisés.



Photo 14 : Résidus d'arachides destinés à protéger les sols et surtout à destination des fosses fumières



Photo 15 : Fosse fumière

Clichés : E. Robert, 2008

Par ailleurs, les groupements de coton reçoivent des engrais pour « l'or blanc » ; cette culture est alors « engraisée ». Pour 1 ha, Faso Coton recommande d'utiliser deux sacs de NPK et un sac d'urée. Le premier est incorporé suite aux premières grosses averses du mois de juillet, et le second à la mi-août. Au fil des années, ces produits ont été de plus en plus utilisés. On peut alors s'interroger sur l'incidence de ces produits sur le milieu. Ainsi, lorsque le phénomène érosif s'amplifie, des quantités plus importantes de produits chimiques vont être entraînées jusqu'aux cours d'eau. Les différents écosystèmes risquent alors d'être perturbés et l'eau de consommation, peut-être polluée, causées des maladies.

De plus, les systèmes de rotation reposent essentiellement sur l'utilisation des engrais. La spéculation ayant reçu l'année précédente de l'engrais (maïs, coton) est remplacée par une culture (mil, sorgho) ne subissant pas ou peu de traitements. La fertilité moyenne des sols est ainsi maintenue. Néanmoins, sur le long terme, la pratique continue de l'agriculture conduit inexorablement à une dégradation de cet indicateur. La baisse de la fertilité peut être aussi accélérée ou amplifiée par les phénomènes d'érosion. Le maintien des groupements est donc essentiel dans le fonctionnement du système agraire de la région.

Quant à l'utilisation des pesticides, des insecticides, et d'autres produits phytosanitaires, elle est encore modérée en raison de leur coût prohibitif : 2 000 F CFA/l. Dans l'ensemble du bassin versant de la Doubégué, la lutte contre les adventices reste majoritairement manuelle. Les produits phytosanitaires sont essentiellement utilisés pour la culture de coton : 4,7 l (enquêtes personnelles), et 5 périodes de pulvérisation pour 1 hectare.

Néanmoins, les agriculteurs désirent souvent pouvoir appliquer ces produits sur d'autres spéculations. Il existe alors deux types de stratégies : détourner une partie de leur

stock, ou grossir leur demande en intrants en augmentant soi-disant leurs superficies cotonnières. Pour ceux ne pratiquant pas la culture du coton, le recours aux produits phytosanitaires dépend de leurs moyens financiers. Dans l'ensemble, on note une progression de l'emploi de produits phytosanitaires (cf. 7.2.2). Par ailleurs, il est important de rappeler que la majorité de ces produits est pulvérisée sans aucune protection. Les enfants jouant ou travaillant dans les champs sont également exposés à ces projections. Les risques pour la santé sont donc majeurs (cf. 7.2).

Enfin, les techniques de protection des sols et d'économie d'eau tendent à s'accroître mais demeurent encore limitées (cf. Chapitres 2 et 4). Il s'agit principalement de cordons pierreux, de bandes enherbées, et du paillage.

Dans le bassin versant de la Doubégué, l'activité principale est une agriculture extensive qui s'est fortement étendue à partir du milieu des années 1980. Parallèlement, suite à l'arrivée de migrants Peul, l'élevage s'est également développé. Les rapports entre ces deux activités qui pourraient être complémentaires ont alors souvent été source de conflits.

2.4 Les années 1980 et 1990, l'accroissement de l'élevage et ses conséquences

2.4.1 L'arrivée des « nouveaux Peul », une pression grandissante sur le milieu

2.4.1.1 L'implantation des Peul dans la région de Bagré

Historiquement, les quelques populations Peul présentes dans la région de Bagré étaient attachées à des chefs Mossi. Les peuples nomades du Plateau Mossi, quant à eux, venaient faire pâturer leurs bœufs en saison sèche sur les terres libres des bords du Nakambé désertées à cause de l'onchocercose. Leurs contacts avec les populations Bissa demeuraient saisonniers ; un système intégré n'a alors jamais pu exister entre ces deux ethnies. Des changements sont apparus lorsque les populations Peul ont créé de nouveaux villages en brousse : entre 1972 et 1977 pour les plus anciens (Zangoula, Biré), et surtout entre 1980 et 1985 (Pata Peul, Gouni Peul). Leurs villages d'origine étaient Boube, Kaya, Kayok. A partir du milieu des années 1980, une nouvelle implantation continue et non intégrée au système bissa s'est alors mise en place ; ces pasteurs sont appelés les nouveaux Peul.

L'installation des pasteurs Peul dans la région de Bagré n'est pas totalement choisie. Elle résulte d'un phénomène climatique s'observant depuis le milieu des années 1970 (cf. 1.1). L'isohyète 600 mm situé dans la région Nord, lieu d'origine des populations Peul, s'est déplacé de 100 km vers le sud entre 1951 et 2000 (Direction de la Météorologie du Burkina Faso). L'alimentation pour le bétail est devenue de plus en plus limitée. Ce sont en particulier les sécheresses de 1969 - 1973 et de 1982 - 1984 qui ont été fatales aux populations d'éleveurs, et qui ont alerté la communauté internationale. On a encore à l'esprit les images d'argiles craquelées, de vaches mortes, d'éleveurs vendant leurs animaux squelettiques afin de pouvoir survivre. La décennie 1980 a alors été la plus sèche, marquée par l'apparition de l'isohyète 300 mm dans la région Nord du Burkina Faso (Direction de la Météorologie du Burkina Faso). Par conséquent, les populations chassées par les sécheresses successives, en particulier de 1973 et 1984, des hauts des interfluves (habituellement réservés aux parcours)

sont venues s'installer sur les bords du Nakambé. Elles étaient à la recherche de nouveaux points d'eau pour leurs troupeaux et de nouveaux bœufs à garder. Il s'est alors opéré des fuites rapides et temporaires lors des années difficiles, puis à un glissement plus durable.

Par ailleurs, à cette péjoration climatique s'est combiné d'autres facteurs : l'accroissement démographique (3,8 % par an dans les années 1980) qui a affecté l'ensemble du Burkina Faso, le retour des émigrés politiques, la fixation des populations jeunes ne partant plus vers les pays limitrophes. Les famines des années 1970 et 1980 ont été une conséquence de la conjonction de ces réalités naturelles et sociales. En définitive, face à ce déséquilibre entre la disponibilité des ressources et le niveau de prélèvements d'eau pour les usages anthropiques, une stratégie d'adaptation s'est manifestée par la migration (**Fig. 28**).

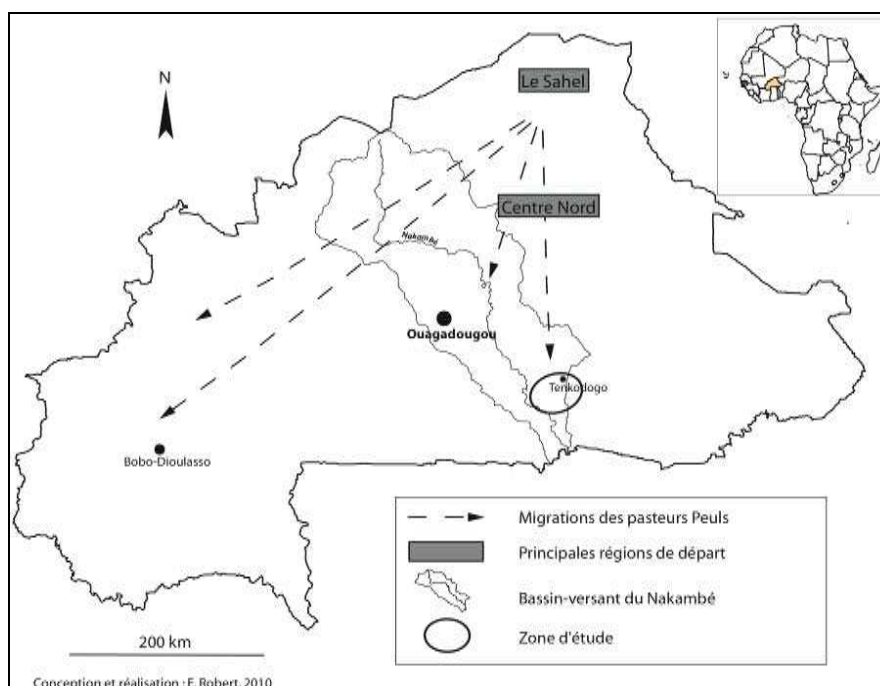


Fig. 28 : Les migrations Peul au Burkina au début des années 1980

Sources : BOUTRAIS, 1992 et ROBERT, 2010

Le Plateau Mossi déjà en état de surpeuplement avancé, n'a pu être une région d'accueil pour les populations Peul ; ces dernières ont dû se déplacer plus au sud en pays Bissa, ou à l'Ouest. On a alors observé des « coulées migratoires » d'orientation méridienne (BOUTRAIS, 1992). Un tiers des communautés pastorales s'est déplacé vers des zones où les espaces « naturels » libres semblaient plus disponibles (CLANET, 1994). La motivation première était moins la sécheresse que l'abandon d'espaces saturés. Dès les années 1990, on supposait que le changement de localisation des Peul entraînerait des conséquences à long terme dans toute la zone des savanes (BOUTRAIS, 1994).

2.4.1.2 L'arrivée des migrants : une pression croissante sur l'environnement

L'année 1984, marquée par deux événements (la sécheresse et l'annonce à la radio de la RAF), a été à l'origine d'une augmentation de l'installation des Peul sur les terres libres sans avoir avisés les autorités coutumières (il en est de même pour tous les autres migrants). Les Peul ont partout été les pionniers de cette « conquête ». Une autre catégorie, les « nouveaux Peul » fuyant la sécheresse du Centre-Est du plateau Mossi, est arrivée avec

quelques têtes de bétail et est allée se présenter chez le chef de village en lui demandant s'ils pouvaient garder les bœufs des villageois. Dans une grande précarité, ils se sont installés dans un milieu en pleine mutation soumis à un processus de dégradation des terres. En 1983, Dosso *et al.* faisaient déjà état d'une dégradation de 23 % des terres étudiées dans la région de Bagré.

Les défrichements de l'ensemble des populations, mais plus particulièrement des colons sahéliens, se sont effectués de manière anarchique. L'implantation sur les bords du fleuve aura de lourdes conséquences lors de l'ennoiment du lac de barrage : difficultés de recasement des populations surtout des Peul. Les communautés ont donc été en lutte pour les mêmes terres, et la situation a commencé à s'envenimer à partir du milieu des années 1980.

L'ensemble de ces facteurs explique que les éleveurs Peul, encore peu présents dans les années 1960, aient décidé de s'installer dans cette région. À des relations saisonnières (transhumance en saison sèche), de transit (échange avec le Ghana et le Togo) s'est associée une occupation continue de l'espace par les éleveurs remettant en cause les équilibres anciens et les relations entre les communautés.

2.4.2 L'élevage, entre résistance et résignation

L'extension des superficies des cultivateurs Bissa, l'arrivée d'agriculteurs Mossi, et d'éleveurs Peul ont provoqué une sur-occupation des terres. Des tensions, puis des conflits sont peu à peu apparus. La divagation des animaux dans les champs des paysans Bissa a été la cause principale. Néanmoins, on ne peut omettre la nature sociopolitique de ces désaccords. En effet, « *les pasteurs sont de plus en plus considérés comme des parias, témoins de sociétés archaïques et obstacle à la modernisation de l'économie* » (BERNUS, 1995).

La période des trois luttes contre la désertification (les feux de brousse, la divagation des animaux et la coupe abusive de bois) a renforcé ces conflits. Ainsi les Peul ont souvent été pris en défaut par les populations agricoles. A la fin des années 1980, on a alors assisté à une augmentation des plaintes envers les pasteurs. Les éleveurs devaient payer de lourdes amendes ; celles-ci variaient (100 à 15 000 F CFA) (FAURE, 1996) selon que le propriétaire du troupeau était Peul ou non (le propriétaire Peul payant davantage). Parfois, les conflits sont allés plus loin. Des coups de couteaux à Founfgou et Dassanga ont été répertoriés, ainsi que la mort de plusieurs bœufs à Yakala, et l'assassinat d'éleveurs.

Le problème réside dans le fait que l'on a assisté à une extension des terres cultivées et à l'arrivée de ces nouvelles populations. Les terres de la zone sud et sud-est de la Doubégué ont alors été occupées par des agriculteurs venus de Ounzéogo et de Bagré, et des concurrences sont apparues. Des troupeaux ont détruit des récoltes, des voies de passages autrefois empruntées par le bétail ont été envahies par les cultivateurs... Les inondations de vastes superficies, lors de la mise en eau du lac de barrage de Bagré, ainsi que le manque de clarté du droit des différents acteurs ont également amplifié les tensions.

L'instauration d'une solution pour répondre à ces conflits est alors devenue impérative. En 2000, le choix opéré par le gouvernement burkinabé a été la création de deux zones pastorales (Tcherbo de 2 625 ha et Doubégué de 4 500 ha) permettant de séparer les terres des deux communautés (cf. 8.3). Auparavant, elles avaient été identifiées dès 1985 afin

de trouver une finalité à ces terres nouvelles assainies suite aux travaux réalisées par l'AVV. Face à cette proposition, certains éleveurs ont choisis de s'y installer. Ils espèrent ainsi ne plus avoir de problèmes et pouvoir pratiquer leur activité dans une zone disposant d'assez de ressources pour leur famille et leur bétail. A l'inverse, d'autres, souvent les plus anciens résistent et restent sur leur terre comme à Zaka Peul.

Cependant, ces créations n'ont pas résolu les problèmes. Ils persistent dans la zone pastorale où des agriculteurs sont toujours présents en septembre 2009. D'autre part, hors de cet espace, les conflits relatifs à la divagation persistent. Ils s'observent au niveau de l'espace éco-touristique « accolé » à la zone pastorale (**photo 16**) et dans les différents espaces cultivés (**photo 17**). Ce fait s'explique en partie par la réglementation du mode d'accès aux pâturages lors de la saison sèche où les animaux sont autorisés à manger les fanes, les tiges et les pailles de mil, de sorgho, d'arachide, de niébé, de riz laissés sur place après les récoltes. Toutefois, les conflits les plus importants se déroulent lors de l'hivernage. Ainsi, la gendarmerie de Bagré qui s'étend sur deux départements (Bané et Bagré) répond, en moyenne, à 25 cas graves par an dont les $\frac{3}{4}$ se déroulent lors de la saison des pluies (en moyenne un cas par semaine). Il s'agit de cas importants faisant référence au pénal (vols, coups, blessures...). A ces événements extrêmes, s'ajoutent une centaine de faits par an. Leur résolution ne fait pas appel au pénal, mais à la conciliation. Les difficultés sont de divers ordres : des bœufs échappant à la vigilance des enfants devant les garder nuit et jour (ce problème renvoie également au faible accès à l'éducation des enfants Peul) ; des incidents se produisant au niveau des points d'eau ; des vols par des éleveurs transhumants (Il est très difficile de les retrouver) ; des problèmes de légitimité par rapport à des terrains (comme à Sanaboulé) ; des agriculteurs installés à la lisière de la zone pastorale ; la pulvérisation de produits à la limite des champs entraînant la mort d'animaux (5 en 2008)... Ainsi, lorsqu'il est fait état d'une divagation, un agent d'encadrement est réquisitionné par l'administration ou la préfecture. Il est envoyé sur le terrain pour évaluer les dégâts. Il établit le montant et envoie le procès-verbal à la gendarmerie. Lors de la fixation du montant, l'agriculteur et l'éleveur doivent être présents.

De plus, la création de la zone pastorale a été à l'origine de problèmes entre éleveurs lors de l'attribution des parcelles par les autorités. Cela est même allé jusqu'au conflit armé ; une personne a été assassinée en 2009.

En définitive, il semble que la principale source du problème soit le **manque d'intégration** et de relation entre ces deux activités (absence de contrat de fumure, de gardiennage, défaut d'organisation de l'espace). La zone pastorale pourrait être une bonne solution mais il conviendrait de modifier son fonctionnement, de développer les infrastructures qui doivent être présentes. Actuellement, le manque de moyen financier limite les réalisations techniques. L'encadrement est alors déficient. Par ailleurs, il ne faut pas que ces deux activités se développent en parallèle mais qu'elles soient **complémentaires**. Des campagnes de sensibilisation doivent être mises en place (cf. 8.3). L'objectif est de rectifier cette orientation et de permettre **un développement intégré afin de mettre en place une gestion efficace de l'environnement**. L'erreur principale de la création de la zone pastorale de la Doubégué réside dans le fait qu'elle a été pensée dans une logique de séparation des activités. Alors qu'il faudrait la mise en place d'une coopération. L'instauration d'un système

intégré agro-pastoral permettrait un développement de la zone mais également une gestion plus efficace de l'environnement.



Photo 16 : Animaux divaguant dans la zone éco-touristique

Cliché : E. Robert, 2009



Photo 17 : Divagation des animaux dans les champs (Pata)

Cliché : E. Robert, 2008

L'agriculture et l'élevage ne sont pas les seules occupations du bassin versant de la Doubégué. Suite à la mise en eau du barrage de Bagré, la pratique de la pêche s'est fortement développée. La région compte également davantage d'activités de commerce et un complexe éco-touristique, vitrine du tourisme burkinabé, a été construit. La prise en compte de ces fonctions est essentielle afin d'avoir une vision globale de cette région et connaître l'ensemble des acteurs qui pourront jouer un rôle dans la mise en place d'une gestion intégrée pour répondre aux risques de pertes en terre et en eau.

2.5 Les autres activités du bassin, entre continuité et développement

2.5.1 La pêche, un secteur prometteur déjà remis en cause

Le bassin versant de la Doubégué n'est pas à proprement parlé un lieu de pêche. Il n'empêche que cette activité a toujours existé avec une finalité vivrière. Néanmoins, la création du lac a entraîné des modifications. A présent, davantage d'agriculteurs pratiquent la pêche en période sèche, ainsi que des personnes ne trouvant pas de travaux dans les champs pendant l'hivernage. Il y a également des professionnels de la pêche.

Avant la mise en eau du lac, le Pays Bissa ne disposait pas d'une culture des grandes eaux. La personne entreprenant uniquement une quelconque activité de pêche ne pouvait pas survivre. Néanmoins, le fait que l'on se situait en présence de pente douce empêchait la formation de torrents et ralentissait le ruissellement. Des plaines d'inondations se formaient alors, constituant des lieux très propice à la fraie, à la nutrition, et au refuge des poissons. La présence ou non de ces espaces conditionnait l'abondance de la faune ichtyologique et la restitution rapide du stock exploitable.

Il existait une activité traditionnelle basée sur l'autoconsommation. Le poisson était alors conservé par le fumage. Il s'agissait d'une pêche saisonnière exercée dans le cours d'eau et les mares voisines par environs 200 pêcheurs, en majorité des agriculteurs Bissa. Seuls,

quelques pêcheurs étrangers étaient professionnels (Maliens, Nigériens, Nigérians et Ghanéens).

La pêche a pris son envol avec la mise en eau du lac de Bagré. Ainsi, de nos jours, cette activité occupe de nombreux jeunes. Le matériel utilisé comprend les pirogues, les assiettes, les filets dormants, les filets maillants et/ou épervier, et/ou palangres (**photo 18**). Peu de vérifications sont effectuées dans la zone. Souvent les mailles des filets sont trop petites et des poissons trop jeunes sont capturés ; ils ne peuvent donc pas atteindre leur taille adulte et se reproduire. Ce fait a déjà de lourdes conséquences sur l'évolution des quantités de prises disponibles.



Photo 18 : Pirogues au débarcadère de Bagré
Cliché : E. Robert, 2006

Dans les années 1990, les pêcheurs, au nombre de 500, ont souvent associé les activités de pêche et d'agriculture, et parfois d'élevage. Actuellement, environs 400 pirogues sont en état de fonctionnement sur le lac de Bagré. Le potentiel piscicole est estimé à 1 600 t/an (MOB, 2001). Les prises devraient être de 1 670 t/an au cours d'une année normale, de 1 290 t/an lors d'une année à déficit pluviométrique, et de 240 t/an lors d'une année de crue. La création du lac aurait eu dans un premier temps un impact positif. Ainsi, les études sur la productivité piscicole montrent que la production serait passée de 50 kg/an (fleuve Nakambé) à 60 kg/an en eau close (NANEMA, 1995). Néanmoins, le potentiel est loin d'être atteint. En 1999 (année favorable), les prises n'excèdent pas les 613 tonnes, et en 1998 (mauvaise année), elles ont été de 150 tonnes. Les prises les plus importantes sont réalisées pendant la saison pluvieuse (conditions météorologiques, physico-chimiques favorables) surtout lors du mois d'août. Au cours de notre second terrain, on a pu se rendre compte des quantités de poissons capturés et de l'activité importante des pêcheurs. Les prises en saison sèche demeurent moyennes, bien que les conditions soient bonnes. De nombreux agri-pêcheurs libérés des travaux des champs pratiquent alors cette activité.

La zone de Niaogho/Béguédo apparaît incontestablement comme la première zone de pêche du lac avec environ 50 % des captures. Ce fait s'explique d'une part par la présence d'une importante population de pêcheurs semi-professionnels, d'autre part par une bonne position géographique et un accès facile. Les deux autres zones relativement importantes sont celle de Fougou et de Bagré chantier, respectivement 17 % et 12 % des captures contrôlées.

En définitive, dans la région de Bagré, 80 % des pêcheurs sont membres d'un groupement et il existe trois catégories de pêcheurs (MOB, 2001) :

- les professionnels allochtones représentent 40,5 % des acteurs. Ce sont principalement des Maliens, des Nigériens et des Nigériens qui, le plus souvent, ne possèdent pas de terres ;
- les agri-pêcheurs autochtones ou semi-professionnels (47,2 %) pour qui l'activité de pêche est complémentaire à l'agriculture ou à l'élevage ;
- les pêcheurs occasionnels (12,3 %), majoritairement autochtones, pêchent de manière sporadique. Leur savoir-faire est rudimentaire. Ce sont généralement des jeunes désœuvrés tentant d'améliorer leurs revenus et leur alimentation.

Auprès de ces acteurs directs, on dénombre, également, des groupements de transformateurs (fumage, séchage, friture) comprenant 230 personnes (96 % de femmes), ainsi qu'une quarantaine de mareyeurs, et 112 commerçants (MOB, 2001). Cependant, la situation a évolué, on note une diminution du nombre de personnes travaillant dans le secteur.

Au niveau national, le secteur de la pêche se développe de plus en plus. En 1998, un décret a placé les pêcheries sous le régime spécifique des Périmètres Aquacoles d'Intérêt Economique (PAIE) administrés par un comité de gestion. A Bagré, il a été officiellement instauré le 09 juillet 2005. Il vise à asseoir une équipe, composée de 50 personnes, impliquant tous les acteurs de la pêche et les partenaires du développement afin de mettre en place un mode de gestion participatif et concerté de la pêcherie de Bagré. Ses objectifs sont la pérennité de la ressource, l'entente entre les différents acteurs, et la recherche de solutions pour faire face au risque d'épuisement du stock halieutique et à la dégradation de son habitat. Les unités de gestion prennent donc la succession du comité de gestion mis en place en 1990. Cependant, un certain nombre de réalités laisse craindre que la pratique de l'activité de pêche soit remise en cause.

D'importantes préoccupations s'observent au niveau de la retenue de Bagré mais aussi de la Kompienga. En effet, la production piscicole de des deux lacs a chuté. A Bagré, cette dernière n'est plus que de 600 à 800 t/an (Direction Générale des Ressources Halieutiques). La consommation nationale est de 30 000 t/an alors que la production est de 10 500 t/an. Le fossé se creuse donc entre l'offre et la demande. L'État doit de plus en plus faire appel à l'importation.

Les causes de cette évolution régressive semblent être la surexploitation (surtout des petites prises), le vieillissement (usure) peu à peu du biotope, la pollution par les pesticides utilisés par les agriculteurs, et le comblement des barrages. L'étude du bassin versant de la Doubégué mettra en lumière ces deux derniers problèmes soulevés. Il faudrait alors, selon le chef de mission de l'UICN, mettre en place « *la fermeture à la pêche pendant une période (un mois ou un trimestre) et le renforcement du dispositif de surveillance sur le pan d'eau, de manière à faire respecter la période de fermeture* ». Ainsi, la dégradation des sols observée et mise en avant dès la fin des années 1980, renforcée dans la décennie 1990, peut avoir de fortes implications dans la modification des stocks de poissons disponibles. Ces impacts s'opèrent également au niveau de la pratique de cette activité. En effet, si l'ensablement progresse, les poissons seront cachés dans cette eau trouble, et les prises seront d'autant plus difficiles.

Cette baisse de la production a aussi des conséquences sur la dégradation des conditions de vie des acteurs de la filière à Bagré. Ainsi, en juin 2008 les captures journalières au niveau d'un débarcadère étaient de 223 kg pour 23 pêcheurs et 180 kg pour 17 pêcheurs. Le kilo de poisson s'écoulait à 250 F CFA (petits), 500 F CFA (moyens), et 750 F CFA (grosses carpes). Les fumeuses de poissons sont également touchées. Certaines ont vu leur quantité de poissons à fumer divisé par deux. Cependant, en période de bonne production, certes ponctuelle, elles font de bonnes affaires entre 50 000 et 100 000 F CFA journalier (50 000 FCFA pour 100 kg) (OUEDRAOGO, 2008). Entre 2006 et 2009, le nombre de pêcheurs, de transformatrices et de mareyeurs est passé respectivement de 638 à 475, de 434 à 229 et de 79 à 39 (UICN, 2010).

Cependant à Bagré, la MOB et la Chine (Taïwan) essaient de colmater les brèches. Une dizaine de débarcadères et de magasins d'intrants ont été aménagés, et la pisciculture vient en soutien à la production du lac limitant l'impact de cette baisse. Une ferme piscicole a ainsi été construite, par la Coopération taïwanaise, en rive droite aval du barrage. Le bassin de 100 m² est opérationnel depuis 2004 (cf. 10.2.2). Le poisson élevé est le *Tilapia nilotica* ou *Oreochromis niloticus* vendu 1 250 F CFA les 500 g. Les objectifs sont alors la production de poisson à faible coût, d'alevins pour un élevage familial en bassin, en aquarium, en rizière, ou en cages dans le lac, de granulés (maïs, son du riz et soja) pour le poisson et aussi pour d'autres espèces animales. La formation de techniciens est également prévue.

2.5.2 Le commerce, un secteur en essor relayé par le tourisme

Peu de personnes vivent directement du commerce (0,50 % principalement des femmes : 0,57 % contre 0,24 % pour les hommes). Il s'agit souvent d'une activité secondaire.

Le commerce import-export porte sur les produits manufacturés, les produits maraîchers et les bovins ; sans oublier les produits phytosanitaires qui prennent de plus en plus de place. Les marchés de Bittou, de Béguedo, de Niaogho, de Garango, de Gombousougou, de Tenkodogo et de Zabré ainsi que les marchés au Ghana et au Togo constituent des lieux de circuits potentiels pour l'écoulement des produits. La proximité de ces deux pays et la route nationale 16 reliant la province au port de Lomé ont pour effet que le secteur est assez bien développé sur cet axe.

Le petit commerce est également bien étendu et concerne, entre autre, la petite restauration, la vente de produits agricoles (arachide, karité...), de poissons transformés, ainsi que la production et la vente de *dolo*. Les marchés secondaires sont alors des espaces importants, lieux de la vie sociale par excellence. On y apprend les informations, les nouvelles survenues dans les différents villages. Les marchés se déroulent tous les 2 jours. Ils sont particulièrement animés en saison sèche car les agriculteurs rentrés des champs viennent grossir le nombre d'acteurs du système.

Au niveau national, le poisson de Bagré se vend sur les marchés de Tenkodogo et de Ouagadougou. Le riz de Bagré est aussi acheté dans la capitale, mais son prix supérieur à celui importé lui est plus que préjudiciable.

Enfin depuis l'été 2005, un projet touristique a été lancé. Il a été inauguré le 6 juin 2009. En réalité il s'agit d'un centre éco-touristique réalisé en coopération avec la Chine - Taïwan. Il est le premier du genre au Burkina Faso. Il devrait permettre la valorisation de

toutes les opportunités rendues possibles par la création du barrage de Bagré. Il est bâti sur un espace de 600 ha ; le complexe hôtelier a une capacité de 108 lits, une grande salle de conférence, des ateliers et séminaires de travail, une boutique d'art pour la promotion de la culture et de l'artisanat au niveau local, régional et national, et une plage continentale. Le pan écologique porte sur la réalisation d'une pépinière polyvalente pour la production de plants forestiers, et de produits maraîchers biologiques, ainsi qu'une haie vive. Cette création est perçue comme « *une structure à impact multiple qui va valoriser les potentialités de la région, accroître sa capacité d'accueil, favoriser l'éducation environnementale et le tourisme, promouvoir les cultures bissa, koussassé, peul, moaga entre autres tout en créant des emplois et en générant des devises pour toute la nation* » (Siméon Sawadogo, gouverneur du Centre-Est). L'objectif est bien de s'appuyer sur la diversité des éléments présents sur place : une faune sauvage, une flore riche, un patrimoine culturel, des paysages divers. Le ministre en charge de l'agriculture, Laurent Sédogo, pense que le centre peut être un levier pour le développement local. Ce sont ses rôles multifonctionnels qui sont mis en avant (économique, culturel, environnemental et éducationnel). Nous aborderons la mise en place de ce site plus précisément dans la quatrième partie, afin de présenter la part qu'il pourrait prendre dans l'évolution du niveau de vie des populations du bassin versant de la Doubégué et plus largement de Bagré (**photos 19**).



Photo 19 : Au cœur du complexe éco-touristique de Bagré
Cliché : E. Robert, 2008

La présentation du cadre humain de la région de la Doubégué et plus largement de Bagré souligne à quel point l'impact de l'Homme est croissant dans cet espace tant en terme de superficie que d'activité. Il se fait principalement au détriment des ressources naturelles par la diminution du couvert végétal, la surexploitation des sols et la pollution des eaux. Ainsi, ce dernier point permettra de faire la transition avec les Parties 2 et 3 qui mettront en évidence ces dégradations.

2.6 Une région entre pression démographique et diminution des disponibilités en ressources naturelles

Dans la région du lac de barrage de Bagré, on estime que le seuil agro-démographique de l'utilisation des terres de la région est dépassé, enclenchant un processus de dégradation des ressources naturelles. Il s'agit de la relation entre la superficie en jachère et la superficie

en culture en dessous de laquelle les terres en cultures extensives ne se régénèrent plus. En effet, dans ce milieu, la densité de population ne devrait pas dépasser 40 hab/km². Or, en Pays Bissa, elle est de l'ordre de 75 hab/km². Cet accroissement de la population au cours du XX^{ème} siècle, et tout particulièrement depuis les années 1980, a alors eu **quatre conséquences majeures**.

Premièrement, on observe une **saturation de l'espace**, avec pour corollaire la dégradation des ressources naturelles, se traduisant par la **destruction du couvert végétal** comme nous allons le démontrer au cours de la Partie 2, et par une **baisse de fertilité des sols**. Les formations « naturelles » ont fortement régressé, remplacées par des espaces cultivés. De plus, la jachère est en régression. Or, dans un espace où la majorité des producteurs n'ont pas les moyens d'investir en intrants, elle assurait jusqu'alors la durabilité des systèmes de production.

Deuxièmement, les modifications du régime foncier ont aussi eu des conséquences, de même que la naissance de la crise agraire et foncière. Le système traditionnel reposant sur l'existence d'un chef de terre cadrait avec un système économique de subsistance. La terre n'était pas la contrainte limitante de la production. Mais, suite à l'accroissement de la population, le système de distribution/redistribution ne fonctionne plus. On a donc observé une **réduction de la souplesse d'adaptation du système foncier traditionnel**. Elle se traduit par une réduction voir une disparition de la jachère, une affirmation du droit de possession à l'intérieur des lignages, un morcellement des terres entre membres des lignages, et une multiplication des prêts et des emprunts de terres.

La troisième conséquence correspond à la crise agraire observée dans la région et plus largement dans le Plateau Central. Le travail sur les champs collectifs prédominait par rapport aux quelques champs individuels. Les jeunes ménages et les célibataires demeuraient sous le contrôle du chef de famille. Suite à l'introduction de l'économie de marché, ce système s'est trouvé perturbé. Le pouvoir des anciens a été de plus en plus contesté. Les chefs de famille se sont retrouvés dans l'obligation, bien souvent, de devoir céder une partie de leur temps ou terre à tout travailleur. L'éclatement des anciennes structures de production s'est alors opéré. Désormais, c'est à chacun, selon son travail, de satisfaire ses besoins personnels. **L'individualisme supplante peu à peu les valeurs de solidarité et d'entraide, et tend à accélérer l'éclatement de la « grande famille »**. L'ancienne structure est désorganisée et la force de travail divisée est affaiblie. Le domaine collectif se scinde au rythme du fractionnement des lignages. Ainsi, le mouvement vers la recherche de l'autonomie s'est traduit par l'extension des superficies cultivées au détriment des méthodes collectives et relativement intensives de mise en valeur traditionnelles de terres. L'accroissement des besoins en terres va donc provoquer des changements dans la mise en valeur. **On assiste à une mise en culture continue, à la disparition de la jachère, ou encore à l'exploitation de terres peu favorables à l'agriculture et sensibles à l'érosion**. On observe une précarisation de la tenure foncière et une dégradation des sols. Le prêt permet toutefois de remédier à l'inégalité de répartition. Mais, le système des contrats ne permet pas aux producteurs d'opérer des investissements et de développer des méthodes et des techniques d'amélioration.

Enfin, on observe **une forte migration des jeunes** ne pouvant pas ou difficilement avoir accès aux terres du fait de leur nombre insuffisant. La conséquence est alors la perte des

actifs agricoles et donc une diminution du capital de travail entraînant de fait une remise en cause de la capacité productive de la région.



La région du lac de barrage de Bagré a connu de profonds changements au cours du XXème siècle. Dans un premier temps, sous le poids de la colonisation française, ils ont relevé du domaine purement anthropique. Puis, les évolutions ont été brutales sous l'effet combiné de la « nature » et des hommes. En l'espace de deux décennies, la région de Bagré a dû faire face à des modifications climatiques, perdurant encore actuellement mais dans des proportions plus faibles. A ces mutations se sont associées l'arrivée de migrants d'ethnies non originaires de la région et d'activités diverses, ainsi que des modifications dans le droit agraire (dans les années 1980), et la création d'une grande retenue d'eau (au début des années 1990).

L'environnement du Pays Bissa a alors été profondément transformé. La dégradation des terres, déjà observée au milieu des années 1980, n'a fait que s'aggraver ; et les superficies cultivées n'ont fait que croître. Dans une logique de survie, les populations organisées dans un système de petites exploitations familiales ne peuvent faire face. Un cercle vicieux s'est alors peu à peu installé. Ainsi, on est en présence d'un milieu originel pauvre subissant des perturbations climatiques associées à des bouleversements anthropiques ; ces actions humaines elles-mêmes victimes de ces dernières agissent sur l'environnement en amplifiant le plus souvent les phénomènes de dégradation.

Il est alors intéressant de s'interroger d'une part sur la prise de conscience par les populations de ces dégradations (perte de fertilité, modifications des lits des cours d'eau, régression du couvert végétal), et d'autre part sur la responsabilité des différentes activités anthropiques. Il faudra également se questionner sur le rôle du gouvernement burkinabé qui semble peut prendre en compte l'action vitale qu'est le maintien de la fertilité des terres, et la protection des eaux et des sols ; alors que l'un de ses objectifs premiers est de nourrir sa population.

Conclusion de la Partie 1

La zone de Bagré, et plus précisément le bassin de la Doubégué, est un espace caractéristique du Burkina Faso. Pénéplaine disposant de sols originellement pauvres, elle a subi les effets de la péjoration climatique des années 1970 et 1980 qui ont agi directement sur le milieu originel en amplifiant les facteurs déjà variables que sont les évènements pluviométriques. Le sol, l'eau et la végétation ont alors été affectées.

De plus, ces modifications se sont couplées à des évolutions anthropiques. Le Pays Bissa a subi, au cours de son histoire, des recompositions territoriales. Les implantations humaines ont été tantôt liées au fleuve (vu comme un refuge), tantôt éloignées de ce cours d'eau (« réfugiées » sur les versants). Néanmoins, au cours des années 1970, suite à l'assainissement de la vallée de la Volta Blanche, le paysage actuel semble prendre définitivement forme. C'est sans compter sur les sécheresses successives qui vont toucher l'ensemble du Burkina Faso, principalement sa région Nord. En pleine période d'accroissement démographique, le pays connaît des vagues migratoires. De plus, à ces deux faits s'associe la mise en place de la RAF. Une nouvelle fois, des recompositions s'opèrent dans la région. Les superficies mises en cultures explosent. Il est alors essentiel d'occuper la terre pour avoir une chance qu'elle soit désignée comme sienne, et surtout qu'elle n'appartienne pas au DFN. Les conflits apparaissent, se renforcent à cette époque. La création du lac de barrage de Bagré ne va pas « calmer le jeu », bien au contraire. En ennoyant de nombreux hectares, il réduit d'autant plus les possibilités d'accès à la terre, attire de nouvelles populations, et entraîne le relogement de nombreuses personnes.

Dans ces systèmes familiaux agro-pastoraux de petite taille, les conditions de vie stagnent. Le manque de techniques associé aux caprices du ciel rend de plus en plus difficile la culture de la terre. Les populations vivent au jour le jour et se sentent abandonnées par l'État et ses représentants. Pourtant, ce sont bien ces espaces ruraux qui font vivre une large partie du territoire, et sur lesquels le gouvernement burkinabé compte pour atteindre l'autosuffisance alimentaire, dans un contexte où le taux de croissance démographique est encore de 3,1 % (2008), et l'urbanisation en plein essor (19,2 %) (2006). Conscientes que leur environnement meurt à petits feux, les populations manquent de moyens, d'aide pour freiner ce processus. Or s'il perdure, il deviendra de plus en plus impossible de cultiver ses terres.

La région de Bagré a connu une forte élévation de sa pression démographique suite à la réalisation du barrage, à l'arrivée de migrants, à des choix politiques, à laquelle a été associée une augmentation des activités agro-pastorales. Ces évolutions humaines associées aux facteurs climatique et géomorphologique laissent peser des risques sur l'environnement de la région. Il convient de s'interroger sur leurs conséquences sur les différentes ressources que sont la terre, l'eau et la végétation. La région Bissa, et plus précisément le bassin de la Doubégué, se retrouve alors face à des enjeux qu'il va falloir défier et déjouer. Ils se situent au niveau de deux éléments vitaux, la terre et l'eau, sans oublier également la végétation. Ils concernent tant les aspects de qualité (fertilité, facteurs physico-chimiques) que de quantité (moins de terre et d'eau disponible, régression du couvert végétal). Il est alors essentiel d'identifier clairement les éléments à l'origine de cette évolution, comment ils se comportent et par quels moyens ils agissent (Partie 2), pour dans un second temps étudier leur impact (Partie 3), et enfin repérer les espaces les plus affectés et y mener des actions (Partie 4).

DEUXIÈME PARTIE

UNE ÉROSION CROISSANTE DES SOLS VÉCUE PAR LES POPULATIONS

L'érosion est un phénomène qui se caractérise par l'ablation des roches ou des reliefs, un déplacement du matériau altéré, et enfin son dépôt. Différents agents sont responsables de ce processus : le vent, l'eau, la glace, la mer - bien que ces deux derniers ne sont évidemment pas en cause ici -, ou des agents d'érosion anthropiques comme le piétinement des animaux. Cette action dépend des conditions biophysiques du milieu, quoique certaines soient fortement liées et/ou les résultantes de l'impact anthropique. Il s'agit de la topographie des bassins versants (dont le facteur prépondérant est la pente), du contexte morpho-géologique, de la nature des unités pédologiques et de la résistance de la roche qui vont déterminer les caractères physico-chimiques en fonction de la stabilité structurale et texturale de cette dernière. Cependant, dans cette région du Burkina Faso où les pentes sont faibles (cf. 3.2.2), le paramètre essentiel à prendre en compte est **l'état du couvert végétal**. Il permet de réduire l'impact des gouttes, et par là même l'effet « *splash* », en constituant un écran face à l'énergie cinétique des précipitations. Par ailleurs, le système racinaire consolide la structure des sols. Ces derniers résistent alors davantage à l'érosion. La couverture végétale permet la protection des sols contre le décapage pelliculaire et le piégeage des sédiments charriés.

Ainsi, nous nous appuyons sur les travaux de MIETTON afin de définir le processus érosif. « *La dynamique morphogénique est la résultante d'un jeu combiné de multiples processus d'origine physique, biologique et chimique. Ces différentes actions s'apparentent à un bilan de transfert de matière dont la complexité tient au caractère tantôt positif (dépôt) tantôt négatif (ablation) de chacun de ces termes* » (MIETTON, 1988). Il s'agit d'une action variable dans le temps et dans l'espace. « *Les processus biologiques d'origine animale ou végétale sont plus ponctuels que les processus mécaniques ou chimiques. Mais la vulnérabilité des sols par rapport à des processus aréolaires comme l'érosion pluviale, le ruissellement ou la déflation est contrastée en fonction du **maintien ou non du couvert végétal, lui-même sous l'emprise anthropique*** » (MIETTON 1988).

Après avoir rappelé ce qu'est l'érosion, il est capital de revenir sur les étapes de son étude sur le continent africain. Ainsi, en Afrique, les recherches sur ce processus se sont développées il y a une cinquantaine d'années (ROOSE et DE NONI, 2004a). Elles concernaient principalement l'érosion en nappe et en rigoles, phénomène prédominant en particulier au Burkina Faso. L'intérêt s'est renforcé au fil des décennies suite à l'accroissement de la population et à l'amplification du phénomène érosif, conduisant alors à une dégradation des terres. Les chercheurs appartenant au Réseau Erosion, et à l'*International Soil Conservation Organization* (ISCO) travaillent en particulier sur ces thématiques.

Pendant la période coloniale, en Afrique francophone, FOURNIER (1967) a été un des initiateurs de la mise en place de parcelles d'érosion, dans une dizaine de pays, afin de quantifier les dangers du ruissellement et de l'érosion sous les divers systèmes de cultures régionaux. ROUGERIE (1958) en Côte d'Ivoire, SAUTTER au Congo (1970) ont également lancé des recherches sur ces processus. Enfin, HUDSON, en Rhodésie (1958), a mis en évidence l'importance de l'énergie des pluies, du couvert végétal, de la pente des sols, et des modes de gestion. Il a également montré que l'intensification de l'agriculture n'entraîne pas forcément une accélération de la dégradation des sols (1971). Aux Indépendances, ces travaux ont été poursuivis.

Au Burkina Faso, les chercheurs du Centre Technique Forestier Tropical (CTFT) ont comparé les risques d'érosion sous divers couverts naturels ou cultivés. Un géographe se distingue cependant : Michel MIETTON, dans les années 1980, a travaillé sur la « *dynamique de l'interface lithosphère - atmosphère au Burkina Faso : l'érosion en zone de savane* » (1988).

Ces recherches ont également mis en évidence le lien existant entre **l'érosion et la perte de nutriments**. En effet, les sédiments issus des sols érodés sont plus riches en argiles et en limons fins, en matière organique, et en nutriments. Ainsi, l'érosion en nappe (*interrill*) est un moteur de l'appauvrissement en particules fines et en nutriments de l'horizon superficiel de nombreux sols africains sablo-argileux (ROOSE, 1994), comme cela est le cas dans le bassin versant de la Doubégué. Ainsi, cette **action érosive amplifie la pauvreté des sols** rencontrée dans cette région du Burkina Faso. Il est intéressant de noter que les personnes interrogées lors de nos enquêtes, en particulier les agriculteurs, ont conscience de cette action de l'eau (appauvrissement peu à peu de leur terre, abaissement de la fertilité). Et, sans l'apport des fosses fumières, et parfois d'engrais chimiques, les cultivateurs soulignent que le rendement de leur terre serait encore plus faible.

Au Burkina Faso, l'érosion des sols est estimée comme faible à modérée pour 16 % des terres, sévère pour 45 % et extrême pour 31 % (GUILLOBEZ *et al.*, 2000). Dans ce pays, et plus précisément **dans le bassin versant de la Doubégué, le principal agent érosif est l'eau**. En effet, cet agent est particulièrement efficace dans cette région par l'intermédiaire de l'agressivité des précipitations et des ruissellements qui peuvent en découler (Chapitre 3). Ce chapitre présentera également les facteurs concourant à faciliter l'érosion dans notre secteur d'étude : la pauvreté des sols essentiellement sablo-argileux donc aisément érodables, la topographie, et la **couverture végétale**. C'est, cette dernière qui est primordiale dans la compréhension du phénomène érosif dans le bassin versant de la Doubégué (contexte de faible pente et sols originellement pauvres). Son étude clôturera le Chapitre 3 avant d'aborder l'élément central de cette deuxième partie : l'étude diachronique de l'occupation des sols (Chapitre 4).

En effet, dans le bassin versant de la Doubégué, l'évolution du couvert végétal relève de la péjoration climatique, mais également de mutations anthropiques. Les résultats d'une analyse diachronique, réalisée sur 3 dates (1986, 1995, 2007), de l'occupation des sols seront présentés au cours de ce dernier. L'ultime point s'attachera à souligner la prise de conscience de la population face à l'évolution régressive du couvert végétal. Les méthodologies employées, d'une part pour l'analyse diachronique et d'autre part pour les enquêtes, seront présentées au fur et à mesure de ce Chapitre 4.

En définitive, on observe l'action d'une érosion hydrique aréolaire, mais, dont **la composante linéaire tend à se développer**. Le Chapitre 5 mettra en lumière cette évolution. Au début de l'hivernage, les pluies vont « frapper » les sols, dont la majorité est laissée à nu avant d'être mise en culture. Ces derniers sont littéralement attaqués par l'action des gouttes de pluies (agressivité pluviométrique). **L'essentiel des particules est alors transporté par le ruissellement jusque dans les bas-fonds, et les cours d'eau**. Dans ces espaces aux pentes

faibles, et où réside une certaine uniformité pédologique, le type aréolaire, diffus a prédominé pendant des millénaires. Il est une des causes également de ce façonnement sous forme de glacis. Néanmoins, les modifications décrites précédemment ont pour effet d'accroître sa composante linéaire qui était jusqu'alors secondaire. Les rigoles, les ravines et les ravins tendent à se développer (en nombre et en taille). En effet, les longs glacis sont de plus en plus dépourvus de végétation. Les ruissellements se développent davantage et ils deviennent plus puissants. Cette évolution entraîne une quantité plus importante de particules jusqu'au cours d'eau. Ainsi, en Afrique, dans le cas de longs glacis soudano-sahéliens dont la pente varie entre 1 et 3 %, **l'érosion en nappe, aratoire et en ravine** est respectivement de **0,1 à 35 t/ha/an, de 2 à 5 t/ha/an et de 20 à 100 t/ha/an** (ROOSE *et al.* 2000).

Chapitre 3 :

Des agents et des facteurs « naturels » amplifiés par l'agent anthropique

L'érosion est un phénomène complexe résultant de différents processus (détachement, transport, et dépôt). Le modèle USLE (*Universal Soil Loss Equation*) de WISCHMEIER et SMITH (1960) présente clairement les différents éléments à prendre en compte lors de l'étude du phénomène érosif. En effet, l'érosion est alors une fonction multiplicative de l'érosivité des pluies que multiplie la résistance du milieu (sol, facteur topographique, couvert végétal, pratiques culturales et antiérosives).

Dans le bassin versant de la Doubégué, l'agent principal est la pluie et le ruissellement de surface qui l'accompagne. Néanmoins, il convient de prendre en compte les facteurs naturels et anthropiques à l'origine des diverses formes d'érosion. Dans notre région d'étude, l'impact de l'Homme s'est accru, principalement à partir des années 1990. L'étude diachronique de l'évolution de l'occupation des sols depuis 1986 mettra en avant, le développement de l'emprise humaine au détriment des formations dites « naturelles ». Or, le facteur principal jouant un rôle dans la protection des sols contre l'érosion, et donc contre les risques de pertes en terre, est le couvert végétal. Ce dernier est, par conséquent, le paramètre essentiel à étudier dans notre région d'étude.

Nous présenterons alors dans ce Chapitre 3, le ruissellement, principal agent d'érosion (3.1), les facteurs secondaires que sont la topographie et la pauvreté des sols (3.2), et le facteur majeur : la couverture végétale (3.3)

3.1 L'action prédominante du ruissellement, relayée par le vent

3.1.1 L'agressivité des pluies, le point de départ

L'érosion pluviale dépend de la hauteur, de l'intensité, de l'énergie cinétique, et de la répartition des pluies. L'énergie cinétique des gouttes de pluie est proportionnelle à la hauteur de leur chute (ELLISON, 1944 ; FEODOROFF, 1965), à la taille de ces gouttes (diamètre), et à leur vitesse de chute (HUDSON, 1957). Il existe divers indices d'agressivité des pluies : l'indice d'érosivité de Hudson (KE), l'indice d'érosivité des pluies de Wischmeier (R), etc. L'énergie cinétique est déterminée à partir de formules empiriques. Elle est liée aux différents types d'averses. Dans la zone d'étude, elles sont de quatre types (PRINCIPI, 1992) :

- de lignes de grain : forte intensité de durée brève mais forte : goutte de 5 - 6 mm de diamètre et 20 à 100 mm en quelques dizaines de minutes ;
- de la ZCIT : dues à des systèmes nuageux type cumulonimbus. Volume de 200 mm en 36 h ;
- des flux de la mousson stabilisée : volume très faible 20 - 30 mm, diamètre moyen. Son efficacité dépend du couvert végétal, souvent développé à cette saison ;

- de convection : brève, grosses gouttes, intensité moyenne. Si la région est sensible à l'érosion, comme c'est le cas dans la zone de la Doubégué, ces précipitations sont agressives.

Les conséquences des précipitations dépendent également de la nature du sol, du couvert végétal, de la pente, et de l'emprise anthropique.

3.1.1.1 L'importance de l'effet *splash* sur des sols pauvres et cultivés

Ces régions soudaniennes sont particulièrement affectées par un phénomène qui se produit essentiellement au début de l'hivernage : l'effet *splash*. Ce dernier s'opère sur des sols peu couverts. Ainsi, on pourra assister à l'éclatement de la goutte d'eau sous forme de gouttelettes plus petites rebondissant, si la libération de l'énergie cinétique d'une goutte d'eau, à son point d'impact sur le sol, est suffisante, et suivant son importance et les caractéristiques de ce sol. L'action battante et l'humectation provoquent alors la désagrégation des éléments superficiels (VALENTIN, 1985). En d'autres termes, les impacts des pluies entraînent un taraudage des agrégats et un rejaillissement, ou *splash*, des gouttelettes et des petites particules. On qualifie les pluies d'érosive si l'intensité pluviale maximale instantanée est supérieure à 75-120 mm/h. Ces valeurs sont souvent observées dans cette région notamment au début et en fin de saison des pluies. Les fortes intensités désagrègent la structure du terrain où les argiles sont séparées du reste et sont prises en solution par la lame d'eau se formant à la surface selon le type d'averse. Dans le bassin versant de la Doubégué, les teneurs en argiles sont faibles (cf. 3.2.1.2). Cette action de prise en solution a alors d'autant plus d'impact. **Le peu de particules « riches » est exporté vers l'aval (les cours d'eau)**, appauvrissant davantage les sols. Les éléments les plus grossiers sont, eux, déplacés par les chocs successifs, et restent plus ou moins en place selon la pente. Il s'opère donc un tri de tous les éléments se redistribuant à la surface du sol. Quant aux fentes de retrait, elles sont souvent colmatées par les matériaux.

Ainsi, BOLLINE (1975) a mis en évidence que plusieurs dizaines de tonnes par hectare et par an peuvent être détachées lors d'actions sur des sols nus. Néanmoins, les distances de transport liées à l'effet *splash* sont minimales (quelques décimètres). En effet, le transport est sélectif. Il s'opère alors un tri du matériel, une migration verticale dans l'eau d'infiltration, et un transport latéral sous l'impact des gouttes de pluie. L'effet *splash* affecte principalement les particules fines et les micro-agrégats. Il est à noter que ces derniers ont tendance, en retombant, à être piégés par les éléments plus grossiers et à fermer les macrospores.

Ainsi, suite à l'impact des pluies, la structure de certains sols peut être détruite. Cette action affecte la majorité des sols présents dans le bassin versant de la Doubégué. Leur surface évolue donc progressivement passant d'un état fragmentaire, poreux, meuble à une croûte structurale (quelques millimètres d'épaisseur) où certains fragments restent distincts. Elle devient davantage compacte, et la vitesse d'infiltration de l'eau s'abaisse. Puis, les particules détachées par le *splash* vont se déposer à des vitesses différentes pour former une surface lisse que l'on appelle croûte sédimentaire ou croûte de battance qui peut être épaisse de quelques centimètres. L'aspect du sol est alors lisse et « glacé ». A ce stade, l'infiltrabilité diminue, au point que l'excès d'eau atteigne quelques millimètres, et que des flaques se

forment. Issue de cette action, la pellicule diminue l'infiltration au profit du ruissellement qui augmente rapidement²⁹. En 1984, BOIFFIN (**Fig. 29**) résume alors les stades de dégradation de la surface du sol sous l'action des pluies en trois phases.

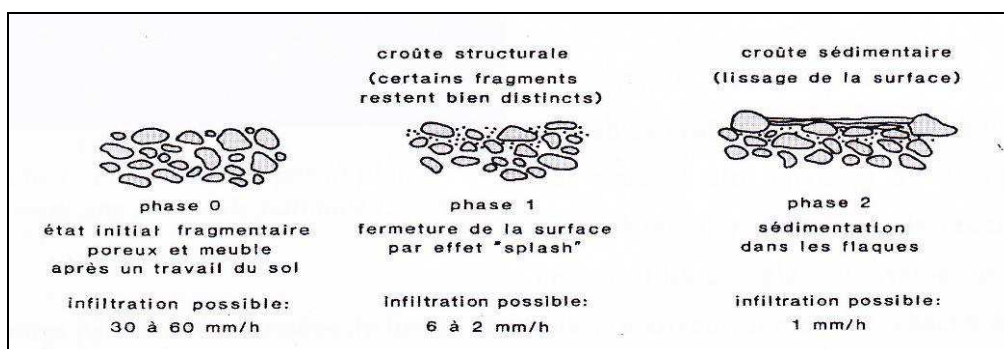


Fig. 29 : Les stades de dégradation de la surface du sol sous l'action des pluies

Source : d'après Boiffin in Berville, 2002

Dès que la valeur des précipitations instantanées est supérieure à la possibilité « i » d'infiltration du sol, un ruissellement diffus se met en place. Ce phénomène peut être lié à l'intensité des précipitations. Cependant, son origine, le plus souvent, est à relier à l'effet *splash* qui a éclaté les agrégats et colmaté les pores. Le ruissellement sera donc d'autant plus important qu'une croûte de battance se sera formée (**Fig. 30**). Ces croûtes de battance apparaissent principalement au début de la saison des pluies, et peuvent atteindre 10 cm. Nombreuses sont celles que nous avons pu observer sous différents types d'usage de sol (maïs, mil...) au cours de notre terrain en juillet et au début du mois août (**photo 20**). En théorie, la battance est caractéristique des sols limoneux. Néanmoins, elle existe également au niveau des sols sableux dominants dans le bassin versant de la Doubégué.

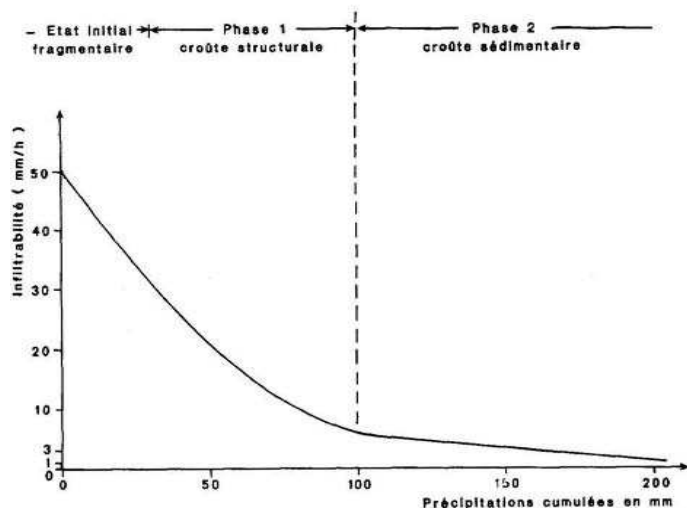


Fig. 30 : Diminution de l'infiltrabilité du sol en fonction de l'extension d'une croûte de battance

Source : d'après Eimberck in Berville, 2002



Photo 20 : Croûte de battance formée sur une parcelle de culture de coton le 16 juillet

Cliché : E. Robert, 2009

²⁹ Dans certains cas, de larges zones de terres peuvent restées sèches alors qu'un ruissellement se produit, au-dessus d'elles, sur les croûtes de battance.

3.1.1.2 L'agressivité des pluies en début d'hivernage

L'importance du détachement des particules du sol par la pluie dépend de son efficacité (intensité et volume de précipitation). La fréquence d'apparition et le temps de retour des averses vont également jouer un rôle. La capacité de détachement des pluies intenses est supérieure à celles des pluies fines.

Ainsi, **au début de l'hivernage**, dans la région de la Doubégué, **l'intensité des pluies joue le rôle prédominant**. Les sols sont en grande majorité à nus. Ils subissent alors l'agressivité pluviale. Au fur et à mesure que la saison des pluies s'installe, la répétition des événements météorologiques, dont certains durent pendant plusieurs heures, devient le principal facteur d'érosion. A partir de la mi-août, une partie des champs mis en culture se verdit. A cette période de l'année, il s'agit des parcelles de maïs et d'arachide. En termes de protection des sols, il existe une nette différence entre ces deux cultures : les arachides étant des plantes davantage couvrantes, et présentant une meilleure protection du sol que le maïs (**photo 21**). Toutefois, les parcelles cultivées en maïs sont moins soumises à l'agressivité des pluies que les champs qui connaîtront plus tard la croissance de leur culture (sorgho, haricot, niébé, coton, et en dernier lieu le mil).

Le couvert végétal « naturel » subit également cette évolution mais l'impact est nettement plus faible, et plus restreint temporellement car l'herbe reverdit plus rapidement. Dès la seconde moitié du mois de juin, les secteurs non mis en culture présentent des teintes dont le vert est la couleur dominante (**photo 22**). Toutefois, il existe des différences selon le type de formation végétale. Ainsi, les lambeaux de forêts galeries sont plus faiblement affectés au cours de l'année. L'impact est alors croissant jusqu'aux secteurs en herbe. Cependant, le sol étant à chaque fois protégé par la végétation, les conséquences sont faibles. Notre attention, lors de l'étude des risques de pertes en terre, se portera logiquement sur les parcelles mises en culture suite à des déboisements et à des défrichements.



Photo 21 : Champ d'arachides présentant une bonne protection contre l'agressivité des pluies du mois d'août (le 10/08/2009)



Photo 22 : Espace « naturel » reverdit dès le 30/06/09

Clichés : E. Robert, 2009

Néanmoins, hors du cadre annuel, sur une période plus longue, la péjoration climatique s'est accompagnée d'une dégradation du couvert végétal suite à la modification progressive des espèces, principalement lors des phases difficiles de reconquête, après les défrichements.

3.1.1.3 Un risque érosif amplifié

La péjoration climatique, et donc la réduction des totaux pluviométriques, affectant cette région depuis les années 1960 n'ont pas modifié l'agressivité des pluies. En effet, cette réduction concerne davantage les phénomènes orageux dans le corps même de la mousson, que les lignes de grains (cf. 1.1). Or, ce sont ces dernières qui sont les plus érosives. Elles se caractérisent par une forte agressivité, surtout si le sol est nu. Elles représentent 40 % des précipitations annuelles (MIETTON, 1988). A la fin des années 1980, MIETTON a mis en évidence, lors de l'étude des pluies maximales d'avril, de mai, et de juin (période du passage des lignes de grains) que les **valeurs centennales**, considérées comme exceptionnelles, **s'observaient plus souvent**. La loi de Gumbel permet d'estimer la récurrence des événements jugés exceptionnels. Nous avons présenté les résultats de MIETTON publiés dans sa thèse en 1988 afin de montrer les chiffres correspondant à ces valeurs exceptionnelles se produisant davantage et **accroissant le risque érosif** dans la région de Tenkodogo (Tab. 7).

La durée de retour renseigne également sur la vitesse actuelle d'évolution des modèles (Tab. 8). La moitié de l'agressivité des pluies s'exerce de la période mars - avril au mois de juillet, lorsque le sol est quasiment dépourvu de couvert végétal (espace en reconquête) ou à nu en vue d'être cultivé. Le risque érosif est alors le plus élevé. Or, entre 1986 et 2007, le rapport entre les espaces « naturels » et les secteurs cultivés s'est inversé (cf. 4.2). Au début de la saison des pluies, il y a davantage de sols sans protection végétale. Le risque érosif tend donc à s'accroître spatialement dans le bassin versant de la Doubégué.

	P5			P10			P100		
	Avril	Mai	Juin	Avril	Mai	Juin	Avril	Mai	Juin
Tenkodogo	33,9	54,3	50	45,3	67,7	61,7	81	110	98,4

Tab. 7 : Pluies journalières maximales mensuelles (mm) en début d'hivernage (Loi de Gumbel)

Source : d'après Mietton, 1988

Durée de retour		5 ans	10 ans	100 ans
Pluies (mm)	Mai (région Centre)	44,7	56,1	91,9
	Juin (région Centre)	46,6	56,7	90,5

Tab. 8 : Fréquence des pluies journalières maximales en mai et juin dans le Centre du Burkina Faso

Source : d'après Mietton, 1988

Comme le soulignait MIETTON (1988), « *les précipitations sont le principal agent morphodynamique du domaine des savanes* ». Le type de végétation prédominant dans le bassin de la Doubégué étant la savane arbustive (cf. 4.2), les pluies sont donc l'agent morphodynamique le plus important pour les espaces « naturels ». Toutefois, elles affectent également des superficies laissées à nu car mises en culture de façon permanente. Les pluies sont le point de départ du processus érosif. Leurs fortes intensités instantanées s'associent à des changements observés à la surface du sol (croûte de battance). Cette combinaison est à l'origine de la naissance de ruissellements qui auront un impact dominant sur les secteurs anthropisés.

3.1.2 Le ruissellement, agent principal de l'érosion dans le bassin versant de la Doubégué

Le ruissellement se produit dans deux cas : lorsqu'il y a saturation du sous-sol et des sols en eau, et lorsque la battance empêche les infiltrations. Il convient, également, de distinguer la **saturation durable** et l'**instantanée**. La première est peu présente dans la région de la Doubégué, car elle suppose un engorgement préalable ce qui s'observe rarement en climat à saison contrastée. La seconde prédomine. Elle répond à une structure litée, favorisant l'imperméabilisation des sols. La capacité d'absorption de ces sols est alors trop faible par rapport aux intensités observées en début d'hivernage. Le ruissellement de battance est issu de l'effet *splash* occasionnant des phénomènes d'engorgement. Si la durée de l'averse est assez importante, les zones engorgées vont devenir coalescentes et permettre la mise en place d'un écoulement plus concentré, principal facteur du ravinement.

Le ruissellement est toujours précédé de la formation de plaques d'engorgement. On peut décomposer la mise en place de cet agent en différentes phases. La phase d'imbibition se segmente en une phase d'infiltration totale et une phase transitoire (flaque). Puis, on observe la mise en place de ruissellements, liés à l'extension des flaques débordant, qui se rejoignent en contournant les obstacles. Le ruissellement est lié à la porosité du sol et à la capacité d'infiltration de l'eau. Dans le domaine nord-soudanien, **l'infiltrabilité des sols** dépend essentiellement de **l'importance du couvert herbacé** (POSS et VALENTIN, 1983). Or, dans le bassin versant de la Doubégué, les formations dites « naturelles » sont en recul. De plus, jusqu'au milieu du mois d'août, la majorité des sols mis en culture sont peu ou pas protégés. L'infiltration est également liée à l'organisation pédologique interne et aux états de surface, lesquels varient selon la saison, ainsi qu'aux caractéristiques des averses, de l'état d'humectation du sol, et de la pente. Dans notre secteur, les précipitations sont agressives, particulièrement en début d'hivernage. L'état de l'humectation s'améliore au fur et à mesure de la mise en place de la saison des pluies. Toutefois, au début de cette dernière, les sols très secs, sur lesquels est souvent observée une croûte de dessiccation, ne sont pas propices à l'infiltration. A l'inverse, la pente en général faible peut favoriser l'infiltration. Cependant, aux vues de l'importance des autres facteurs, son action est modérée. **L'infiltrabilité des sols** de la région peut être par conséquent qualifiée de **faible**, principalement au début de l'hivernage. Même au cœur de ce dernier, elle demeure minime aux vues de la vitesse des temps de réponse observés entre le début d'une averse et le ruissellement visible sur les versants. Nous développerons cette rapidité des temps de réponse lorsque nous aborderons les questions de turbidité. L'exemple observé à Belcé (le 27/07/2009) est particulièrement illustratif (**photos 23, 24, 25 et 26**).

Le mode de ruissellement est essentiellement contrôlé par le couvert végétal. Il en existe alors différents types. Le **ruissellement en filet ou diffus** caractérise un milieu sous savane « naturelle ». Il est formé de filets d'eau anastomosés de faible intensité, non hiérarchisés, de formes indécises. Les éléments fins sont pris en charge, et des touffes d'herbes peuvent être déchaussées. Son épaisseur est faible. Il est lent et redistribue les particules fines concentrées à la surface du sol. Il est souvent lié aux pluies de la ZCIT, et à des pentes faibles. Le ruissellement en nappe est l'étape suivante. Il conduit à une ablation généralisée. Il se forme à proximité de l'amont et il se concentre en circulant vers l'aval. Il

prend de l'épaisseur et de la vitesse en bas de versants où de nombreuses plaques de sols nus se forment. La végétation joue un rôle en le freinant. Les ruissellements diffus et en nappe sont responsables d'une ablation changeante dans le temps et l'espace qui est insidieuse et sélective.



Photos 23 et 24 : Site de Belcé le 27/07/2009 à 12h59



Photo 25 : Site de Belcé le 27/07/2009 à 13h09



Photo 26 : Site de Belcé le 27/07/2009 à 13h17

Clichés : E. Robert, 2009

Les zones de bas de versant sont aussi les lieux d'un **ruissellement** de type, cette fois-ci **concentré**, entraînant la formation de rigoles, de ravines, et de ravins. Les vertisols sont les plus touchés par l'érosion qui se propage vers l'amont des versants à partir des axes d'écoulement. Ces formes se greffent sur les ruptures de pente. On rencontre une vaste zone, localisée entre Bagré - village et la Doubégué, constituée de sols bruns eutrophes tropicaux vertiques et ferruginisés (**photo 27**) ainsi qu'au sud-ouest de Ounzéogo, et le long de la piste de Loanga (entre Ounzéogo et Sasséma). Les pistes, comme celle de Loanga, jouent également un rôle en collectant les écoulements concentrés. L'apparition d'un ruissellement concentré élémentaire est aussi favorisée par la texture grossière d'un horizon induré à faible profondeur (**photo 28**).

Le ruissellement concentré prend différentes formes. Celui en rigole produit une incision temporaire. Ce processus se déroule lors des averses pendant lesquelles l'eau se concentre et se canalise par l'action de la végétation, du microrelief, et des cultures qui sont des obstacles à l'écoulement. Il faut distinguer les rigoles en anastomose, en parallèles, et hiérarchisées. Les premières balayent le secteur amont. Les secondes concernent les pentes plus fortes (où il y a reprise de l'érosion verticale) ou des ruptures d'équilibre suite à des

défrichements. Les troisièmes sont le témoin d'une augmentation de l'érosion verticale et du passage à une forme en ravine. Il existe également le ruissellement en ravines. La charge solide est plus forte, la vitesse du fluide plus grande. On le rencontre principalement en bas de versants là où le versant laisse la place au bas glacis.



Photo 27 : Ravine entre Bagré village et la Doubégué (piste de Pata)



Photo 28 : Horizon induré caractéristique du bassin versant de la Doubégué (secteur aval)

Clichés : E. Robert, 2009

Il convient également de revenir sur le système des ravins. Dans les sols ferrugineux, ils ont souvent un profil en U dans lesquels les argiles assurent la structure massive qui garantit la verticalité de leurs berges. De l'amont vers l'aval, les ravins s'élargissent, les berges diminuent et le flux reprend sous forme de ruissellement en nappe (PRINCIPI, 1992). Dans le bassin versant de la Doubégué, deux secteurs, entre autre, présentent un ravin. Le premier se localise en rive gauche entre Douka et Zaba, et le second en rive droite, le long de la piste reliant Tenkodogo à Ounzéogo, proche de Loanga. Ce dernier est profond d'environ 2 m, pour 4,5 m de large, et plusieurs centaines de mètres de longueur. Nous développerons davantage cette forme d'érosion au cours du chapitre 5 lorsque nous aborderons l'amplification de l'érosion de type linéaire.

Par ailleurs, le ruissellement est différent selon le mode d'occupation du sol. **Sous savane, sur pente faible** (de 0,5 % à 3 %), et quel que soit le type de sol (brun vertique ou ferrugineux), le **ruissellement annuel est faible de 0,2 % à 22 %**, et l'**érosion de 0,03 à 0,93 t/ha/an** (MIEETON, 1988). Quant à NEBOIT (1991), il évalue les **pertes en terres de 0,02 à 0,4 t/ha/an** sous savanes arbustives. Les savanes peuvent donc être qualifiées de pénétables. Il s'agit du milieu « naturel » de notre bassin versant. Dans ces conditions, cet espace serait donc peu soumis à un ruissellement important et à une forte érosion. Mais, ces zones sont restreintes dans le bassin versant de la Doubégué. Lors de l'étude diachronique, nous reviendrons sur ces secteurs qui sont particulièrement bien protégés, et par conséquent peu concernés par les risques de pertes en terre. Ils se localisent principalement dans le secteur sud du bassin versant de la Doubégué. Comme nous le développerons ci-après, les formations de savane représentaient 60 % de cet espace en 1986, et seulement 25 % en 2007. Ainsi, **le facteur expliquant les ruissellements plus importants et l'accroissement des risques en pertes en terre est la modification du couvert végétal** (cf. 3.3). Les facteurs de

cette évolution seront détaillés plus précisément : extension des superficies cultivées et des pâturages, coupe de bois de chauffe, etc.

Lors d'une mise en culture, le type de sol influe également sur le ruissellement. Des sols ferrugineux peu épais présentent un ruissellement plus limité que les sols gravillonnaires : 36,5 % contre 40 % (MIETTON, 1988). Toutefois, sur parcelle, le coefficient de ruissellement diminue au bout d'un an de repos, et sur les sols nus, le ruissellement est encore plus important : 47 % (MIETTON, 1988). L'érosion varie aussi selon le type de sol. Ce dernier joue également un rôle lors de la reconquête végétale. Elle sera plus lente en présence de sols gravillonnaires que de sols vertiques. Les sols ferrugineux sont dans une position intermédiaire.

Dans le bassin versant de la Doubégué, **les ruissellements sont importants durant le mois d'août**, qui connaît le maximum mensuel (245 mm en moyenne) et le plus grand nombre de jour de pluies. Des fortes intensités pluviométriques se combinent à une humidité préalable importante. En effet, au cours du mois de juillet (176 mm en moyenne), les sols se sont peu à peu gorgés d'eau. De plus, comme nous l'avons déjà évoqué, les parcelles mises en culture sont encore peu protégées durant le mois d'août. Le couvert végétal joue alors uniquement un rôle dans les secteurs non cultivés. Ainsi, **les sols dégradés produiront les ruissellements les plus importants, suivi des sols gravillonnaires mis en culture, puis les sols ferrugineux cultivés, et les sols bruns eutrophes à tendance verticale (Tab. 9)**. L'étude des parcelles cultivées doit également prendre en compte l'érodabilité du sol, la perméabilité, les techniques culturales, et le type de culture (cf. 3.2 et Chapitre 4). A titre d'exemple, l'arachide, la plus couvrante à cette époque de l'année est synonyme d'une meilleure protection des sols.

Type de sols	Erosion (t/ha/an)
Sols nus	35
Sols gravillonnaires cultivés	13 à 35
Sols ferrugineux cultivés	11 à 21

Tab. 9 : Erosion selon le type de sols

Source : d'après Mietton, 1988

Par ailleurs, l'érosion du sol par l'intermédiaire de l'agent hydrique ne porte pas uniquement sur la perte de la couche arable. Il faut également tenir compte de ses impacts sur la levée des plantes, leur croissance et leurs rendements. La perte d'éléments nutritifs du sol peut affecter ces derniers. En bas des pentes, le dépôt du matériel érodé en amont peut retarder l'émergence de la semence, enterrer les jeunes pousses et nécessiter un deuxième semis.

L'autre ressource essentielle affectée par le ruissellement est l'eau des cours d'eau. En effet, le ruissellement peut être un facteur de pollution des eaux, puisque les eaux de ruissellement sont vectrices de matières en suspension et d'éléments originaires des activités agricoles (produits phytosanitaires, azote, etc.) (cf. Partie 3). Avec la charge en suspension, circulent les charges organiques (danger pour l'oxygène nécessaire à la faune conséquence de l'eutrophisation), et les apports de phosphore fixés sur les particules minérales (engrais minéraux utilisés par les agriculteurs) vont contribuer à l'eutrophisation des eaux.

Pour conclure cette sous-partie, il est important de rappeler succinctement les conséquences multiples et négatives de l'augmentation du ruissellement :

- un déficit de recharge des nappes phréatiques,
- l'érosion de sols cultivés ou peu couverts,
- l'augmentation du débit instantané des cours d'eau, l'érosion des berges et la formation de crues dévastatrices,
- la contamination des cours d'eau par les matières en suspension et les substances qu'elles adsorbent, la stérilisation du lit mineur par les particules fines, la diminution de la diversité halieutique (dans le lac de Bagré),
- la contamination des nappes alluviales à travers des substrats très filtrants.

Toutefois, bien que l'agent hydrique soit le facteur premier de l'érosion des sols dans le bassin versant de la Doubégué, il ne faut pas omettre de présenter ses relais occasionnels que sont les agents thermiques et éoliens.

3.1.3 Les agents éoliens et thermiques comme relais

La dynamique éolienne est locale et elle agit une surface limitée. C'est une forme d'érosion secondaire associée à l'érosion hydrique.

Sa source est par définition l'énergie du vent. Les facteurs de résistance du milieu sont la vitesse du vent et de la turbulence de l'air, la direction du vent dominant, la rugosité du sol et de la végétation, et la résistance du sol qui est fonction de la structure des mottes, de la texture et de la matière organique. Le dépôt s'opère sous trois formes (BAGNOLD, 1973) : quand la portance du vent a assez diminué, en présence d'un obstacle (empiétement ou *encroachment*), ou lorsque la vitesse du vent est ralentie par un obstacle (apposition ou accrétion).

Ainsi, en présence d'une végétation peu développée, le vent agit par déflation (transport de particules), en relais à l'agent hydrique mécanique, sur les plaques nues. La phase d'installation de la pseudo-mousson est marquée par la présence de lignes de grains. Lors de leur propagation, les vents atteignent des vitesses de l'ordre de 13 m/s à 18 m/s (principalement lors des orages). Au passage de ces lignes de grains, les sols dépourvus de couvert végétal (sols dégradés ou sols devant être mis en culture au cours de la saison des pluies) sont donc davantage vulnérables car soumis à la conjonction de l'agent pluvial et à la déflation éolienne. Cette dernière s'exerce d'autant plus facilement que la surface est meuble : émiettement, travail du sol, fractionnement des agrégats, et disjonction des grains de sable et de l'argile sous l'effet des pluies. Néanmoins, le vent doit atteindre une vitesse seuil pour avoir une action (entre 4 et 6 m/s). Comme pour le ruissellement, les particules plus fines résistent davantage, de par leur cohésion et la protection exercée par les particules plus grossières. Le vent se manifeste également par le vannage (déflation sélective) et la corrasion (attaque d'une surface par un vent chargé de particules). Il est aussi responsable du transport des particules qu'il dépose dans les cours d'eau et les lacs. Ces deux actions éoliennes sont toutefois plus rares et circonscrites à des espaces peu étendus.

En définitive, suite à l'augmentation des aires cultivées, l'action éolienne devient de plus en plus importante. En effet, ces dernières sont laissées à nu en début de saison des

pluies, période pendant laquelle les vents sont les plus violents. Par ailleurs, le piétinement facilite également le travail de ce type d'agent.

Enfin, l'action éolienne est révélée par le déchaussement d'arbre ancien (**photo 29**).



Photo 29 : Arbre déchaussé par le vent (route de Loanga)
Cliché : E. Robert, 2009

Ainsi comme le résume BRABANT en 1992 « *l'agent éolien a une action d'autant plus intense que le terrain est peu vallonné, la végétation arborée clairsemée, et la surface du sol dénudé* ».

La thermoclastie, quant à elle, s'observe principalement en début de saison des pluies au cours de laquelle elle se combine à l'hygroclastie. En effet, les pluies tombent sur un sol à 60°C, il se produit alors un micro écaillage entraînant la formation d'une cupule évoluant en vasque. Il s'agit d'un processus de météorisation. Les variations de température et d'humidité ont pour conséquence la mise en place de fissures de retrait guidant le ruissellement. Ce phénomène dépend du coefficient de dilatation, de la capacité d'absorption calorifique, et de la conductivité de la roche. Le maximum d'insolation s'observe d'avril à mai (à 11 h), et la température est maximale en début d'après-midi. La pluie la plus efficace s'observe alors à 14 h (MIETTON, 1988). Il existe un décalage avec la profondeur (**Tab. 10**). Les valeurs extrêmes sont comprises entre 0,5 cm et 2 cm, et plus largement sur la tranche de 2 à 5 cm. Des chocs thermiques s'opèrent au passage des lignes de grains en début de saison des pluies, ou secondairement à la fin octobre. Ils agissent sur une zone que l'on peut qualifier de dalle préalablement chauffée.

T°C\Profondeur	0,5 cm	2 cm	5 cm	10 cm	20 cm
Mini mensuel	22,1	17,8	25,3	27,9	32,1
Maxi mensuel	59,6	59,8	59,2	55,6	50,1
Amplitude mensuelle	37,5	42	33,9	27,7	28
Amplitude maximale journalière (15/05/84)	37,5	40,9	33,7	25,5	13,7

Tab. 10 : Température du sol selon sa profondeur

Source : d'après, Mietton 1988

Enfin, la forte chaleur et l'évaporation conduisent à la dessiccation des sols (**Photos 30 et 31**). Des fissurations du sol apparaissent après une longue période de sécheresse. Le long des fentes, l'eau peut alors s'écouler et pénétrer profondément. Le stock d'eau emmagasinée est plus important et l'épuisement du stock hydrique se fera plus tardivement. Parfois, un drainage s'opère à la profondeur de 50 cm. Ainsi, lors de faibles précipitations et ruissellements, ces sites à croûtes de dessiccation peuvent être favorables à l'infiltration.



Photo 30 : Croûte de dessiccation au site de Zaba (le 04/11/2008)



Photo 31 : Croûte de dessiccation au site de Dazé (29/10/2008)

Clichés : E. Robert, 2008

La présentation des différents agents érosifs souligne à quel point **les sols non couverts sont menacés au début de la saison des pluies**. Or, ils se sont fortement accrus au cours des années 1980, 1990 et 2000, au point de devenir le type d'occupation dominant dans le bassin versant de la Doubégué. Près de **50 % des superficies** de ce secteur sont sujets à un risque érosif important au début de l'hivernage (cf. Chapitre 4). Le bassin versant de la Doubégué semble alors particulièrement menacé par ce phénomène. L'agent hydrique est le principal mode d'action de l'érosion dans cette région. Il opère sous deux formes : l'agressivité des pluies et le ruissellement. Ainsi, le régime des précipitations et le climat à deux saisons favorisent le processus d'érosion. Dans un contexte de régression du couvert végétal, cette double action tend à s'accroître en termes spatial et de puissance. Leur impact s'est renforcé, surtout lors de la décennie 1990. L'agent principal de cette dégradation semble être anthropique. Néanmoins, des facteurs, que l'on qualifiera de secondaires, jouent également un rôle dans le phénomène érosif et donc dans les risques de pertes en terre.

3.2 La pauvreté des sols et la topographie : deux facteurs secondaires

Le ruissellement est donc l'agent principal de l'érosion, même si l'arrachement peut être accentué par le vent ou la chaleur. A la surface, d'autres facteurs secondaires prennent le relais : la couverture végétale notamment (cf. 3.3), mais aussi le type de sol, et la pente.

En effet, la connaissance du sol est un élément essentiel à la bonne compréhension du processus d'érosion, et plus largement à la connaissance de notre environnement. Selon la charte européenne des sols du Conseil de l'Europe (1972) : « *le sol est un milieu vivant et dynamique qui permet l'existence de la vie végétale et animale. Il est essentiel à la vie de l'homme en tant que source de nourriture et de matières premières. Il est un élément*

fondamental de la biosphère et contribue avec la végétation et le climat à régler le cycle hydrologique et à influencer la qualité des eaux». Le sol est «une réserve pour les substances nutritives des plantes, un filtre pour l'eau des précipitations, un réservoir pour les eaux souterraines. C'est donc un milieu essentiel mais fragile, subissant des agressions physiques, chimiques, biologiques. Selon les usages du sol, mais aussi selon ses caractéristiques naturelles, l'altération ou l'enrichissement du sol varient ».

3.2.1 Des sols sableux soumis à l'érosion hydrique

L'érodabilité regroupe quatre caractères que sont la capacité de résistance à l'érosion, la stabilité structurale, la perméabilité, et la vitesse de la pédogenèse. La première dépend des teneurs en argiles et de la matière organique. En effet, ces dernières vont assurer la stabilité des agrégats par rapport à l'agressivité érosive, et donc la structure du sol. Or, les **sols ferrugineux** ont souvent des horizons supérieurs sableux ou sablo-limoneux les rendant **sensibles à l'érosion pluviale et éolienne. Cette fragilité s'accroît lorsque les sols sont cultivés.** La principale cause de cette évolution négative est la perte de l'humus par minéralisation. La structure se désagrège alors, et est davantage soumise à l'effet *splash*. La texture (composition granulométrique du sol) est également prise en compte. Quant à la stabilité structurale, elle renvoie à la proportion des agrégats et des éléments fins. L'instabilité est proportionnelle à la quantité d'éléments fins qui se séparent des agrégats. Plus les sols sont riches en humus, plus ils sont stables. Néanmoins, cette stabilité peut varier selon les saisons. En début d'hivernage, les sols labourés ont une cohésion réduite et l'impact des averses est fort. En saison sèche, il faut agir sur cette stabilité structurale en accroissant l'incorporation d'humus dans le sol (intérêt de la fumure). La perméabilité varie selon l'intensité des précipitations, la viscosité de l'eau, la porosité du sol et la teneur en éléments fins. Elle est plus faible dans les terres sèches. Par ailleurs, **la pellicule de battance se développe facilement sur les sols ferrugineux** (pauvres en matière organique, riches en sables fins, en limons). Cependant les graviers peuvent freiner le choc des gouttes, un horizon superficiel graveleux sera donc moins sensible. Enfin, la vitesse de pédogenèse est favorisée par les sols au repos, comme pendant la jachère, qui retrouvent leur équilibre physique et chimique, et leur fertilité. L'érodabilité dépend donc de la structure et de l'évolution du terrain (PRINCIPI, 1992).

Ainsi, le critère, le plus important pour apprécier la résistance d'un sol à l'érosion, est la stabilité structurale qui est l'aptitude de la terre à résister à l'action dégradante de l'eau. Ce qui influence le plus ce critère est la texture, la nature minéralogique des argiles, la teneur en matière organique, l'état et l'histoire hydrique.

Les sols limoneux sont les plus instables au contraire des sols argileux. Par ailleurs, les sols à texture plus grossière sont moins sensibles au détachement par la pluie du fait de la masse plus importante de leurs particules ou de la plus grande stabilité des agrégats.

La présence d'argile facilitera les phénomènes de gonflement - retrait qui interviennent lors des cycles d'humectation - dessiccation des particules argileuses. Ils sont à l'origine d'une micro-fissuration des agrégats qui se traduit par une désagrégation directe ou indirecte (facilitation de désagrégations ultérieures).

Quant à la matière organique, elle favorise l'agrégation des particules, donc la stabilité structurale, et elle aide à l'infiltration dans les sols.

Enfin, la stabilité sera meilleure si un sol reste faiblement humide plutôt que proche de la saturation. Il est important de connaître l'état de surface et le système de porosité qui sont influencés par l'état de compacité, la fissuration, et l'activité biologique. L'histoire courte et longue d'un sol est donc essentielle pour comprendre les processus en cours.

3.2.1.1 Prélèvements et analyses des sols du bassin versant de la Doubégué

Afin de mieux connaître les sols de notre bassin versant, et en l'absence d'étude granulométrique existante, nous avons effectué 23 prélèvements (**Fig. 31**). Ils se sont déroulés au cours de la seconde campagne terrain (fin juin 2009 - mi septembre 2009), à l'aide d'une tarière enfoncée jusqu'à 20 cm de profondeur (**photo 32**). Dans le cas d'un changement de couleur ou de texture en bout de tarière, cette partie du sol a été enlevée et jetée. Puis, le reste du contenu a été recueilli dans un sac en plastique, et étiqueté avec la référence, la date de prélèvement, et les coordonnées GPS du site. L'objectif était d'avoir une connaissance du type de sol présent dans le bassin versant³⁰. 16 prélèvements ont également été réalisés afin d'étudier la densité des sols (correspond à la masse volumique) (**Fig. 31**).

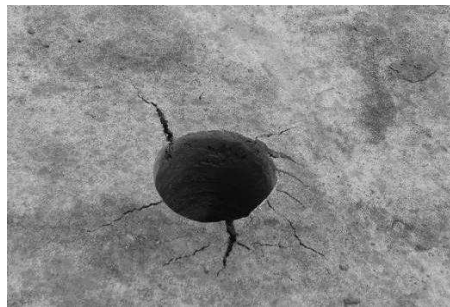


Photo 32 : Prélèvement de sol à l'aide d'une tarière au site de Bassaré
Cliché : E. Robert, 2009

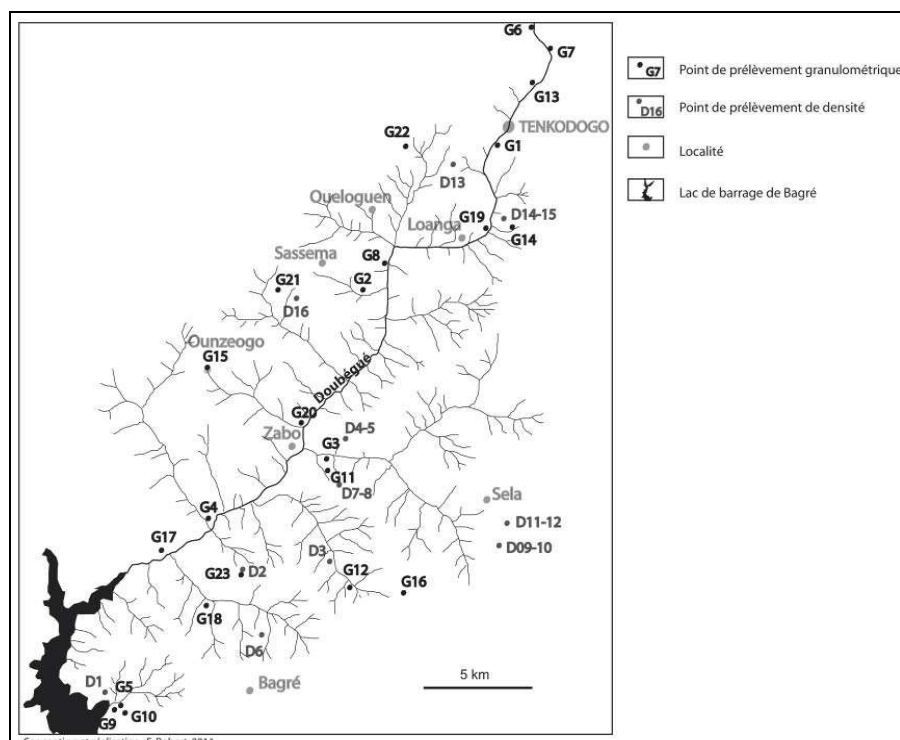


Fig. 31 : Relevés granulométriques et de densité du sol dans le bassin versant de la Doubégué

³⁰ Le but de notre étude n'était en aucun cas une recherche agronomique sur des parcelles cultivées. Dans ce dernier cas, il aurait fallu réaliser 15 prélèvements par hectare.

Dans un second temps, ces prélèvements ont été analysés au laboratoire de l'IRD de Ouagadougou avec l'aide d'Adèle TONDE et Moussa BARI. Ces travaux ont duré 15 jours (**Photos 33 et 34**). La méthode employée est celle du pipetage avec une granulométrie en 5 fractions. La granulométrie vise à la séparation des différentes fractions minérales du sol dont les particules sont inférieures ou égales à 2 mm, et à indiquer leurs proportions respectives. Ces particules sont :

- les argiles (inférieur à 2 μm),
- les limons fins (entre 2 μm et 20 μm),
- les limons grossiers (entre 20 μm et 50 μm),
- les sables fins (entre 50 μm et 200 μm),
- les sables grossiers (entre 200 μm et 2000 μm).



Photo 33. Echantillons prélevés dans le bassin versant de la Doubégué



Photo 34 : Lavage des sels

Clichés : E. Robert, 2009

3.2.1.2 Résultats : la prédominance de sables grossiers

Les sables grossiers sont dominants dans 11 cas sur 23, et les sables fins dans 6 cas, soit un total pour les **sables de 17 cas sur 23 (Tab. 11)**. Aucun site ne présente des limons fins en proportion principale. Enfin, 3 sites ont une part prépondérante de limons grossiers et trois autres d'argiles. Le type de sol prédominant dans la zone d'étude est **sableux**. Or, ces sols ne retiennent pas l'eau (assèchement rapide), et conservent mal les éléments fertilisants qui ruissellent. Ils doivent être régulièrement amendés pour qu'ils ne s'épuisent pas totalement. Il faut également éviter les nitrates qui traversent rapidement ce type de sol, et risquent de polluer la nappe phréatique. Par ailleurs, leur structure étant instable, ils sont très sensibles à l'érosion éolienne. En effet, leur structure grossière, (prédominance de sols grossiers dans le bassin versant) favorise cette action. Il faut donc privilégier au maximum les résidus végétaux, les cultures de protection, un travail minimal du sol, et l'utilisation de brise-vent et de barrières annuelles.

Les sols limoneux sont également fortement sensibles à l'érosion et au compactage. Ils sont particulièrement sujets à l'érosion par l'eau. Sur les pentes longues, comme dans la zone étudiée, l'érosion par l'eau s'intensifie, et le ruissellement va pouvoir atteindre des vitesses « impressionnantes ». Ce dernier s'accompagne de substances dissoutes ou fixées à des particules.

Les principaux sols présents dans la région étudiée sont donc propices à une érosion importante. C'est pourquoi, il est essentiel qu'ils soient protégés par des haies, des résidus. Il est important de maintenir un minimum de couvert végétal. Or, celui-ci est en régression (résultats d'enquêtes 2008 et 2009, et étude diachronique Chapitre 4). Son maintien est alors un élément déterminant à prendre en compte dans le processus d'érosion, en particulier dans ce contexte de sols pauvres.

Quant aux sols à dominante d'argile, ils sont rares. Ils absorbent lentement l'eau, la retiennent, et fixent les substances nutritives. Néanmoins, la pénétration de l'eau lors de pluies violentes, en début de saison humide (lorsque le sol est bien sec), s'avère parfois difficile. De plus, la structure des sols argileux peut se dégrader et former une croûte limitant l'infiltration et augmentant le ruissellement. Ainsi, lorsqu'il est mouillé, ce type de sol va avoir tendance à favoriser le ruissellement pouvant contenir certains polluants et affecter la qualité des eaux. Il peut être sensible également à l'érosion éolienne et sont soumis aussi au problème de compactage.

Ech.	lieu	% ARGILES	% Limons fins	% Limons grossiers	% LIMONS	% Sables fins	% Sables grossiers	SABLES	
G1	Lac de Tenkodogo	20,5	5,75	19,98	25,725	15,83	37,95	53,78	Sal sable argilo-limoneux / LAS Limon argilo-sableux
G2	Kabri	2,75	0,5	2,09	2,59	8,305	86,355	94,66	SS Sable
G3	Zaba	8,75	2,25	16,62	18,865	23,375	49,01	72,39	S Sableux
G4	Ruis. site Doubégué	31	23,25	28,53	51,78	12,01	5,21	17,22	Als Argile limono-sableuse
G5	Près site Doubégué	3,5	0,25	4,905	5,155	22,83	68,515	91,35	SS sable
G6	Pésséré haut	10,25	9	30,26	39,255	24,395	26,1	50,50	Sal Sable argilo-limoneux ou SI Sable limoneux
G7	Pésséré bas	11,25	2,5	9,73	12,23	17,375	59,145	76,52	S Sableux
G8	Bassaré	53,75	13,5	17,315	30,815	13,17	2,265	15,44	A Argileux
G9	Horizon noir site Doubég.	18	4,75	18,775	23,525	33,25	25,225	58,48	Sa Sable argileux
G10	Site Doubégué	9,5	2,75	14,685	17,435	37,01	36,06	73,07	S sableux
G11	Zaba brique	20	3,25	13,3	16,55	15,385	48,065	63,45	Sable argileux
G12	Douka	24,2	11,825	21,54	33,365	13,29	29,145	42,44	LAS Limon argilo-sableux
G13	Lac sous Tenkodogo	30,5	2	17,975	19,975	11,74	37,785	49,53	AS Argilo sableux ou As argile sableuse
G14	Belcé 2	9,25	2,75	19,05	21,8	44,15	24,805	68,95	Sa Sable argileux
G15	Ounzéogo	34,5	0,25	13,915	14,165	18,135	33,2	51,34	As argile sableuse
G16	Kalakoudi	33,75	5	19,655	24,655	12,135	29,46	41,60	As Argile sableuse
G17	Centre biblique	14,75	4	19,62	23,62	32,76	28,875	61,63	Sa Sable argileux
G18	Pata	4	2,75	15,25	18	66,06	11,945	78	SS sable
G19	Belcé 1	35	16,75	35,475	52,225	10,45	2,325	12,775	Al Argile limoneuse
G20	Zaba/kwila	18	5,75	21,215	26,965	41,60	13,44	55,035	Sal Sable argilo-limoneux
G21	Zaka	8,25	2	13,83	15,83	28,425	47,495	75,92	S sableux
G22	Ouéloguen	7,5	2,25	12,69	14,94	36,03	41,53	77,56	S sableux
G23	Site maïs Pata	7,25	2,25	11,295	13,545	33,935	45,27	79,205	S sableux
TOT		18,095	5,45	17,29	22,74	24,853	34,31	59,16	

Tab. 11 : Granulométrie dans le bassin versant de la Doubégué

Afin d'aller plus loin dans l'analyse de nos résultats, nous avons également utilisé le triangle des textures GEPPA publié en 1963 (**Fig. 32**). 17 classes ont été identifiées. Notre terrain comprend 10 classes : sol sableux (6), sable argileux (4), sable (3), sablo argilo limoneux (3), argile sableuse (2), argileux (1), argilo-sableux (1), argile limono-sableux (1), argile limoneux (1), limon argilo-sableux (1).

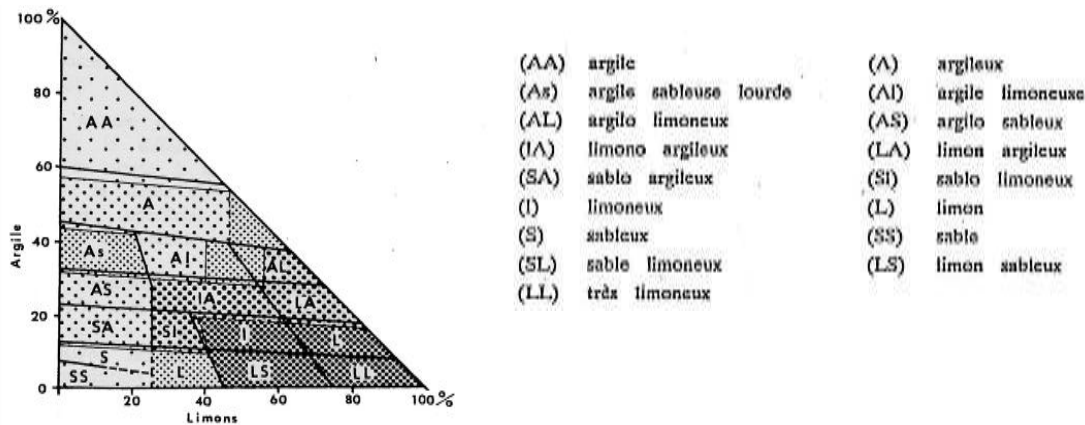


Fig. 32 : Triangle textural GEPPA renseigné en classe de stabilité structurale
Source : d'après Monnier et Stengel in Berville, 2002

16 sites sur 23 ont une part prédominante en sable ; il s'agit des sols sableux et des sables argileux ou *stricto sensu* (13 sites sur 23) auxquels on peut ajouter les sablo-argilo-limoneux. Les autres appartiennent à la famille des argiles, et plus faiblement aux limons (**Tab. 11**).

Les sols à tendance sableuse sont plus nombreux en aval (en termes géomorphologiques). En effet, en étudiant les trois secteurs (amont, médian, aval), et en effectuant des calculs sur chacun, on observe 50 % des cas en amont, 60 % dans la partie médiane, et 66 % en aval (**Tab. 12**). Pour ce dernier secteur, les sites de Kabri (plus de 94 % de sable), un espace proche du site de Doubégué (plus de 91 %), et le site de Pata (78 %) sont particulièrement représentatifs. Les sables ont dû être transportés jusque à ces endroits, localisés en aval, par l'intermédiaire de l'eau et du vent. L'agent hydrique semble prédominant.

Les deux sols sableux localisés en amont et les trois médians doivent être des sols ayant perdu les autres particules (plus fines) suite à l'érosion. Quant aux deux prélèvements effectués en aval, des sables ont dû être déposés sur ces sites. En effet, des sols sableux sont souvent présents en tête des bas-fonds.

De plus, la roche-mère granito-gneissique favorise la formation de sols sablo-argileux.

Enfin, dans le bassin versant de la Doubégué, les densités sont comprises entre 0,97 et 1,68 g/cm³. Néanmoins, la majorité des prélèvements présente des valeurs comprises entre 1,18 et 1,39 g/cm³ (**Tab. 13**). La densité renseigne sur la structure du sol. Elle est liée à la nature et à l'organisation des constituants du sol. Elle permet de prendre en compte la porosité. De plus, la compaction augmente la densité en compressant les pores. La densité indique donc le niveau de compaction des sols.

	lieu/ coordonnées	% Argile	% Limons fins	% Limons grossiers	% Limons	% Sables fins	% Sables grossiers	% Sable
Amont	Ounzéogo	34,5	0,25	13,915	14,165	18,135	33,2	51,335
	Kalakoudi	33,75	5	19,655	24,655	12,135	29,46	41,595
	Zaka	8,25	2	13,83	15,83	28,425	47,495	75,92
	Ouéloguen	7,5	2,25	12,69	14,94	36,03	41,53	77,56
Médian	Zaba brique	20	3,25	13,3	16,55	15,385	48,065	63,45
	Douka	24,2	11,825	21,54	33,365	13,29	29,145	42,435
	Belcé 2	9,25	2,75	19,05	21,8	44,145	24,805	68,95
	Belcé 1	35	16,75	35,475	52,225	10,45	2,325	12,775
	culture maïs Pata	7,25	2,25	11,295	13,545	33,935	45,27	79,205
Aval	Lac de Tenkodogo	20,5	5,75	19,975	25,725	15,83	37,945	53,775
	Kabri	2,75	0,5	2,09	2,59	8,305	86,355	94,66
	Zaba	8,75	2,25	16,615	18,865	23,375	49,01	72,385
	Ruissellement site Doubégué	31	23,25	28,53	51,78	12,01	5,21	17,22
	Proche cours d'eau site Doubégué	3,5	0,25	4,905	5,155	22,83	68,515	91,345
	Pésséré haut	10,25	9	30,255	39,255	24,395	26,1	50,495
	Pésséré bas	11,25	2,5	9,73	12,23	17,375	59,145	76,52
	Bassaré	53,75	13,5	17,315	30,815	13,17	2,265	15,435
	Horizon noir site Doubégué	18	4,75	18,775	23,525	33,25	25,225	58,475
	Site Doubégué	9,5	2,75	14,685	17,435	37,005	36,06	73,065
	lac sous Tenkodogo	30,5	2	17,975	19,975	11,74	37,785	49,525
	Centre biblique	14,75	4	19,62	23,62	32,755	28,875	61,63
	Pata	4	2,75	15,25	18	66,055	11,945	78
	Zaba/kwila	18	5,75	21,215	26,965	41,595	13,44	55,035

Tab. 12 : Granulométrie selon les différents secteurs du bassin versant de la Doubégué

Site	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16
Den	1,23	1,47	1,66	1,29	1,23	1,68	1,39	1,39	1,22	1,22	1,18	1,18	0,97	1,14	1,26	1,1

Tab. 13 : Densité des sols dans le bassin versant de la Doubégué (g/cm³)

Les sols du bassin versant de la Doubégué sont majoritairement ferrugineux. Ce sont rarement (par ordre décroissant) des sols peu évolués d'érosion, des lithosols, et des sols bruns eutrophes. Ils sont principalement de type sableux, les sols de type argileux étant faiblement représentés dans cette région. **Les sols sont alors pauvres et offrent donc une faible résistance à l'érosion.** Ils sont facilement **soumis à l'effet splash**. Cette réalité est accentuée dans le cas d'une mise en culture. Naturellement pauvres, peu enrichis à l'aide de fumure ou d'autres techniques, les sols du bassin versant de la Doubégué, dans leur grande majorité, ont une **stabilité structurale faible** malgré leur structure grossière (masse plus importante des particules, plus grande stabilité des agrégats). La perméabilité est également limitée suite à la mise en place de pellicules de battance favorisée par la présence de sols ferrugineux tropicaux. Par ailleurs, l'emploi de la jachère devenant une exception plus que la règle, **la vitesse de la pédogenèse est faible**. Les sols de la région sont donc particulièrement érodables, à l'exception des sols bruns eutrophes tropicaux hydromorphes présentant des handicaps moins importants. Ce ne sont pas pour autant des sols non attaqués par les agents de l'érosion. Les sols de notre bassin versant sont donc peu résistants à l'érosion, et ce fait peut être amplifié par la topographie.

3.3.2 La prédominance de faibles pentes

Le rôle de **l'inclinaison de la pente** sur le partage entre l'infiltration et le ruissellement dépend en grande partie de la perméabilité des sols. Dans ces questions topographiques, il faut également tenir compte de l'intensité de la pluie, des caractéristiques du sol, et de la pente.

Dans le bassin versant de la Doubégué, l'ensemble des pentes est inférieur à 5 %, et la majorité inférieure à 3 %. Entre 0 et 3 %, elles sont rarement le siège d'une érosion, et de 3 à 5 %, elles sont sensibles au phénomène de battance (ROOSE, 2007). Des traces de griffure ou d'érosion en *rills* peuvent être observées sur les versants, ainsi qu'une concentration du ruissellement dans les talwegs. A titre d'exemple, en climat soudanien (Burkina Faso, Saria 830 mm) et sur faibles pentes (0,7 %), l'érosion est de 3 à 20 t/ha/an sur parcelles cultivées (ROOSE, 1994). Plus précisément, les pertes en terre sont de 1 à 6,5 t/ha/an lors de pratiques manuelles à l'aide de la daba et de 2,5 à 10 t/ha/an pour une culture attelée (NEBOIT, 1991).

Il faut également tenir compte de l'influence de la **forme de la pente**. Par nature, une pente a tendance à devenir de plus en plus concave. En effet, les produits arrachés au sommet s'accumulent en bas de pente. Il est à noter que les profils convexes produisent davantage d'érosion que ceux concaves (BERVILLE, 2002). Mais, ce facteur est assez controversé.

Par ailleurs, bien que la pente soit faible (majoritairement inférieure à 3 %), les versants de glakis sont très longs et les ruissellements importants. Le ravinement est alors possible. **La longueur de la pente** va également jouer un rôle. Elle permettrait l'accumulation du ruissellement et donc l'accroissement de l'érosion. Les possibilités de détachement, de transport, et l'énergie globale de ce dernier augmentent alors. Ainsi, l'influence de la longueur de la pente sera d'autant plus grande que le ruissellement pourra se concentrer. Cette information illustre le développement possible d'un ruissellement important et d'un éventuel ravinement en bas de versant. Toutefois, elle sera nulle lorsque le seul processus est le *splash* (et le ruissellement absent).

Dans le bassin versant de la Doubégué, le ruissellement est un phénomène important principalement au cours des mois de juillet, août et septembre. **Il faut donc davantage porter son attention sur la longueur des versants que sur leur inclinaison.**

Par définition, lors d'une érosion de type hydrique, le versant est qualifié de zone émettrice de ruissellement. Toutefois, il existe des secteurs plus ou moins émetteurs de ruissellement. Il est alors important de tenir compte de la position amont ou aval d'un site par rapport à ces derniers. Il s'agit des espaces « tassés », des zones dénudées, des parcelles sans protection (résidus de culture, bandes enherbées, cordons pierreux), ne disposant ni de haies, ni de brise-vent, ou encore des sols sensibles à la battance.

La prise en compte des zones émettrices de ruissellement renvoie également à l'étude des **relations entre les parcelles** selon le type de culture qui y sont pratiqué. Ce fait est particulièrement marquant de la mi-août jusqu'à la mi-octobre. Selon la période et selon le type de culture, les sols ne seront pas couverts façon identique. A titre d'exemple, les parcelles en arachide sont bien protégées dès la fin du mois d'août, alors que celles en mil, sorgho, et haricot le sont moins (cycles de culture différents). Ainsi, lors des événements pluviométriques importants du mois d'août, les sols ne sont pas protégés de la même façon.

Certaines parcelles, à nu, peuvent être alors qualifiées de zones émettrices de ruissellement (mil, sorgho) à l'inverse de celles cultivées en arachides où les écoulements seront ralentis, cassés par la bonne protection végétale. De fait, les parcelles situées en aval de ces zones émettrices (mil, sorgho) sont davantage affectées : arrachement de plants, perte d'engrais et de produits phytosanitaires.

A l'inverse, le dépôt de terre peut également occasionner des dégâts affectant les rendements. De même, des dépressions morphologiques peuvent être à l'origine de la formation de mares temporaires perturbant le cycle des cultures.

Aux vues de l'évolution du paysage, l'accroissement des rigoles risque de concentrer le ruissellement. L'énergie de ce dernier sera alors amplifiée, le risque érosif accru, et les particules davantage transportées. Ainsi, **les dégâts les plus spectaculaires se localisent en aval du versant, où l'on observe souvent une zone de ruissellement concentré suite à la mise en place de ravines et même de ravins.**

Enfin, lors de l'étude des facteurs du risque érosif, un dernier élément doit être pris en compte : la distance au cours d'eau. Or, dans le bassin versant de la Doubégué, les barrières au ruissellement, tels que les talus, sont rares voire inexistantes. C'est pourquoi nous n'abordons pas ce paramètre.

Les pluies, les sols pauvres et les longues pentes favorisent donc, dans le bassin versant de la Doubégué, un ruissellement de surface, principal agent d'érosion. Toutefois dans un contexte de pentes faibles et de sols originellement pauvres, l'état de la couverture végétale doit être examiné. Dans l'étude du risque de pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué, il constitue le facteur déterminant.

3.3 Le couvert végétal, un facteur primordial et prédominant

L'état du couvert végétal est l'ultime facteur à la fois « naturel » et anthropisé qui doit être analysé lors de l'étude des risques de pertes en terre. Dernier abordé, il demeure néanmoins le plus important à prendre en compte dans le bassin versant de la Doubégué. En effet, dans une situation dite « naturelle » (domination des formations « naturelles » de type savane arbustive, savane arborée, forêt claire, et formations ripicoles), et malgré la pauvreté de sols, le couvert végétal permet une bonne protection contre l'action érosive des pluies et du ruissellement. Dans un contexte de faible pente, « le handicap » pédologique est ainsi contenu par l'intermédiaire de la végétation. Or, depuis une vingtaine d'années, une régression du couvert végétal est en cours. Nous pouvons alors supposer qu'il s'agisse du **principal facteur responsable de l'accroissement de l'érosion.**

Le couvert végétal est essentiel à prendre en compte car il a de multiples influences sur le climat, à la surface du sol, dans le sol lui-même, ainsi que sur son régime hydrique. Par ailleurs, combiné au sol, il conditionne la morphogenèse. La végétation joue un rôle prépondérant par l'intermédiaire de sa biomasse aérienne, souterraine, et des différents niveaux ligneux et herbacés. Elle limite également l'action néfaste du vent.

La réduction du couvert végétal expose le sol aux agents de la dégradation que sont les pluies, le ruissellement, et le vent. De plus, en réduisant la capacité de renouvellement de la matière organique, ces processus érosifs entraînent une baisse permanente des éléments nutritifs nécessaires à la production et influencent l'état physique du sol (encroûtement, érosion, compactage de l'horizon superficiel, mortalité des végétaux s'accroissant de proche en proche) (HIEN *et al.*, 1996).

La morphologie du couvert végétal est également importante. Ainsi, les possibilités d'écoulement le long des tiges peuvent favoriser l'infiltration, ou au contraire participer au déchaussement des pieds et à la formation de griffes comme lors de la culture du maïs. Quant aux racines, elles empêchent l'eau d'emporter le sol du premier horizon et de creuser des réseaux de rigoles. Le couvert végétal favorise donc l'écoulement préférentiel le long des racines et permet un apport de matière organique.

Dans le contexte géomorphologique et climatique du bassin versant de la Doubégué, le couvert végétal est primordial, car il absorbe une partie de l'énergie cinétique des précipitations et permet de réduire le battage au sol. Il constitue donc **un écran essentiel à l'impact des gouttes de pluies**. Un couvert végétal bien développé garantit donc une protection du sol contre l'érosion par l'effet *splash* et le ruissellement. Néanmoins, il faut tenir compte des différents calendriers temporels d'occupation ou de recouvrement du sol. Ainsi, le rôle protecteur est fonction du taux de ce dernier au moment des pluies érosives. Selon ELWELL et STOCKING (1976, cité par AUZET, 1987), ce seuil est de 30 %. Nous avons déjà évoqué ci-dessus, les différences de protection selon le type de culture (période de croissance, taux de recouvrement, date de récolte). L'action protectrice peut être également réalisée par des débris végétaux ou *mulchs*. Ainsi, l'expérience menée par MEYER et MANNERING (1967, cité par LUDWIG, 2000) sur un sol nu et un sol couvert de 2,5 t/ha de résidus a montré une réduction de 40 % du ruissellement. Néanmoins, il serait faux de penser que toute protection serait identique. En effet, l'efficacité plus ou moins grande dépendra de la nature des résidus et de leur taux de recouvrement. Lorsqu'ils sont laissés sur place, une partie est consommée par les animaux divaguant dans les champs. Et, le plus souvent, dans le bassin de la Doubégué, les résidus sont peu laissés sur les parcelles. Ils sont principalement ramassés pour être placés dans la fosse fumière ou utilisés pour la cuisine. La question de l'accès au bois de chauffe, aux brindilles est cruciale dans la région comme dans l'ensemble du pays et obligent les populations à utiliser ces résidus de récoltes et non à les laisser sur place pour la protection des sols. Il convient de réfléchir à la réduction de ces prélèvements par la mise en place de foyers améliorés, de systèmes agroforestiers, de système de plantations. Afin de préserver le capital sol des espaces cultivés, il est essentiel de maintenir ces résidus et de les enrichir à l'aide fumure, d'engrais naturels (neem). De plus, les activités pastorales et agricoles ne doivent pas rentrer en compétition. Or, c'est ce qu'il se produit actuellement. Elles fonctionnent de plus en plus comme « deux mondes séparés ». La mise en place de la zone pastorale n'a en rien réglé ces problèmes. Il existe toujours des éleveurs transhumants, et cet espace fermé ne permet pas le développement économique et social des pasteurs. Ces questions et les solutions relatives au manque de bois et à la relation agriculture/élevage seront développées au cours de la Partie 4.

Il existe un classement des formes de couvert végétal en termes de protection des sols (et donc de la lutte contre l'érosion). Les meilleures sont la forêt et la « prairie ». Elles limitent les échanges atmosphère/sol, protègent du rayonnement et du vent, des variations de températures, maintiennent l'humidité, et permettent la vie microbienne. De plus, seules les formations ligneuses conduisent à une perméabilité élevée.

Par ailleurs, le tapis herbacé à *Hyparrhenia*, rencontré dans la zone d'étude, joue un rôle essentiel. Il protège mieux le sol en limitant l'érosion par un treillage dense. Ainsi, l'extrême division du système racinaire fractionne les filets d'eau. La meilleure protection, vis-à-vis des agents d'érosion atmosphériques s'opère lorsqu'il existe des herbacés sur deux niveaux.

Au-delà des systèmes dits « naturels », le rôle des sols cultivés est lui aussi prépondérant. En effet, nous nous localisons dans une région où l'agriculture est l'activité prédominante (essentiellement vivrière). Les différents écrits mettent en avant l'extension de ces surfaces au détriment du couvert végétal « naturel ». Or, la plupart des sols cultivés sont peu ou pas couverts pendant la majorité de l'année. Au début de la saison des pluies, ils sont peu protégés, voire à nu. Les états de surfaces sont alors favorables à la formation et à la concentration du ruissellement. L'évolution de ces derniers est conditionnée par les situations climatiques et les techniques culturales appliquées. Les modes de défrichement jouent alors un rôle. S'il est manuel, sans destruction du racinaire, le sol pourra supporter l'agressivité climatique une à deux années. A l'inverse, s'il est mécanique, l'érosion et le ruissellement seront plus importants, surtout si la pente est forte.

De plus, suite à la mise en culture, on observe une diminution de la matière organique et des éléments fins des horizons superficiels. Au bout de 10 ans, l'horizon à la surface blanchit, la structure évolue vers une composition compacte accompagnée d'une croûte de battance. En définitive, les rendements sont favorables pendant deux ans. Dans le cas d'un rétablissement de l'équilibre biologique, cela peut se poursuivre pendant 4 à 6 ans. Le caractère chimique peut être stable pendant 10 ans. Cependant, le paysan abandonne, le plus souvent, sa parcelle au bout de 4 - 5 ans. Lors de la régénération par jachère, il faut 5 à 7 ans pour que les marques culturales disparaissent. Pour qu'elle soit réellement efficace, il est préférable qu'elle dure 15 ans (idéal 30 ans). Pendant longtemps, la mise en jachère a permis une amélioration de la porosité, de la structure des sols, un enrichissement organique, et le développement de graminées vivaces de savane (PRINCIPI, 1992). Cependant, actuellement cette pratique a fortement régressé. Dans le bassin versant de la Doubégué, rares sont les agriculteurs qui la pratiquent encore (résultats enquêtes, Robert, 2008 et 2009).

De nombreux travaux effectués sur les processus de dégradation des sols dans la région soudano-sahélienne mettent en évidence que la réduction du couvert végétal en constitue le point de départ (ROOSE, 1981 ; HOOGLMOED et STROOSNIJDER, 1984, CASENAVE et VALENTIN, 1989). Le recul du couvert végétal affecte négativement l'état édaphique des sols. La mortalité de la végétation s'accroît de proche en proche suite à l'encroûtement, à l'érosion, et au compactage de l'horizon de surface. A partir de cet instant, **les relations de causes à effets sont si imbriquées qu'une spirale de dégradation se met en place**. A titre d'exemple, suite à la progression spatiale centrifuge des zones nues à partir du cours d'eau, un recul des berges s'opère. Ce phénomène entame ainsi les lambeaux de

forêts galerie et les autres formations ripicoles. Or, ce sont des écosystèmes importants disposant d'une grande diversité biologique et d'un rôle stratégique de protection du lit du cours d'eau.

De plus, la dégradation des sols, en particulier dans les espaces sylvo-pastoraux, est un phénomène dont l'évolution peut compromettre à moyen terme la viabilité des systèmes de production ruraux dans cette zone, et plus généralement dans les régions similaires (cf. chap. 4). Ainsi, la priorité accordée aux espaces cultivés par les programmes de conservation des eaux et des sols se justifie par le seul souci de **sécurité alimentaire** à court terme. Cependant en « oubliant » la protection directe de la « brousse » c'est **l'ensemble du système agro-pastoral qui est menacé** (HIEN *et al.* 1996).

MIETTON, en 1986, avait déjà mis en évidence le rôle fondamental du couvert végétal, parmi les facteurs conditionnels du ruissellement, en travaillant sur des parcelles expérimentales dans le bassin de la Volta Blanche (ex. Nakambé). En effet, les plus fortes concentrations étaient mesurées en début d'hivernage (valeurs supérieures à 50 et 100 t/km²/an), lorsque les parcelles cultivées ont leur sol à nu. Comme le souligne ROOSE, il existe, en terme d'érosion un rapport de 1 à 10 entre la savane et la culture, et de 1 à 100 entre la savane et la parcelle nue.

Enfin, le couvert végétal présenté ici englobe les formations dites « naturelles » et les cultures qui peuvent également être une forme de protection des sols. Or, on a démontré qu'il existe une différence entre ces deux formes de couvert végétal. Ainsi, il peut rapidement exister une ambiguïté lors de l'emploi de ce terme. Toutefois, dans la suite de notre écrit, afin d'éviter cette dernière, nous emploierons le terme de couvert végétal comme formations « naturelles ».



Le couvert végétal est l'élément clé dans la protection contre l'érosion. Par sa présence, il protège les sols fragiles du bassin versant de la Doubégué de l'agressivité des pluies et ralentit le ruissellement. Il s'agit du principal paramètre à prendre en compte et sur lequel il faut agir. En effet, il existe une hiérarchie des facteurs conditionnels au ruissellement. Dans notre région d'étude, le principal est alors le couvert végétal (et donc l'occupation des sols), puis la nature des sols et enfin la pente.

Par ailleurs, l'agent naturel de l'érosion est essentiellement l'eau dans le bassin versant de la Doubégué. L'agent éolien n'est qu'un relais. Toutefois, ses marques sont visibles comme les arbres dessouchés.

*Ainsi, plusieurs agents jouent un rôle dans l'érosion d'un milieu. L'agressivité des pluies de la région est un des principaux agents morphodynamiques. Elle est à l'origine du principal problème qu'est l'effet splash et dont les conséquences négatives s'observent surtout au début de la saison des pluies. Il attaque alors les zones agricoles laissées à nu, les sols nus, et les pistes. Son action entraîne souvent la mise en place d'une croûte de battance à l'aspect lisse et glacé actionnant les ruissellements. De plus, dans un contexte de péjoration climatique la végétation est davantage affectée, et sa capacité de résistance affaiblie. Cependant, c'est l'agent anthropique qui a principalement contribué à la régression du couvert végétal. **Son impact a aggravé les conséquences des agents naturels.***

Le ruissellement existe sous différentes formes. D'abord diffus, lié aux pluies de la ZCIT, puis en nappe conduisant à une ablation généralisée. La forme de glakis et ce mode de ruissellement sont en réalité en grande partie liés. Quant au ruissellement concentré, il s'observe davantage en bas de versant, le long des pistes et des routes goudronnées. Cependant, il varie selon le type de sol et surtout selon le mode d'occupation. L'agent anthropique se retrouve une nouvelle fois au cœur des problématiques concernant les facteurs naturels de l'érosion. Mais il en est également la première victime. En effet, les conséquences du ruissellement agissent sur la sphère naturelle et humaine par l'érosion des sols cultivés, la diminution de la recharge de la nappe souterraine, l'augmentation des débits instantanés et des crues dévastatrices, et la contamination des eaux et des nappes alluviales par les matières en suspension.

*Par ailleurs, les sols de la région, naturellement pauvres et fragiles, résistent difficilement à l'action des pluies et du ruissellement. Ils sont essentiellement sableux. Afin de garder leur faible fertilité et productivité, il faut associer des techniques de rotations, de protection, d'enrichissement. Une nouvelle fois l'agent anthropique doit jouer un rôle afin de préserver ces sols. Or, dans l'immédiat, le constat est inverse, et l'impact est davantage néfaste qu'il n'est bénéfique. Quant à la pente, il s'agit ici de prendre davantage en compte sa longueur que son inclinaison (inférieure en grande majorité à 3 %). Ainsi, dans un contexte de faible pente, « le handicap » pédologique est alors contenu par l'intermédiaire de la végétation. En effet, c'est **la réduction du couvert végétal qui expose le sol aux agents de la dégradation que sont les pluies, le ruissellement, et le vent.***

En définitive, le facteur prédominant est l'état de couvert végétal. Afin de connaître les zones les plus affectées par la diminution du couvert végétal et donc menacées par un risque de pertes en terre, l'évolution de ce couvert végétal depuis les années 1980, et par conséquent l'occupation des sols, doivent être étudiés. Son analyse diachronique permettra de mieux comprendre les processus en jeu dans le bassin versant de la Doubégué, et aidera à la mise en place de solutions concrètes à des endroits spécifiques et stratégiques.

Chapitre 4 :

La régression du couvert végétal : l'impact de l'agent anthropique

Le Pays Bissa a connu de profondes mutations au cours du XXème siècle. Toutefois, elles se sont accrues au cours des années 1980, 1990 et au début des années 2000. Le point d'origine est l'éradication de l'onchocercose suite aux actions de l'AVV. L'arrivée, pendant la décennie 1980 de nouvelles populations fuyant les conséquences de la sécheresse, associée à une croissance démographique forte ont amplifié ces changements. Les années 1990 ont quant à elles été marquées par la mise en eau du barrage de Bagré. Une partie des terres a été ennoyées et de nombreuses surfaces ont été défrichées pour la mise en culture et pour répondre à la demande en bois de chauffe. Il ne faut également pas oublier le contexte politique suite à la mise en place de la RAF. On a alors assisté à une extension des surfaces anthropisées depuis les interfluves « saturés » vers les vallées. Enfin, le contexte climatique a aussi joué un rôle. La région a connu, comme la majorité de l'espace burkinabé, une réduction de ces totaux pluviométriques, principalement au cours des années 1970 et 1980. La péjoration climatique affectant en partie la végétation, les espèces les plus fragiles ont eu du mal à résister. Les types d'essence présents ont évolué vers des plantes poussant en domaine plus sec. **La régression du couvert végétal s'est alors opérée dans un contexte de péjoration climatique et de mutation anthropique.**

Afin de valider ces hypothèses, il convient alors d'étudier l'évolution du couvert végétal et l'emprise des activités humaines par télédétection, via une analyse diachronique. En effet, la connaissance de l'état actuel de l'occupation des sols mais également son évolution (direction, régression, extension, taux de croissance, etc.) est essentielle lors de l'étude des risques de pertes en terres et en eau. Ainsi, il faut identifier les zones affectées par l'évolution régressive du couvert végétal et les espaces les plus dégradés qui doivent être protégés. La télédétection combinée aux SIG permet de réaliser ces travaux. L'étude diachronique constitue la première étape dans la réalisation d'un état des lieux du bassin versant de la Doubégué face au risque érosif. Il est essentiel de s'interroger sur l'évolution de cette région, afin de mieux en saisir les enjeux. A-t-elle toujours connu ce type de végétation ? Quelle était l'extension des surfaces cultivées ? De nouveaux sols dégradés sont-ils apparus ? Y a-t-il des zones davantage affectées par ces derniers ? Dans un second temps, on s'interrogera sur la vision de la population de ces processus. Elle complètera notre étude de l'évolution du couvert végétal et de l'occupation. La mise en relation de ces deux méthodologies est essentielle afin d'avoir la vision la plus exhaustive possible des phénomènes en jeu dans le bassin versant de la Doubégué, de leur évolution, de la localisation des espaces les dégradés, etc.

4.1 Méthodologie de l'étude diachronique

4.1.1 Retour historique sur la télédétection

En Afrique, l'une des premières études effectuées à partir d'image satellites, a été réalisée au début des années 1960. Il s'agissait d'un inventaire des ressources en eau, en sol et de la végétation dans les zones de savanes du Soudan (MOKADEMI et NONGUIERMA, 1989). Depuis, les études se sont multipliées comme le suivi des feux de brousse, l'évaluation des ressources forestières, la cartographie d'occupation des sols, ou encore l'étude diachronique de la couverture végétale. La télédétection s'est alors peu à peu développée au cours des années 1970, et principalement pendant les années 1980. A l'heure actuelle, l'intérêt scientifique de l'utilisation de la télédétection afin de connaître l'état à un instant t et l'évolution de l'environnement n'est plus à démontrer (ELLIOT, 1996, GUEYE et OZER, 2000).

4.1.2 Données et outils

Dans le cas de notre étude, la **télédétection** se présente comme un moyen d'identification et de surveillance des changements du couvert végétal. Ainsi, **cet outil géomatique** a pour rôle de fournir des informations sur les paysages sous la forme de données images en utilisant le rayonnement électromagnétique comme véhicule de ces informations (ROBIN, 2002). Cette analyse faite à partir d'images satellites nous a permis d'établir un diagnostic de l'état de l'occupation des sols et donc du couvert végétal du bassin versant de la Doubégué. En d'autres termes, il s'agit de mettre en évidence l'occupation des sols et de quantifier l'évolution de la végétation, entre 1986 et 2007, à l'aide du processus qu'est la télédétection. Pour chaque année, nous avons eu besoin de deux images pour avoir la globalité de la zone d'étude. Ainsi à partir de six images satellites Spot prises à trois périodes différentes (1986, 1995 et 2007), nous avons produit des documents spatialisés mettant en évidence les états successifs du couvert végétal et de l'occupation des sols. Cette étude diachronique réalisée à partir de ces documents multi-dates, nous a permis d'analyser et d'évaluer quantitativement l'évolution de l'occupation du sol entre 1986 et 2007. Cette analyse a été complétée par des enquêtes effectuées auprès des populations du bassin versant de la Doubégué, par des observations terrain, et par l'étude de photos aériennes de 1985 et de 1994. Ces dernières informations et documents nous ont servis à l'interprétation des images et à l'explication de l'évolution de l'occupation du sol.

Les six images satellites utilisées proviennent du système satellitaire d'observation de la Terre SPOT 3 HRG et SPOT 5. Elles ont été acquises entre le 15 octobre et le 17 décembre. Cette période correspond à un état de développement du couvert végétal à la fin de la saison des pluies. En effet, les précipitations au cours du mois d'octobre sont en moyenne de 38,4 mm (moyenne 1950 - 2008). Les données pour les mois de novembre et de décembre sont respectivement de 1,4 mm et 0,5 mm. Afin de connaître l'évolution du couvert végétal, il était essentiel de réaliser l'étude diachronique à la fin de la saison des pluies lorsque le couvert végétal est bien développé et l'espace cultivé clairement identifiable. Cependant, il n'a pas été aisé d'obtenir des images sur la même période annuelle avec un intervalle de temps d'environ 10 ans entre deux dates d'étude, tout en s'affranchissant des facteurs

atmosphériques (tel que le taux de recouvrement des nuages)³¹. Cela pourrait nous être reproché, néanmoins, il n'existait pas d'autres images satellites facilement accessibles. Néanmoins, le choix de ces dates est tout à fait justifié. D'une part, dès le 26 octobre, l'essentiel des cultures est récolté, et seule demeure une partie du coton. Une première campagne de ramassage est effectuée au cours du mois d'octobre lorsque 50 % du coton est bien ouvert, puis une seconde en novembre. D'autre part, les arbres et les arbustes sont peu affectés par cette évolution entre le milieu du mois d'octobre et celui de décembre comme en atteste les clichés pris aux trois dates sur quatre sites de prélèvements (**Planche photos 7**). Seuls, les secteurs en herbe sont peu à peu desséchés, et ont tendance à jaunir.

En définitive, cette période retenue qui fait suite aux principaux mois pluvieux et à la mise en culture est essentielle afin de pouvoir définir, à partir des images satellites, les différentes occupations des sols, et bien différencier les espaces « naturels » de ceux anthropisés. Il est alors plus aisé de distinguer les différents types de savanes, et les terres mises en culture sont facilement identifiables.

Quatre images (deux Spot 1 et deux Spot 3, 1986 et 1995) ont une résolution de 20 m et deux images Spot 5 (2007³²) une résolution de 10 m (**Tab. 14**).

Données	Date d'acquisition	Coordonnées latitude et longitude du centre	Bandes spectrales (µm)	Dom. spectral	Résolution spatiale
Spot 5	07/12/2007	11.52° - 0.43°	1. [0,50 - 0,59]	Vert	10x10
			2. [0,61 - 0,68]	Rouge	10x10
			3. [0,78 - 0,89]	PIR	10x10
			4. [1,58 - 1,75]	MIR	10x10
Spot 5	15/10/2007	12.02° - 0.30°	1. [0,50 - 0,59]	Vert	10x10
			2. [0,61 - 0,68]	Rouge	10x10
			3. [0,78 - 0,89]	PIR	10x10
			4. [1,58 - 1,75]	MIR	10x10
Spot 3	11/11/1995	11.52° - 0.36°	1. [0,50 - 0,59]	Vert	20x20
			2. [0,61 - 0,68]	Rouge	20x20
			3. [0,78 - 0,89]	PIR	20x20
Spot 3	11/11/1995	12.02° - 0.25°	1. [0,50 - 0,59]	Vert	20x20
			2. [0,61 - 0,68]	Rouge	20x20
			3. [0,78 - 0,89]	PIR	20x20
Spot 1	21/10/1986	12.02° - 0.39°	1. [0,50 - 0,59]	Vert	20x20
			2. [0,61 - 0,68]	Rouge	20x20
			3. [0,78 - 0,89]	PIR	20x20
Spot 1	21/10/1986	11.52° - 0.50°	1. [0,50 - 0,59]	Vert	20x20
			2. [0,61 - 0,68]	Rouge	20x20
			3. [0,78 - 0,89]	PIR	20x20

Tab. 14 : Informations techniques des images Spot acquises

³¹ Cela pourrait nous être reproché, néanmoins, il n'existait pas d'autres images satellites facilement accessibles.

³² Les progrès techniques des images radar expliquent la plus grande résolution des images de 2007.



a : Site de Bagré, le 21/10/2008



b : Site de Dazé, le 22/10/2008



c : Site de Bagré, le 11/11/2008



d : Site de Dazé, 12/11/2008



e : Site de Bagré, le 03/12/2008



f : Site de Dazé, le 01/12/2008

a, c et e : Evolution de la quantité d'eau présente dans le cours d'eau et de l'état du couvert végétal au site de Bagré entre la fin du mois d'octobre 2008 et le début du mois de décembre 2008

b, d et f : Evolution de la quantité d'eau présente dans le cours d'eau et de l'état du couvert végétal au site de Dazé entre la fin du mois d'octobre 2008 et le début du mois de décembre

Planche photos 7 : Evolution de la quantité d'eau et du couvert végétal dans le bassin versant de la Doubégué

Notre année de départ est 1986. Elle fait suite aux années de sécheresse des années 1970 et 1980, et à son paroxysme en 1983 - 1984. L'année intermédiaire est 1995. Elle est le témoin des implantations humaines et de l'évolution du couvert végétal suite à la mise en eau du barrage de Bagré en 1993. Enfin, l'année 2007 appartient à une décennie connaissant un « regain » de précipitations, bien que les totaux soient toujours inférieurs à ceux des années 1950. Il s'agit de la date finale pour cette analyse.

Par ailleurs, nous avons utilisé des photos aériennes afin d'avoir une meilleure connaissance des types d'occupation des sols en 1985 et 1994, de leur répartition et de valider nos observations effectuées sur les images satellites (**Tab. 15**). Ces photographies ont été acquises auprès de l'IGB (Institut Géographique du Burkina Faso) de Ouagadougou. Nous nous sommes servis d'un stéréoscope pour la lecture des photographies aériennes ainsi que d'un GPS lors de nos relevés des coordonnées terrain.

Année de prise de vue	Numéro de la mission	Numéro des prises de vue aérienne	Nombre de prises de vue aérienne	Echelle
1985	Mission IGB 85069 B de janvier 1985	7685 à 7688 7712 à 7714 7755	7	1/50 000
1994	Mission IGB 94132-B Boulgou d'octobre 1994	0009 0007 0011 0013 0168 0170 0225 0223 0221 0279 0281 0283 0285 0287 0337 0376 0378 0380 0382 0384 0432 0434 0436 0438 0440 0442 0486 0488 0490 0492 0494 0496 0554 0556 0558 0560 0562	37	1/20 000

Tab. 15 : Photographies aériennes utilisées pour l'analyse multi-temporelle

Les outils manipulés pour les besoins de cette étude sont le logiciel GRASS pour l'association des images satellites pour chaque année, le logiciel de traitement d'images Envi 4.1 pour les prétraitements et les classifications supervisées, et le logiciel SIG MapInfo pour la création des cartes d'occupation du sol et les cartes d'évolution.

4.1.3 Méthodes de traitement et d'analyse

Les méthodes de traitement et d'analyse comportent trois étapes principales que sont les prétraitements des images, les classifications numériques, et la mise en évidence des changements d'occupation des sols.

Nous disposons pour chaque année de deux images satellites. La première étape a été d'assembler les deux images afin de pouvoir travailler sur l'ensemble de la zone d'étude. Cette opération a été effectuée à l'aide du logiciel GRASS³³. Les images ont été recalées dans

³³ Connaissant le système de projection, nous avons pu les associer.

le système de projection de référence. Le bassin versant de la Doubégué relève de l'UTM (*Universal Transverse Mercator*) zone 30, Ellipsoïde et Datum, WGS 84 Nord.

Nous n'avons pas utilisé des corrections atmosphériques, car celles-ci sont difficiles à mettre en œuvre en l'absence de données de l'état de l'atmosphère et en raison de sa variabilité spatiale aux trois dates. Toutefois, nous avons appliqué la technique du rehaussement global des images appliquée par défaut dans le logiciel Envi. Il s'agit d'effectuer une dilatation des histogrammes en sélectionnant deux valeurs seuils S_{min} et S_{max} , auxquelles seront respectivement attachées les valeurs 0 et 255 lors de l'affichage des images sur l'écran.

Ensuite, nous avons créé des compositions colorées afin d'obtenir la meilleure visualisation possible des objets de l'image. En télédétection, il est souvent conseillé de travailler sur les bandes 3 - 4 - 5 affichées en rouge, vert, bleu lorsque l'on veut étudier les couverts végétaux. Or, les deux premières séries d'images (1986 et 1995) ne disposant que de 3 canaux. Nous avons donc également travaillé sur ces mêmes canaux avec les images de 2007 afin de ne pas changer de méthode d'une carte à l'autre. Nous avons donc associé les canaux 3 pour l'infrarouge [0,78 - 0,89 μm], 2 pour le rouge [0,61 - 0,68 μm], et 1 [0,50 - 0,59 μm] pour le vert dans l'ordre colorimétrique Rouge, Vert, Bleu. C'est sur ces compositions colorées que nous avons extrait la zone d'étude du bassin versant de la Doubégué, afin d'y quantifier l'occupation des sols et son évolution à partir des classifications d'images. Cette étape s'est opérée à l'aide des fonctions « *build mask* » et « *apply mask* » du logiciel Envi. En effet, tel un masque, nous avons appliqué les limites de notre bassin versant (auparavant géoréférencé sous le logiciel GRASS) sur les images des trois dates afin de travailler uniquement sur notre région. Sous Envi, il est également possible de créer des néo canaux par le calcul de nouveaux plans d'informations tels que l'ACP (Analyse en Composante Principale), le NDVI (Indice de Végétation Normalisé), et l'IB (Indice de Brillance). Ils permettent d'afficher des compositions colorées spéciales. Nous avons utilisé le NDVI afin d'affiner notre études des différents types de couvert végétal. Il faut alors interpréter visuellement les différentes compositions colorées, et déterminer des classes potentielles d'occupation des sols.

La seconde étape a consisté en une classification numérique des images retenues. C'est un procédé utilisé en télédétection, consistant à regrouper des ensembles de pixels similaires en classes. En effet, les pixels peuvent avoir la même valeur radiométrique ou des relations de voisinages (niveau topologique, relation quantitative mesurant sur chaque couple de deux points l'importance du premier élément sur le second) très importantes. Il s'agit d'effectuer un découpage géographique en « classes homogènes » à partir de données radiométriques issues des capteurs embarqués. Il est exécuté à partir des programmes automatisés du logiciel Envi 4.1.

La détermination du nombre de classes est fondée sur la mise en correspondance des informations télédéteectées avec les observations de terrain recueillies en octobre, novembre, et décembre 2008 et en juillet, août et septembre 2009. Ces classes ont également été confrontées aux documents exogènes, en particulier les photographies aériennes de 1985 et 1994. L'analyse des compositions colorées, de ces documents et les expériences de notre

terrain, nous ont alors permis de déterminer 9 classes d'occupation des sols pour les cartes finales :

- les plans d'eau,
- les formations ripicoles,
- les forêts claires,
- les savanes arborées,
- les savanes arbustives,
- les sols cultivés,
- l'habitat,
- les sols dégradés,
- les espaces dits « champs foncés ».

Nous avons choisi l'emploi de l'expression « champs foncés » pour définir des parcelles aux formes géométriques et non mises en culture actuellement. Elles ont été cultivées, mais sont à présent au « repos ». La végétation a commencé à reprendre ses droits, essentiellement sous forme d'une strate herbacée. Sur les photographies aériennes (**Photo 35**), elles sont clairement plus sombres que les parcelles mises en culture de façon permanente, de même que sur les images satellites (**Photo 36**).

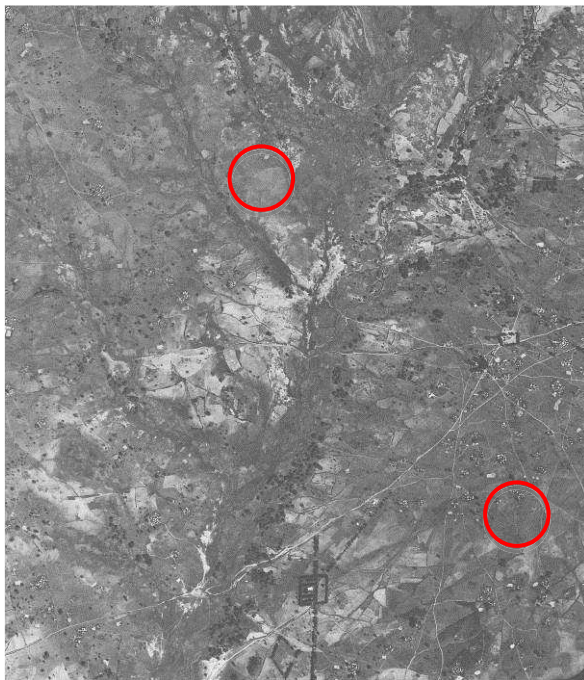


Photo 35 : Extrait d'une photo aérienne de 1994



Photo 36 : Extrait d'image satellite de 1995

Identification de la classe « les champs foncés » (cercles rouges)

Sources : IGB, 1994 et Spot, 1995

On pourrait également les qualifier de territoires anciennement occupés par l'agriculture avec présence de végétation ou encore de savane herbeuse, localisée au-delà des champs permanents, formant la première forme de reconquête par la végétation naturelle d'anciens champs de brousse.

Dans le cadre de notre étude, nous avons opté pour une classification supervisée. Elle se déroule en deux étapes. Il faut tout d'abord sélectionner des zones de l'image dont on connaît l'utilisation du sol. Ces zones sont appelées régions d'intérêt (ROIs ou encore *Regions of*

Interest) sous Envi. De nombreuses ROIs ont été effectuées sur plusieurs espaces caractéristiques des différentes formes d'occupation des sols. Au cours de cette étape, il est important de connaître les statistiques sur les ROIs, que ce soit sur les signatures spectrales ou encore leur séparabilité (mesure de la probabilité qu'un pixel d'une certaine classe soit bien classé). Dans ce dernier cas, le calcul de la distance spectrale interclasses fournit des statistiques comprises entre 0 et 2. Elles permettent de savoir s'il existe un risque de confusion entre deux classes. On parlera de bonne séparabilité si elles sont comprises entre 1,9 et 2, ce qui est le cas pour la grande majorité des combinaisons de nos classifications.

Une fois cette opération achevée, il faut sélectionner le type de classification supervisée choisie. Nous avons retenu l'algorithme d'ENVI appelé SAM (*Spectral Angle Mapper*). Cette méthode permet de regrouper les pixels qui appartiennent à la même classe d'objet mais qui prennent des radiométries différentes. Puis, ces différentes opérations ont été réitérées pour les deux autres dates.

Enfin, afin de s'assurer de la qualité de notre système de classification, nous avons utilisé un outil de post-classification : la matrice de confusion. Ainsi, le résultat de la classification supervisée peut être évalué. Les données de terrain sont comparées à celles obtenues par la classification. Les résultats sont compris entre 0 et 1. Plus on se rapproche de la valeur 1 plus la classification pourra être qualifiée de bonne (**Tab. 16**)³⁴. Les risques les plus importants de confusion sont apparus : en 1986 pour les classes des champs foncés et des cultures, en 1995 pour celles des champs foncés et des formations ripicoles, et en 2007 pour celles des cultures et des savanes arbustives.

	1986	1995	2007
Coefficient Kappa	0,66	0,75	0,70
Précision globale (%)	71,09	81,22	77,18

Tab. 16 : Résultats de la matrice de confusion pour les classifications de 1986, 1995 et 2007

La troisième et dernière étape a été la restitution cartographique des résultats obtenus. En effet, le processus de classification génère des statistiques sur les superficies des différents types d'occupation des sols pour chacune des trois dates. Sous Envi, la comparaison des trois cartes et des trois séries statistiques correspondantes permet de mettre en évidence des modifications du couvert végétal entre 1986 et 1995, 1995 et 2007, et 1986 et 2007. Toutefois, il est à noter que l'hétérogénéité du paysage et la différence des capteurs dont sont issues les images biaisent parfois les analyses des dynamiques d'occupation du sol. Néanmoins, lors de cette étude, les pixels mal classés sont marginaux (0,91 % pour 1986, 0,26 % pour 1995 et 0,75 % pour 2007).

Le résultat final est donné sous forme d'un fichier *evf*. (données « raster »), qui doit être converti en données « vecteur » (*shp.*). Ces dernières sont exportées sous un format qui facilite son intégration dans une base de données à référence spatiale. Chaque classe est alors convertie dans un format pouvant être traitées par un SIG (format *evf*. transformé en *shp.*).

³⁴Le logiciel Envi permet également d'utiliser d'autres traitements qualifiés de post classification tels que le *Clump classes* destiné à homogénéiser les classes et le *Majority analysis* appliqué pour lisser les classes après l'opération précédente. Par souci de précision, nous avons préféré conserver la classification telle que obtenue sans l'usage de ces outils de post classification. Toutefois, après ces deux opérations, le coefficient Kappa et la précision globale étaient supérieurs : 0,69 et 73,90 % pour 1986, 0,77 et 82,44 % pour 1995 et 0,73 et 79,48 %.

Les données sont ensuite intégrées dans un SIG. Cette étape est effectuée à partir du logiciel Mapinfo. Elle permet d'intégrer dans une base de données commune, toutes les informations utiles à l'analyse de la dynamique de l'occupation des sols, à l'intérieur du bassin versant de la Doubégué. Ainsi, les informations issues du traitement des images satellites et de l'analyse spatio-temporelle de l'occupation des sols sont exportées dans une base de données SIG. Elles sont complétées par des informations extraites des données exogènes tels que le réseau routier, les localités, les cours d'eau... Les requêtes attributaires et les analyses statistiques sont ensuite effectuées pour répondre à des questions précises en rapport avec la question centrale de la recherche (superficie des différents types d'occupation, la sélection de certaines zones...). Dans l'objectif de notre étude, il s'agit de savoir comment ont évolué les différentes classes. Ainsi nous avons distingué :

- les secteurs sans mutation ;
- les espaces « naturels » dégradés : nous entendons par ce terme le fait que des formations dites naturelles se soient appauvries comme une savane arborée devenue une savane arbustive, une forêt claire transformée en savane arborée ;
- les espaces « naturels » enrichis : il s'agit de l'opération inverse de la précédente comme une savane arbustive devenu une savane arborée ;
- la régression des formations naturelles au profit des cultures permanentes ;
- la régression des formations naturelles au profit des champs dits foncés ;
- la transformation des cultures en « champs foncés » ;
- la transformation des « champs foncés » en culture ;
- l'apparition de sols dégradés ;
- le recul de sols dégradés.

Enfin, nous avons procédé à la cartographie de l'occupation des sols et à des cartes de synthèse.

Ainsi, couplée aux SIG, la télédétection apparaît comme un outil efficace à mettre à la disposition des gestionnaires. Les SIG permettent de saisir, de stocker, de manipuler, d'analyser et d'afficher des données à références spatiales pour résoudre des problèmes de gestion et de planification. Néanmoins, ils restent un outil mis à disposition du décideur et non une réponse. C'est un outil de compréhension et de représentation de l'espace. L'intérêt du SIG est donc l'intégration de différentes couches d'information, l'évolution dans le temps, la visualisation cartographique, et la requête avec un Système de Gestion de Base de Données (ensemble de programme permettant l'accès à une base de données). Les SIG sont un appui à l'analyse spatiale.

4.2 Réalisation et résultats

Les différentes classes retenues sont les formations ripicoles, les forêts claires, les savanes arborées, les savanes arbustives, les champs foncés, les sols cultivés, les sols dégradés, l'habitat et les plans d'eau. Nous présenterons :

- l'état pour chaque année ;
- les évolutions entre les différentes dates 1986 et 1995, 1995 et 2007 ;

- et une vision plus globale des changements apparus depuis 1986.

4.2.1 Une cartographie révélatrice de l'immigration, années 1980 - 1990

4.2.1.1 Contexte historique du peuplement

Historiquement, la zone de Tenkodogo est le berceau de la royauté Mossi. En 1896, cet espace appartenait au Royaume Mossi de Tenkodogo. Un système politique existait, hiérarchisé et organisé de longue date (depuis plusieurs siècles). Sous l'occupation française, le « cercle de Tenkodogo »³⁵ est créé le 1^{er} août 1921. Néanmoins, la présence de l'onchocercose dans la région empêche l'installation des hommes dans les vallées. Le développement de cette maladie s'explique en grande partie par la modification du système cultural bissa. D'intensif associant l'agriculture et l'élevage sous les parcs à *Acacia albida*, il est devenu extensif sous la colonisation. Ce fait est à mettre en relation avec l'exode à destination de la *Gold Coast* (actuel Ghana). Le Centre - Sud voltaïque perdit 150 000 personnes de 1928 à 1947, soit près de la moitié de la population de 1928 (321 000 habitants) (FAURE, 1996).

Entre les années 1950 et 1960, les mouvements migratoires reprennent, et l'espace habité se resserre au niveau des anciens villages. Cependant, l'occupation du bassin versant de la Doubégué demeure faible. Le repeuplement reprend au niveau de Garango et de Zabré ainsi qu'à Tenkodogo. C'est alors principalement la zone amont du bassin de la Doubégué qui connaît une croissance démographique. En 1975, Tenkodogo est une ville importante avec 18 224 habitants. Les localités de Bagré, de Séla et de Loanga comptent chacune plus de 2 000 habitants. Quant à Zabo, Sasséma, Ouéloguen et Ounzéogo, leur population dépasse le millier d'habitants. Par ailleurs, entre 1975 et 1985, les villages de ce secteur vont connaître une croissance moyenne de 3,8 % par an. Seuls Bassaré et Ouéloguen voient leur population diminuer (principalement Ouéloguen de 1 490 à 744 habitants). En 1985, les principales localités sont alors Tenkodogo, Bagré, Séla, Loanga, Zabo, Sasséma, Ounzéogo, Ouéloguen, auxquels s'ajoutent deux nouveaux villages, Ouréma et Sébrétenga, qui ont connu les plus fortes progressions (**Fig. 1**).

4.2.1.2 Des formations « naturelles » dominantes au milieu des années 1980

Les brousses de la région, en particulier de Bagré, ne se sont repeuplées qu'à partir de 1984, principalement par des éleveurs. Ils sont originaires de la région Nord du Burkina Faso, et ont fui la sécheresse qui y sévit. Leur empreinte est alors faible dans la partie aval du bassin versant. Puis, les Bissa s'y sont de nouveau installés. A partir du milieu des années 1980, les vallées sont peu à peu occupées ou plutôt réoccupées. Cette arrivée de migrants autochtones Bissa et de migrants allochtones Peul et Mossi va profondément bouleverser la physionomie du paysage de la zone. Il convient de rappeler que les migrants Mossi avaient déjà commencé à migrer en direction des vallées du Nakambé, suite aux actions menées par l'AVV afin de reconquérir les terres libérées de l'onchocercose. En définitive, les populations Mossi ont fui la sécheresse, un environnement dégradé, et un manque de terre. Ce déplacement s'est renforcé après la promulgation de la RAF en 1984. Entre 1984 et 1987, les experts ont estimé l'arrivée de migrants Mossi, le long du Nakambé à 2 500 ou 3 000 personnes, auxquelles

³⁵ Il s'agissait de la circonscription administrative principale de la République Voltaïque.

s'ajoutent 1 000 personnes installées entre 1987 et 1991 sur le terroir de Bagré. A cette époque, les premiers migrants se sont installés autour de la mare de Woozi (FAURE, 1996).

En 1986, le bassin versant de la Doubégué portait donc essentiellement des **formations dites « naturelles »**. Au regard de la cartographie réalisée (**Fig. 33**), elles occupent **69 % de ce territoire, principalement dans la partie aval du bassin**. Trois espaces se distinguent. Au cours de notre présentation des résultats de l'étude diachronique nous différencierons le secteur amont (du nord de la source jusqu'à la triple confluence formée par le Doubégué, le Loang kwila et le Boundoudi), la zone médiane (entre la triple confluence et Zabo), et l'espace aval. En 1986, la carte de l'occupation des sols (**Fig. 33**) met en avant une progression des « formations naturelles » de l'amont vers l'aval tel que le bassin versant est de moins en moins anthropisé en direction du sud-ouest.

Dans le secteur amont, l'empreinte humaine est forte au niveau d'Ouéloguen. Des espaces dégradés sont présents et ils doivent être la cause du départ de certains habitants entre 1975 et 1985. La zone de Loanga dispose d'une occupation modérée. Elle est moins détériorée (bien que regroupant 2 901 habitants en 1985) tout comme l'espace compris entre Belcé et la ville de Tenkodogo. Toutefois, il existe une zone de dégradation au sud-ouest de Tenkodogo, et l'ensemble de son secteur nord-ouest est anthropisé (mise en culture et espaces dégradés). La source de la Doubégué est encore préservée et porte une savane arbustive. Il est alors intéressant de mettre en parallèle ces observations et les informations données par les populations de ce secteur (cf. 4.4). Elles soulignent qu'à cette époque, la zone connaissait encore la présence de formations « naturelles ».

La partie médiane arbore une nette opposition entre les deux rives. Alors que la rive gauche porte une occupation humaine partielle (Koama, Boura et le long de la RN 16 entre le sud de Belcé et Boura), celle de droite présente une mise en culture plus étendue ainsi que des zones dégradées particulièrement au niveau de Zaka, de Kabri et de Sasséma. Toutefois, dès le milieu des années 1980, des cordons pierreux ont été réalisés à Sasséma et à Kabri. Par ailleurs, en rive gauche, les secteurs amont de Zano, Sébrétenga, et de Belcé et Dazé portent de nombreux champs mis en culture. Le village de Sébrétenga a connu l'un des plus importants taux de croissance (452 à 1 176 habitants). Et, le fait que Zano (presque 1000 habitants) et que Sébrétenga soient voisins expliquent en grande partie l'importante mise en culture de cet espace. La zone a donc dû peu à peu se dégrader, à partir du milieu des années 1980. Enfin, le secteur de Séla (3 489 habitants), connaissait déjà une forte anthropisation de son environnement. Par ailleurs, une limite est clairement identifiable en la localité de Zaba. Au-delà de ce secteur, un accroissement des formations dites « naturelles » peut être observé.

Dans le secteur aval, une différenciation entre les rives est identifiable. Celle de gauche présente des savanes arborées, des forêts claires, ainsi que des formations ripicoles aux alentours du Nakambé. Celle de droite porte des savanes arborées et des savanes arbustives. Les forêts galerie connaissent une répartition plus limitée (le long de la Doubégué et de ses affluents). Cette observation confirme que jusque dans les années 1980, les abords du Nakambé portaient peu de traces humaines. En rive gauche, elles se cantonnent aux alentours de Pata, de Niambo, et de Bagré (5 174 habitants), ainsi que vers Douka, et Kalakoudi. Elles sont davantage visibles en rive droite dans la région de Ounzéogo, de Kou,

et de Soné. Cette différence a une explication historique. En effet, dès la fin du XIX^{ème} siècle des souches Mossi se sont installées dans la brousse de Ounzéogo. Le peuplement est donc ancien sur cette rive. Ainsi, les villages de Ounzéogo, Sasséma ont été fondés entre 1900 et 1910. Par ailleurs, que ce soit en rive droite ou en rive gauche, les localités les plus importantes se localisent respectivement au niveau d'une piste qualifiée d'automobilisable et d'une route de praticabilité permanente secondaire (carte de l'IGN de 1980). Enfin, la faible emprise visible au niveau du nord et d'l'ouest de Bagré peut s'expliquer par le fait que le village se localise à la limite entre deux bassins versants. Ainsi, la mise en culture devait s'effectuer en direction de l'autre bassin (vers le Guingalé, et le Sanambouli) présentant moins de formations « naturelles » (carte IGN 1980).

En définitive, en 1986, **le bassin versant de la Doubégué** est occupé à **69 %** par des **formations dites « naturelles »** avec dans un ordre décroissant : la savane arborée (32,8 % de la surface), la savane arbustive (26,8 %), la forêt claire (7,1 %), et les formations ripicoles (2,0 %) (**Tab. 17**). Ces dernières sont bien représentées, principalement dans le secteur aval, et plus modérément en région médiane. La Doubégué et ses affluents sont dans l'ensemble bordés par des formations dites « naturelles », excepté au niveau de Belcé et Bassaré. Ainsi, au milieu des années 1980, on peut objectivement avancer que la qualité de l'eau était relativement préservée, principalement dans la zone aval. D'une part la majorité des versants porte une protection végétale protégeant les sols de l'impact des gouttes des pluies et du ruissellement. D'autre part, les formations ripicoles piègent les particules amenées jusqu'au niveau des cours d'eau. De plus, à cette époque, l'emploi de pesticides était faible.

Quant à **l'occupation territoriale humaine, elle est de 28 %**. Les champs foncés représentent le principal type d'emprise anthropique avec 14, 9 %. Cette présence souligne que la jachère est encore pratiquée. Les sols sont donc laissés au repos quelques années afin de se régénérer. Ce mode d'occupation est suivi par la mise en culture totale (11,6 %). Les sols dégradés ont une superficie de 3,6 % (**Tab. 17**). Cinq zones sont particulièrement mises en valeur (Ouéloguen - Sasséma, Zaka - Kabri, et la région autour de Tenkodogo). Cette carte de 1986 laisse supposer que les pertes en terre ont déjà affecté ces secteurs.

4.2.1.3 Un secteur médian de plus en plus mis en culture : 1995

Ainsi, à partir de la fin des années 1980, la perspective de la mise en eau du barrage couplée à la possibilité de se voir reconnaître une occupation de fait, suite aux défrichements (issus de la RAF), ne fait qu'accroître les migrations, et par conséquent les défrichements des vallées fertiles (Béga, Doubégué, etc.). Ces migrants viennent principalement de trois provinces plus ou moins proches le Yatenga, le Sanmatenga, et le Namentenga ; auxquels s'ajoutent des migrants venus de Koupéla (Kouritenga), de Kombissiri (Bazéga), et de Zorgho (Ganzourgou). Ils s'adjoignent aux cultivateurs, originaires quant à eux de la région surpeuplée de Garango - Béguédo - Boussouma, ouvrant des hameaux de culture vers le sud en direction des vallées. Des migrations dues aux cultures saisonnières à l'intérieur même de la zone Bissa ont également été observées depuis les secteurs de Ounzéogo, de Zabo, de Loanga en direction de la brousse de Zangola (Lego et Bagré), et de Sasséré et de Pata.

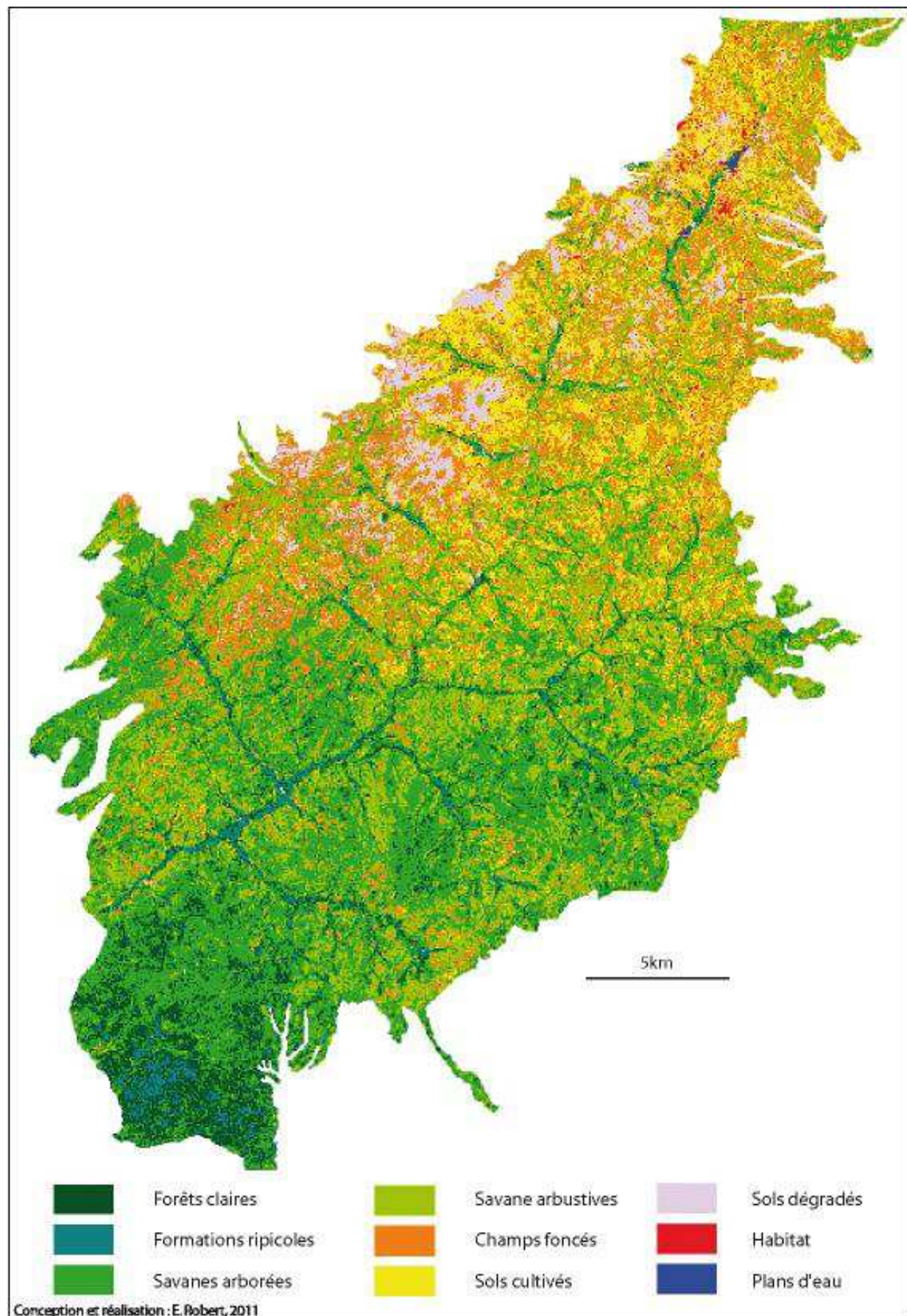


Fig. 33 : État de l'occupation des sols dans le bassin versant de la Doubégué en 1986

Sources : Spot, IGB

En définitive, en 1995, on observe une **double évolution** de l'occupation des sols opérée en seulement 9 années dans le bassin versant de la Doubégué. D'une part, **la mise en culture a gagné du terrain principalement dans la zone médiane**. D'autre part, **la mise en eau du barrage de Bagré a entraîné l'ennement de nombreux espaces « naturels »** (savane arborée, forêt claire, et des formations ripicoles) du secteur aval (**Fig. 34**).

Dans le secteur amont, la mise en culture s'est accrue et les formations « naturelles » ont été « grignotées » à quelques exceptions près (Belcé). Davantage de champs sont visibles aux alentours de Loanga, de Ouéloguen, et de Tenkodogo. Cette dernière ville s'est étendue et sa population a poursuivi sa progression de 23 331 à 31 466 habitants. Ouéloguen a connu la plus forte progression (15 % par an) passant de 744 à 1969 habitants, et Loanga a atteint 3569 habitants. De nombreux secteurs de champs foncés sont devenus des cultures permanentes en particulier dans la région nord et sud-ouest de Tenkodogo.

Dans la partie médiane, trois villages ont également manifesté une croissance importante : Zaka, Zano et Basséré dont les populations ont respectivement augmenté de 538 à 994, de 983 à 1726, et de 351 à 691 habitants. Cet espace a connu les évolutions les plus importantes. Il a été fortement mis en culture, et les formations « naturelles » restantes sont principalement de la savane arbustive. Cette dernière s'observe le long des différents affluents (Bissane, Yayo, Kukunane). Par ailleurs, certains milieux de formations ripicoles demeurent le long du Lango, du Yayo, alors que les berges de la Doubégué n'en portent quasiment plus. La différence entre les deux rives existe toujours. La mise en culture domine encore en rive droite. Elle est moindre en rive gauche, bien qu'elle se soit fortement accrue en direction de Koama, et le long de la RN 16 (Séla, Boura, Gouni Peul). Boura a connu une très forte progression entre 1975 et 1996 passant de 410 à 1538 habitants. Enfin, des espaces dégradés apparaissent au niveau de Bassaré, du sud de Dazé et de Gouni Peul.

Le secteur sud du bassin versant de la Doubégué présente une dégradation du couvert végétal. Ainsi, la forêt claire a laissé place à la savane arborée dont une partie a été remplacée par la savane arbustive. Il existe toutefois encore des îlots de forêt claire. Par ailleurs, l'emprise humaine s'est accrue au niveau de Bagré, de Pata, de Douka, et de Kalakoudi principalement sous la forme de champs foncés. Avec la mise en eau du lac de barrage de Bagré, cette localité a connu une croissance exceptionnelle, passant de 5 174 à 13 100 habitants, principalement en raison des promesses faites sur les conséquences positives de l'ouvrage (périmètres rizicoles, pêche, vente, etc.). Le secteur de Zabo est également en cours de modification, des espaces ont été défrichés. Ce dernier village a connu une importante croissance de 1925 à 3321 habitants (6,5 % par an). A l'inverse, le secteur de Ouanagou semble encore préservé³⁶, tout comme les abords de la Doubégué. L'autre rive présente une physionomie différente. La savane arbustive a pris place dans la zone ouest. La mise en culture s'est accrue au sud de Ounzéogo, de Kou, et en direction de Zabatorla (remplacement des champs foncés). Et des **sols dégradés sont apparus** à Ounzéogo, Kou et Soné. Enfin, des champs foncés ont été mis en place dans le secteur aval du bassin versant du Day Sousouro et dans la région de Zabo.

³⁶ La croissance démographique de ce village est faible 1,5 % par an contre 3,5 % par an en moyenne dans le bassin versant (recensement 2006).

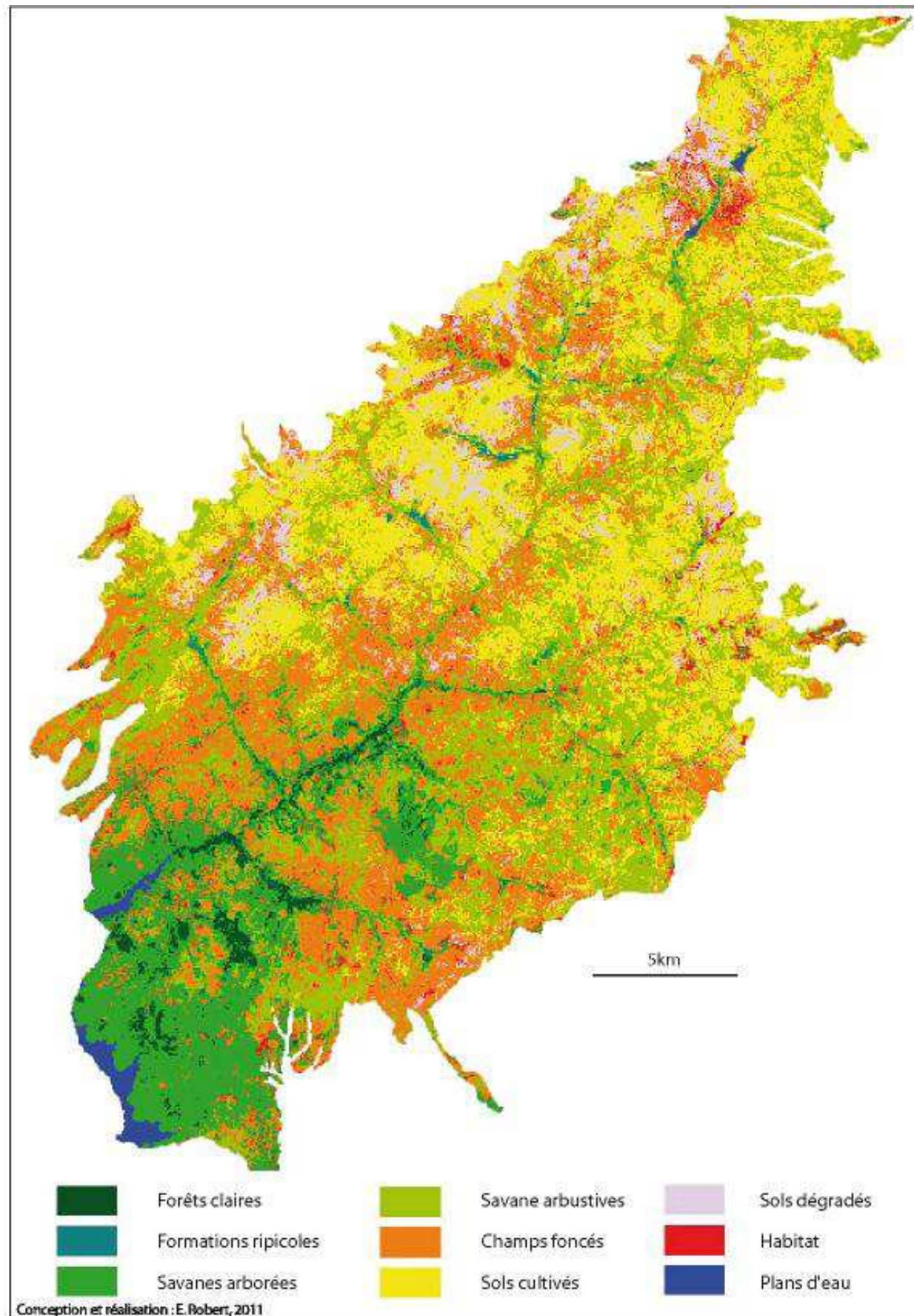


Fig. 34 : État de l'occupation des sols du bassin versant de la Doubégué en 1995

Sources : Spot, IGB

4.2.1.4 1986 - 1995 : une anthropisation croissante

La répartition des formations ripicoles a été profondément bouleversée entre 1986 et 1995 (**Fig. 35**). Une part non négligeable, localisée au sud du bassin versant de la Doubégué, a été ennoyée lors de la mise en eau du barrage. En 1986, ce type de formation s'observait depuis la confluence avec le Tcherbo jusqu'à Zabo. La Pona, la Kila et la Kukunane étaient aussi bordées de forêts galeries, alors qu'elles n'existaient déjà plus dans sa partie amont (Zabo-Loanga-Tenkodogo), exception faite de Lango et du Yayo. En définitive, en 1995, les affluents de la partie aval ne sont plus concernés par la présence de ce type de formations. Ces dernières sont principalement circonscrites aux bas-fonds. Cette occupation n'est donc plus que ponctuelle. Les formations ripicoles ont alors fortement régressé en une décennie. Leur surface s'est réduite de 2,0 % en 1986 à 0,55 % en 1995 (**Tab. 17**).

Au cours de cette période, d'autres formations végétales ont subi une régression. La forêt claire a connu un recul important de sa répartition passant de 7,1 % à 1,5 %. Une large partie a été ennoyée et une autre s'est muée en savane arborée (essentiellement dans la partie aval). La savane arborée a également régressé de 32,8 % à 13,5 %. Quant à la savane arbustive, sa régression est très faible de 26,8 % à 25,4 % (**Tab. 17**). En réalité, le terme de **dégradation du couvert végétal** serait plus exact. En effet, une dégradation s'est opérée de la forêt claire en savane arborée, et de la savane arborée en savane arbustive. Ce processus s'observe particulièrement au nord et à l'ouest de Bagré (formations ripicoles et forêt claire dégradées en savane arborée), entre Ouanagou et Kalakoudi, et au nord-ouest de Ouanagou. Ainsi, au niveau de ces deux derniers secteurs, la savane arborée s'est transformée en savane arbustive. Toutefois, deux zones d'enrichissement apparaissent. La première est circonscrite à un secteur compris entre Douka et Pata. La seconde est beaucoup plus étendue et localisée dans la région aval de la Doubégué en rive droite. Dans la partie amont du bassin versant de la Doubégué, les types de formations végétales déjà rares en 1986, le sont toujours en 1995. Toutefois, la savane arbustive s'est étendue de part et d'autre de la Doubégué (secteur Loanga, Belcé, Ouéloguen).

Ce recul et cette dégradation des formations naturelles doivent être reliés à une réalité (le déboisement). Ainsi, au début des années 1990, plus de 95 % des ménages utilisaient le bois avec des foyers simples comme source d'énergie (taux national de 80 %) (DREP-CE : Direction Régionale de l'Economie et de la Planification du Centre-Est).

Néanmoins, l'évolution la plus importante concerne la mise en **culture permanente** qui est passée de 11,6 % à 26,5 % soit une progression de plus de 128 % (14,3 % par an) (**Tab. 18**). Cette mutation est importante dans la région de Kou, à Ounzéogo, et à Bado. De même, la rive droite médiane a connu une mise en culture presque totale. Elle est plus modérée au niveau de la Bissane. En rive gauche, les secteurs de Koama, de Boura et de Gouni Peul ont également connu une mise en culture permanente. Enfin, en amont, cette évolution est visible à Loanga, à Ouéloguen, à Belcé, aux alentours de Tenkodogo, et dans la région localisée au nord de cette dernière ville.

Par ailleurs, les secteurs aval sont dans une situation intermédiaire. Des défrichements se sont opérés afin de mettre en place des champs foncés. L'installation de nouvelles populations pour la mise en culture, combinée à une demande en bois croissante et à l'amplification de la présence des éleveurs a contribué à une pression accrue sur la savane

arborée. Ce phénomène s'observe également dans la région du village de Bagré, à Niambo, à Kalakoudi, à Pata, à Douka et dans la zone aval du bassin de la Day Sousouro. Ce type d'occupation a connu une progression importante de 14,9 % à 24,8 %. De plus, entre 1990 et 1997, l'espace correspondant actuellement à la zone pastorale de la Doubégué a connu une dégradation de 48 % (SOGREAH et Sahel Consult).

Les sols dégradés se sont accrus de 3,6 % à 5,1 % (**Tab. 17**). Ils s'étendent sur 12 secteurs. Il s'agit en rive gauche de Niambo - Kalakoudi, de Dazé - Zabo, de Gouni Peul, de Zano ; et en rive droite de Soné - Kou, de Minda, de Ounzéogo, de Kabri, de Ouéloguen, de Téogo, de Tenkodogo, et entre Sasséma et Bassaré.

Le secteur médian droit présente une évolution assez complexe. Ainsi, à Kabri, alors qu'une zone est récupérée, une nouvelle est apparue plus au sud. Ce phénomène s'observe également entre le Lango et le Boundoudi. A l'inverse, Zabatorla, Sasséma, Ouéloguen et le sud-ouest de Tenkodogo ont connu une diminution de ce type de sols dégradés.

Les sols dégradés en 1986 ont pu être abandonnés et « redonnés » à la nature. Cependant, il semble que la véritable explication soit que des actions aient été pratiquées afin de regagner ces terres ; comme le souligne le fait qu'ils correspondent à des espaces cultivés en 1995. Parallèlement, aux alentours de ces anciens types de sols, la mise en culture s'est poursuivie entraînant une dégradation trop importante et l'abandon de nouvelles terres. Ces observations doivent être mises en parallèles avec les prises de conscience anciennes de certains villages. Dès les années 1980 et les années 1990 des actions de CES (Conservation des Eaux et des Sols) ont été pratiquées. Ainsi, dès le milieu des années 1980, le village de Sasséma a mis en place des cordons pierreux. Ces actions se sont accrues à partir du milieu des années 1990. De même à Zaka, les premières opérations ont été réalisées dès les années 1970. Elles ont perduré et des groupements de diguettes s'y sont développés (milieu des années 1980). Des cordons pierreux ont également été réalisés à Guella, à Kabri, et à Sébrétenga (milieu et fin des années 1980). Suite aux résultats observés en 1995, ces actions ont donc joué un rôle décisif dans cette régression. La proximité de la piste reliant Tenkodogo à Lergo (axe important pour la circulation) et de la ville de Tenkodogo a facilité la mise en place de ces actions. Toutefois, la réceptivité de la population demeure le facteur déterminant.

En conclusion, entre 1986 et 1995, le bassin versant de la Doubégué a connu de profonds bouleversements, au nombre de quatre. Il s'agit tout d'abord **de l'arrivée massive de migrants Peul et Mossi** de différentes provinces du Nord et du Centre. La région a également connu un **accroissement naturel fort** de 22,3 ‰ (entre 1980 et 1995), soit un doublement de la population en 25 ans. Ainsi, aux conflits entre agriculteurs, et entre agriculteurs et éleveurs, s'est combinée une **pression démographique entraînant une pression foncière et une surexploitation des terres**. Les cultivateurs ont dû chercher plus loin de nouvelles parcelles cultivables. Les fortes densités des zones nord (taux supérieurs à 500 hab/km² pour l'espace formé par Garango - Béguédo - Boussouma) ont poussé les agriculteurs à ouvrir des hameaux de cultures vers le sud (Lenga, Yakala, Lergo...). Par ailleurs, **des mutations économiques et politiques** ont affecté la région. La RAF a entraîné des défrichements hâtifs, et la crainte d'une pénurie de terre est apparue suite aux événements politiques sous régionaux ouest - africains (peur du retour massif des Bissa depuis la Côte

d'Ivoire³⁷). L'ultime bouleversement a été **la mise en eau du lac de barrage de Bagré**. L'extension de la mise en culture a alors été particulièrement importante en rive gauche médiane.

Ainsi, il s'agit d'une période pendant laquelle les conditions d'accès à la terre ont été modifiées. En effet, l'idée de **pénurie de terre** apparaît à la fin des années 1980, alors qu'auparavant, les habitants habitaient une région où la brousse abondait. Des changements climatiques se sont également opérés au cours de cette décennie et demie. D'une part, ils sont l'une des causes de l'arrivée massive de migrants fuyant les sécheresses des années 1970 (1972 – 1973) et du début des années 1980 (1983 – 1984). D'autre part, ils ont également eu des conséquences dans la région, soulignées par la régression des totaux pluviométriques (cf. 1.1.3.1).

La **combinaison de facteurs anthropiques et climatiques** explique donc l'évolution de la région. La prise en compte uniquement de l'un ou de l'autre paramètre conduirait à une explication partielle des modifications apparues sur le paysage et reconnues par les populations du bassin versant de la Doubégué. Toutefois, **l'impact humain semble prépondérant**³⁸. Le rapport entre les formations « naturelles » et l'occupation humaine s'est alors inversé : 41,0 % pour les formations « naturelles » et 51,9 % pour l'occupation humaine à laquelle il faut ajouter les sols dégradés (5,1 %) et l'habitat (1,8 %). Les formations « naturelle » ont connu une double mutation : une régression de 27,7 % et une dégradation soulignée par la prédominance de la savane arbustive au cœur de ces dernières (**Tab. 17**). L'étude des cartes d'occupation des sols de 1986 et de 1995 met en avant **une double progression de la mise en culture : de l'amont vers l'aval du bassin versant de la Doubégué, et des interfluves en direction de la vallée de la Doubégué** (surtout en rive droite). De plus, **la rive gauche porte davantage de formations « naturelles » que celle de droite**.

Description	1986		1995		2007	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
Plans d'eau	25,33	0,05	425,57	0,84	546,09	1,08
Forêt claire	3 586,17	7,08	780,21	1,54	571,37	1,13
Formations ripicoles	1 007,98	1,99	278,65	0,55	22,48	0,44
Savane arborée	16 613,88	32,80	6 834,43	13,49	5 521,57	10,92
Savane arbustive	13 574,76	26,80	12 868,38	25,40	7 367,15	14,57
Habitat	582,50	1,15	901,80	1,78	1 218,59	2,41
Champs foncés	7 526, 90	14,86	12 564,04	24,80	11 022,91	21,80
Sols cultivés	5 890,84	11,63	13 435,81	26,52	20 427,79	40,40
Sols dégradés	1 843,74	3,64	2 573,68	5,08	3 665,88	7,25
Total	50 652,1	100	50 662,57	100	50 363,83	100

Tab. 17 : Evolution de l'occupation des sols dans le bassin versant de la Doubégué.

Sources : Spot

³⁷ À partir du milieu des années 1990, Henri Konan Bédié a développé le concept d'ivoirité. On assiste alors à un retour important de burkinabé vers leur pays d'origine : une dizaine de milliers. Cependant, l'Etat avait craint que cela concerne davantage de burkinabés : un à deux millions.

³⁸ En effet, lors des sécheresses des années 1970 et 1980, les populations Peul ont souvent fui en raison d'un déséquilibre entre la disponibilité des ressources et le niveau de prélèvements. La pression anthropique est alors bien souvent la cause principale des migrations.

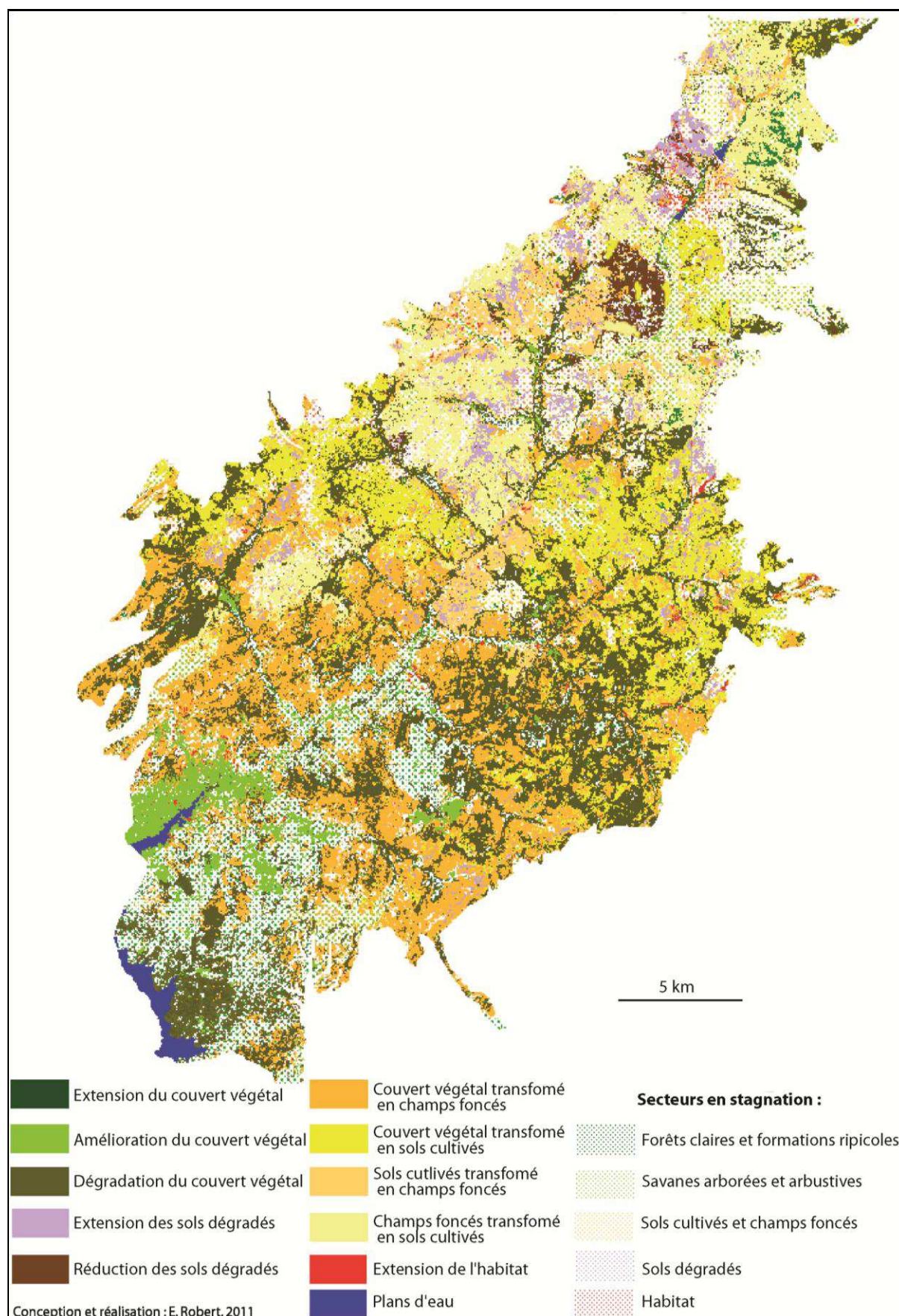


Fig. 35 : Evolution diachronique de l'occupation des sols dans le bassin versant de la Doubégué entre 1986 et 1995

Sources : Spot, IGB

-Elodie ROBERT-

Les risques de pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué (Burkina Faso) : pour une gestion intégrée

La décennie 1980 - 1990 a donc été témoin de profonds bouleversements comme le résume Armelle FAURE en 1994 : « *toute la région Bissa s'est transformée d'un territoire de vastes forêts peuplées d'animaux sauvages en une zone d'occupation permanente et d'activités agricoles et pastorales intenses* ».

4.2.2 L'accélération du processus de dégradation, la fin des années 1990 et les années 2000

4.2.2.1 L'extension de la mise en culture continue

La carte d'occupation des sols de 2007 souligne la **réduction de la superficie des formations dites « naturelles »** (Fig. 36). Un seul espace demeure clairement identifiable dans la région aval du bassin versant (entre le nord de Bagré et la Doubégué), mais pour combien de temps ? En effet, il semble attaqué par la mise en culture permanente depuis Pata et Bagré. De plus, la création du complexe éco-touristique de Bagré n'en protégera qu'une infime partie (cf. 10.2.1). L'extrême sud-est est alors particulièrement affecté par cette mise en culture, ainsi que le secteur amont du cours d'eau de Pata. Les régions médiane et aval de ce dernier correspondent à la zone dans laquelle ont été déplacés les cultivateurs lors de la concrétisation de la zone pastorale de la Doubégué. Il s'agit d'une zone de tension avec les éleveurs, car certains font paître leurs bœufs hors de la zone pastorale. Ainsi, selon les dires des cultivateurs de ce secteur, la mise en place de la zone pastorale n'aurait rien changé à leurs « querelles ».

Par ailleurs, les champs foncés ont eux aussi régressé au profit d'une mise en culture permanente particulièrement dans la partie amont du cours d'eau de Pata et de la Pona, mais également à Zaba, et à Ounzéogo. Ainsi, à partir de la fin des années 1990 et surtout au cours des années 2000, le secteur de Douka est devenu une zone de production cotonnière importante (souligné par la majorité des personnes interrogées). Il existe de multiples groupements de culture de coton regroupant chacun entre 30 et 67 personnes (Faso Coton, 2009). **La mise en culture permanente s'étend donc dans l'ensemble du bassin versant.** De plus, parallèlement, les champs foncés ont remplacé les savanes arbustives dans les régions de Ouanagou et de Ounzéogo.

Les sols dégradés ont, quant eux, diminué dans les secteurs de Ounzéogo. Les enquêtes qui y ont été réalisées soulignent la volonté de plusieurs cultivateurs de préserver leurs sols. Mais la prise de conscience est encore précoce (Zaba). A l'inverse, ce type de sol s'étend dans les zones de Niambo et de Bagré.

Dans le secteur médian, les évolutions sont plus modérées. Les deux principales zones de formations ripicoles sont maintenues, ainsi que l'importante mise en culture permanente. La régression des champs foncés au profit de ces dernières souligne leur progression. De même, les abords de la Doubégué, dans ce secteur médian, sont particulièrement affectés par la mise en culture, principalement au niveau de Zéké, et de Dazé. Dans l'ensemble, les rives de la Doubégué portent les traces de la dégradation du couvert végétal. Cette observation peut être également appliquée à l'affluent où sont localisés Zéké et Sébrétenga. La savane arbustive a alors fortement régressé dans ce secteur.

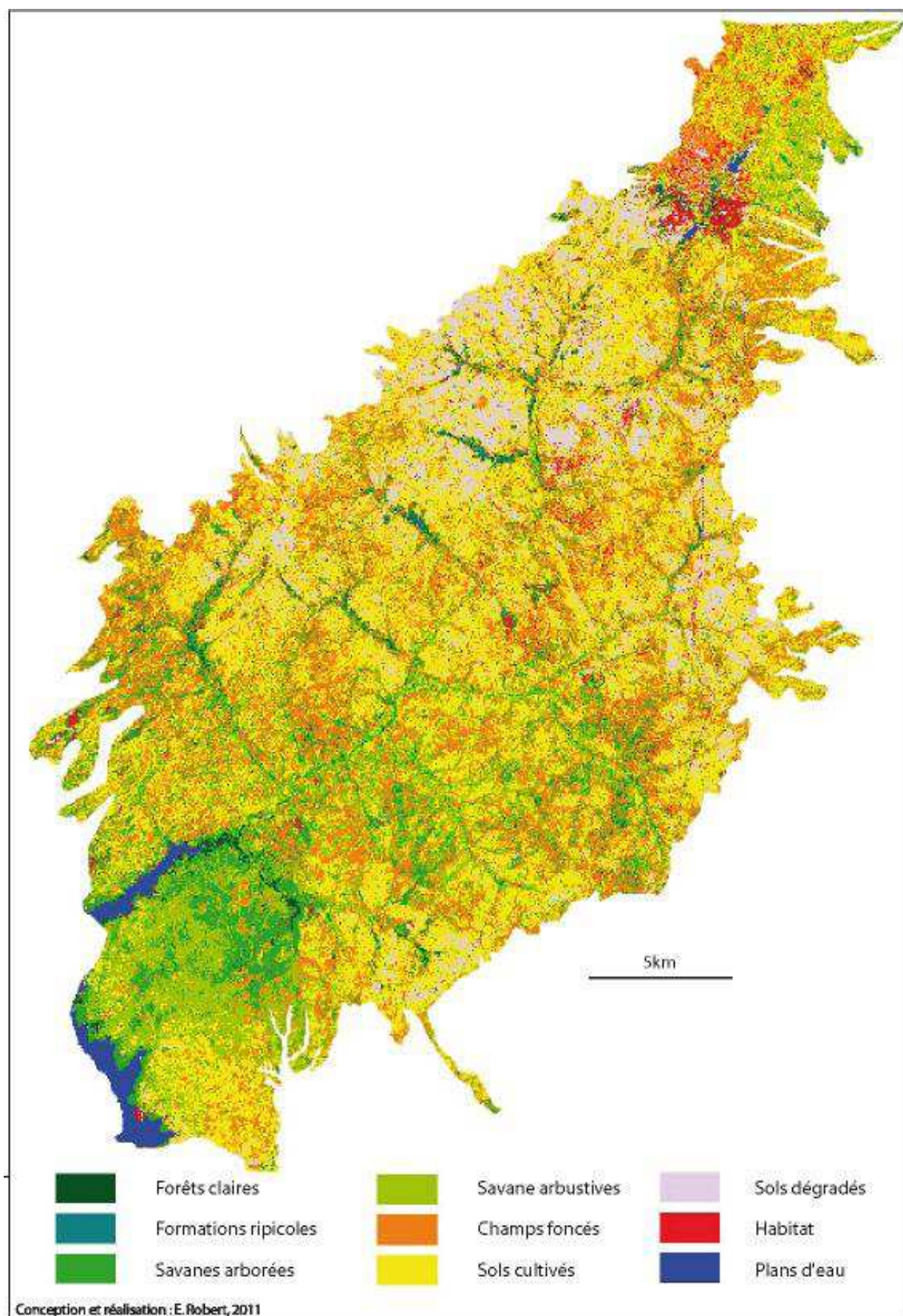


Fig. 36 : État de l'occupation des sols dans le bassin versant de la Doubégué en 2007

Sources : Spot, IGB

-Elodie ROBERT-

Les risques de pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué (Burkina Faso) : pour une gestion intégrée

Le dernier élément visible, et non des moindres, est **la forte progression des sols dégradés** le long de la RN 16 au nord de Séla (niveau de Boura). Ces secteurs sont des récepteurs des écoulements de versants qui, dans un second temps, sont canalisés le long de cet axe. Ces sites sont alors particulièrement affectés par l'érosion hydrique (cf. 5.2.3.3). Ils se sont également étendus au niveau de Zano, et principalement au cœur du triangle formé par Bassaré, Dazé et Sébrétenga et entre Sasséma et Dazé. Ils demeurent identiques au niveau de Gouni Peul, et dans les secteurs de Kabri et Zaka. En définitive, c'est le secteur médian qui porte le plus de zones dégradées, cinq au total : secteur de Boura (mise en culture au détriment de la savane arbustive), Gouni Peul (apparition de sols dégradés remplaçant ceux cultivés), nord de Zéké - Sébrétenga - ouest de Zano (vaste zone de sols dégradés), Kabri, et ouest de Sasséma. Il s'agit donc d'un **espace qu'il convient de protéger en priorité**. Les sols dégradés recensés le long de la piste allant à Bagré sont tout à fait caractéristiques. Toutefois, il faut être optimiste car les populations ont conscience de cette réalité et désirent agir. Ainsi, les habitants du village de Zano aspirent au changement : depuis 2002, 20 cordons ont été réalisés collectivement ou individuellement.

Enfin, dans le secteur amont, la ville de Tenkodogo s'est étendue. Sa population a atteint 44 491 habitants en 2006. La mise en culture s'est légèrement accrue au sud-est et des sols dégradés y sont apparus ainsi qu'au sud-ouest. Quant au secteur de Loanga, il a connu une extension de ses parcelles cultivées au détriment des champs foncés et des savanes arbustives.

Au nord de Tenkodogo, un recul de la mise en culture s'est opéré. En effet, selon les populations, les sols étaient devenus tellement pauvres que plus rien ne poussait. Les agriculteurs n'ont eu d'autres choix que de laisser les sols se régénérer par eux même. De plus, suite à l'expansion de Tenkodogo plusieurs agriculteurs, craignant que les terrains sur lesquels ils travaillent (en location) ne leur soient repris, se sont éloignés de la ville. En effet, cette localité croît en direction du nord-ouest. La nature semble donc reprendre momentanément ses droits dans ce secteur amont de Tenkodogo, et cet espace est relativement bien protégé en regard de l'ensemble du bassin versant de la Doubégué.

Par ailleurs, dans la région de Ouléoguen, les sols dégradés se sont étendus. Suite à la prise de conscience de la population depuis les années 2000, on peut espérer que la situation s'améliore. Des actions pour créer des cordons pierreux y ont également été lancées depuis 2006.

Au regard de ces observations, il ressort que la mise en culture s'est poursuivie. **Cette évolution progresse depuis l'amont du bassin versant de la Doubégué vers son aval, mais également depuis les interfluves, où sont localisés les villages, en direction des bas-fonds.** En effet, les **parcelles cultivées de façon permanentes sont passées de 26,5 % à 40,4 %**. Dans le même temps les champs foncés ont régressé pour représenter 21,8 %. Quant aux **sols dégradés, ils s'élèvent à 7,3 %**. Le rapport entre les formations « naturelles » et l'occupation humaine s'est donc renforcée entre 1995 et 2007. Ces dernières représentent 62,2 % auxquelles il convient d'y additionner les sols dégradés et l'habitat (2,4 %), soit un total de 71,9 % (**Tab. 17**). Concernant l'extension de la **mise en culture permanente**, il semble que **la zone médiane** soit particulièrement **affectée**. De plus, elle porte **la majorité des sols**

dégradés. Aux vues de la **différence de sensibilisation et de réceptibilité des populations entre les deux rives**, il est à craindre que ces derniers **s'étendent davantage en rive gauche**. En effet, l'ensemble des villages de la rive droite a mis en œuvre ou désire instaurer des pratiques de conservation des sols, alors que ce n'est pas le cas à Douka, à Pata, à Belcé, à Zabo, à Ouanagou, à Koama, à Boura, à Kalakoudi, ou encore à Niambo.

4.2.2.2 La fin d'une protection végétale du secteur aval

Entre 1995 et 2007, le secteur aval est a connu le plus de mutations particulièrement en rive gauche où il existe trois zones importantes de mise en culture permanente : l'extrême sud, entre l'affluent de Pata et la Pona, et le secteur de Séla (**Fig. 37**).

La Doubégué dans ce secteur aval et son dernier affluent de rive gauche ont subi une dégradation de leurs formations « naturelles ». La savane arborée s'est transformée en savane arbustive. **La zone extrême sud** a également connu **à un développement agricole important** principalement au détriment de formations « naturelles » de type arborée. De même, la zone pastorale n'a pas été épargnée par cette évolution. Son couvert végétal s'est dégradé et des champs mis en culture sont visibles.

L'affluent de Pata et la Pona sont particulièrement représentatifs de l'accroissement des superficies cultivées, mais pour des raisons différentes. La rive droite du premier présente une progression importante des parcelles cultivées, suite en partie à l'installation des agriculteurs « déguerpis » lors de la mise en place de la zone pastorale. Alors que la seconde a subi une progression de la mise en culture au détriment des formations « naturelles » (secteur aval) et de ses champs foncés (secteur amont gauche), tout comme la région comprise entre Ouanagou et Douka et la rive gauche aval de la Kila. Des sols dégradés sont étendus à Niambo et en rive gauche amont de Pata.

Séla connaît une régression des formations végétales, principalement au nord. Il s'agit d'un espace fortement habité. En 2009, elle avoisinait les 5 000 habitants (3^{ème} ville du bassin versant) et les besoins en terre sont donc importants. Ces deux derniers secteurs (Séla, Pata - Niambo - Douka) soulignent la progression de la mise en culture depuis les interfluves en direction des vallées.

En rive droite, le dernier affluent de la Doubégué présente une mise en culture importante au détriment des champs foncés et des formations végétales. Des sols dégradés ont été récupérés à Soné, Minda et dans la région de Ounzéogo. Seules, les berges de la Doubégué demeurent encore protégées comme l'atteste l'environnement du centre biblique (**Photo 3**).

Enfin, le secteur de Zabo a connu une mutation importante. Ses champs non permanents ont été transformés en culture permanente (principalement en rive droite). Il s'agit d'un des principaux villages du bassin versant de la Doubégué (5^{ème}) avec 4200 habitants.

En conclusion, il existe **3 zones où d'importantes mises en culture se sont opérées au détriment des formations « naturelle » :**

- l'extrême sud (secteur sud et ouest du site de Bagré),
- la rive droite aval de la Doubégué,
- le secteur entre Ouanagou et Douka.

Par ailleurs, au niveau du dernier affluent de la Doubégué (rive gauche), il existe un important secteur de dégradation végétale. De plus, certaines régions se sont tellement dégradées que de nombreux villages ont dû abandonner la riziculture (Kibolina, Zaka, Pésséré, Ouanagou). A Vagvagué, les cultivateurs commencent à avoir des problèmes. L'eau ne stagne plus comme avant. Les bas-fonds et les champs rizicoles se dégradent sous l'effet de courants brusques.

Les sites portant des **sols dégradés se localisent principalement dans le secteur médian** à Boura, à Gouni Peul, à Kabri, dans le secteur de Zéké - Sébrétenga - Zaka, à Belcé, mais également à Ouéloguen, au sud-ouest de Tenkodogo, et à Ounzéogo. A l'inverse, ils ont régressé au niveau de trois secteurs : à Soné et à Minda, à Pésséré, et au nord-ouest de Tenkodogo.

En définitive, le double processus observé entre 1986 et 1995 s'est accentué. **La mise en culture s'est accrue de l'amont en direction de l'aval du bassin versant de la Doubégué, et depuis les interfluves vers la vallée de la Doubégué. L'opposition de rive se maintient surtout dans le secteur aval. La rive droite est davantage mise en valeur que celle de gauche.**

Description	Taux de Variation 1986 - 1995		Taux de variation 1995 - 2007		Taux de variation 1986 - 2007	
	Sur 9 ans	Annuel	Sur 12 ans	Annuel	Sur 21 ans	Annuel
Plans d'eau	+ 1 580	+ 175,6	+ 28,6	+ 2,4	+ 2 060	+ 98,1
Forêt claire	- 78,2	- 8,7	- 26,6	- 2,2	- 84,0	- 4,0
Formations ripicoles	- 72,4	- 8,0	- 20	- 1,7	- 77,9	- 3,7
Savane arborée	- 58,9	- 6,5	- 19,1	- 1,6	- 66,7	- 3,2
Savane arbustive	- 5,2	- 0,6	- 42,6	- 3,6	- 45,6	- 2,2
Habitat	+ 54,8	+ 6,1	+ 35,4	+ 2,9	+ 109,6	+ 5,2
Champs foncés	+ 66,9	+ 7,4	- 12,1	- 1,0	+ 46,7	+ 2,2
Sol cultivés	+ 128,0	+ 14,2	+ 52,3	+ 4,4	+ 247,4	+ 1,8
Sols dégradés	+ 39,6	+ 4,4	+ 42,7	+ 3,6	+ 99,2	+ 4,7

Tab. 18 : Taux de variation dans le bassin versant de la Doubégué

Source : Spot

L'analyse diachronique de l'occupation de l'espace entre 1986 et 2007 dans le bassin versant de la Doubégué présente une nette évolution (**Fig. 38**). L'espace agricole s'est énormément accru au détriment des formations dites « naturelles ». Cette évolution est due à l'accroissement important de la population (accroissement naturel et migrations), aux besoins en terre « fertiles », au défrichement, à la surexploitation des ressources, à la diminution de la durée de la jachère (voire leur disparition), ou encore à la déforestation.

Le couvert ligneux a régressé au profit principalement de parcelles cultivées. La superficie des forêts claires a été réduite de 7,08 % à 1,13 %, et celle des formations ripicoles de 1,99 % à 0,44 % (**Tab. 17**). Ces dernières n'occupent plus que des espaces marginaux le long de la Lango, de la Yayo, et dans le secteur amont du Day Sousouro. De plus, la savane arborée, visible sur près du tiers du territoire en 1986, n'occupe plus qu'un dixième de ce dernier en 2007. La savane arbustive a connu une diminution plus modérée. Dans un premier temps, sa superficie globale a stagné suite à la dégradation et au remplacement de la savane arborée. Dans un second temps, elle a été mise en culture.

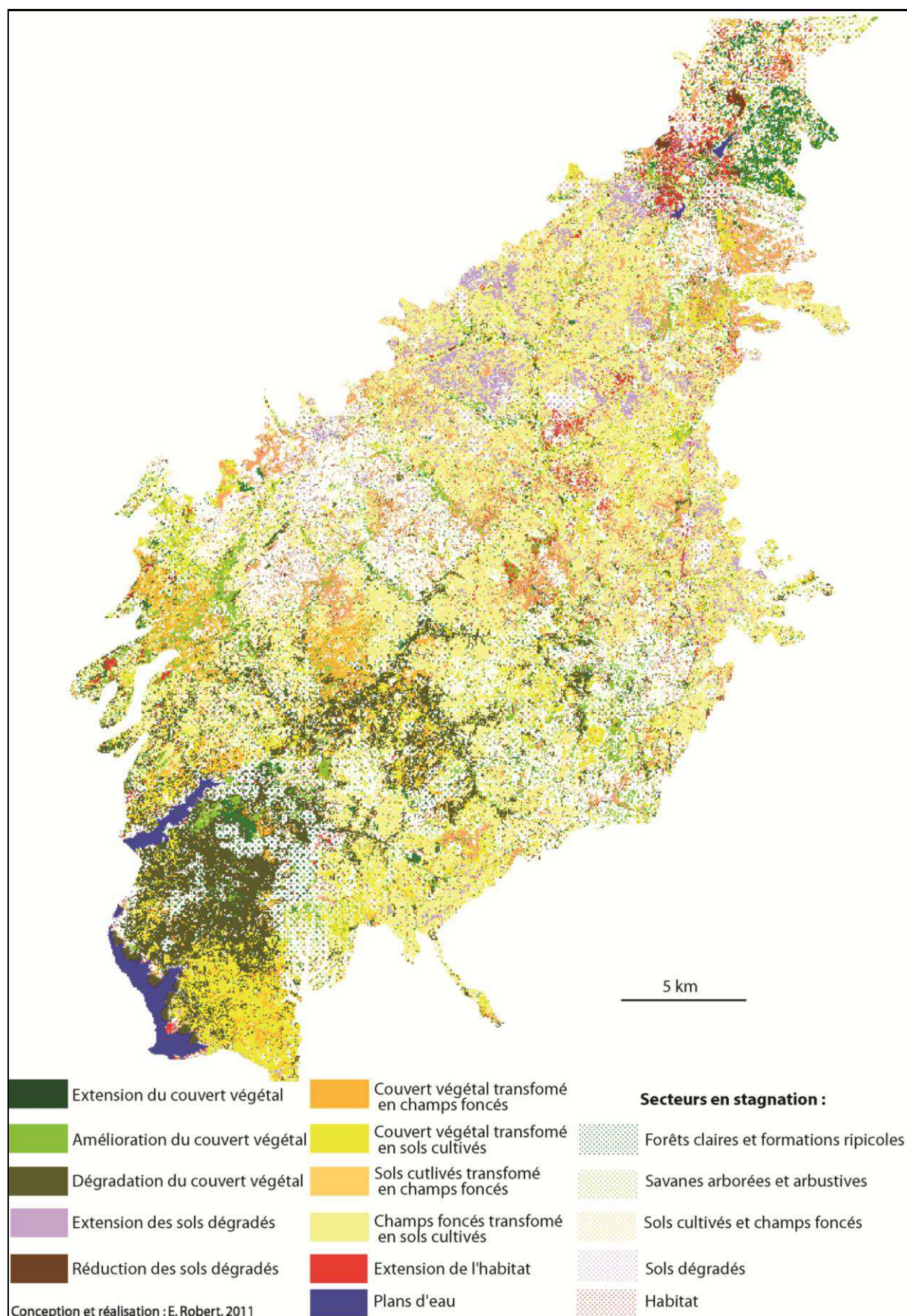


Fig. 37 : Evolution diachronique de l'occupation des sols dans le bassin versant de la Doubégué entre 1995 et 2007

Sources : Spot, IGB

-Elodie ROBERT-

Les risques de pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué (Burkina Faso) : pour une gestion intégrée

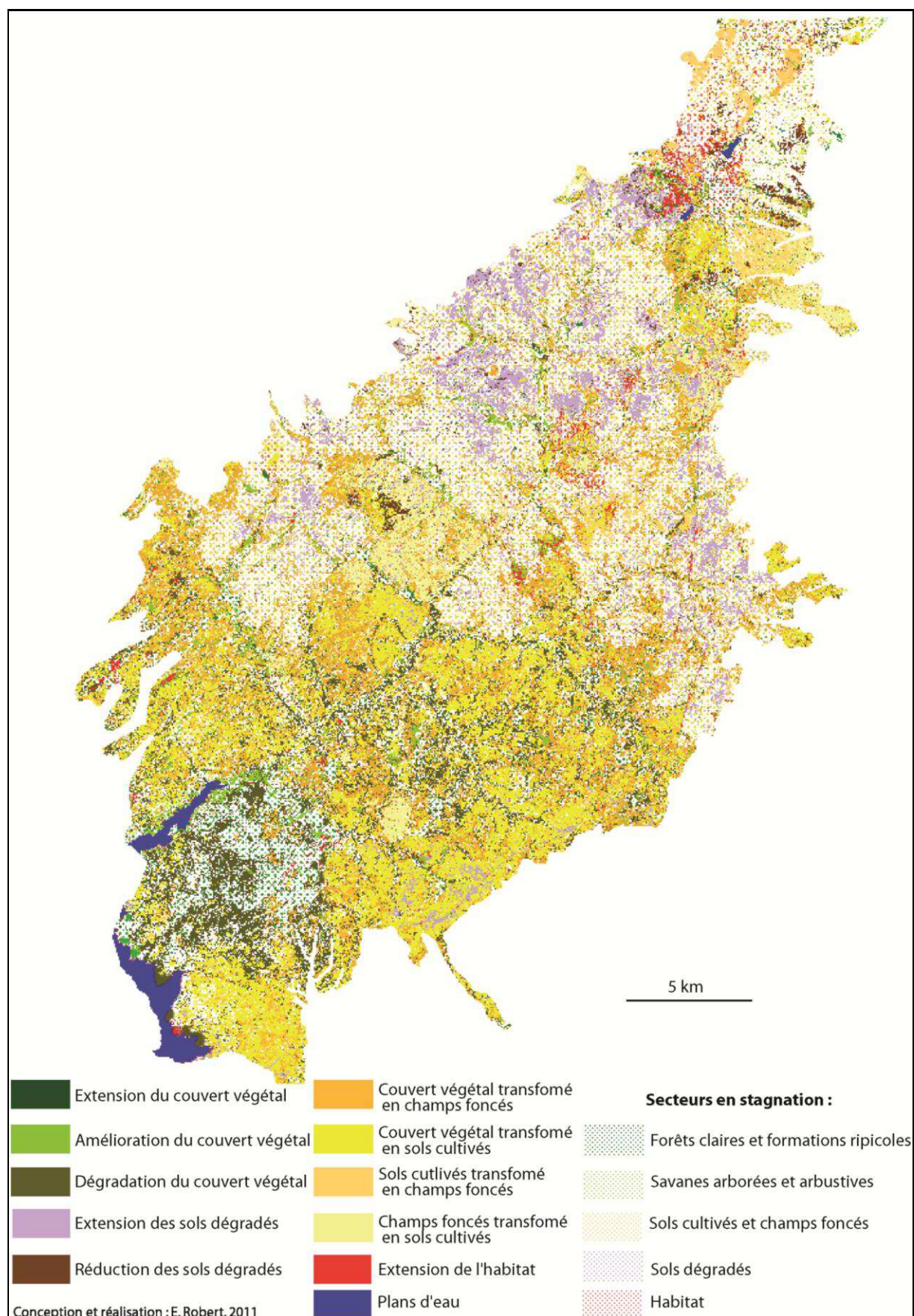


Fig. 38 : Evolution diachronique de l'occupation des sols dans le bassin versant de la Doubégué entre 1986 et 2007

Sources : Spot, IGB

-Elodie ROBERT-

Les risques de pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué (Burkina Faso) : pour une gestion intégrée

Les champs dits foncés, après avoir augmenté, ont également régressé à partir de la fin des années 1990. Or, une partie d'entre eux correspond à des jachères. Une surexploitation des terres s'est alors peu à peu répandue. Au cours de ces deux décennies, la mise en culture a principalement affecté la rive gauche tels que les secteurs du sud-est de Tenkodogo, de Ouanagou, de Séla, de la piste de Bagré (Niambo, Kalakoudi), de Douka, de Pata, de l'extrême sud-est, mais aussi quelques secteurs en rive droite : Minda, Soné, et Zabo.

Les sols dégradés ont été multipliés par deux entre 1986 et 2007. Ces secteurs se localisent essentiellement dans le secteur médian : Boura, Gouni Peul, Kabri, Sasséma, nord de Zéké - Sébrétenga, Zano, Sasséma, mais aussi à Ounzéogo, à Ouéloguen, au sud-ouest de Tenkodogo et à Niambo.

Ainsi, en regard de l'évolution observée entre 1986 et 2007, les résultats des actions de protection de l'environnement ont été plus que mitigés (cf. Partie 4). En effet, en 2007, la situation s'est aggravée. Elle s'est accélérée depuis 15 ans³⁹ (cf. 4.4). L'étude diachronique valide totalement les dires des populations interrogées et inversement. Les formations ripicoles ont fortement régressé. Quant à la savane arborée, elle se cantonne essentiellement au secteur aval. Au cours des deux décennies, ces types de couvert végétaux ont été respectivement divisés par 4,5 et par 3.

Les observations faites au cours de cette étude diachronique révèlent donc que **le rythme de dégradation de l'environnement dans le bassin versant de la Doubégué est tel que les méthodes actuelles de lutte ne permettent pas de le contenir**. Les hommes et les animaux exercent une pression si grande sur le sol, la végétation et l'eau, que ces ressources n'ont pas le temps de se reconstituer. Ainsi, la disproportion existante actuellement entre les ressources dites « naturelles » et les besoins des populations offre peu d'alternatives pour la régénération efficace du couvert végétal ainsi que pour celles des propriétés physiques, chimiques et biologiques des sols déjà originellement pauvres.

4.2.3 Des facteurs naturels aggravant la dégradation des sols du bassin de la Doubégué

La mise en évidence de l'extension des sols dégradés par l'étude diachronique de l'occupation des sols dans le bassin versant de la Doubégué conduit à s'interroger sur la relation possible entre la dégradation de ces espaces, le type de sols, la géologie, et la position géomorphologique.

La majorité des sols dégradés correspond à des sols ferrugineux lessivés indurés localisés au niveau des interfluves et du glacis supérieur. Secondairement, on rencontre des sols dégradés sur des sols ferrugineux tropicaux à concrétions et à taches (secteur de Niambo), ou encore sur des lithosols sur roche brute associés à des sols peu évolués d'érosion (secteur Ounzéogo). D'un point de vue géologique, le secteur repose essentiellement sur des roches métamorphiques à migmatites leptyniques ou à biotites. Les sols dégradés se répartissent donc entre ces deux formes géologiques. Toutefois, les secteurs de Gouni Peul, de Belcé et de Zano se localisent sur des roches plutoniques (granites porphyroïdes à biotite).

³⁹ Année de référence 2009.

Dans la même optique, il est intéressant de relier le type de sols à l'aptitude des terres à l'agriculture (selon les différents types de culture) et à l'élevage. La **partie médiane** comprend principalement des sols ferrugineux lessivés indurés (interfluves, glacis supérieur) qui sont des sols marginalement aptes aux cultures pluviales. Or, cet espace est le plus mis en valeur. Cette réalité laisse craindre que, sans mesures de protection, il sera **le plus affecté par la dégradation des sols, les pertes en terre**, et par conséquent par **la dégradation de la qualité de l'eau**. Les secteurs les plus menacés se localisent pour la rive gauche au niveau de Sébrétenga, de Zano, de Gouni Peul, de Koama, et de Boura ; et pour celle de droite à Ouéloguen, à Sasséma, et à Kabri. Dans la zone aval, si aucune mesure n'est prise, trois espaces seront particulièrement menacés dans les années futures : la rive gauche de l'affluent de Douka, Zabo et Ounzéogo présentent trois secteurs composées de lithosols, donc inaptes à toute mise en culture. Un secteur amont du bassin versant de la Doubégué porte également des lithosols. Bien qu'il soit encore préservé, il faudra le surveiller. Ainsi, la partie aval, moins attaquée, porte des sols moyennement aptes. Il s'agit de sols ferrugineux lessivés à concrétion et à taches, et pour les zones les mieux protégées de sols bruns eutrophes tropicaux

Dans tous les cas, les sols dégradés se localisent au niveau de zones fortement anthropisées, ce qui pourrait être la preuve que l'homme est au centre de cet état de dégradation du sol. Cependant, il existe au moins une exception positive, puisqu'il semble que les berges du lac soient exemptes de mise en culture. L'interdiction des cultures maraîchères, depuis le 1^{er} avril 2006, combinée au projet de protection lancé en 2005 par le PROGEREF (Projet de Gestion durable des Ressources Forestières) paraît être efficace. Cet organisme travaille essentiellement sur la zone comprise entre Boussouma et Loanga, et la MOB, qui lui est associée dans cette recolonisation des berges, gère l'espace situé entre la Doubégué et Bagré. L'action du PROGEREF sera davantage développée au cours de la Partie 4.

Par ailleurs, une partie de la population a pris conscience de ces phénomènes que sont la dégradation des sols et du couvert végétal. Ainsi, le secteur de Zaka a été mis en culture au fil des années tout en évitant l'extension des sols dégradés. Ce constat confirme les résultats des enquêtes montrant que les populations sont fortement impliquées (cf. 8.6).

L'étude diachronique de l'occupation des sols dans le bassin versant de la Doubégué a clairement révélé la régression du couvert végétal au profit des espaces mis en culture respectivement passé de 68,7 à 27,1 % et de 26,5 à 61,9 %. Ce paramètre essentiel dans la préservation des sols et du risque érosif est donc ici particulièrement affecté. Cette dégradation est à l'origine de l'accroissement du processus érosif par une ablation généralisée du glacis. Par ailleurs, depuis 5 - 10 ans, des ravines et des ravins se créent et/ou s'accroissent. L'érosion linéaire semble prendre le pas sur celle généralisée. La mise en culture, entraînant la régression du couvert, en est la principale cause. Les sols dégradés ont également connu une forte progression de 3,6 à 7,3 %. **Cette étude révèle et valide donc l'hypothèse qui était que dans ce bassin versant aux pentes faibles, le recul du couvert végétal devait être le principal facteur de l'accroissement du risque érosif.** Ce phénomène a d'autant plus d'impact en présence de sols pauvres.

Enfin aux vues de la situation dégradée exposée, il est essentiel de savoir si ce bassin versant fait exception ou non dans la région du lac de barrage de Bagré.

4.2.4 L'occupation des sols dans le bassin versant du lac de barrage de Bagré

La dégradation des terres dans la région de Bagré a été observée dès les années 1980 (DOSSO *et al.*, 1983). Cette étude mettait déjà en avant l'incidence de l'énergie des pluies par la destruction des agrégats superficiels et par la production d'un phénomène de glaçage. Cette double action est à l'origine d'une **augmentation du ruissellement de surface au détriment de l'infiltration, et par conséquent des pertes en surface d'éléments fins.**

On peut également s'appuyer sur l'analyse effectuée par la SOGREAH⁴⁰ sur la zone de Bagré à partir d'images SPOT de 1989. Trois types de paysages ont été répertoriés :

- les terrains villageois anciens **totalelement cultivés** où ne subsistaient que quelques lambeaux de végétation,
- les zones de **culture en brousse** dans lesquelles cohabitaient les éleveurs et les agriculteurs, et où la jachère était toujours pratiquée,
- les espaces encore couverts **de savanes** marqués néanmoins par la **présence humaine**, comme des champs de brousse.

A la fin des années 1980, la végétation était alors qualifiée de dense et riche en faune.

Dans la région de Bagré, une troisième étude nous permet de disposer de chiffres pour les années 1992 et 2002 (GOUEM, 2007). Ce travail comprend 11 classes (**Tab. 19**) et a été mené à l'échelle du micro-bassin versant du lac de Bagré. GOUEM (2007) souligne alors à quel point le milieu naturel (terre, eau, végétaux) est soumis à « *une dégradation intense évolutive due aux actions anthropiques et aux variations climatiques, à tel point que le lac est menacé d'ensablement* ». **L'empreinte humaine est supérieure à celle observée dans le bassin versant de la Doubégué.** Le rapport est de **70 % contre 30 % en rive gauche et de 80 % contre 20 % en rive droite.**

Description	Année 1992		Année 2002	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
Cultures pluviales	7 742	50,68	7 891	51,66
Savanes arbustives	5 534	36,23	4 807	31,47
Territoires principalement occupés par l'agriculture avec présence de végétation	1 591	10,41	2 016	13,20
Rizières	0	0	153	1,00
Sols nus (érodés, dénudés, cuirasses...)	126	0,82	126	0,82
Habitat rural	89	0,58	89	0,58
Territoire agroforestiers	76	0,49	76	0,50
Systèmes culturels et parcellaires complexes	50	0,32	50	0,33
Voies et cours d'eau permanents	41	0,27	41	0,27
Forêt galerie	16	0,10	16	0,11
Extraction de matériaux	10	0,06	10	0,06
Total	15 271	100	15 276	100

Tab. 19 : L'évolution de l'occupation des sols dans la zone de Bagré entre 1992 et 2002

Sources : Monographie du département de Bagré 2002, et GOUEM 2007

⁴⁰ La SOGREAH (Société Grenobloise d'Etude et d'Application Hydraulique) est un bureau d'ingénieurs conseil, d'étude et d'exécution du projet du barrage de Bagré.

Par ailleurs, la carte de 2002 des modes d'occupation des sols dans le bassin versant de Bagré (**Fig. 39**) présente également ces différences de rapports entre les formations « naturelles » et les surfaces anthropisées (ROBERT, 2006). La rive gauche porte de nombreux espaces de cultures pluviales ainsi que des systèmes cultureux et parcellaires complexes, et l'empreinte humaine est particulièrement prononcée dans le secteur amont.

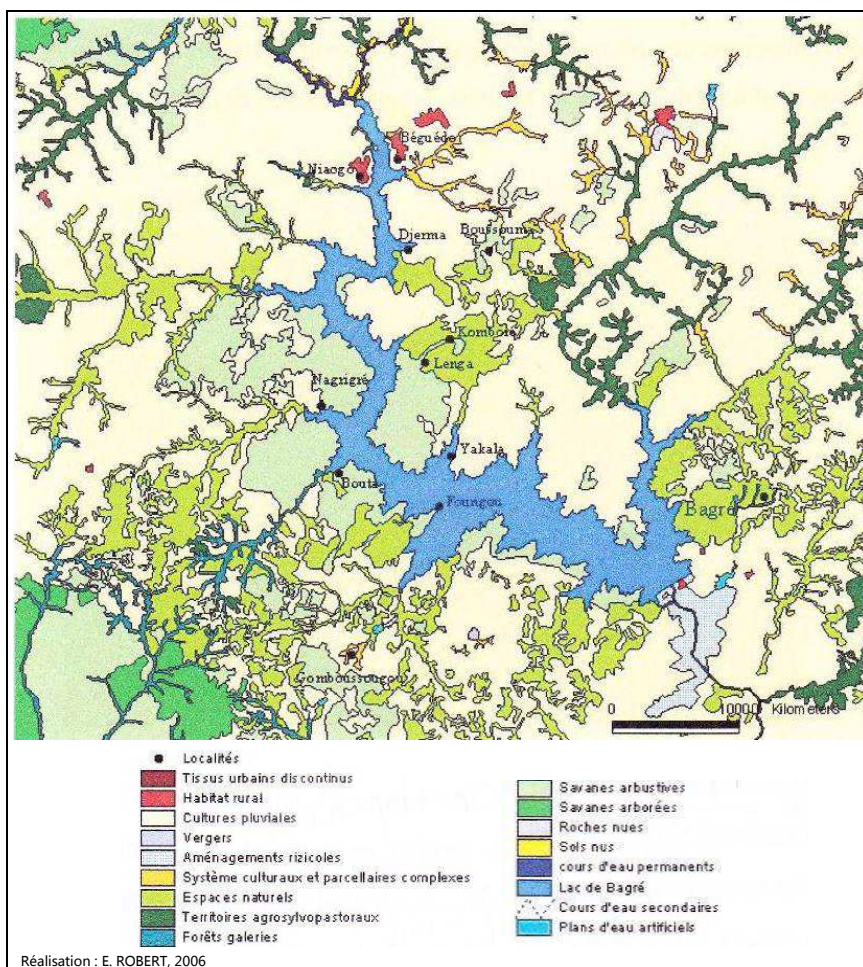


Fig. 39 : État de l'occupation des sols dans la zone du lac de Bagré en 2002
Sources : BDOT et BDNT, 2002

La région de Niaogho et de Béguedo⁴¹ est depuis longtemps mise en culture (proximité avec le fleuve Nakambé). La mise en eau du lac a entraîné une réadaptation par la modification du calendrier en saison sèche, l'amélioration de l'irrigation traditionnelle (étendant l'activité agricole en saison sèche), et la mise en place d'une irrigation semi-moderne. La pression foncière devenant trop importante, des migrations se sont opérées en direction de Fougou, de Djerma, de Niarba, de Kiéka, et de Komtoèga ; les espaces cultivés se sont alors étendus. Les autres secteurs présentant une mise en culture importante sont les interfluvies, surtout ceux du secteur nord. La région proche du barrage porte également de vastes superficies de cultures pluviales. En effet, Bagré est un pôle dans la région.

⁴¹ L'évolution de ces deux villages est particulièrement bien décrite, ainsi que les phénomènes de territorialité observés autour du lac de Bagré dans la thèse de LASSANE (2005). La mise en valeur hydro-agricole de ces berges est alors ancienne (calebasse, riz) et liée à une spécificité : la présence de terres fertiles (« terrasses jaunes »).

Par ailleurs, le bassin versant du Tcherbo, secteur voisin de la Doubégué, est davantage cultivé. A l'inverse, trois secteurs demeurent partiellement protégés au niveau de Lenga, de Boussouma, et de Bagré. La rive droite est toutefois plus protégée, principalement au niveau des berges du lac.

Ces trois études et la carte d'occupation des sols de 2002 mettent en avant que la **dégradation du milieu est causée par l'érosion hydrique**. Elle est à l'origine de la **formation de rigoles, de ravines, et de ravins** comme on le développera au cours du Chapitre 5. **Cette dégradation se manifeste par la réduction du couvert végétal suite aux activités humaines. L'effet de l'érosion entraîne l'ensablement du lac suite au transport des particules charriées depuis les versants et les différents affluents dont la Doubégué** (cf. Chapitre 6 et 7).

Le dénominateur commun à l'ensemble de ces travaux et à notre étude diachronique de l'occupation des sols est la mise en évidence de **l'évolution régressive du couvert végétal au profit principalement d'une mise en culture**. Cette dernière laisse présager des conséquences peu heureuses. Déjà observables, elles devraient s'étendre, s'accélérer et s'amplifier. Avant d'aborder ces impacts portants tant sur les ressources en eau, qu'en terre, qu'humaine, il convient de s'interroger sur l'ensemble des facteurs de cette dégradation. Il est alors important de prendre en compte **les effets cumulés de la péjoration climatique, de la pression démographique et du développement des activités agro-pastorales** dans le bassin versant de la Doubégué.

Dans le bassin versant de la Doubégué, comme dans l'ensemble de celui de Bagré, la principale cause de l'érosion est la **diminution du couvert végétal suite à l'extension des activités humaines**. Ainsi, la dégradation des sols ne peut être dissociée de la régression de la couverture végétale.

4.3 La régression du couvert végétal et la dégradation des sols, des facteurs et des conséquences variés

Le terme de dégradation renvoie à l'idée d'une intervention de l'Homme⁴². Nous reviendrons succinctement sur les facteurs d'ordre naturel ayant des conséquences négatives sur l'environnement, dont certains aspects ont été évoqués au cours des points précédents. Il s'agit des facteurs sur lesquels l'Homme n'a pas ou peu d'influence. Le premier est la péjoration climatique, abordée et présentée au cours du Chapitre 1, qui a eu, et a encore, un impact sur les **ressources hydriques**. Certaines cultures ne peuvent plus être pratiquées, ou tout du moins plus difficilement, comme la riziculture qui a été abandonnée dans plusieurs secteurs de notre étude (Ouanagou, Kibolina, Zaka). Ces facteurs d'ordre naturel agissent également sur les **ressources végétales**. La rareté de la pluie ne satisfaisant pas leur exigence en eau, leur maintien et/ou leur repousse sont menacés. Ce phénomène est accentué par la baisse de la nappe souterraine. Par ailleurs, les **ressources pédologiques** doivent aussi être prises en compte. Ainsi, la rareté de la végétation ne permet plus d'accumuler la matière

⁴² Nous l'emploierons donc uniquement lorsque l'on présentera les causes d'origine humaines.

organique nécessaire à la formation d'humus. Le sol devient squelettique, fragile. L'érosion éolienne a alors un impact plus important et le risque d'ensablement augmente.

Les autres facteurs naturels ont été présentés au cours du Chapitre 3 : l'agressivité des pluies, les différentes formes de ruissellement, l'action du vent, et les variations thermiques.

Néanmoins, les résultats de notre étude diachronique remettent en cause l'importance de ces facteurs naturels. En effet, il semble que l'action humaine ait rompu l'équilibre entre les différents domaines. Sans l'intervention de l'homme, le couvert végétal est dit « normal » protégeant (par ses feuilles, ses branches, etc.) les sols de l'impact de la pluie et de l'effet desséchant du vent. Il favorise alors la présence de macro et de micro-organismes, et les racines assurent la cohésion du sol, ainsi que la production de matière organique. Les causes prédominantes semblent donc être humaines.

4.3.1 Les facteurs anthropiques de la dégradation

Dans le bassin versant de la Doubégué, la régression du couvert végétal est la principale cause de la dégradation des sols. Cette dernière est un mécanisme complexe dans lequel interviennent plusieurs phénomènes telles que l'érosion du sol par l'eau ou le vent, la perte de fertilité résultant de modifications chimiques, physiques et biologiques, ou encore la perte de qualité des eaux. Il existe deux processus intervenant dans la dégradation : un déplacement du matériau (sol) et/ou une transformation interne du sol. Le premier peut s'effectuer par l'eau suite au ruissellement superficiel en particulier sur des sols à la texture sableuse en surface. Des déplacements irréguliers de matériaux caractérisés par les rigoles, les ravines, et les ravins peuvent également se produire. Ce mode d'action hydrique prédomine dans la région de la Doubégué. Les conséquences indirectes sont alors une sédimentation en aval, des inondations suite au comblement des lits de rivières, et l'envahissement du lac par d'énormes quantités de sables charriés à partir des versants et des affluents. Le second processus, la transformation interne, se scinde en trois. Il s'agit de la détérioration chimique, de **la détérioration physique prédominante dans le bassin versant de la Doubégué**, et la détérioration biologique. La première est une pollution principalement due à l'emploi des pesticides agricoles, elle est croissante dans le bassin versant de la Doubégué. Des engrais de type NPK et des produits phytosanitaires sont utilisés principalement sur les cultures de maïs, de coton, de riz et sur les produits maraîchers (le limethion, le sypercal et le DTT auxquels il faut ajouter la dieldrine en provenance du Ghana) (cf. Chapitre 7). La détérioration physique se traduit par la présence de battance et de croûte à la surface du sol, par la compaction du sol, par l'aridification due à un changement du régime d'humidité du sol succédant à l'abaissement du niveau de la nappe phréatique locale suite au défrichement au niveau des bas-fonds. La détérioration biologique est issue d'un déséquilibre de l'activité (micro) biologique de la partie supérieure du sol suite à la déforestation, aux feux de brousse, au surpâturage, et à l'excès d'apport d'engrais chimique.

Suite à l'étude diachronique de l'occupation des sols dans le bassin versant de la Doubégué, nous avons pu mettre en évidence l'évolution régressive de l'environnement « naturel » amorcée par un changement des conditions climatiques mais dont les principales causes sont l'augmentation de l'occupation humaine (pression foncière, accroissement naturel, migrations), les rejets des souches arrachées chaque année, l'élevage extensif détériorant les sols et la végétation pendant la saison sèche, la coupe du bois pour le *dolo*, le

soumbala, le beurre de karité, etc. **Ainsi, la dégradation de l'environnement (régression du couvert végétal et dégradation des sols) dans le bassin versant de la Doubégué est essentiellement liée à des facteurs anthropiques**, notamment les activités agricoles et plus précisément les techniques et les pratiques culturelles⁴³.

4.3.1.1 La mise en cause des pratiques culturelles

La dégradation des sols semble favorisée par la mise en culture des terres laissant les sols nus une grande partie de l'année. Ce fait démontre l'importance du couvert végétal dans le processus de régénération des sols et de leur protection. En son absence, l'intensité de l'érosion s'accroît, et les sols sont « attaqués » plus vite qu'ils n'ont le temps de se reconstituer.

Jusqu'au début du siècle dernier, le système intensif sous parc à *Acacia albida* employé dans le Pays Bissa prévenait les pertes en terre. Or, suite à la colonisation française, ce dernier a disparu, au profit d'un système vivrier extensif. Les sols sont alors devenus doublement vulnérables par la « consommation » de l'écran végétal et la modification floristique. Les parcs à *Acacia albida* ont été détruits autour des villages, tandis qu'en brousse étaient conservés les nérés et les karités.

Par ailleurs, à partir des années 1980, une évolution de l'occupation de l'espace s'est opérée de part et d'autre de la Volta blanche. **La disponibilité en terres cultivables s'est peu à peu réduite suite à l'arrivée massive de populations, à l'accroissement naturel, et à la modification des conditions climatiques.** Ainsi, dès 1984, les brousses de Bagré ont été recolonisées par les éleveurs, puis les Bissa se sont réinstallés dans les villages abandonnés comme Sasséré. En parallèle de ces défrichements, des résidus ont été exportés hors des champs pour des usages domestiques et/ou l'alimentation du bétail. Cette action a alors entraîné une baisse de la protection et une difficulté accrue pour la régénération des sols. De plus, les nouvelles populations installées, dans de nouveaux milieux qui leur étaient étrangers, ont appliqué leurs propres pratiques agricoles qui étaient parfois plus destructrices que celles des autochtones.

Le développement des activités agricoles s'est alors opéré dans un contexte où la protection des sols n'était pas assurée. **La surface des sols érodables s'est peu à peu étendue.** Or, comme le soulignent SCHULTZ et POMEL en 1994, « *c'est la fraction fine, la plus importante en terme de fertilité qui est exportée* ».

Cependant, il ne suffit pas de présenter l'évolution de la mise en culture, il faut également étudier le **système culturel** afin de savoir s'il a subi des modifications et si ces dernières ont pu avoir un effet négatif sur le milieu. En effet, le système traditionnel a été perturbé par la pression foncière. La pratique de la jachère a été réduite voire arrêtée, et des terres qui n'avaient jamais été mises en culture l'ont été. Or, certaines étaient particulièrement fragiles. Ainsi, un des indicateurs de pression sur les terres est **le taux de culture par rapport aux taux de jachère**. De plus, les pratiques anarchiques (labours profonds dans le sens de la pente, l'application incontrôlée des produits chimiques), archaïques (*daba*, brûlis)

⁴³ De nombreux auteurs ont travaillé sur cette question (TAONDA *et al.* 1995, OUATTARA, 2006, TRAORE et TOE, 2008).

et itinérantes ne favorisent pas la régénération des sols (originellement pauvres) et de la végétation. Cette situation est aggravée par une forte densité (58 hab/km²) obligeant à rechercher des parcelles cultivables toujours plus loin. L'ensemble de la population n'a alors pas été suffisamment sensibilisé sur la sauvegarde et la protection des ressources naturelles.

Par ailleurs, le risque d'érosion augmente lorsque le sol n'a qu'un faible couvert végétal ou peu de **résidus végétaux**. Or, ces derniers protègent le sol de l'impact des gouttes de pluie et de l'éclaboussement, réduisent la vitesse de l'eau du ruissellement, et permettent une meilleure infiltration. Ils sont donc le **moyen le plus efficace pour ralentir les pertes de sols**. Mais, **leur maintien dans le bassin versant de la Doubégué est en régression**. De plus, lorsque les résidus sont laissés sur place, ils sont bien souvent mangés par les caprins, les ovins et les bovins. Ainsi, les sols cultivés sont à nus de novembre à juillet (soit 9 mois sur 12 mois). En effet, les pratiques de contre-saison sont rares dans cette région, et l'accès à l'eau est difficile : les cours d'eau sont tous à secs à partir des mois de janvier et février.

Il faut également tenir compte de **la date adéquate du semis**. Dans cette région, où l'irrégularité interannuelle est importante, plusieurs ensemencements sont souvent réalisés, et donc plusieurs sarclages. Or, ces derniers déstructurent les croûtes superficielles, et un horizon compacté peut apparaître en profondeur. Cette technique favorise l'apparition **d'OPS gravillonnaires** ou argileuses épaisses, ainsi que la différenciation de certains éléments géochimiques, d'oxydes, etc. Ces états de surface sont alors favorables à la création de **croûtes de ruissellement** dans les griffes d'érosion. (SCHULTZ et POMEL, 1994).

De plus, l'érosion varie selon **le type de culture et la vitesse de croissance**. En effet, l'efficacité du couvert est conditionnée par la densité des plants cultivés. Ainsi, pour atteindre le seuil de 90 % de terrain cultivé, il faut six semaines pour l'arachide contre deux mois pour le maïs.

Les personnes interrogées⁴⁴ ont également mentionné le problème de l'emploi de **la culture attelée** modifiant la structure des sols. Les conséquences sont plus importantes sur les sols légers comme les sols ferrugineux sur matériaux sableux et gravillonnaires (majoritaires dans le bassin versant de la Doubégué). Une augmentation de la mobilité des éléments minéraux (Ca, Mg, K) et donc une réduction des bases échangeables et un appauvrissement des sols se mettent alors en place. Une diminution des capacités d'infiltration s'opère et les « mini fossés » créés peuvent servir de collecteur au ruissellement diffus et faciliter la mise en place d'un écoulement concentré (**photo a de la Planche photos 8**).

Par ailleurs, la culture attelée nécessite un **dessouchage** et donc une élimination totale du couvert végétal. Or, **cette pratique est de plus en plus employée dans le bassin versant de la Doubégué**. Cette action est alors à l'origine d'une **érosion plus importante** causant une dégradation des horizons superficiels. Quant à la pratique traditionnelle du billonnage alterné, elle favorise la dégradation des sols, surtout ceux sablo-argileux et sableux prédominants dans notre bassin, en accélérant la destruction de l'horizon de surface soumis à l'impact des pluies violentes des mois de juillet et d'août.

⁴⁴ La méthodologie de l'enquête est présentée au 4.4.

Les cultivateurs ont aussi conscience que, sans la pratique de **la fumure**, leurs sols seraient encore moins productifs. L'objectif est alors d'entretenir sa fosse fumière, voire d'en avoir plusieurs afin de maintenir la productivité des sols. Il s'agit là d'un paradoxe, car la majorité des résidus non laissés sur place est placée dans la fosse fumière. Cette action empêche la protection et la reconstitution du sol hors de la période culturale. Les ressources végétales sont tellement limitées que les cultivateurs doivent opérer un choix. **Il n'est pas possible de maintenir sur place les résidus et d'enrichir la fosse fumière avec d'autres apports** (excepté ceux ménagers).

Par ailleurs, les agriculteurs remarquent que des particules sont exportées en direction des bas-fonds par l'intermédiaire de l'eau (cf. 4.4). Des différences de teintes sont visibles sur les champs mis en culture, selon les éléments transportés et en fonction des secteurs de dépôts ou de départ de matériau (**photos b et c de la Planche photos 8**).

En définitive, les **facteurs d'ordre anthropiques** vont agir sur les différents types de ressources. Par le maraîchage et la fragmentation du réseau hydrologique, ils ont un impact sur les **ressources hydriques**. De plus, des parcelles sont mises en culture proche des cours d'eau, sans aucune protection. Le risque d'augmentation de la turbidité et des pollutions est alors croissant (**photos d et e de la Planche photos 8**) (cf. Partie 3). Le défrichage, la déforestation, ainsi que l'extension des zones de culture et de pâturages affectent les **ressources végétales**. Enfin, les **sols** sont « fatigués » suite à la réduction de la jachère, aux perturbations des ruissellements, et au recul des formations naturelles.

4.3.1.2 L'élevage

L'agriculture n'est pas le seul agent anthropique responsable de la réduction du couvert végétal et de la dégradation des sols. Le bassin versant de la Doubégué comprend également de nombreux éleveurs et une zone pastorale. En effet, comme présenté au cours du Chapitre 2, certains Peul vivent depuis longtemps dans la région (Zaka Peul, Gouni Peul, Pata Peul). Ces sites ont connu un accroissement de leur population avec l'arrivée de pasteurs fuyant les sécheresses des années 1970 et 1980. Mais, c'est plus largement, dans l'ensemble du bassin versant, que la population Peul (venue du Nord) a augmenté ainsi que le nombre de tête de bétail. Cette réalité doit être associée au fait que la population totale du bassin versant s'est accrue. Les Bissa et les Mossi possèdent également des ovins, des caprins, et parfois des bovins. Le nombre d'animaux présents dans la région a donc fortement augmenté au cours des 25 dernières années (**Tab. 20**). Il s'agit de la seconde activité économique pratiquée par la majorité de la population. L'élevage du gros bétail est réservé aux éleveurs Peul, alors que celui du petit bétail et des volailles est pratiqué par l'ensemble de la population. Le mode est principalement extensif. Toutefois, l'élevage intensif sous forme d'embouches bovines, ovines ou porcines tend à se développer comme à Séla.

	Bovins	Ovins	Caprins	Porcins	Asins	Equins	Volailles
Tenkodogo	19 070	10 000	10 713	953	1 271	31	33 502

Tab. 20 : Effectif du cheptel dans le département de Tenkodogo en 2000

Source : SRA/DPRAT/Tenkodogo



a : Champ d'haricot et de mil

Champ préparé à l'aide d'une culture attelée conduisant à la mise en place d'écoulements concentrés

Cliché. E. Robert, 2009



b et c : Traces du passage de l'eau soulignant l'érosion et le ruissellement sur les parcelles peu protégées
Secteur de Gouni

Secteur de Belcé

Clichés. E. Robert, 2009



d et e : Parcelles cultivées proche de cours d'eau (site de Bagré)

Espaces laissés à nu amplifiant l'impact des pluies et du ruissellement et donc le transport de particules dans le cours d'eau

Clichés : E. Robert, 2009

Planche photos 8: Les impacts des pratiques culturales sur les sols, les cours d'eau et le couvert végétal

Bien que fournissant une force de traction et de la fumure pour les sols, l'activité d'élevage peut, si elle est trop importante (dépassant la capacité de charge), modifier et dégrader le couvert végétal. En effet, le surpâturage ne laisse pas le temps aux graminées de repousser, ni d'arriver à maturité, et le piétinement contribue à la modification de la structure du sol, l'exposant alors à l'érosion. De plus, la mauvaise pluviométrie ne facilite pas la régénération des pâturages.

Ainsi, la pâture en zone de savane amorce une série de réactions. Un changement du type de végétation s'opère tout d'abord. Les espèces appréciées, les Andropogonées, laissent place à des plantes aux valeurs moindres (les *Pennisetum*). Les graminées ont tendance à être plus basses, et le stade final est le sol nu. Le surpâturage entraîne alors une compaction et une diminution de la porosité. Le point positif pourrait être les bouses. Or, les apports en azote excrémental ne compensent pas les manques.

Ces zones de surpâturage présentent des micro-formes d'érosion en nappe et linéaire (griffes et ravines) avec des surfaces à OPS grossières (CASENAVE et VALENTIN, 1989). Comme le souligne SCHULTZ et POMEL, en 1994, ce processus de surpâturage favorise « l'apparition de micro-butte, micro-marche d'escalier » et de surfaces propices aux « migrations latérales des éléments fins ». Dans le bassin versant de la Doubégué, ces espaces se localisent au niveau des **différents accès au point d'eau comme à Pésséré, à Bassaré, à Belcé, à Douka, au site de Bagré (photo 37)**, ou encore au niveau des champs rizicoles comme à Zaba. De plus, les prélèvements intensifs d'herbes, parfois accompagnés de feux de brousse, limitent l'accumulation de matière végétale morte recomposant et restituant le sol. Le système racinaire des plantes pérennes s'appauvrit, et les éléments nutritifs (N, P, K) ainsi que la matière organique s'épuisent.



Photo 37 : Berges dégradées suite aux passages répétés du bétail
Cliché : E. Robert, 2008

Par ailleurs, les éleveurs installés hors de la zone pastorale rencontrent des difficultés pour mettre en place des groupements. Or, cette organisation permettrait d'améliorer la pratique de l'élevage. L'embouche⁴⁵ bovine pourrait être développée et l'accès à des sous-produits agroalimentaire serait facilité, sans pour autant être contraint de vivre dans la zone pastorale. De même, l'encadrement vétérinaire du bassin doit être amélioré. Bien encadrée,

⁴⁵ Il s'agit d'engraisser les animaux par des résidus de récolte, les fourrages naturels, et/ou des sous-produits agro-industriels comme le tourteau de coton pour la production de lait ou la vente.

cette activité pourrait être un atout pour la région de Bagré. Il serait alors intéressant de développer des partenariats avec les agriculteurs qui pourraient enrichir leurs parcelles.

Le problème est alors amplifié dans la région de la Doubégué : **les éleveurs regroupés dans la zone pastorale se rendent toujours au même point d'eau sans équipement adapté.** Ainsi, bien que cette zone ait été matérialisée, il n'existe que très peu d'infrastructures pour les animaux et pour les hommes. L'encadrement est déficient et peu opérationnel (cf. 8.3). En effet, la MOB, chargée de gérer cet espace, manque de moyens financiers afin de créer des pare-feu, ou encore d'évaluer la capacité de charge. Une action mécanique se produit donc sur l'environnement de la zone pastorale. Les éleveurs, qui disent ne pas pratiquer le pâturage arbustif (résultats enquêtes, Robert, 2008 et 2009), sont obligés d'avoir recours à des sous-produits agroalimentaires accentuant leur difficulté financière. Cet espace dégradé doit alors être enrichi avec par des espèces locales fourragères ligneuses, par des plantations d'enrichissement, par des cultures fourragères, et surtout par des herbacées pérennes (*Pterocarpus erinaceus*, *Piliostigma thonningi*, *Sclerocaria birrea*, *Balanites aegyptiaca*, *Andropogon gayanus*, etc.). Des pistes à bétail devraient être également aménagées afin d'accéder au lac et aux différents points d'eau (cf. Partie 4). Elles réduiraient les effets du piétinement et les risques d'ensablement du lac.

Par ailleurs, bien que la zone pastorale ait été créée, au cours de notre terrain nous avons rencontré de nombreux troupeaux sur l'ensemble du territoire. Il s'agissait, le plus souvent, de troupeaux transhumants se déplaçant le long de la RN 16. Des prélèvements sur les champs se produisent alors, et les heurts avec les cultivateurs sont toujours d'actualité. Les résidus de récolte laissés pour protéger les sols sont souvent consommés par les animaux.

Enfin, suite à nos trois études de terrains, il nous semble que la solution n'est pas forcément la création de zones pastorales, mais plutôt le **rétablissement d'un équilibre rural en intégrant l'élevage à la société paysanne agricole** (ROBERT, 2010). Nous développerons ce point au cours de la Partie 4. En effet, bien que ce nouvel espace ait été créé, les situations ont peu évolué. L'équilibre social des villages, et même plus largement du bassin versant, devrait reposer sur une **complémentarité entre l'élevage, l'agriculture, et l'exploitation des formations ligneuses**. Il est important de réfléchir au concept de **gestion négociée des ressources renouvelables**. L'aménagement des ressources sylvo-pastorales doit alors se substituer, le plus souvent possible, à l'aménagement forestier. En effet, le pâturage, s'il demeure modéré, constitue un élément favorable au maintien de l'équilibre général et au progrès économique.

4.3.1.3 La sur-utilisation du bois et la déforestation

Dans le bassin versant de la Doubégué, le bois et le charbon de bois répondent pour 90 % aux besoins en énergie. En effet, bien que le barrage de Bagré produise de l'électricité, les habitants de la zone n'y ont pas accès (excepté la cité - chantier Sonabel de Bagré et Tenkodogo). Les populations rurales se servent donc du bois pour leurs besoins domestiques, principalement pour les cuissons ; et sa vente est également une source de revenus non négligeable. Les sites de dépôt de bois (**photo 38**) observés au cours de nos terrains soulignent l'importance de ce déboisement, et la carbonisation est une activité pratiquée dans

la région (**photo 39**). De plus, les impacts sur le couvert végétal sont amplifiés par le manque de formation des personnes (techniques de coupe, choix des arbres, etc.).

Le déboisement est également pratiqué pour permettre une mise en culture. L'agriculture a alors une incidence indirecte sur les formations arborées et arbustives.

En définitive, il conduit à une régression du couvert végétal et donc à une moins bonne protection des sols. Ces derniers sont alors plus sensibles au processus érosif, suite à la modification de leurs horizons superficiels. La pédofaune, le pH, la capacité d'échange cationique et les éléments essentiels au sol, que sont l'azote et le potassium, diminuent. Par conséquent, en l'absence de compensation (type engrais NPK), les sols se dégradent rapidement. Par ailleurs, parallèlement il s'opère une migration verticale des argiles et une hydromorphie remontante du fer conduisant à l'induration et au concrétionnement d'horizons. Des abruconcentrations (concentrations par érosion) apparaissent également (SCHULTZ et POMEL, 1994) : concentration importante des éléments grossiers en regard des éléments fins à la surface du sol.



Photo 38 : Dépôts de bois morts (secteur Loanga)



Photo 39 : Bois carbonifiés

Clichés : E. Robert, 2008 et 2009

4.3.21.4 Les feux de brousse

Dans le bassin versant de la Doubégué, les feux de brousse sont en nette régression. Les personnes interrogées avouent qu'ils les pratiquaient encore, il y a une dizaine d'années. Ils sont désormais totalement interdits dans la région de Bagré, et plusieurs éleveurs nous ont confié aider les gardes forestiers dans la surveillance du respect de cet arrêté. Toutefois, au cours de notre terrain, nous avons pu en observer trois⁴⁶. Nous présenterons donc succinctement ces apports bénéfiques et ceux négatifs.

En condition optimale (en savane), les feux de brousse se déroulent en fin de saison sèche lors de la période de repos végétatif. Ils n'affectent pas les nutriments qui ont déjà migré dans les réserves du sol. Seule la nécromasse épigée est détruite et non la phytomasse hypogée. Puis, lors des premières pluies, une repousse rapide s'opère couvrant rapidement le sol (POMEL *et al.*, 1994).

La situation s'aggrave et les problèmes apparaissent lorsque des feux de brousses hâtifs sont pratiqués, réitérés et/ou associés à une réduction des jachères. Ces processus peuvent alors affecter le sol en profondeur. Le ruissellement est favorisé. L'érosion de surface entraîne la formation des croûtes superficielles et la diminution de l'infiltration de l'eau. En

⁴⁶ Nous ne nous sommes jamais rendus dans la région en fin de saison sèche : période la plus propice à ces feux de brousse.

résumé, cette pratique supprime la litière et la pédofaune, entraîne l'induration des sols, et augmente la susceptibilité à l'érosion superficielle. Enfin, les feux de brousses les plus nocifs sont ceux pratiqués en début de saison des pluies. En dénudant les sols, ils favorisent alors l'action érosive des eaux des pluies, le ruissellement s'accroît de 0,3 à 15,3 %, et les pertes en terre augmentent de 33 à 344 kg/ha/an (ROOSE, 1992). Cette pratique amplifie également l'érosion éolienne (ROOSE, 2004), particulièrement au cours des mois de mai et de juin sur les sols encore nus (BIELDERS *et al.*, 2004)

4.3.1.5 Les effets des éléments linéaires permanents

Le dernier facteur anthropique présenté se distingue des précédents (ni lié à une activité unique, ni zonal), il s'agit du réseau de déplacement. En effet, la route affecte significativement les processus hydrologiques et géomorphologiques. Dans notre région d'étude, celles goudronnées se localisent dans la ville de Tenkodogo. La RN 16, qui traverse cette dernière, se rencontre à l'est du bassin versant au niveau des interfluves. Les routes condensent les écoulements, accélèrent les transferts de surface et les temps de réponses des systèmes, et augmentent les transports de sédiments vers les cours d'eau. Ce type de route est un collecteur privilégié car la surface imperméabilisée accroît la surface de ruissellement. L'écoulement de surface s'organise alors en nappes ou en filets le long des bords de routes. Cependant, lors d'événements pluviométriques importants, comme en août, les écoulements se font directement sur la voirie.

Il faut également prendre en compte les deux pistes principales du bassin versant de la Doubégué : celle de Loanga et celle reliant la RN 16 à Bagré. Leur surface peut aussi engendrer un écoulement de surface, dans la mesure où un chemin de terre est compacté et sa capacité d'infiltration réduite. Et, l'absence de revêtement les rend plus sensibles aux attaques du ruissellement et par conséquent au ravinement.

Par ailleurs, les fossés jouent un rôle important car ils sont le plus souvent associés au réseau de voirie, et plus rarement intégrés au système agraire. Ils interviennent dans la structuration de l'écoulement de surface. Il faut donc tenir compte de leur orientation par rapport à la plus grande pente, et de la pente du tronçon. Les fossés ont tendance à accélérer le ruissellement en concentrant les écoulements et en facilitant les connexions entre les différentes unités hydrologiques (MOUSSA *et al.*, 2002) tel que l'atteste la piste de Loanga. Il s'agit de l'axe de circulation le plus important de la rive gauche. Un fossé la borde de chaque côté afin de permettre l'écoulement de l'eau issue des versants et des secteurs de la piste en amont (**photo a de la Planche photos 9**). Il peut prendre différents aspects. Ainsi, il peut porter des traces de rigoles (**photo b de la Planche photos 9**) ou encore présenter un versant plus net (**photo c de la Planche photos 9**). Les fossés agissent comme des axes de relais jusqu'au cours d'eau lors et après un événement pluvieux. Durant ce dernier, l'eau déferle, trace son chemin selon la résistance des roches (**photo d de la Planche photos 9**). L'eau est alors très chargée en particules, et particulièrement boueuse. Elle agit sur les bordures du fossé, et un processus de recul des berges s'opère comme pour un cours d'eau (**photo e de la Planche photos 9**). La piste est également rongée et s'effondre à certains endroits (**photo f de la Planche photos 9**). Les fossés ont donc tendance à s'élargir et s'approfondir au détriment de la piste et des versants voisins. Toutefois, quelques éléments restent en place : des roches plus dures (érosion différentielle) (**Photo g de la Planche photos 9**).



a : Marques d'écoulement visibles le long de la piste de Loanga



b : Bordure de fossé présentant des rigoles

Clichés : E. Robert, le 05/08/2009



c : Fossé aux bords nets



d : Eau boueuse traçant son chemin en fonction de la fragilité des sols

Clichés : E. Robert, le 03/08/2009



e : Bordure de fossé attaqué par l'eau



f : Blocs dissociés de la piste par l'érosion hydrique



g : Portions de roche dure soulignant l'érosion différentielle à l'œuvre dans les fossés

Clichés : E. Robert, le 05/08/2009

Planche photos 9 : Effets et dégradations des éléments linéaires : la piste de Loanga

Plus généralement, lors des événements pluvieux intenses, l'ensemble des pistes (pistes secondaires, tertiaires) devient des relais à l'écoulement des versants. Elles concentrent ces derniers pour les amener jusqu'au cours d'eau le plus proche. L'exemple de Belcé est particulièrement représentatif. En octobre 2008, l'eau stagnait dans cet élément linéaire. Puis, l'événement pluviométrique du 27 juillet 2009 nous a permis d'étudier la mise en action du système. Avant ce phénomène météorologique, l'eau était contenue dans le lit du cours d'eau et la piste était à sec (**photo 23**). En quelques minutes, un phénomène de battance s'est mis en place. L'eau ne s'infiltrait plus ou peu. Des flaques se sont rapidement formées, et l'eau a alors déferlé depuis la piste pour rejoindre le cours principal. Entre le début de l'averse (débutée à 13h02) et la **photo a** de la **Planche photos 10**, 5 minutes se sont écoulées. Le cours d'eau ne pouvait alors plus évacuer ces apports d'eau. La rapidité d'évolution du paysage et des temps de réponses est soulignée par les **photos a et b** de la **Planche photos 10** prises à 10 minutes d'intervalle. Le cours d'eau a alors débordé et pris une vaste place. Après 16 minutes, le sol est totalement saturé : la lame d'eau est de plusieurs centimètres d'épaisseur. Par ailleurs, certains champs ont été ennoyés (**photo c** de la **Planche photos 10**), les écoulements sur ces espaces cultivés ont trouvé comme exutoire la piste (**photo d** de la **Planche photos 10**).

On peut donc en conclure **que les temps de réponse du système aux stimuli pluvieux sont instantanés**, ce qui sera également observé lors de l'étude de la turbidité (cf. Chapitre 6 et 7). L'ensemble des pistes devient de petits cours d'eau collectant les eaux originaires des versants. Le lendemain de ce type d'événement météorologique, l'eau s'écoule toujours au-delà du lit. Néanmoins, les quantités d'eau, au niveau du cours d'eau et de la piste, ont fortement diminué (**photos e et f** de la **Planche photos 10**). Enfin, lors du retrait total de l'eau (le 03/08/2009), les pistes révèlent d'importantes marques d'érosion (**photos g, h et i** de la **Planche photos 10**), et le sable est le principal type de matériau transporté.

Par ailleurs, la position topographique de la route par rapport au versant peut jouer un rôle. Si elle est dans le sens de la pente, elle est conductrice et accélère les écoulements. Si elle est perpendiculaire à l'axe de ruissellement, elle agit comme un obstacle créant une cuvette artificielle où sont arrivés les écoulements. La route de Séla correspond à ce dernier cas, de même que la piste de Loanga. Celle de Bagré est davantage dans le sens de la pente. Quant aux rues de Tenkodogo, elles sont le plus souvent perpendiculaires au versant. Néanmoins, certaines ont une forte pente accélérant la vitesse de ruissellement.

Ces éléments que sont les routes, les pistes mais surtout les fossés vont également avoir un rôle important dans l'exacerbation des processus linéaires qui sont en cours dans le bassin versant de la Doubégué (cf. Chapitre 5).

Enfin, selon les normes communément admises et utilisées comme base de calculs, les quantités d'eau qui ruissellent selon le type de support sont de 90 % pour une surface imperméable, de 80 % sur une surface minérale compacte (chemins de terre), de 60 % sur une surface minérale poreuse (bas-côté), et de 20 % sur une surface engazonnée (CHAIB, 1997).



a et b : Pistes transformées en cours d'eau et débordement de la Doubégué lors d'un événement pluviométrique violent



c : Sol totalement engorgé au bout de 16 min d : Piste transformée en cours d'eau collecteur

c et d : Les parcelles localisées sur les versants n'infiltrant plus, l'eau ruisselle jusqu'à la piste
 Clichés. E : Robert, le 27 /07/2009



e, f, g, h et i : Physionomie de la Doubégué et des pistes le lendemain de l'averse

Clichés : E. Robert, le 28/07/2009

Planche photos 10 : Les pistes comme relais aux écoulements de surface

4.3.1.6 Conclusion sur les facteurs anthropiques de la dégradation

Dans ce milieu fragile originellement, et suite aux modifications climatiques, démographiques, et agropastorales, une **déstabilisation de l'équilibre homme / milieu** s'opère actuellement. La régression du couvert végétal a privé les sols d'une couverture protectrice les exposant aux agents de l'érosion, en particulier les **ruissellements**. Les causes de cette dynamique évolutive sont de deux types : naturelles et anthropiques. Le poids des premières est plus faible que celui des secondes. La cause naturelle est liée aux **déficits pluviométriques** caractérisant la zone soudano-sahélienne accentuant la formation de sols incultes. L'exposition à l'érosion hydrique et éolienne est alors importante (perte en terre par décapage, ruissellement, etc.). La **pauvreté des sols** aggrave également ce phénomène. Cependant, dans un contexte d'accroissement démographique saturant peu à peu le territoire, les principales causes sont anthropiques. Elles conduisent alors à de multiples conséquences négatives (**Tab. 21**).

Causes	Conséquences spécifiques	Conséquences globales
- extension des terres mises en culture parfois éloignées et / ou fragiles	- refus d'infiltration - baisse de la productivité	- modification des modelés de surface : stockage de l'excès d'eau ou au contraire concentration du ruissellement ➤ comblement progressif des lits et des réservoirs suite à l'apport de gravillons et de sables - dégradation du sol - réduction de la fertilité des terres , diminution des productions, des revenus (« pauvreté endémique »). A terme, difficultés dans le couvrement des besoins alimentaires et rupture de stocks
- réduction de la jachère	- problème de reconstitution des sols	
- perturbation de facteurs sociaux traditionnels régulateurs : système de rotation vécu comme une contrainte	- mise en culture continue	
- coupes de bois et régression des espaces « naturels »	- problèmes de disponibilité en bois de chauffe - réduction des résidus de culture laissés sur place	
- surpâturage	- surexploitation de la biomasse herbacée, destruction des couvertures ligneuses et herbacées - tassement, encroûtement des sols : refus d'infiltration - augmentation des plages de sols dénudés	

Tab. 21 : Causes humaines et conséquences sur les ressources naturelles du bassin versant de la Doubégué

Par ailleurs, l'étude réalisée par MIETTON en 1998 révélait que la dégradation en milieu centre et nord soudanien varie entre 50 et 100 t/km²/an. En regard de l'accroissement spatial et de l'accélération de la dégradation observés dans le bassin de la Doubégué au cours de la dernière décennie, les chiffres observés dans notre secteur doivent être plus proches des **100 t/km²/an**. AMADOU *et al.* (2006) ont montré que, dans le Haut bassin du Nakambé (bassin versant de Tougou), les pertes en sols cultivés sont évaluées à 15 t/an, et sur les sols dégradés entre 40 et 70 t/an entre 2004 et 2006.

Enfin, **la protection des sols par des lutttes anti-érosives efficaces est peu répandue. Finalement, une perte de la biodiversité s'opère au profit d'une formation anthropique.**

Cette régression du couvert végétal est également soulignée par l'augmentation récente des ruissellements de surface en région soudano-sahélienne dans un contexte de péjoration climatique. Ce phénomène tend à confirmer, l'accroissement des écoulements de versant suite à l'impact anthropique.

4.3.2 L'accroissement des écoulements de versant, révélateur des processus d'érosion

4.3.2.1 Un fort accroissement dans la zone nord (moins de 700 mm)

L'accroissement des écoulements de versant, et par la même des débits, dans un contexte de péjoration climatique et de création de barrages suggèrent également une diminution du couvert végétal. **En 2004, l'UICN soulignait que la dégradation des sols et de la végétation a conduit à une augmentation des débits observés par l'intermédiaire d'un accroissement des coefficients de ruissellement.** Ainsi, le changement environnemental (d'origine naturelle et anthropique) a modifié les cycles hydrologiques en augmentant les écoulements de surface et le taux d'érosion hydrique. Les conséquences sont un envasement plus rapide, une dégradation de la qualité des eaux de retenues, un sous dimensionnement des ouvrages, une augmentation des surfaces encroûtées impropres à la mise en culture, une diminution de la capacité de stockage des sols, et une perte de fertilité. De plus, il s'opère une rétroaction négative : les parcelles sous zones dégradées sont plus sensibles à l'érosion hydrique. En conséquence, le taux de transport augmente d'une année à l'autre en fonction de l'agressivité des pluies.

Les différentes études menées par Whycos ont également corrélié l'augmentation des débits au Sahel à l'accroissement des activités humaines. En effet, les occupations agricoles modifient les états de surface. Or, un sol cultivé ruisselle davantage qu'un sol en végétation naturelle, mais beaucoup moins qu'un sol nu.

Les écoulements annuels du Nakambé ont alors fortement augmenté à partir de 1973 : de 67 à 145 m³/s entre 1972 et 1998 (MAHE *et al.*, 2005). Entre 1955 et 1970, leur évolution avait été plus modérée de 7,2 à 11,6 m³/s. Ce fait suggère clairement que les hommes ont influencé les caractéristiques du sol. Les deux causes principales sont l'extension des superficies cultivées au détriment des espaces dits « naturels », et les modifications du couvert végétal dans un contexte de réduction annuelle des précipitations.

En 1998, dans le nord du bassin versant du Nakambé, le ruissellement journalier était de 130 m³/s. Au cours des deux dernières décennies et demie, la végétation a été divisé par trois et demi, les sols nus ont été multipliés par trois, et les sols cultivés ont connu une progression de 40 %. En définitive, les précipitations ont diminué de 20 % et le ruissellement a augmenté de 60 %. A Wayen, le coefficient d'écoulement a augmenté de 108 % (MAHE *et al.*, 2005). Et à Bagré, 18 années, après la construction du barrage de Bagré, de grandes pointes de crues imprévisibles sont apparues.

4.3.2.2 A relativiser dans les bassins de la Doubégué et du lac de Bagré

Cette corrélation est moins nette dans notre secteur d'étude. Les débits augmentent au début de la saison des pluies. Le **pic de crue est davantage précoce** et s'opère en août au lieu du mois de septembre. Les valeurs d'écoulement (de septembre et d'octobre) diminuent nettement ainsi que le module annuel. La relation pluie - écoulement est alors moins modifiée que dans la région plus au nord.

Cependant, l'impact anthropique n'est pas négligeable. Il s'effectue principalement par le biais de certaines pratiques culturelles entretenant et accélérant la destruction des sols. L'augmentation des activités de pastoralisme a également des conséquences négatives. Ainsi, il semble, comme pour la zone précédente, que **la forte pression agricole soit la grande responsable de l'augmentation du coefficient de ruissellement, combinée à des sols pauvres et imperméables augmentant la portion ruisselée en surface**. De plus, il est difficile de distinguer la part purement anthropique de celle climatique. Il n'existe pas encore d'indice pouvant aider à faire la part entre les deux, dans cette modification des relations écoulement - pluies (MAHE *et al.*, 2003). Néanmoins, il semble que **l'impact anthropique se surimpose à celui du climat**. Les activités humaines modifient l'occupation des sols, tel qu'observé dans le bassin versant de la Doubégué, et les états de surfaces associés. Il s'opère, par conséquent, une modification des relations pluie - débit sur le bassin versant. **Le ruissellement de surface tend à s'accroître surtout en début de saison des pluies lorsque le sol est à nu et/ou fraîchement labouré**. La réduction, voire l'annulation, du temps de jachère, ainsi que les pratiques culturelles pas assez économes en matière organique accélèrent l'appauvrissement des sols en éléments nutritifs. Par conséquent, le temps et l'absence de pratique conservatoires entraînent un **accroissement de la sensibilité de sols à l'érosion et à l'apparition de ravines**. Les **sols surexploités** laissent place à des sols imperméables favorisant le ruissellement. Ainsi, d'une part les ruissellements de surface s'accroissent, d'autre part l'érosion linéaire tend à se développer (cf. Chapitre 5). Au niveau du bassin versant, il semble que l'environnement local aurait pu être épargné sans les activités humaines. Mais, ces dernières principalement agro-pastorales ont réduit la biomasse et elles auront des effets sur le long terme.

En regard de l'importance du lac de barrage de Bagré et de ses affluents, et plus largement du bassin du Nakambé, pour la population, il est urgent de mettre en place un **mécanisme de protection et de prévention de la dégradation basée sur une gestion raisonnée et équitable des terres le long du bassin en impliquant tous les utilisateurs**. Cette question sera développée au cours de la Partie 4.

L'étude bibliographique, l'examen des agents, des paramètres érosifs, et l'évolution diachronique du couvert végétal ont permis de mettre en évidence que les pertes en terre dans le bassin de la Doubégué sont une réalité. Cependant, pour avoir une vision plus globale, il faut aller encore plus loin et se tourner vers les populations de cette région. En effet, notre écrit se veut le plus exhaustif possible et multidisciplinaire. Il est alors essentiel d'établir d'une part un diagnostic scientifique, pour dans un second temps étudier, à partir de méthodes empruntées aux sciences sociales, comment les populations vivent cette réalité. Cette double étude permet de mieux cerner **l'ensemble des processus en jeu, de mieux connaître les évolutions de l'environnement**. Ainsi, à Pesséré, les questionnaires nous ont permis d'établir

une corrélation entre le couvert végétal observé sur l'image satellite de 1986 et la réalité rapportée par les habitants. Cette double analyse enrichie notre écrit.

Il convient donc de s'interroger sur la prise en compte de cette situation par les populations. Identifient-elles ou non ces processus ? Ont-elles conscience du phénomène ? Mettent-elles en évidence une amplification ? Y a-t-il des espaces davantage dégradés que d'autres ?, etc.

4.4 Un fait mis en évidence, vécu et subi par les populations locales

4.4.1 Méthodologie

Afin d'avoir une vision et une connaissance plus globale du fonctionnement du système, il est bien souvent essentiel de se tourner vers les populations riveraines et les différents organismes et institutions de la région d'étude. En effet, la rencontre avec les personnes habitant ce bassin permet de mieux cerner les problématiques et les enjeux. Des enquêtes par questionnaires et des entretiens ont donc été réalisés. Ils relèvent davantage des sciences dites humaines et sociales que sont la sociologie, l'anthropologie, l'ethnologie.

Ainsi, après avoir mis « scientifiquement » en avant la régression du couvert végétal et son lien avec l'amplification des risques de pertes en terre, il est essentiel de connaître la vision des populations de ce processus, et d'identifier les causes, les conséquences et les solutions appliquées ou souhaitées. La méthodologie mise en œuvre dans la collecte des données de cette étude est basée sur une approche holistique prenant en compte les acteurs impliqués dans l'exploitation des ressources naturelles, mais également dans leur gestion et qui sont donc concernés par la préservation.

Les enquêtes se sont déroulées au cours des deux études de terrain effectuées dans le cadre de ma thèse. Les 270 questionnaires individuels ont été réalisés auprès des populations locales (exploitants, éleveurs, commerçants, chefs de groupements cotonniers) autour de deux thèmes principaux : la prise de conscience des causes et des conséquences de l'érosion des sols, et la dégradation du couvert végétal (questionnaires, **annexe 1**). La majorité de la population parlant le Bissa, ou plus précisément plusieurs variantes de la langue Bissa, nous avons dû faire appel à trois interprètes. Par ailleurs, les enquêtes nous ont permis de mieux appréhender le bassin versant de la Doubégué. Par leur intermédiaire, les différences entre secteurs ont pu être cernées tant d'un point de vue de la perception des phénomènes, que de la sensibilisation aux techniques de protection des eaux et des sols, qu'aux priorités des différents villages.

Ces enquêtes devaient répondre à un objectif clair : quelle est la prise de conscience des populations face aux modifications de leur environnement ? Quels sont leurs impacts ? Quelles solutions appliquent-elles, désirent-elles mettre en place ? Mon travail réalisé dans le cadre de mon Master 1 (2006) à Bagré m'a permis de tester ce questionnaire auprès de 31 personnes, de modifier certaines questions, et de le valider. Il a été effectué de manière spontanée dans les différents villages du bassin versant. Il a fallu tenir compte des proportions relatives d'une part à l'ethnie (Bissa, Mossi, Peul) et d'autre part au type d'activité (agriculteur, éleveur, pêcheur (**annexe 1**), commerçant).

Cependant, les rencontres avec les populations ne suffisent pas à cerner l'ensemble des problématiques et des enjeux. Il faut également questionner les principaux acteurs que sont les ONG, les programmes mis en place par le gouvernement (PROGEREF, PADAB II : Projet d'Appui au Développement de l'Agriculture au Burkina Faso), les associations (Bissakoupou, Dakupa, ATTRA/B : Association de Transfert de Technologie de la Recherche dans le Boulgou), les groupes cotonniers (Faso Coton), etc. Ils permettent de connaître les orientations économiques, politiques et environnementales mises en place. Ces rencontres ont été particulièrement enrichissantes afin de mieux cerner les objectifs en place et de pouvoir présenter des solutions pour une gestion intégrée (cf. Partie 4).

Pendant la première mission terrain (du 07 octobre au 06 décembre 2008), 128 questionnaires ont été effectués. Ces enquêtes ont été complétées par des entretiens réalisés auprès de représentants et de personnels de différents organismes dépendants ou non de Ministères, d'associations : Jacques OUEDRAOGO (chargé de l'Environnement à la M.O.B), Lancine TRAORE (chef des études et de la planification à Tenkodogo, Direction régionale de l'Agriculture de Tenkodogo. Ministère de l'Agriculture, Hydraulique et Ressources Halieutiques), Abdoulaye HEBIE (DPAHRH (Direction Provinciale de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques) du Boulgou), Kindo ISSAKA (chef de division Hydraulique Bagré : Sonabel), Emmanuel T SORGHO (chargé de la formation de l'ATTRA/B), Luc IBODO (Antenne de Faso Coton de Tenkodogo), Daouda ZEBA (association environnementale Bissakoupou basée à Garango), Abdou Karim SAWADO, Jacques LEGAM, Fatoumata LOMBRE, Jean-Claude BAMBARA, et O. NOMBRE (membres de l'association Dakupa basée à Garango), Joseph ELOLA (bureau d'appui du PADAB II), Théodore BERE (responsable PADAB II ancien gérant du PDR/B (Programme de Développement Rural du Boulgou), planificateur de l'environnement du Ministère de l'Environnement), et Antoine BAMBARA (chef antenne PROGEREF).

La seconde mission terrain (du 17 juin au 09 septembre 2009) a permis de réaliser 142 questionnaires ainsi que de nouveaux entretiens et de ré-interviewer certaines personnes (OUEDRAOGO J., ISSAKA K., SORGHO E.T., IBODO L., BERE T., BAMBARA A.) : A. DRABO (commandant en chef de la gendarmerie de Bagré) et Patrice DIAKO (chef de la zone de promotion de coton bio de la zone de Tenkodogo (Union Nationale des Producteurs de Coton/Burkina)).

Une fois ces enquêtes réalisées, elles ont été traitées avec l'aide du logiciel Moda Lisa.

Cette sous-partie présente en partie des résultats obtenus d'une part sur le premier et d'autre part sur le second thème. Les autres seront abordés au cours des Chapitre 6 et de la Partie 4. Nous reviendrons quelques instants sur la prépondérance de l'érosion de type hydrique clairement mise en évidence par la population. Puis nous aborderons les questions relatives à la dégradation du couvert végétal (état, causes, conséquences). Avant d'aborder les résultats de cette enquête, nous tenons à rappeler le lien unissant les Africains à leur environnement par l'intermédiaire d'une citation de PALE (1999), « *les Africains ont une conception mystico-religieuse de l'environnement selon laquelle la nature est l'univers des divinités. Elles animent cet univers à travers des phénomènes climatiques et biogéographiques. La conduite des hommes doit être en harmonie avec des règles précises* ».

4.4.2 Une perte de la fraction sableuse sous l'influence directe du ruissellement

Les agriculteurs remarquent tout d'abord une « **perte de terre** » sur leurs champs. Elle est évoquée à **92,7 %**. Dans le questionnaire, l'interrogation s'entendait en terme quantitatif (départ de matière). Néanmoins, la majorité d'entre eux complétait la question en mentionnant l'**altération** également de la **qualité**. Les agriculteurs de l'ensemble de bassin versant de la Doubégué mettent en avant la perte ou tout du moins la **baisse de fertilité** observée sur leurs terres. Il semble donc plus que nécessaire qu'ils disposent de fumure. Certains expriment même le souhait d'obtenir des engrais. Ce terme de « fertilité⁴⁷ » d'une terre n'est pas un concept vague pour le paysan. Il s'agit d'une réalité physique traduite par l'aspect du sol, par sa production, et surtout par la présence d'une espèce végétale ou d'un groupe d'espèces végétales. Ces dernières ont une valeur indicatrice. Néanmoins, ce mot n'est pas aisément traductible. L'emploi des termes de « bonne » ou « mauvaise » terre a donc été retenu.

Cependant, peu d'agriculteurs évoquent l'usage d'engrais. Cette réalité est à relier à la **faible proportion de cultivateurs pouvant avoir accès à cet intrant**. En effet, seuls ceux appartenant à des groupements de producteurs peuvent avoir à leur disposition une certaine quantité d'urée et de NPK fournis par Faso Coton. Selon les règles du groupement, ces derniers doivent être utilisés uniquement sur le coton⁴⁸. Cela est différent pour ceux qui se sont regroupés afin d'améliorer leur productions de maïs, ou encore d'arachide. Néanmoins, ces types d'association demeurent minoritaires. Ainsi, la proportion d'agriculteurs disposant d'engrais, pour une culture autre que le du coton, est plus que minime. Or, dans ce contexte, seuls quelques cultivateurs, ayant assez de moyens, se le permettent.

En définitive, la **faible fertilité** restante est donc maintenue principalement par l'apport de **fumier**, et/ou par de **faibles quantités d'engrais**, et aussi grâce à la **rotation des cultures** s'appuyant sur le **coton et/ou le maïs**. L'utilisation de la **fumure concerne 56,8 %** des agriculteurs.

Par ailleurs, les populations interrogées ont clairement mis en évidence que l'action « naturelle » dominante au niveau de leur environnement était **hydrique** : 84,7 % chez les agriculteurs et 85,2 % chez les éleveurs. Pour les cultivateurs, lorsqu'on recontextualise la question, en la localisant au niveau de leurs champs, 95,7 % d'entre eux évoquent le rôle joué par l'eau. Par ailleurs, **78,9 % des éleveurs utilisent des pistes, 72,2 % mettent en avant qu'elles sont empruntées par l'eau, et 55,6 % disent remarquer un creusement**. A l'inverse, l'**agent éolien** est seulement évoqué par les agriculteurs, à hauteur de **14 %**. Par conséquent, ces affirmations sont en totale adéquation d'une part avec les théories évoquées en milieu tropical, et d'autre part avec l'étude de notre terrain. En effet, l'action du vent est plus que ponctuelle. Néanmoins, son impact peut être important, principalement lorsqu'il s'actionne juste avant le déclenchement de l'événement pluviométrique. A cette période de l'année, les sols sont peu protégés. Ils subissent alors une **double action érosive** : dans un premier temps éolienne puis hydrique. Cependant, au **cœur de l'hivernage**, le rôle du vent

⁴⁷ Pieri en 1989, place la fertilité « au niveau le plus général, c'est-à-dire celui du milieu rural considéré comme un système dont les productions résultent des interactions entre ses trois constituants fondamentaux : le milieu humain, le milieu naturel (climat, sol plantes, animaux) et le milieu technique ou mode de gestion des espaces ruraux ». L'idée de fertilité appartiendrait davantage aux domaines des représentations sociales qu'aux concepts scientifiques (SEBILLOTTE, 1991).

⁴⁸ De nombreux groupements cotonniers ont été « radiés » en 2009, suite à des détournements de quantité d'engrais destinée à d'autres usages que la spéculation cotonnière. Faso Coton a donc entrepris un « assainissement » des groupements.

est, dans l'ensemble, très **peu perceptible** dans le bassin versant de la Doubégué. Il est **plus important au cours de la saison sèche**, il se produit alors davantage de dégâts, comme le déracinement de certains anciens arbres (**photo 40**).



Photo 40 : Action du vent dans le bassin versant de la Doubégué (secteur de Pata)
Cliché : E. Robert, 2008

L'eau est donc l'agent de transport dominant. Quel est alors le type de particule pris en charge ? Ainsi, **le sable** constitue le matériau **le plus déplacé** pour 73,4 % des agriculteurs et pour 58,1 % des éleveurs. Il faut entendre l'emploi du terme « sable » au sens de particules fines et non au sens littéral scientifique. La différence entre les deux catégories d'acteurs réside dans le fait que les éleveurs remarquent également de la terre⁴⁹ transportée (29 % des éleveurs). Il est vrai que la zone est particulièrement sableuse comme observé au niveau de la majorité des sites de prélèvements. Kabri, Zaba, Pata, et le site de Bagré portent chacun des **plages de sables plus ou moins occupées par la végétation**. Elles se sont formées suite à l'apport de particules depuis les versants⁵⁰. En regard du contexte pédologique, cela n'est guère surprenant. Est-il besoin de rappeler la proportion dominante de sols ferrugineux tropicaux lessivés (55,4 % de la surface du bassin versant) sur matériau sableux, sablo-argileux ou argilo-sableux facilement érodables, produisant principalement des particules de sable ? En effet, **la texture sableuse domine en surface suite à une érosion sélective des particules les plus fines. La principale cause évoquée par les personnes interrogées est la pluie** (66,7 %).

4.4.3 La prise de conscience de la dégradation du couvert végétal

4.4.3.1 Une dégradation apparue graduellement, s'emballant depuis 2005

L'environnement du bassin de la Doubégué a subi de **multiples transformations depuis les 25 dernières années, plus principalement depuis 10 à 15 ans**. En effet, l'étude diachronique réalisée entre 1986, 1995 et 2007 a révélé trois faits principaux : **l'engloutissement de plus 25 500 ha** par la mise en eau du lac de Bagré, **l'accroissement des**

⁴⁹ Dans ce contexte, la terre signifie qu'il s'agit de particules plus grosses que le sable. L'emploi de ces termes peut sembler éloigné du vocabulaire scientifique. Néanmoins, du fait du biais de la traduction et des populations interrogées nous devons avoir un vocabulaire sur lequel on puisse se comprendre : sable, terre, gravier, branche, boue (intégrant la notion d'argile). L'usage des termes limon, argile, sable, gravier n'aurait été que sujet à quiproquo et à une mauvaise compréhension avec les personnes questionnées.

⁵⁰ La présence de camions venus charger ce type de matériau renforce cet argument (à Kabri mais aussi à Pesséré).

superficiés mises en cultures au détriment des espaces « naturels » pour des raisons d'accroissement démographique, de demande alimentaire croissante, et le **défrichement** de nouvelles terres en prévision de **réformes agraires**.

Par ailleurs, il ne faut pas omettre les transformations d'ordre **météorologique** que sont les sécheresses des années 1970 - 1980 (1974, 1977, 1979, 1984 à 1987), et les années déficitaires (100 mm/an en moins) de 1990, 1993, 1995, 1997, 2000 (pour Tenkodogo mais pas à Bagré), 2001, 2002, 2004 (Tenkodogo), 2005 - 2006 (Bagré). Cette dernière évolution a également été mise en lumière par l'évolution décennale entre 1950 et 2009 à Tenkodogo. **En effet, entre 1950 et 1980, la pluviométrie a diminué de 23,7 %** (moins 2 % décennie 1960, moins 13,3 % décennie 1970). Au cours de la décennie 1990, cette tendance a semblé s'inverser (moins 11,60 %). Néanmoins, **la pluviométrie de la décennie 2000 est toujours inférieure de 12,93 % à celle des années 1950**.

Suite à cette observation, il était intéressant de s'interroger sur l'appréciation de la population locale. Ainsi, **85 %** des interrogés mettent en évidence la **dégradation du couvert végétal**. Qu'ils s'agissent des éleveurs ou des agriculteurs (respectivement 87,5 % et 84,6 %) les pourcentages sont proches. Cette dégradation est, alors, bien réelle et prise en compte par les habitants du bassin versant. De plus, lorsqu'il leur est demandé s'ils observent une conséquence sur la terre : 97,6 % des questionnés, décrivant une réduction du couvert végétal, répondent oui. La proportion est quasiment identique qu'ils s'agissent de l'une ou l'autre catégorie (agricole ou pastorale), et elle est plus faible pour les pêcheurs : 84,6 %.

Pour la majorité des questionnés (53,4 %), cette modification s'est **opérée au fil des années**. Il était difficile pour eux de préciser une durée. Néanmoins, 18,6 % des interrogés soulignent que cette transformation s'est opérée il y a plus de 15 ans. Cela signifie que la dégradation s'est actionnée **depuis la mise en eau du barrage**. 10,6 % évoquent une période de 10 ans à 15 ans, et le même pourcentage invoque un laps de temps de 5 ans à 10 ans.

Par ailleurs, il était important d'étudier s'il existait une différenciation spatiale d'une part entre les deux rives, et d'autre part de l'amont à l'aval. D'une rive comme de l'autre la dégradation remonte à 13 ans en moyenne. De même, il n'y a d'importantes variations entre la partie haute (10 ans), médiane (15 ans) et basse (15 ans)⁵¹. Toutefois, la partie médiane est celle qui a connu le plus de mutations. A l'échelle du village, les populations ont eu l'impression que l'environnement se dégradait autour d'eux. Ainsi, c'est bien le bassin versant de la Doubégué qui est affecté dans son ensemble par le recul du couvert végétal.

En définitive, de ces différents questionnaires ressort l'impression d'une **accélération depuis cinq ans** de ces phénomènes, comme si le **système s'emballait**. Loin de ralentir, la situation se dégrade davantage.

Enfin, **trois zones** peuvent être **porteuses d'espoir**. Suite à la **prise de conscience de la nouvelle génération, des plantations sont en train de s'effectuer**⁵². Les deux premiers secteurs se localisent en rive droite à **Loanga** et à **Ouéloguen**. Ils présentent des reboisements et des plantations ponctuels depuis les années 2000. Bien que loin d'avoir retrouvé la situation de 1995 et encore moins celle de 1986, cette prise de conscience est importante et essentielle. En effet, entre 1995 et 2007, le secteur de Ouéloguen a connu une extension des sols

⁵¹ Le calcul a été effectué sur un échantillon de 20 villages : 7 en rive droite et 13 en rive gauche.

⁵² A l'inverse, les anciens, dans l'ensemble, n'avaient pas à l'esprit de replanter en contre partie des prélèvements de bois.

dégradés. Des actions ont alors été lancées surtout depuis 2006 : principalement des reboisements en manguiers, en neems, des cordons pierreux, et secondairement des plants de karités et de raisiniers. A Loanga, des plantations individuelles de manguiers, de neems, ainsi qu'un reboisement commun à l'aide de ces derniers et de filaos se mettent en place (**photos 41 et 42**). Quelques cordons pierreux et diguettes enherbées ont également été réalisés. La proximité de la ville de Tenkodogo peut expliquer cette prise de conscience et ces actions. Les habitants sont plus proches de l'information et les agents formateurs de Tenkodogo sont aussi plus présents du fait de ce voisinage. La dernière zone se localise en rive gauche au niveau du secteur **Vagvagué** - Koama, où sont pratiqués des reboisements principalement d'arbres fruitiers (manguier, goyavier), de neems et de filaos.



Photo 41 : Plantation de filaos (sortie de Tenkodogo)



Photo 42 : Plantation de neems à Loanga

Clichés : E. Robert, 2008

Face au recul de la végétation mis en évidence par l'analyse diachronique des images satellites et par les populations, il convient de présenter le cadre juridique et l'action politique nationale afin de comprendre dans quelle stratégie s'inscrivent les opérations de protection de l'environnement.

4.4.3.2 Beaucoup de plants... mais peu de suivi, la question de « l'écologisme spectacle »

Le Code de l'Environnement burkinabé comprend un chapitre intitulé « Protection des espaces naturels, paysages, sites et monuments et espèces protégées ». Il est divisé en onze articles. Ce code inclut également un titre 3 « Institution de protection et de gestion de l'environnement ». Il s'agit du comité national de l'environnement et du Bureau d'Etude d'Impact sur l'environnement (B.E.I). Cette partie présente la décentralisation des activités du Comité National de l'Environnement. Ce dernier est institué dans chaque province par un Comité Provincial de l'Environnement (article 88).

Au Burkina Faso, l'environnement est défini dans l'article 1 comme « ***l'ensemble des éléments physiques, biophysiques naturels ou artificiels, et des facteurs économiques sociaux et politiques qui ont un effet sur le processus de maintien de la vie, la transformation et le développement du milieu des ressources naturelles ou non, et des activités humaines*** ». Quant à l'article 2, il souligne que « ***le présent code a pour objet d'établir les principes fondamentaux destinés à gérer et à protéger l'environnement contre toutes les formes de dégradation, afin de valoriser les ressources naturelles, lutter contre les***

différentes pollutions et nuisances, et améliorer les conditions de vie des populations dans le respect du milieu ambiant ».

Le gouvernement burkinabé reconnaît que les principaux problèmes actuels liés à la gestion de l'environnement, sont la sécheresse et la disponibilité des ressources en eau, l'érosion des sols, la pénurie de bois (surtout dans le Nord et le Centre), la forte pression exercée par les troupeaux transhumants, et la perte de diversité biologique (spécialement celle de la faune). Cette prise de conscience remonte au début des années 1980 pendant lesquelles plusieurs actions ont été entreprises avec l'appui de la FAO et du PNUD. Ainsi, « *le projet d'aménagement des forêts naturelles sur un rayon de 150 km autour de la ville de Ouagadougou* » pour l'approvisionnement de ladite ville en bois de feu, a démarré en 1986. Il est actuellement dans sa troisième phase.

Puis, en juin 1989, un Plan d'Action Forestier National du Burkina Faso (PAFN-BF) a été lancé. A l'origine, il a été conçu comme une composante du Plan National de Lutte Contre la Désertification (PNLCD), agréé par le Gouvernement en juillet 1986. Le Burkina Faso a adopté en 1992 le Plan National d'Action pour l'Environnement (PNAE) qui intègre le PNLCD et le PNGTV (Programme National de Gestion des Terroirs Villageois). L'objectif est de mettre en place une **politique associant étroitement le développement et l'environnement**. La direction des études et de la planification du Ministère de l'Environnement et du Tourisme a ensuite décidé d'intégrer le PAFN-BF et le PNAE. Trois programmes techniques de développement ont alors été envisagés et formulés : un programme national de foresterie villageoise, un programme national d'aménagement des forêts naturelles et un programme de dendroénergie (énergie dérivée des combustibles ligneux). Par ailleurs, en 1994, le PNAE adopte **l'approche terroir**. La même année, la **direction générale de l'environnement** remplace la direction des eaux et forêts. Enfin, **entre 1994 et 1997, 15 millions de semis d'arbres ont été plantés dans le cadre de la campagne de reforestation nationale**.

Aux vues de ces dispositions, il semble que le gouvernement burkinabé ait pris toute la mesure de la dégradation du couvert végétal et des risques qu'elle engendre. On peut, néanmoins, s'interroger sur le choix de la méthode mise en marche pour y parvenir. Dès 1994, le projet « *8 000 villages, 8 000 forêts* » a été lancé dans le cadre du Programme national de reforestation. Le mois d'août a été déclaré au Pays des hommes intègres, le « *mois de l'arbre* ». Mais « *l'arbre ne doit pas cacher la forêt* ». Depuis 15 ans, ils ont été nombreux à être plantés et beaucoup sont morts. Ainsi, **si seulement 50 % avaient survécus, 50 % du territoire burkinabé devrait être couvert à l'heure actuelle**. Le problème est « *que nous plantons plus que nous faisons le suivi des plants* » (OULAMA, 2008). Il faudrait mettre en place une politique de suivi liée à chaque projet. En effet, cet engouement tendant à restaurer le couvert végétal par le reboisement est indéniablement un bon signe. Seulement, vu la confusion et les « *indélicatesses* » qui entourent la majorité de ces opérations il n'est pas étonnant de constater qu'en dépit de plusieurs décennies de campagne, « *le désert* » avance toujours plus. De nombreux noms ont été donnés à de multiples actions : « *ceinture verte* », « *front de terre* », « *un département : une forêt* ». L'état actuel de l'environnement, révèle que ces « *agitations* » n'ont pas produit l'effet escompté. Le problème majeur est qu'il n'existe pas de système de protection (clôture par exemple) de ces plants. Cette sorte « *d'écologisme*

spectacle » donne alors l'impression que les problèmes environnementaux sont pris à bras le corps. Or en réalité, il manque une réelle coordination après les plantations.

L'exemple de la protection des berges du barrage de Ziga, réalisée à l'aide d'une opération de reforestation, illustre cette remise en cause du mode d'action du gouvernement. Ainsi, pour la troisième année consécutive, les membres du gouvernement burkinabé se sont rendus sur ce lieu. Le 5 août 2009, 3 000 plants d'*Acacia senegal* et d'*Acacia seyal* ont été plantés sur 2,2 ha. L'un des objectifs est, entre autre, la protection du fleuve Nakambé. Malgré cela, les populations n'adhèrent pas. Elles regardent d'un œil distant cette opération comme s'ils étaient habitués à ces démonstrations publiques sans impacts concrets. Or, il est essentiel, qu'elles soient un relais actif en protégeant les nouveaux plants, afin d'éviter leur destruction par les animaux. Il faut donc amener tout paysan à s'approprier et à participer à la campagne de reboisement, en plantant également des arbres au milieu de ses cultures. Ainsi **l'agroforesterie place la paysannerie au cœur des campagnes de reboisement.**

Toutefois, le Ministre de l'Environnement semble avoir conscience de ce problème. A travers cette action, il espère, à présent, encourager chaque burkinabé à planter deux ou trois arbres. En 2009, le thème de la campagne de reboisement était le « *renforcement de la responsabilisation des collectivités territoriales* ». Il désire, par conséquent que ces dernières s'engagent davantage dans la protection et l'entretien des arbres, et il espère être relayé par les agents de l'ONEA (Office National de l'Eau et de l'Assainissement) et par la population. En définitive, la gestion participative de la forêt semble être une des priorités de la décentralisation. Il faut à présent qu'elle devienne une réalité.

Enfin, au niveau régional, le premier congrès des communes forestières d'Afrique de l'ouest a été organisé, du 15 au 18 juin 2009, par la Communauté Economique des États d'Afrique de l'Ouest avec l'appui de la Fédération Nationale des Communes Forestières de France (FNCOFOR).

4.4.4 Un impact humain, avant tout

Après avoir eu la confirmation que les populations ont pris conscience de ce processus de dégradation du couvert végétal, nous nous sommes penchés sur les causes qu'elles renaient. D'un point de vue général, **la première abordée est l'Homme pour 54 %, suivi de la sécheresse 24,5 %, de l'âge des arbres 12,3 %, de Dieu⁵³ 5,7 %, et des animaux 3,1 %**. En comparaison, lors de l'enquête réalisée par GOUEM (2007), auprès des villages riverains du lac de Bagré, 52,66 % à 57 % des interrogés estimaient que leur activités étaient la cause fondamentale de la dégradation des berges. Pour **43 % à 47,34 %** des questionnés, elle était à associer à une disparition du couvert végétal suite à une **mauvaise pluviométrie**. Ainsi, bien que les pourcentages ne soient pas identiques, le classement demeure le même.

Cependant, dans le bassin versant de la Doubégué, il existe une réelle différence entre les réponses apportées par les deux principales catégories interrogées. **L'empreinte humaine est davantage mise en évidence par les éleveurs**. Selon ces derniers, elle serait liée pour

⁵³ L'emploi de ce terme a été intégré aux questionnaires réalisés en 2008 et 2009. Notre enquête effectuée en 2006 nous a révélé que cette cause devait être ajoutée car elle avait été abordée par certaines personnes interrogées.

74,2 % aux hommes et pour 12,9 % aux animaux. Les causes de la dégradation du couvert végétal seraient alors imputables pour 87,1 % aux activités humaines. Puis, 9,7 % des pasteurs évoquent la sécheresse, et 3,2 % l'âge des arbres. Pour les agriculteurs, l'impact anthropique est souligné par 51,5 % des personnes. De plus, ils n'évoquent pas l'impact occasionné par les animaux. Il est surprenant d'observer que les cultivateurs soient si plaintifs envers les troupeaux Peul lorsqu'il s'agit de la dégradation de leurs champs, et pas du tout, concernant la destruction de leur environnement, et plus précisément du couvert végétal.

Le second facteur, évoqué par les agriculteurs à l'origine de cette modification, est la sécheresse (26,6 %), puis l'âge des arbres (13,5 %), et enfin Dieu (6,6 %). Autre fait surprenant, cette dernière réponse n'a pas été retenue par les pasteurs. Il est cependant essentiel de spécifier que cette référence à Dieu ne se rencontre pas dans l'ensemble du bassin versant. Elle se localise uniquement dans certains villages, souvent les plus pauvres tel que Kaladouki. La référence à l'âge des arbres s'explique par le fait que bon nombre de ces derniers sont d'une part victimes de leur vieillesse (déracinés par le vent), et d'autre part morts sur pied en attente d'être « couchés » par l'action éolienne.

Enfin, catégorie un peu différente, les pêcheurs mettent au premier rang des causes la sécheresse 47,4 %, puis l'homme 36,8 %, et les animaux 5,3 %. Les valeurs sont donc à peu près équivalentes entre l'impact anthropique 42,1 % et celui naturel 47,4 %.

La première cause humaine, retenue comme ayant un impact sur le couvert végétal, est fort logiquement **l'agriculture**. Elle est énoncée dans 54 % des cas. Les éleveurs la mettent davantage en avant que les cultivateurs eux-mêmes (62,5 % contre 45 %). Ce fait semble logique aux vues des tensions qui apparaissent entre les deux activités, principalement en saison humide. A leur crédit, il est vrai que depuis 20 ans, de nombreux espaces ont été mis en culture afin de permettre une production agricole plus importante. Cette opération a été réalisée par de nouveaux arrivants, principalement dans les années 1990, désireux de s'installer dans la région. Elle a également été effectuée par des agriculteurs qui se sont retrouvés dans l'obligation de trouver de nouvelles terres face au manque de production et à l'appauvrissement de leurs champs. En effet, ce type d'agriculture peu modernisé, avec des rendements modestes, nécessite d'importantes superficies pour nourrir la famille et pour parfois dégager un surplus afin de le vendre. En effet, l'agriculture vivrière domine dans ce secteur, excepté au niveau des périmètres rizicoles du lac de barrage de Bagré.

La seconde cause diffère selon que l'on soit agriculteur ou éleveur. Les premiers soulignent également **l'importance de la coupe du bois dans 25,5 %** des cas, tandis que **les seconds mettent en cause leur activité dans 18,8 %** des cas. Il est vrai que dans la zone de Bagré, le cheptel est important. Il peut contribuer à la destruction de la flore et de la faune. Néanmoins, c'est au niveau des sols que son impact est le plus important. En effet, le piétinement conduit à la modification de leur structure, les exposant au processus érosif. Autant, le manque de prise de conscience de la perte en terre et de l'incidence de leur activité pouvait être reproché aux éleveurs, autant ce n'est pas possible ici. Ainsi, conscients d'avoir un impact sur le départ des particules, ils ont également souligné leur rôle négatif dans les modifications végétales. Une nouvelle fois, les agriculteurs ne mettent pas en cause la pratique de l'élevage dans la dégradation de l'environnement, mais uniquement lorsqu'il s'agit de leur champs. Seuls 3,1 % des cultivateurs la proposent comme un facteur de

dégradation. Le problème entre agriculteurs et éleveurs paraît donc se borner à la détérioration des terres cultivées. Il pourrait alors être intéressant de développer une approche commune dans la protection de l'environnement.

Néanmoins, il semble que la coupe des arbres ait un plus grand impact sur la dégradation du couvert végétal. Elle est soit directe (bois de chauffage, de construction), soit indirecte afin de mettre en culture de nouvelles parcelles. Le rôle joué par l'agriculture est alors amplifié. De plus, les prélèvements de bois de chauffe et de service s'effectuent sans actions de compensation. Pendant de nombreuses années, ils ont conduit à la diminution des ressources forestières. Cette cause est abordée en 3^{ème} rang (9,4 %) dans les réponses des éleveurs. Afin d'illustrer ces propos, il est intéressant de présenter la situation de la consommation de bois par commune dans le bassin de Bagré en 2006⁵⁴ (Tab. 22).

	Garango	Boussouma	Béguédo	Niaogho	Bagé	Total
1 ^{er} trimestre	1 879,13	923	3 955,5	1 618,06	233,5	8 609,19
2 ^{ème} trimestre	1 889	825	3 500	1 580	147	7 941
Totaux	3 768,13	1 748	7 455,5	3 198,06	380,5	16 550,19

Tab. 22 : Volume de bois (stère) prélevé par communes en rive gauche

Source : Rapport d'activité DPECV/BLG, Mai 2006

La troisième catégorie, chez les agriculteurs, correspond à **l'accroissement démographique (16,6 %)**. A l'inverse, il s'agit du dernier facteur évoqué par les éleveurs (3,1 %). Pourtant, cette croissance est bien réelle. La moyenne nationale est de 3,12 % et l'indice de fécondité de 5,90 (Atlaséco du monde, 2008). Celle de la Province du Boulgou est de 2,50 % (monographie de Tenkodogo). La ville de Tenkodogo a connu une croissance annuelle de l'ordre de 2,8 % entre 1975 et 1985, de 3,5 % entre 1985 et 1996 (en lien avec accroissement naturel mais aussi migratoire,) et de 2 % depuis cette période. Et celle des villages du bassin versant a été de 3,8 % entre 1975 et 1985, et de 3,4 % entre 1985 et 1996 (échantillon de 24 villages). Cet accroissement démographique a conduit à une extension des superficies mises en culture. Les agriculteurs ont conscience que l'augmentation de la population a entraîné un besoin alimentaire plus important. La solution a donc été de défricher de nouveaux espaces : les formations « naturelles » ont alors régressé ou se sont dégradées.

6,3 % des éleveurs évoquent **les feux de brousse**. Cependant, cette activité a été proscrite, et des agents forestiers sont régulièrement présents dans le secteur afin de surveiller le respect de cette interdiction.

Cette pratique était employée par les agriculteurs désireux de redonner un gain de « vitalité » à leurs terres. En effet, le feu réduit les graines des mauvaises herbes et privilégie la culture au dépend de ces dernières. Il tue les parasites nuisibles auxquels les plantes sont particulièrement sensibles pendant la première phase de leur croissance. Ainsi, si le feu n'est pas trop intense et ne dure pas trop longtemps, l'effet de la chaleur sur la structure du sol peut être positif. Mais il s'agit d'un avantage à court terme. En effet, son action peut vite devenir

⁵⁴ Il n'existe pas de données pour la zone *stricto sensu* de la Doubégué.

négative si elle est incontrôlée et trop souvent répétée⁵⁵. De plus, les agriculteurs utilisent souvent les feux comme un outil de défrichement, et ils ne sont pas toujours bien contrôlés. Ainsi, cette pratique perdure (observation sur le terrain pendant le mois de juillet) (**Tab. 23**).

Les éleveurs les utilisaient également afin de procurer des repousses d'herbes fraîches (graminées vivaces) pour leur bétail, et d'éviter les déplacements à la recherche de fourrage. Cependant, depuis 2007, certains éleveurs (17,6 % des interrogés) de la zone pastorale participent activement à la surveillance des feux de brousse. Mais, la majorité des contrôleurs demeurent des agents des eaux et forêts.

Province	Superficie brûlée en 200 - 2004			
	Par les feux précoces	Par les feux tardifs	Par les feux précoces et tardifs	Total
Boulgou	12 256	111 031	11 863	135 150

Tab. 23 : Superficie brûlée (ha) en 2003 - 2004 dans la Province du Boulgou

Source : Cartographie des feux de brousse au Burkina Faso, DIEBRE, 2005

Enfin, les pêcheurs ont un avis assez partagé sur ces causes anthropiques. Leurs réponses se répartissent quasi équitablement entre les quatre facteurs que sont la coupe du bois (26,3 %), l'agriculture (21,1 %), l'élevage (21,1 %), et les feux de brousse (21,1 %).

En résumé, sur l'ensemble du bassin versant, le classement des causes anthropiques, jouant un rôle dans la dégradation du couvert végétal, s'échelonne ainsi **48,1 % pour l'agriculture, 22,7 % pour la coupe des arbres, 13,8 % pour l'accroissement démographique, 6,1 % pour l'élevage, et 3,9 % pour les feux de brousse**. De plus, il existe une **réelle prise de conscience de la dégradation de l'environnement** dans le bassin versant de la Doubégué et **une volonté des populations**, tout du moins d'une bonne partie, **de modifier leurs pratiques**.

Quant aux **conséquences de la réduction du couvert végétal**, l'ensemble des réponses converge dans la même direction. Les agriculteurs mettent en évidence une **perte de la fertilité des terres**, mais également **un manque d'eau**. Les éleveurs soulignent les **difficultés à trouver de la nourriture** en quantité suffisante pour les animaux. Les **causes** de cette raréfaction sont dues pour 26,3 % au **surpâturage**, pour 26,3 % au **climat**, pour 21,1 % à **l'agriculture**, pour 15,8 % à **l'accroissement démographique**, et pour 10,5 % aux **feux de brousse**. Une fois de plus les éleveurs ont pleinement conscience de l'impact que peut avoir leur activité sur leur milieu environnant. Quant aux pêcheurs, c'est avant tout la diminution des prises (78 %) qui est invoquée. En effet, les poissons peuvent se cacher plus facilement dans la vase. De plus, cette dernière catégorie socioprofessionnelle, bien que n'ayant qu'une faible influence sur le phénomène, **endure de lourds impacts**.

Ainsi, lors de la période charnière correspondant au début de l'hivernage (d'avril à juin auquel on peut y adjoindre le début du mois de juillet), « *les facteurs atmosphériques, phytogéographiques, anthropiques aussi interdépendants que les lignes de grains et leur agressivité pluviale et éolienne, le couvert et le sol faiblement recouvert, l'homme et ses*

⁵⁵ A partir de 200 °C, le feu détruit la structure du sol et le vide des micro-organismes, entraînant une baisse de la fertilité sur le long terme. La matière organique et les éléments nutritifs vite libérés par le feu sont rapidement décomposés par ce dernier et donc facilement transportable par l'eau et/ou le vent.

activités agricoles (nettoyage de champs, labour) concourent de manière étonnante et brutale à la déstabilisation de ce domaine savanien » (MIETTON, 1989). Les paramètres biophysiques du milieu et les actions anthropiques (modifications de l'occupation des sols, techniques culturales et antiérosive, etc.) sont donc essentiels pour comprendre les phénomènes d'érosion à l'origine du processus de sédimentation des lacs de barrage tel que celui de Bagré. Après avoir mis en évidence la régression des formations végétales, paramètre essentiel pour contenir l'érosion des sols principalement hydrique, il convient d'observer le mode d'action et la forme (en nappe, linéaire) du processus érosif à l'œuvre dans le bassin versant de la Doubégué.



Le bassin versant de la Doubégué, et plus largement l'ensemble du bassin du fleuve Nakambé, a connu une profonde mutation de son paysage. Le couvert végétal a fortement régressé au cours de ces vingt-cinq dernières années. Cette affirmation est validée d'une part par l'analyse diachronique et d'autre part par les enquêtes réalisées auprès des populations. Dès la fin des années 1970, la création du lac de barrage de Bagré est envisagée. Il est alors synonyme d'eldorado pour les burkinabés et la zone de Bagré devient très attractive. En effet, de nouvelles populations natives du Nord se sont installées dans cette région, ainsi que des personnes originaires des régions et des villes voisines. Ces mouvements se sont opérés dans un contexte de péjoration climatique, de réforme agraire et foncière, et d'accroissement naturel.

*Ainsi, au cours des années 1980, l'installation humaine s'étend à partir de la région comprise entre Zabo et Tenkodogo qui est plus anciennement peuplée. La brousse de Bagré est peu à peu recolonisée à partir du milieu des années 1980, et une course au défrichement se met en place. A la **pression démographique répond une pression foncière grandissante**, et l'idée de pénurie s'installe progressivement. L'ensemble des formations « naturelles » régresse, principalement la savane arborée, la forêt claire, et les formations ripicoles. A l'inverse, les espaces anthropisés s'accroissent (multiplié par plus de deux). Le couvert végétal est alors peu à peu dégradé.*

A partir du milieu des années 1990, le recul du couvert végétal « naturel » s'est accéléré pour la savane arbustive. En parallèle, l'emprise humaine s'est renforcée. Ainsi, en 2009, la situation s'est aggravée, surtout depuis les 5 dernières années. Une mise en culture totale s'opère depuis l'amont du bassin versant vers l'aval d'une part, et des interfluves en direction des vallées d'autre part. La rive gauche est davantage protégée que celle de droite. Au niveau de cette dernière, quelques exceptions existent où les populations ont été sensibilisées à la préservation de l'environnement par des associations ou des missions (Zaka, Sasséma, Ouréma, Kabri). Ainsi malgré, la dégradation générale de la zone, il faut garder présent à l'esprit ces exceptions et les prendre en exemple. Il est alors possible de préserver l'environnement tout en continuant à produire. C'est à partir d'exemples concrets, que l'idée essentielle de la protection du couvert végétal pour la conservation du capital sol, et donc de la ressource en eau, pourra être transmise.

*Les causes sont climatiques (diminution de la pluviométrie, irrégularité, mauvaise répartition), mais elles sont **principalement anthropiques** (mauvaise pratique culturelle,*

augmentation des champs cultivés, système d'élevage extensif, gestion inadéquate du couvert végétal, coupe de bois, etc.). Les impacts affectent l'ensemble des sphères tant naturelles (diminution de la ressource en eau, baisse de la fertilité, de la biodiversité, etc.) qu'humaines (pauvreté accrue, baisse de la production, des revenus, problème d'alimentation, diminution du bois de chauffe, etc.). La population met en avant l'ensemble de ces processus et souligne à quel point la dégradation de l'environnement est d'origine humaine. Néanmoins, il existe des différences entre les agriculteurs et les éleveurs. Les premiers ont davantage conscience de l'impact humain que les seconds. Toutefois, la majorité des personnes interrogées désire mettre en place des solutions afin de freiner la perte en terre sur leurs champs, et bon nombre d'entre elles agissent déjà.

En définitive, la dégradation se manifeste par la réduction du couvert végétal, suite principalement à l'action de l'Homme. Il s'opère une exacerbation de l'érosion hydrique. Le ruissellement en nappe s'est amplifié transportant de nombreuses particules jusqu'au différents cours d'eau. Ce sont les particules les plus fertiles, les plus riches en matière organique qui sont emportées. Les sols se retrouvent alors davantage fragilisés, pauvres et facilement érodables. En effet, suite à la régression du couvert végétal, on a pu mettre en évidence des processus érosifs d'ordre hydrique ayant des conséquences sur les sols cultivés, mais également sur les cours d'eau en les ravinant. L'eau ne stagne plus aussi longtemps qu'auparavant. L'Homme est autant victime que responsable de ces changements. L'agent anthropique a donc profondément modifié la physionomie du bassin versant de la Doubégué qui en subit actuellement les conséquences. L'érosion en nappe tend à être supplantée par l'érosion de type linéaire. Cette dernière est à l'origine de la formation de rigoles, de ravines, et de ravins, dont le nombre et l'extension ne cessent de croître augmentant le ruissellement concentré et arrachant davantage de particules des versants, mais aussi des berges des différents cours d'eau. Transportées jusqu'à la Doubégué et au lac, elles entraînent des risques pour le milieu naturel et humain. Ainsi, **l'Homme après avoir amplifié l'érosion hydrique en nappe a également modifié sa forme en développant la composante linéaire de l'érosion.**

Chapitre 5

L'homme, principal acteur du développement de l'érosion hydrique linéaire

Suite à un grand nombre d'études, menées entre autres par l'Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre - Mer (actuel IRD), le CTFT, le CIEH (Centre International des Etudes Hydrauliques), et le service national de l'Hydrologie, l'efficacité de l'érosion liée au ruissellement élémentaire en zone soudanienne est mieux connue.

Depuis de nombreuses années, il a été établi qu'au Burkina Faso, le principal facteur de la dégradation des sols est **l'érosion hydrique, mise en évidence dans le bassin de la Doubégué**. En effet, l'intensité des pluies, la configuration du terrain et la nature des sols favorisent cette forme d'érosion. De plus, ces derniers, pour la plupart sableux, sablo-argileux ou argilo-sableux, possèdent des horizons superficiels déstructurés suite essentiellement aux pratiques agropastorales. Ces sols sont alors principalement exposés à l'érosion hydrique. Selon DUPRIEZ et DE LEENER (1990), il s'agit « *d'un déplacement des composants du sol à la surface de la terre sous l'action de l'eau en mouvement* ». Pour BARTHÈS et ROOSE (2001), c'est « *la combinaison d'un détachement et d'un transport de particules par les gouttes de pluies et les eaux de ruissellement* ». Néanmoins, l'érosion hydrique prend des apparences différentes selon le modelé, le climat, le couvert végétal, la nature du sol, et le niveau d'anthropisation du milieu.

L'érosion hydrique diffuse est donc le principal facteur de dégradation du milieu. Son point de départ est l'érosion pluviale. Dans le bassin versant de la Doubégué, un seuil déclencheur, à l'origine d'importants transports de particules, a pu être mis en évidence : 25 - 30 mm de précipitations. Il s'agit alors de revenir succinctement sur les différentes formes et étapes de l'érosion hydrique diffuse en abordant l'érosion en nappe, les vitesses d'arrachement, etc.

Par ailleurs, un impact croissant de l'érosion linéaire s'opère, principalement sous l'influence humaine. Auparavant, ce type d'érosion était minoritaire. L'altération progressait au même rythme que l'entraînement sur les versants des produits de décomposition. Or, désormais, des niveaux profonds d'altération sont atteints par l'érosion. Ce type d'érosion s'est accéléré sous l'impact anthropique, suite à **la multiplication des défrichements** sur les versants, mais également à la dégradation des formations ripicoles depuis les années 1980. **Le bétail joue aussi un rôle lorsqu'il longe et piétine les berges**. Il convient alors de revenir sur le ravinement originel de bas de versant, mais également sur les différentes formes d'érosion linéaire présentes dans le bassin versant de la Doubégué : griffes d'érosion, *rills*, rigoles, ravines et ravins. Elles se localisent sur les versants (parcelles cultivées), le long des pistes (comme celle de Loanga) et des routes (RN 16, R 12), ou encore dans les bas-fonds. Les cours d'eau ont alors connu un creusement et un élargissement de leurs lits, et la mise en place des ravins s'accélère.

5.1 Une érosion hydrique diffuse avant tout

L'**érosion hydrique** est prédominante dans cette région du Burkina Faso. Elle est clairement mise en évidence par **85 % de la population**, alors que l'agent éolien est évoqué dans 14 % des cas. Les mécanismes de détachement mis en œuvre lors de l'érosion hydrique sont la désagrégation par l'éclatement (résultant de la pression de l'air piégé dans les agrégats secs brutalement humectés), la fissuration (gonflements et retraits différentiels lors des cycles d'humectation - dessiccation), la dispersion (diminution des forces de cohésion entre les particules colloïdes humectées), ou encore l'arrachement (dépendant de l'énergie cinétique) par les gouttes et les eaux de ruissellement (BARTHÈS et ROOSE, 2001). L'érosion pluviale est le point de départ des autres formes d'érosion. Il convient alors de la présenter ainsi que les formes et les étapes de celles de type hydriques.

5.1.1 L'érosion pluviale

L'agressivité de l'agent pluvial et l'importance de l'effet « *splash* » ont été présentées au cours du Chapitre 3. Il s'agit des deux traits caractéristiques de l'érosion pluviale qui est le stade initial de l'érosion des sols. Comme nous l'avons dit, ce phénomène est en partie lié à une **mauvaise répartition des précipitations**, mais aussi aux **pratiques culturelles** peu adaptées détruisant les sols, ainsi qu'à une **faible couverture végétale**. Cette action mécanique provoque une trituration des agrégats et une mobilisation des éléments fins. Par la suite, le ruissellement est plus efficace (FEODOROFF, 1965 *in* MIETTON, 1988).

Cette forme d'érosion dépend de plusieurs facteurs que sont l'érodibilité, l'état de surface, et l'agressivité des pluies. Le premier correspond à la sensibilité du sol à l'érosion. Il est défini par l'indice de Hénin et renvoie à la stabilité structurale. Les éléments importants à prendre en compte sont alors les argiles et la matière humifère qui facilitent la stabilité des agrégats du sol superficiel. Or, dans notre région d'étude, cette dernière est faible. Les sols de la zone ne disposent que de **peu de matière organique, de l'ordre de 1 à 2 %** (BOULET, 1975), et la **présence d'argiles a été peu identifiée lors de nos prélèvements de sols**. Par ailleurs, une large part des sols ferrugineux sur granite a des **horizons sableux**. Ils sont alors **sensibles à l'érosion pluviale**. Cette action est renforcée lorsqu'elle s'opère sur des champs où le stock d'humus diminue par minéralisation en l'absence de fumure. Le deuxième facteur (l'état de surface) renvoie à la vulnérabilité des sols lorsqu'ils sont travaillés. Cette **action pluviale serait d'ailleurs plus efficace que le ruissellement sur les sols cultivés**. Cela expliquerait en partie que, dans le bassin versant de la Doubégué, **les premiers écoulements soient les plus chargés**. Quant au dernier paramètre (l'agressivité des pluies), il est important en particulier sur les sols nus ou travaillés. Il faut également prendre en compte l'intensité et la durée de l'événement pluviométrique. En effet, TRICART (1972) souligne que « *la destruction des agrégats est un phénomène cumulatif ; les gouttes successives atteignant les mêmes agrégats ajoutent leurs effets* ».

La pellicule de battance est issue de cette action mécanique, elle diminue l'infiltration au profit du ruissellement. Ainsi **la battance** des gouttes de pluies est la principale cause de ce processus de dégradation. Ce dernier constitue l'érosion élémentaire aboutissant à une désagrégation des particules. La battance prépare et déplace le matériel, et résulte de la désagrégation des mottes de terre et du détachement des particules sous l'action des pluies. Les mottes « fondent », et la surface se colmate formant ainsi une croûte de battance. Cette

dernière diminue la perméabilité du sol et le rend plus sensible au ruissellement. Selon MIETTON (1988) pour une averse de 20 mm (peu agressive) 2,5 t/ha sont remués et pour 40 mm (agressivité moyenne) : 7,5 t/ha. Ces conclusions sont confirmées par nos observations qui seront davantage développées dans le chapitre 6. En effet, lors de **l'étude de la turbidité des cours d'eau**, l'existence d'un **seuil déclencheur** a été mise en évidence aux alentours de **25 - 30 mm (4,7 t/ha) de précipitations**. Le système s'enclenche et un apport important de particules en direction des cours se produit. L'accroissement des valeurs de turbidité s'observe le jour même. Si les pluies ont un total pluviométrique inférieur, il s'opère davantage un effet de dilution.

Il s'agit du point de départ pour les autres formes d'érosion hydrique. Dans le bassin versant de la Doubégué, il semble que l'action de l'érosion pluviale soit importante, justifiée par les courbes de concentration et les turbidigrammes qui ont un pic pendant les premiers écoulements. En définitive, **le ruissellement intervient moins sur l'érosion, au sens strict, mais davantage sur le transport de particules** (MIETTON, 1988). Les vitesses minimales nécessaires à l'arrachement (20 cm/s) sont rarement atteintes. Cependant, lorsque le couvert végétal est très faible, le ruissellement est également à l'origine de la formation du glakis ; et cette forme morphologique favorise ce type de ruissellement.

Cela est moins vrai en aval des versants, où l'écoulement est plus rapide. L'érosion en nappe agit par cisaillement, entraînant la mise en place de micro-marches d'escalier d'une hauteur de quelques millimètres à quelques centimètres. Par ailleurs, ces **bas de versants sont des zones charnières aux formes spécifiques** (des plaques nues, des entailles linéaires) traduisant un **ruissellement concentré**. Des rigoles au profil en berceau ou des ravineaux sont visibles, ou encore des ravines plus profondes et encaissées sièges d'une dynamique plus active. Ces formes rencontrées le long des pistes, des routes, et en bas de versants sont en lien avec **une augmentation des pentes ou/et avec l'érosion anthropique visible sur les versants**. Les pistes jouent un rôle essentiel en collectant les écoulements concentrés. Des ravines peuvent être également fonctionnelles, même sous faible averse. Elles peuvent aussi se greffer sur une rupture de pente. Quant aux ravins, ils sont plus encaissés dans les bas-fonds, où la dynamique érosive doit être envisagée à l'échelle du bassin versant.

Ainsi, l'érosion pluviale n'est donc pas le seul mécanisme à l'œuvre dans le bassin versant de la Doubégué. En effet, suite à la régression du couvert végétal, les autres processus entrent davantage en jeu qu'auparavant. Le ruissellement se développe plus. Il faut, à présent, analyser **l'érosion hydrique diffuse qui a une action grandissante en particulier dans le transport des particules**.

5.1.2 L'érosion hydrique diffuse

Dès que la valeur des précipitations instantanées est supérieure à la possibilité d'infiltration « *i* » du sol ou du manteau affleurant, un ruissellement diffus se met en place. Il peut être lié à l'intensité des précipitations. Cependant, le plus souvent, son origine est à associer à l'effet « *splash* » qui éclate les agrégats et colmate les pores. Comme dit précédemment, le rôle du ruissellement dans le mécanisme érosif est lié à la structure et au

comportement des horizons de surface. Les facteurs de résistance du milieu sont le couvert végétal, la pente, la nature du sol, les techniques culturales, et les structures antiérosives.

Si l'apport est légèrement supérieur à « *i* », alors le film d'eau est trop faible, et le moindre obstacle l'oblige à se subdiviser en filet afin de le contourner (ruissellement diffus). Cependant, si tous les filets d'eau se rejoignent, l'averse se traduit par un écoulement en nappe continu de quelques centimètres de profondeur transportant alors, le long des versants, les particules fines, les limons, et les sables dégagés en partie par l'impact des pluies. Il s'agit souvent **d'une eau très chargée. Ce processus s'opère en particulier en début de saison humide lorsque les parcelles sont à nu.** Il se forme, principalement, au niveau du haut et du moyen glacis. Les **pertes, les plus importantes par l'intermédiaire de ce processus, s'observent au cœur de l'hivernage** (juillet et août), comme à Belcé le 27 juillet 2009. Il s'agit du processus dominant dans le bassin versant de la Doubégué. Il s'est fortement développé à partir des années 1990, suite à la régression du couvert végétal.

Par ailleurs, le ruissellement en nappe joue un rôle important dans le façonnement des surfaces que sont les glacis. En effet, ce processus de dégradation est le plus efficace pour élaborer un glacis d'érosion dans les régions dépourvues de végétation protectrice et soumise à de très fortes averses, comme rencontrées dans les zones de mise en culture du bassin de la Doubégué. Cependant, la présence d'un relief de type glacis explique la prédominance de ce type de phénomène. Il existe donc une **relation entre la forme géomorphologique et le processus de dégradation**. Dans ce cas précis, il se traduit par un décapage pelliculaire généralisé observable sur l'ensemble des espaces dépourvus de couvert végétal.

5.1.2.1 Les différentes formes et étapes de l'érosion hydrique

L'érosion en nappe est le stade initial de l'érosion hydrique. On parle aussi d'érosion aréolaire (*sheet erosion*). L'énergie des gouttes de pluies s'applique à toute la surface du sol et le transport des matériaux détachés s'effectue par le ruissellement en nappe. Le sol est dégradé sur l'ensemble de sa surface. Ce processus est alors peu visible. A titre d'exemple, pour une érosion de l'ordre 15 à 30 t/ha/an (ce qui est important), la perte de hauteur est faible : 1 à 2 mm. Néanmoins, elle peut être **combinée à une forme d'érosion mécanique sèche et entraîner un décapage de la majorité de l'horizon humifère en quelques dizaines d'années**. Le signe reconnaissable de l'érosion en nappe est la présence de plages de couleur claire aux endroits les plus décapés, les plus agressés (haut de collines, ruptures de pentes). En définitive, une squelettisation des horizons superficiels apparaît, par perte sélective des matières organiques et des argiles, laissant en place une couche de sable et de gravier plus claire que l'horizon humifère sous-jacent. De nombreux sols du bassin versant de la Doubégué sont affectés par ce mécanisme (**photo 43**), principalement dans ses secteurs amont et aval.

Par ailleurs, suite à la disparition de cet horizon humifère et au travail profond du sol, une « remontée des cailloux » (ROOSE, 1973) s'opère. En effet, comme nous avons commencé à l'évoquer dans le Chapitre 3, au niveau des sols cultivés, l'érosion en nappe entraîne sélectivement les particules fines (argiles et limons), les matières organiques, le fer, la silice et l'alumine liés à la matière organiques. Les sables et les graviers s'accumulent dans l'horizon de surface qui présente alors un aspect soit gravillonnaire, soit sableux (**photo 44**). **L'appauvrissement est quasi général dans les sols cultivés.** Ce processus est une réalité

dans le bassin versant de la Doubégué. Les relevés de sols ont ainsi confirmé la prédominance de sols grossiers (cf. Chapitre 3). Les conséquences sont l'épuisement du sol en matière organique et en éléments minéraux, la détérioration de la structure, l'acidification et la toxicité en certains éléments, l'augmentation de la salinité, et l'infestation du sol par des espèces adventices.



Photo 43 : Horizons différenciés
Cliché : E. Robert, 2009



Photo 44 : Sol gravillonneux
Cliché : E. Robert, 2008

Ce type d'érosion comprend donc différentes étapes. Le ruissellement diffus dans un premier temps qui peut par la suite se transformer en un écoulement en nappe par le franchissement de la limite de liquidité sur une épaisseur de quelques centimètres au-dessus d'un plan de discontinuité. De grandes surfaces d'ablation aréolaires s'élargissent, limitées par une succession de micro-marches disposées en arc autour du secteur le plus érodé. **Dans la région de la Doubégué, l'érosion en nappe est la plus généralisée.** Selon BRABANT (1992), l'érosion diffuse en nappe est « *un véritable cancer qui lentement et insidieusement ronge les terroirs cultivés* ». Il s'agit de la « *plus grave menace pour les terres africaines* ». De plus, ce type d'érosion ne peut être séparé de **l'activité humaine**, en particulier, dans les **terres sableuses** dominantes dans notre région d'étude. **Ce processus est d'autant plus actif que la densité du couvert végétal est faible.** Or, dans le bassin versant de la Doubégué, depuis deux décennies, ce dernier est en recul. **Les sols sont alors davantage soumis à l'érosion en nappe.** Elle affecte des **surfaces plus importantes qu'auparavant.** Dans les **années 1980**, elle se limitait essentiellement à **certains secteurs amont du bassin.** Puis **dans les années 1990**, elle a affecté **plus d'espaces en particulier dans la zone médiane.** Et **plus récemment**, elle tend à se développer **dans la région aval.** En définitive, elle s'est **étendue et accrue dans l'ensemble du bassin.** Ce type d'érosion est insidieux. En effet, lorsque les impacts sur la productivité deviennent visibles, cela signifie que le potentiel de fertilité est déjà fortement atteint. La restauration sera alors problématique. Ainsi, dans ces régions où les sols sont peu épais, quelques décennies suffisent pour tout déblayer.

Par ailleurs, il existe un lien entre écoulement et érosion. En effet, **la modification du régime hydrologique est liée à la dégradation des états de surface et donc aux modifications d'occupation des sols.** Il s'agit de l'élément déterminant, souligné au cours des Chapitres 3 et 4. **Le ruissellement devient plus agressif lorsque s'opèrent des activités**

humaines. Or, au cours des deux dernières décennies, dans le bassin versant de la Doubégué, la mise en culture s'est fortement développée. **L'emprise humaine est devenue supérieure aux formations végétales « naturelles ».** Parallèlement, le ruissellement s'est alors accru. Les parcelles cultivées connaissent une baisse de la teneur en matière organique, un changement de texture, une faible perméabilité, et un risque d'accélération des écoulements dans le cas d'une longueur importante. Le ruissellement sous culture est alors de 6 à 18 %. Sur sorgho butté, l'érosion est de l'ordre de 3 à 14 t/ha/an. **La pauvreté des sols** (sur sols ferrugineux gravillonnaires : érosion de 11 à 21 t/ha/an) **combinée à l'extension des zones sans végétation et à la formation d'une pellicule de battance fournissent des eaux de ruissellement.** Sous couvert végétal, les faibles pentes du bassin versant de la Doubégué ont un impact modéré (ruissellement de 0,2 % à 22 % et érosion de 0,03 à 0,93 t/ha/an) (MIETTON, 1988). Toutefois, lorsqu'elles sont à nu, leur longueur va permettre l'accroissement du ruissellement. Ainsi, afin de limiter cette érosion, il convient d'avoir un bon mode de préparation du sol et une bonne restitution des résidus de culture. Enfin, **sur sols nus, le ruissellement est de l'ordre de 47 % et l'érosion de 35 t/ha/an** (MIETTON, 1988).

5.1.2.2 Vitesse d'arrachement et de transport de l'écoulement

L'étude de l'érosion hydrique amène à prendre en compte la vitesse d'écoulement. L'écoulement exerce sur le sol une action cisailante, essentiellement sur les grains de surfaces. Elle sera d'autant plus forte que la vitesse du courant sera importante. Néanmoins, le sol peut résister au détachement de ses particules.

Par ailleurs, il faut tenir compte de la taille des grains : la vitesse à laquelle les grains sont enlevés par l'écoulement dépend de ce dernier critère. Il s'agit de la vitesse dite critique. La vitesse nécessaire au transport d'une particule décroît lorsque la dimension des grains s'accroît entre 0,01 et 0,2 mm (estimé par Hjulström en 1935). Au-delà, la vitesse nécessaire à l'arrachage s'accroît à nouveau. Le diagramme de Hjulström souligne que les **matériaux les plus sensibles à l'arrachement par le ruissellement** ont une texture voisine des **sables fins** de 100 µm. Les matériaux argileux sont les plus cohérents. Quant aux matériaux plus grossiers (particules lourdes), ils exigent une vitesse supérieure du fluide. Enfin, une dernière information doit être soulignée : les écoulements doivent être supérieurs à 25 cm/seconde pour pouvoir éroder les matériaux (**Fig. 40**).

Après avoir présenté l'arrachement, il faut revenir sur le transport. Une fois arraché, le grain peut être transporté, et cela, même avec des vitesses d'écoulement inférieures à celles d'arrachement. Néanmoins, il ne faut pas que ces vitesses deviennent inférieures à la vitesse limite pour la sédimentation des grains. Cette dernière dépend, quant à elle, directement de la taille des particules (**photo 45**). Ainsi, le transport des particules fines argileuses et limoneuses s'effectue facilement même pour de faibles vitesses ; alors que pour les matériaux plus grossiers que les sables fins, le passage de la zone d'érosion à la zone de sédimentation est plus rapide. En pratique, les sols ont une réalité plus complexe. Les particules fines, par exemple, peuvent être protégées par de plus grosses.

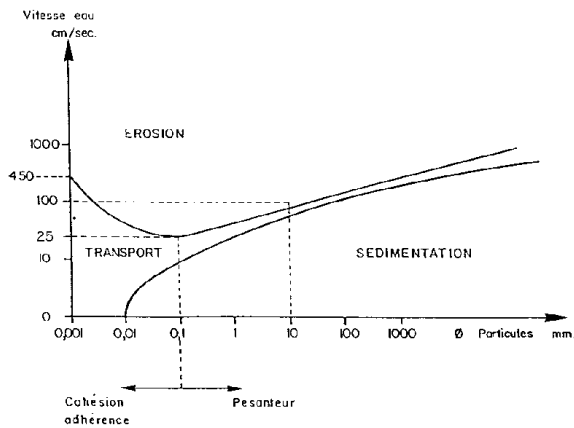


Fig. 40 : Diagramme de Hjulström



Photo 45 : Zone soumise à l'érosion hydrique : dépôt de graviers et transport plus loin des particules plus fines

Cliché : E .Robert, 2008

D'après nos relevés granulométriques, **dans le bassin versant de la Doubégué, la moitié des prélèvements sont des sables grossiers.** Le reste se divise en sables fins d'une part, et en limons grossiers et en argiles d'une part. **Ainsi, il semble que le premier type soit transporté sur de faible distance, alors que le second serait charrié sur de plus longue, plus en aval.** Ce dernier type de particules sera davantage retrouvé dans les cours d'eau, **constituant la part prédominante de la turbidité.** Toutefois, la mise en culture du bassin versant transforme l'environnement, qui devient moins protégé. **L'écoulement peut alors prendre davantage de vitesse et transporter les sables grossiers sur des distances plus longues qu'auparavant.** Ainsi, **l'extension des surfaces cultivées a modifié non seulement le mode de transport mais également le type de particules et les distances de transport.** **La proportion de ces éléments grossiers a dû croître au cours des années 1990 et 2000.**

Il ne faut pas uniquement relier le déclenchement de l'érosion à la vitesse de l'écoulement. C'est un paramètre fondamental. **La turbulence joue également un rôle dans le détachement des grains.**

5.1.2.3 Les limites de l'emploi de l'USLE dans le bassin de la Doubégué

Pour conclure sur l'érosion hydrique, nous présenterons en quelques lignes l'*Universal Soil Loss Equation* (USLE). Les recherches sur l'érosion ont débuté, aux États-Unis, à partir de 1932 sous la direction du service de la conservation du sol et du Ministère de l'agriculture. En 1959, Wischmeier aboutit à l'USLE liée à l'érosion pluviale (pluies et ruissellement), puis, en 1978, à la *Revised Universal Loss Soil Equation*. Selon ce modèle, l'érosion est une fonction multiplicative de l'érosivité des pluies (le facteur R qui est égal à l'énergie potentielle : $E \cdot I_{30}$) que multiplie la résistance du milieu, laquelle comprend quatre facteurs. L'érodibilité du sol (K) étudie la texture, la teneur en matière organique, la structure, et la perméabilité du sol. La topographie (SL) comprend la longueur et l'inclinaison. Le couvert végétal et les pratiques culturales (C) regroupent les renseignements sur la voûte de verdure, la couverture végétale (résidus de culture et végétation vivante sur la surface du sol), la biomasse du sol (matière végétale dans le sol), et le travail du sol (type et fréquence de travail du sol). Le dernier correspond aux pratiques antiérosives (P).

L'USLE n'a pas été retenue ici. D'une part, cette équation ne tient pas compte des interactions entre les différents facteurs, et elle néglige les relations complexes. D'autre part,

dans les régions peu accidentées, comme c'est le cas dans le bassin versant de la Doubégué, le rôle de la topographie ne peut être restreint à un simple critère de grandeur et de longueur de pente. Il est préférable de l'employer sur des pentes comprises entre 4 et 25 %, ce qui n'est pas le cas dans notre région d'étude. Enfin, BOLLINE en 1983 (cité par MARCARY et BERVILLE, 2003) critique les valeurs-seuils retenues pour caractériser les précipitations (type observé dans la plaine américaine). Seules les pluies provoquant des ruissellements et des érosions devraient être retenues. De plus, ce modèle ne s'applique qu'à l'érosion en nappe puisque la source d'énergie est la pluie. Or, comme nous allons l'analyser dans le point suivant, l'érosion de type linéaire se développe fortement dans le bassin versant de la Doubégué. Il ne s'agit plus à l'heure actuelle d'une forme mineure. Elle s'étend rapidement depuis 5 à 10 ans (en nombre et en superficie). Toutefois, l'équation de Wischmeier demeure un outil intéressant, mais qu'il faut utiliser avec précaution.

A titre indicatif, voici les valeurs qui pourraient être observées dans le bassin versant de la Doubégué. D'une part, en présence de cordons pierreux elle serait de 20 t/ha/an ($500 \times 0,25 \times 0,8 \times 0,4 \times 0,5$), et d'autre part sans cordons le résultat serait de 40 t/ha/an ($500 \times 0,25 \times 0,8 \times 0,4 \times 1$).

Jusqu'à la fin des années 1990, l'érosion hydrique diffuse prédominait dans le bassin versant de la Doubégué, et plus largement dans celui du lac de barrage de Bagré. L'érosion linéaire était une forme mineure, observable dans quelques zones fortement érodées et/ou dans les secteurs de bas de versant. Depuis, cette physionomie s'étend en termes de taille et de nombre, et sa formation s'accélère. De nouvelles formes linéaires apparaissent. Les rigoles naissent plus souvent dans les parcelles cultivées, parfois elles se creusent devenant des ravines, et les ravines des ravins. Les causes sont une nouvelle fois d'ordre anthropiques, et **ces formes marquent, à présent, nettement le paysage de la région de la Doubégué.**

5.2 Un impact de l'érosion linéaire croissant sous l'influence humaine

Originellement, les formes de ravinement s'observent dans les bas-fonds et dans le bas des glacis. Or, depuis une décennie, elles « grignotent » les glacis moyens. Ces derniers connaissent alors l'apparition de ravines, voire de ravins. Les érosions en nappe et en rigole restent dominante, mais pour combien de temps ? Les glacis de pente supérieure ne sont pas encore affectés. Ces évolutions se sont installées parallèlement à la réduction du couvert végétal suite à la mise en culture de nouvelles terres. L'agriculture a donc un rôle central dans ce changement, ainsi que l'élevage. La majorité des activités humaines conduit à une extension de l'érosion et au ravinement de sols. Il convient de revenir rapidement sur les modalités de mise en place des formes d'érosion, puis de présenter rapidement ces dernières, pour finalement exposer l'amplification de l'érosion linéaire observée dans le bassin versant de la Doubégué suite à l'accroissement de l'emprise humaine.

5.2.1 Un ravinement originel de bas de versant

L'érosion de type linéaire s'observe en particulier au niveau du bas de la pente des versants. Elle est essentiellement liée au ruissellement concentré. A partir d'un certain seuil de concentration, compte tenu de la nature de la surface, les filets sont capables de vaincre les

obstacles et de modeler leur propre lit dans le sol ou dans les matériaux affleurant s'ils sont affouillables. Selon HJULSTÖM (1935), il faut que ces filets d'eau acquièrent une énergie propre (supérieure à 25 cm/s) qui va créer une érosion limitée, dans l'espace, par des lignes d'écoulement. L'énergie n'est alors plus dispersée sur l'ensemble de la surface du sol, mais se concentre sur des lignes de plus forte pente.

L'existence de l'érosion linéaire montre que le ruissellement s'est organisé, qu'il a pris de la vitesse, et qu'il a acquis une énergie cinétique capable d'entailler le sol et d'emporter des particules de plus en plus grosses. L'énergie du ruissellement dépend du volume du ruissellement et de sa vitesse au carré. Ainsi les formules sont respectivement sur parcelle et sur bassin versant : $E_{\text{Ruiss}} = 1/2mV^2$ et $E_{\text{Ruiss}} = 1/2MGH$ (M : masse, V : vitesse, G : accélération ou champ gravitationnel, H : hauteur de l'objet au moment donné).

Les facteurs de résistance du milieu sont de trois ordres. Il s'agit de la pente et de la rugosité, de la surface du bassin versant et de la capacité d'infiltration (humidité du sol préalable à l'averse), et de la résistance du profil du sol, de son état à la surface du sol (organisation pelliculaire, fissuration, rugosité, orifice d'origine biologique) et de ses racines. L'érosion linéaire est fréquente dans les terres de savanes, surtout dans les sols argileux, tels que les vertisols, et le long des axes d'écoulement à partir desquels elle tend à se propager vers l'amont des bassins versant comme des tentacules. Ainsi, **proche de la Doubégué et de ses affluents, de nombreux espaces sont disséqués (photos 46 et 47)**. Bien que les pentes soient de l'ordre de 2 %, **le ravinement est très actif car les versants des glacis sont très longs et le ruissellement abondant**. Il y alors érosion par incision puis par creusements. La terminologie est basée soit sur la profondeur des chenaux, soit sur la comparaison des profils des chenaux avec le terrain avoisinant. On distingue les griffes, les *rills*, les rigoles, les ravineaux, les ravines et les ravins.



Photos 46 et 47 : Espace disséqué au site de Pesséré
Clichés : E. Robert, 2009

Par ailleurs, une des conséquences de l'écoulement concentré est la mise en place de ce qui peut être qualifié de « cône de déjection ». Il s'agit ici d'un amoncellement de particules fines soulignant la force de l'écoulement. Cette accumulation sédimentaire résulte d'un apport de sédiments concentré en un point, tel qu'observé à Belcé (**photo 48**), mais également à Douka (**photo 49**). Pour ces deux sites, **le cône de déjection s'est formé à partir**

d'un espace laissé le plus souvent à sec et qui n'est actif que lors des principaux événements pluvieux. Il devient un relais aux écoulements de versant en direction des cours d'eau. Les quantités de particules apportées jusqu'au cours d'eau sont donc amplifiées par la présence et le développement de ces formes linéaires qui jouent alors un rôle central pour expliquer les valeurs élevées de turbidité.



Photo 48 : Cône de déjection au site de Belcé



Photo 49 : Cône de déjection au site de Douka

Clichés : E. Robert, 2009

5.2.2 Les formes de l'érosion linéaire

Il existe différentes formes d'érosions linéaires issues du ruissellement concentré. Elles diffèrent selon le tracé, la longueur, la largeur, et la profondeur (**Tab. 24**).

Formes	Tracé	Longueur	Largeur	Profondeur
Griffe	Sinueux	< 1 m	< 10 cm	5- 6 cm
Rill	Rectiligne	Centaine de m	10 - 20 cm	5 - 10 cm
Rigole	Sinueux	Dizaine de m	5 - 70 cm	3 - 10 cm
Ravine	Peu sinueux	Centaine de m	50 cm à 1 m	30 - 50 cm
Petit ravin	Peu sinueux	Centaine de m	50 cm à 1 m	50 - 200 cm

Tab. 24 : Les formes d'incisions dues à l'érosion chronique

Source : d'après Berville, 2002

Les **griffes d'érosion** apparaissent dès que les filets d'eau réussissent à se concentrer et à inciser le sol. Ce sont des incisions discontinues et de petites tailles du sol dans la parcelle. Elles sont inférieures à 5 cm de largeur, à 3 cm de profondeur, et leur longueur dépasse rarement un mètre. Les griffes sont des microformes éphémères entaillant les micro-reliefs formés par les lignes de semis. Elles correspondent le plus souvent à des bandes en dépression plus ou moins marquées, créées par le modelé de surface laissé par les outils de travail. Théoriquement, l'érosion en griffe se rencontre principalement au niveau du bas glaciais, et peut donner lieu à des ravines plus ou moins profondes. Toutefois, **suite à la modification de l'occupation des sols, et donc à l'accroissement des superficies mises en culture, elles sont de plus en plus nombreuses dans le bassin versant de la Doubégué et se localisent au niveau des champs, principalement ceux qui sont le moins protégés par des résidus.**

Si la pente s'accroît, des incisions plus marquées se mettent en place : les **rills** et les **rigoles**. Elles ont une profondeur qui s'adapte au volume d'eau à écouler sans toutefois

excéder une profondeur de 10 cm. Ce sont de larges incisions dans le sol créées par le ruissellement concentré.

Les **rills** sont rectilignes pouvant atteindre une centaine de mètres, 10 à 20 cm de large, et 5 à 10 cm de profondeur. Il s'agit de formes stables, rectilignes parallèles les unes aux autres dans le sens de la pente et qui présentent des profils en long identiques à celui du versant (parallèles à la ligne de plus grande pente) perpendiculaires aux courbes de niveau.

Les **rigoles** se caractérisent par leur sinuosité. Elles sont moins longues (dizaines de mètres), mais peuvent être plus larges jusqu'à 70 cm et ont une profondeur de 3 à 10 cm (**Tab. 25**). Par ailleurs, il peut exister un système d'érosion de type rigole - inter-rigole. Il s'agit d'un processus associant une érosion linéaire en rigole et une érosion diffuse entre les rigoles (différent d'une érosion de talweg seulement concentré). Ce type d'érosion (rigole - inter-rigole) se manifeste généralement lors des pluies d'orages de forte intensité.

Les **rigoles et les rills** sont d'autant **plus rapprochées et denses que l'intensité pluviale** et la pente sont fortes, **la surface de sols fragile, et le couvert végétal faible**. Le **bassin versant de la Doubégué combine trois de ces quatre facteurs**. Elles se localisent principalement au niveau du bas glacis et au niveau des dépressions périphériques. Dans notre région d'étude, nous avons rencontré de **nombreuses rigoles à l'approche des cours d'eau et à la limite de plusieurs champs**. Ainsi, nos **différents sites de prélèvements d'eau** portent des traces d'érosion linéaire soulignées par **la présence de rigoles**, tel qu'à Zaba où elles prennent un aspect moins sinueux (**photo 50**). Comme pour les griffes d'érosion, **les rigoles apparaissent davantage dans les champs cultivés. Elles sont plus nombreuses qu'auparavant et s'étendent (photo 51)**. Par ailleurs, les griffes observées dans ces espaces anthropisés évoluent plus rapidement en ravine que par le passé (résultats d'enquêtes, Robert, 2008 et 2009).

Au fil du temps, ces formes d'érosion ont tendance à s'approfondir et à rapidement évoluer en **ravines**. Il s'agit de la *rill erosion* amorçant le ravinement (ravine puis ravin jusqu'à 10 m de large et 3 m de profondeur).



Photo 50 : Rigole observée au site de Zaba
Forme en augmentation
Cliché : E. Robert, 2008



Photo 51 : Rigole formée dans un champ à Gouni
Départ des particules les plus riches des champs mis en culture
Cliché : E. Robert, 2009

Le ravinement est également un phénomène linéaire (*gully erosion*). Ce processus s'observe lorsque l'érosion est liée à un ruissellement concentré en lien avec la baisse

progressive du niveau de base des pentes du terrain. Le ruissellement gagne alors en ampleur et surcreuse les rigoles. Elles évoluent par un frottement de fond, par l'action des sédiments transportés par le fluide, par l'effondrement des berges, et par le transport du matériau désorganisé. Les rigoles se transforment peu à peu en ravines puis en ravins.

La ravine est une incision très nette dans le sol à caractère permanent (**Tab. 25**). Sa largeur et sa profondeur sont respectivement supérieures à 30 cm et à 20 cm. Dans le cas des champs labourés avec une culture attelée, leur profondeur peut atteindre la semelle de labour. Les ravines se localisent dans les zones de concentration de ruissellement (dans des dépressions ou des talwegs, même faiblement marqués) Au cours de notre terrain, de nombreuses ont été observées, surtout **le long de pistes secondaires (photos 52)**. Leur tracé s'adapte à la topographie. Elles sont généralement uniques. La zone de collecte des eaux est plus importante que pour l'érosion de rigole et inter-rigole et leur lieu d'apparition est distinct. L'érosion en ravine s'accompagne généralement d'atterrissements très importants. Elles peuvent parfois atteindre plus de 10 m de large et 3 m de profondeur. Leur évolution est régressive. Les ravines reculent à cause du décapage de la terre par l'écoulement torrentiel, et des affouillements de cavités se mettent en place qui, à la base des berges, finissent par s'écrouler.

	Ravine	Rigole
Durée	Permanente	Plus ou moins saisonnière
Profil en long	La pente du thalweg peut être différente de celle du versant	La pente du thalweg est parallèle à celle du versant
Profil en travers	V ou U	U
Dimension	Longueur et largeur plurimétrique	Longueur plurimétrique, largeur décimétrique
Evolution	Régressive	Creusement le long du filet, « par l'amont »

Tab. 25 : Différence entre ravine et rigole

Sources : d'après Coulmeau, 1990, Touzani 1993, *in* Slimi, 2008



Photo 52 : Ravine formée le long d'une piste secondaire

Cliché : E. Robert, 2009

Par ailleurs, certaines ravines individualisées correspondent à d'anciens *rills* qui se sont approfondis (dans certains champs). Il existe également des ravines hiérarchisées comportant de nombreuses ramifications.

En définitive, **les ravines sont de plus en plus nombreuses dans le bassin versant de la Doubégué. Certaines apparaissent au niveau des champs ce qui était rare auparavant. Les personnes interrogées mettent également en avant cette réalité.**

La dernière forme visible est le ravin dont la profondeur peut atteindre deux mètres. Il apparaît lorsque les types précédents s'exacerbent et que les entailles s'approfondissent considérablement. Cette forme d'érosion est le stade avancé de l'érosion en rigole (ravinante) où les ruisseaux de surface ont creusé le lit à tel point que les opérations normales de travail du sol ne suffisent plus à le combler. **Cette érosion est souvent due à une surexploitation du milieu comme observée dans notre région d'étude.** Ainsi, l'érosion sous forme de ravin s'est particulièrement développée dans le bassin versant de la Doubégué. En théorie, la mise en place d'un ravin est lente. Or, ce n'est pas toujours le cas, comme depuis une dizaine d'années dans la zone étudiée. A titre d'exemple, **le ravin, le long de la route de Loanga, s'est formé en 4 - 5 ans.** Il est actif, la végétation ne peut se maintenir sur les bordures du fait d'une évolution rapide et d'un creusement excessif. **Les causes de cette évolution sont les défrichements, l'extension des cultures, et la destruction du couvert végétal de type forêt claire et savane arborée. Ainsi, dans le bassin de la Doubégué, l'érosion en ravin, est le plus souvent déclenchée ou accélérée par la combinaison d'une occupation inappropriée des sols, de précipitations exceptionnelles, et de sols pauvres et fragiles.** La surface ravinée croît et les têtes de ravins reculent.

5.2.3 L'amplification de l'érosion linéaire par l'emprise humaine

Les formes d'érosion linéaire se rencontrent essentiellement au niveau de trois secteurs de la zone d'étude : les versants (principalement sur les parcelles cultivées), le long des pistes et des routes, et dans les bas-fonds. Ainsi, elles se localisent en particulier au niveau des aires de passage des troupeaux et des parcelles situées dans la zone de marnage du lac. Ces formes sont également observables au centre des rues de villages orientées dans le sens de la pente, le long de l'ensemble des pistes et même des deux routes goudronnées du bassin versant de la Doubégué. De plus, elles s'accroissent (en nombre) dans les champs mis en culture (**photo 51**).

Auparavant, ce type d'érosion était minoritaire. Or, désormais, des niveaux profonds d'altération sont atteints. **L'arrivée de bovins et d'ovins et l'augmentation de la superficie des parcelles mises en culture** en sont l'explication. Un **changement s'est opéré dans les écoulements des eaux sur les versants.** Ce phénomène a conduit à de multiples conséquences, tels que la **canalisation de ces derniers dans les rigoles, le développement de vastes ravins au détriment des versants. L'érosion concentrée, canalisée par de multiples rigoles, prend donc peu à peu le pas sur celle en nappe. La capacité érosive s'est amplifiée dans l'ensemble du bassin versant. Toutefois, elle l'est davantage dans sa partie médiane.**

Par ailleurs, l'érosion régressive s'accroît au niveau des bas de versants par le recul de tête de petites vallées soulignées par la présence d'arbres en équilibre. Ce type d'érosion s'est accéléré sous l'impact anthropique, suite à **la multiplication des défrichements** sur les versants, mais également à la dégradation des formations ripicoles depuis les années 1980. **Le bétail joue aussi un rôle lorsqu'il longe et piétine les berges.** L'érosion a alors été exacerbée. De plus, suite à l'augmentation démographique, **les champs de brousse se sont multipliés, et les bas-fonds ont été mis à nus.** Cette consommation d'espace a eu des répercussions sur les modalités de ruissellement dans le fond de vallée. **Le ruissellement diffus est davantage continu (faute d'obstacles) et/ou la vitesse d'écoulement a augmenté.** La rugosité a diminué suite à l'abattage des herbes et des hautes graminées lors de la préparation des champs. Les écoulements se sont accélérés principalement en bas de pente par la présence de plaques de sols nus. Ainsi, **les bas-fonds se sont dégradés à partir des années 1980. Au cours des années 1990 et surtout lors des années 2000, ce phénomène s'est amplifié et s'est étendu à d'autres secteurs.** Les fossés localisés le long des pistes et des routes sont également fortement concernés par l'accroissement de l'érosion linéaire

Enfin, la physionomie des cours d'eau a aussi été modifiée suite aux changements d'écoulement de versant. Ils subissent les conséquences de cette évolution des processus érosifs. Il convient donc de les aborder dans cette sous-partie avant de présenter les zones nues rencontrées le long de la route reliant la RN 16 et la R 12, puis les formes d'érosion linéaire observées longeant la RN 16 et des différentes pistes, et l'accélération de la mise en place de ravins, illustré par celui de Loanga.

5.2.3.1 Le creusement et l'élargissement des cours d'eau

Il est important de présenter la modification observée au niveau de la majorité des cours d'eau du bassin versant de la Doubégué résultante des changements d'écoulement de versant. Il s'agit d'une part du **creusement** de ces derniers, et d'autre part leur **élargissement**. En effet, les bas-fonds subissent l'érosion des eaux pluviales qui sont par endroits creusés et présentent des ravines. Par ailleurs, une érosion latérale s'est opérée sur les berges des cours d'eau (**photo 53**) élargissant leur lit. Ainsi, **l'accroissement des ruissellements observé dans le bassin versant de la Doubégué favorise le creusement des chenaux d'écoulement.**

De plus, la majorité des personnes interrogées au cours nos deux enquêtes souligne le fait que certains secteurs ont été cassés, élargis ou approfondis.

Ainsi, à **Zaba**, la population a observé que le **cours d'eau s'était dégradé, cassé et que l'eau ne « restait » plus aussi longtemps** qu'auparavant dans son lit. Dès le mois de janvier, la rivière est intermittente. A la **fin des années 1980, les bas-fonds étaient bien profonds et les cours d'eau étaient plus petits. A présent, ils sont cassés, leur largeur s'est accrue**, et la force de l'eau écoulée est telle que le pont construit au niveau de Zaba a été détruit en 2008⁵⁶.

Cette situation est également visible à **Dazé**. Le cours d'eau, auparavant facile à traverser, s'est peu à peu **élargi et cassé** depuis le milieu des années 2000. A **Kokonoghin** et

⁵⁶ Il avait été bâti principalement pour permettre aux villageois au cours de l'hivernage de se rendre plus rapidement au CSPS de Ounzéogo, distant de 5 km. En son absence, lors de la saison des pluies, le cours d'eau est extrêmement difficile à franchir pour les malades. Les habitants doivent se rendre aux CSPS plus éloignés de Séla ou de Bagré situés à 10,5 km et 12 km.

à **Vagvagué**, les cours d'eau et les bas-fonds où se pratiquaient la riziculture se sont aussi **creusés**, cassés. **L'approfondissement** des cours d'eau s'observe à **Gouni**, à **Niambo**, à **Séla**, à **Zabatorla**, ou encore à **Ouanagou**. Les habitants de **Douka** résument ainsi l'évolution de la majorité des affluents de la Doubégué : auparavant le cours d'eau était plus petit alors que maintenant l'eau « passe » plus vite, ne reste plus, et « le cours d'eau se casse ».

L'élargissement des rivières est également formulé par les populations de **Séla**, de **Ouéloguen**. Au niveau de **Koama** et de **Loanga**, ce processus s'observe surtout depuis la fin des années 1990. Cette mutation est observable par le déracinement progressif des arbres localisés sur les berges (**photo 54**). **Pata** et **Ounzéogo** ne font pas exception, leurs bas-fonds se sont aussi élargis.



Photo 53 : Erosion des berges à Zaba



Photo 54 : Arbre déraciné au site de Bagré

Clichés : E. Robert, 2009

Par conséquent, dans l'ensemble du bassin versant, au cours des années 1990 et 2000, il s'est opéré un **creusement des cours d'eau et une diminution de la période pendant laquelle l'eau est présente dans son lit**. Cette évolution a particulièrement affecté **la zone médiane du bassin versant de la Doubégué**. Ces changements touchent principalement les **secteurs amonts des cours d'eau** (Gouni, Séla, Ouéloguen, Ounzéogo, Douka, Niambo, Zabatorla), et secondairement ceux médians (Koama, Ouanagou, Pata, Vagavagué), et aval (Zabo, Dazé, Belcé, Loanga). Par ailleurs, **il apparaît que la rive gauche ait davantage subi de modifications que celle de droite**. Ce fait peut sembler surprenant en regard de la mise en culture plus développée en rive droite. Cependant, il ne faut pas omettre que les cours d'eau de la rive de droite présentent encore des formations ripicoles (Lango, Yayo, Bissane). Ainsi, bien que l'écoulement soit aussi important sur les versants de rive droite, il est ralenti par la présence de ce type de végétation. Sa vitesse étant diminuée, sa force de dégradation l'est aussi. A l'inverse, en rive gauche, **les versants des secteurs de Gouni, de Séla, de Niambo, de Douka, de Vagavagué ne sont guère protégés** par des formations naturelles.

L'Homme est une nouvelle fois le paramètre essentiel conditionnant l'évolution du modelé et donc celle des écoulements. Le climat joue un rôle secondaire, indirect, en contribuant par les sécheresses prolongées, à l'amaigrissement du tapis végétal. La réduction du volume pluviométrique annuel et l'accroissement des irrégularités interannuelles ont également eu des répercussions négatives sur l'hydrosphère.

Par ailleurs, dans le bassin versant de la Doubégué, suite à l'amplification des ruissellements, l'érosion en nappe a affecté davantage d'espace. Toutefois, de multiples marques d'érosion linéaire sont apparues et se sont multipliées principalement depuis la fin des années 1990. Afin d'illustrer nos propos, nous en présenterons plusieurs : les zones nues le long de la route reliant la RN 16 et la R 12, les secteurs de pistes en rive gauche, les marques le long de la RN 16, et le ravin de Ouéloguen au niveau de la piste de Loanga.

5.2.3.2 les zones nues le long de la route reliant la RN 16 et la R 12

Il existe sur la route RN16 une bifurcation permettant de se rendre à Bagré. Cette route goudronnée relie la RN 16 à la R 12. Le long de cette route, il existe de nombreuses zones d'érosion hydrique, dont 3 principales, soumises à une érosion en nappe. Cependant, elles présentent également des traces d'érosion linéaires (griffes, rigoles) soulignant le passage d'une érosion en nappe à une érosion concentrée.

La première zone (N 11 33'34''1 W 00 26'43''0) est un vaste espace où l'eau stagne temporairement. Les sols de cet espace sont **des sols ferrugineux lessivés, indurés, à concrétions** et localement hydromorphes. Une cuirasse est visible. Les traces de l'érosion hydrique sont particulièrement observables (**photo a de la Planche photos 11**). Le passage de l'eau est souligné par un tracé sinueux visible (au premier plan de la photo a) délimité par quelques herbes sèches jaunâtres. Il souligne, le cheminement de l'écoulement jusqu'à cette zone dépressionnaire. L'eau a peu à peu façonné ce paysage. Il est totalement représentatif des secteurs rencontrés tout le long de cette voie, de même qu'au niveau de la RN 16.

La seconde zone (N 11 34'11''8 W 00 25'59''0) présente une terre légèrement moins rouge. Les sols sont aussi **ferrugineux lessivés, indurés, à concrétions** et localement hydromorphes. L'espace n'est pas encore totalement asséché. Une flaque d'eau demeure (**photo b de la Planche photos 11**), et l'aspect est plus boueux. Cette zone présente la marque du passage d'un ou de plusieurs troupeaux. Ce point d'eau doit être utilisé par les animaux de la concession voisine, ainsi que par les troupeaux transhumants empruntant cette route en direction du Togo ou du Ghana. L'espace apparaît comme moins dépressionnaire que la zone précédente. Une nouvelle fois, ce secteur a été façonné par l'érosion hydrique (premier plan du premier cliché). Ainsi, au centre du cercle rouge, des griffes d'érosion sont visibles.

D'autres formes d'érosion linéaire existent. La plus marquée se localise à droite. Elle s'étend sur 6 m, et a une profondeur maximale de 45 cm. Il s'agit d'une ravine (**photo c de la Planche photos 11**) assez homogène. Toutefois, sa tête est plus profonde que sa partie médiane (15 - 20 cm) (**photo d de la Planche photos 11**). Celle de gauche présente une physionomie différente : sa tête est plus marquée (fortement creusée et attaquée par l'eau), sa profondeur atteint jusqu'à 80 cm, mais diminue très rapidement, et sa longueur est de 8 m. Cette forme est une rigole évoluant régressivement en ravine (**photo e de la Planche photos 11**). Il s'agit des deux principaux axes par lesquels l'eau concentrée arrive depuis la route. La différence entre ces deux formes linéaires rappelle que la progression de l'érosion n'est pas identique. Après avoir dépassé ces deux espaces linéaires, le ruissellement en nappe reprend ses droits. Enfin, plusieurs secteurs proches de la route présentent des marques d'érosion hydrique : la roche en place est attaquée (**photo f de la Planche photos 11**).



a : 1^{ère} zone d'érosion

Au premier plan marque sinueuse du passage de l'eau



b : Vue d'ensemble du second site d'érosion



c : Ravine côté droit

Ravine plus homogène et plus profonde



d : Tête de ravine côté droit

Tête de ravine particulièrement disséquée



e : Rigole évoluant en ravine (côté gauche)



f : Secteur proche de la R 12

Secteur soumis à l'action hydrique des écoulements issus de la route

Clichés : E. Robert, 2008

Planche photos 11 : Zones d'érosion rencontrées dans le bassin versant de la Doubégué : mise en place de ravines

La dernière zone (N 11 34'43''4 W 00 24'35''7) est un peu plus étendue que les deux précédente (**photos a et b** de la **Planche photos 12**). Le type de sol est identique. Une rangée de roche dure délimite de chaque côté ce secteur (**Photos c et d** de la **Planche photos 12**).

Sur le côté gauche, l'espace est formé de la roche en place, de cailloux, et de particules fines. Une partie de ces matériaux est autochtone. La roche a alors été attaquée par l'eau et par le vent. Le reste semble être d'origine allochtone transportée par l'agent hydrique, comme le souligne la présence d'un mini cône de déjection (**photo e** de la **Planche photos 12**).

Au centre, des cailloux sont présents, ainsi que de petites pousses révélant que l'eau a dû être présente et stagner (**Photo f** de la **Planche photos 12**). En effet, comme lors des deux cas précédents, il doit s'agir d'un point d'eau saisonnier où les animaux viennent s'abreuver. Les empreintes laissées par ces derniers confirment notre hypothèse (**photo g** de la **Planche photos 12**). Cette ressource en eau est disponible de la fin du mois de juin au début du mois de novembre. Les cailloux mesurent 20 cm sur 10 cm. Leur présence souligne la puissance du mode de transport qu'est le ruissellement. Les écoulements sont issus de trois directions du sud-est, du sud-ouest, et du nord-est. Par ailleurs, le sol est très sec et montre des marques de dessiccation, alors que 2,6 km en avant, la zone présentait encore un aspect boueux, humide, avec la présence d'une flaque d'eau. Le temps de stagnation de l'eau est donc plus court, et les petites zones dépressionnaires sont moins marquées que dans le cas précédent.

Comme pour les deux autres secteurs, l'espace le plus proche de la route a également un aspect gravillonnaire (présence d'un épandage gravillonnaire). D'une part, le matériau issu de l'amont a été déposé par le ruissellement lorsque la vitesse a diminué au point que s'opère le dépôt. D'autre part, cet agent hydrique a attaqué l'horizon superficiel en place. Il l'a érodé et a arraché les particules fines laissant en place les éléments les plus grossiers. Ce secteur présente aussi des traces laissées par l'érosion hydrique en nappe (**photo h** de la **Planche photos 12**).

Ces trois secteurs distants chacun de 2,5 km ont permis de présenter ces zones nues rencontrées dans l'ensemble du bassin versant de la Doubégué. Elles s'observent principalement le long des deux routes goudronnées de cette région. Ces espaces sont alors peu à peu gagnés par les formes de l'érosion linéaire comme le soulignent ces rigoles évoluant en ravines. Ce sont des espaces sur lesquels plus rien ne pousse, mais dans lesquels l'eau stagne, permettant ainsi au bétail de s'abreuver quelques mois de l'année. Des problèmes existent avec les cultivateurs voisins de ces points d'eau. Ils se plaignent davantage de la divagation des animaux sur leurs champs mangeant leurs résidus de culture laissés sur place afin de protéger leurs sols.

5.2.3.3 Les marques le long de la RN 16

La RN 16 est l'axe le plus emprunté en rive gauche du bassin versant de la Doubégué, reliant Tenkodogo à Cinkansé (frontière avec le Ghana et avec le Togo). Elle porte de nombreuses traces d'érosion linéaire dont les deux plus importantes se localisent au niveau de Gouni Peul et de Zano.



a et b : Vue d'ensemble de la troisième zone
Secteurs délimités de part et d'autre par une rangée de roches dures



c et d : Zooms sur deux secteurs de roches dures délimitant la zone d'érosion côté gauche (dos à la route)



e : Mini cône de déjection
Zoom sur la zone présentant des matériaux autochtones et allochtones



f : Zoom sur la zone centrale
Cailloux et jeunes pousses (présence récente d'eau)



g : Traces de passage d'un troupeau et de dessication



h : Secteur localisé proche de la route
Marques d'érosion hydrique aspect plus gravillonnaire

Clichés : E. Robert, 2008

Planche photos 12 : Exemple de zones d'érosion dans le bassin versant de la Doubégué

-Elodie ROBERT-

Les risques de pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué (Burkina Faso) : pour une gestion intégrée

La région de Gouni (15 km de Tenkodogo) porte de nombreuses traces d'érosion des deux côtés de la RN 16. Ce secteur, le long de l'axe goudronné, souligne l'impact de l'érosion hydrique qui est ici de type linéaire. Les sols sont, une nouvelle fois, ferrugineux lessivés, indurés avec localement des concrétions. Néanmoins, les deux côtés de la route, ayant des physionomies différentes, doivent être distingués.

Le côté droit présente une forme d'érosion sinueuse, et trois teintes différentes sont clairement visibles (**photo a** de la **Planche photos 13**). La première, rougeâtre, constitue le sol et la roche en place présentant peu de traces d'érosion. La deuxième, blanchâtre, correspond à des portions de roches érodées par l'eau. Et la dernière, beige, sable, regroupe les dépôts de particules fines (**photo b** de la **Planche photos 13**) transportées depuis les versants (apport latéral), et l'amont de la ravine. En effet, ces zones érodées sont des ravines évoluant en ravin. Elles prennent la forme de fossés drainant les écoulements. Cet espace au niveau du village de Gouni souligne le rôle de « ces fossés » dans la canalisation des flux hydriques. C'est alors un exemple d'érosion linéaire. Au centre de la ravine, il y a essentiellement du sable, et quelques gravillons d'origine autochtone et allochtone. Il existe une nouvelle fois une différenciation au niveau des couleurs. Cet espace est attaqué à chaque passage de l'eau. Des brindilles sont également déposées dans ce secteur.

La forme régressive de ce type d'érosion est également visible. L'eau arrive depuis les versants, et à chaque passage elle érode ces espaces qualifiables de « berges ». Ces derniers reculent insidieusement. Ainsi, **la ravine** progresse rapidement parallèlement de deux façons, tout en **s'approfondissant**. D'une part, elle **recule régressivement** à partir de sa tête, d'autre part elle **s'élargi** suite au recul de ses formes latérales (**photo c** de la **Planche photos 13**).

Le côté gauche (direction Tenkodogo) est moins sinueux, plus large, et plus profond que la ravine de droite. Localisé à gauche de la route, il doit recevoir davantage de ruissellements issus de cet axe goudronné en raison de la pente qui, bien que faible, doit jouer un rôle. Il peut être qualifié de petit ravin (plus de 50 cm de profondeur).

Par ailleurs, il existe une différenciation entre ses côtés (**photo d** de la **Planche photos 13**). Celui de gauche est beaucoup moins disséqué. Il s'y produit une ablation généralisée sous forme de nappe. Alors que le côté droit est moins homogène. Ce dernier souligne à quel point l'eau concentrée, issue de la route, **attaque certaines zones préférentiellement**. Ainsi, l'élargissement est différent selon la « rive ». Comme pour la ravine, la différence de teinte n'est pas uniquement à relier aux dépôts, mais il peut également s'agir d'une roche (claire) érodée (**photo e** de la **Planche photos 13**).

Enfin, il est important de souligner que de nombreux petit cours d'eau débouchent au niveau de ces secteurs linéaires. Mais, il n'existe pas toujours des équipements évacuateurs, comme celui localisé au niveau de Zano. Or, leur présence plus régulière permettrait de casser la puissance des écoulements et de réduire l'approfondissement de ces ravines.

Le long de la RN 16, un des plus important espace disséqué se localise au niveau de Zano (**photo f** de la **Planche photos 13**). Il permet d'observer une autre marque de l'érosion hydrique linéaire par l'intermédiaire d'un cours d'eau éphémère qui reçoit en plus les écoulements des « fossés » (ravines et ravins dont deux exemples ont été présentés précédemment) longeant la RN 16.



a : Ravine côté droit de la RN 16
Différenciation de couleur : roche en place, secteur érodé et sables



b : Ravine côté droit
Dépôts de sables allochtone et autochtone suite à des apports latéraux et amont



c : Mise en évidence de l'érosion régressive
Dépôts de brindilles issues des écoulements de versant



d : Ravin côté gauche
Différenciation entre les 2 côtés du ravin : pan plan (érosion plus générale), et pan disséqué soumis aux écoulements issus de route



e : Roche claire après érosion



f : Zone d'érosion le long de la RN 16
Secteur fortement disséqué à la sortie de l'évacuateur

Clichés : E. Robert, 2009

Planche photos 13 : Formes linéaires rencontrées le long de la RN 16

Les sols sont toujours ferrugineux lessivés, indurés, à concrétions, et localement hydromorphes. Cet espace présente encore une différence de teintes révélant les roches érodées.

L'écoulement provient d'une zone plus en amont (côté droit de la route). La mise en place d'un évacuateur, permettant de faire passer l'eau, a canalisé les flux issus de ce versant et des « fossés » longeant la RN 16. Cet aménagement est à l'origine d'impacts négatifs soulignés par les marques d'érosion. Le paysage est totalement disséqué. Comme dans les cas précédents, une attaque latérale est visible par la présence de formes disséquées au premier plan, principalement en rive droite (**photo f** de la **Planche photos 13**). La RN 16 entre Tenkodogo et la bifurcation en direction de Bagré ne comprend que deux ouvrages de ce type (**photo 55**). Leur nombre limité explique la présence de ces « fossés » le long de la route goudronnée drainant les écoulements. Au cours du temps, ils s'élargissent et s'approfondissent à des rythmes de plus en plus rapides. S'ils étaient davantage développés, cela éviterait la mise en place de ce paysage disséqué observé à Zano. Ainsi, le manque d'ouvrage accélère la mise en place de l'érosion, et en accroît ses formes que sont les rigoles, les ravines et les ravins.

Par ailleurs, lors de la prise des clichés des zones de Gouni et de Zano (le 07/07/2009), la saison des pluies, commencée en mai - juin, n'était pas encore totalement installée. Elle prendra place réellement au début du mois d'août. Cette précision explique la présence d'éléments végétaux, dans le centre de ces deux secteurs érodés, qui se sont installés et développés suite aux premières pluies. Au cœur du mois d'août, il leur sera difficile de résister à la force de l'écoulement issu de l'amont de la route, mais également des champs latéraux.



Photo 55 : Passage au niveau de Zano
Cliché : E. Robert, 2009

Après avoir présenté, ce qu'il se produisait le long des deux routes goudronnées de notre bassin versant, il convient d'aborder les marques observées le long des pistes.

5.2.3.4 Les formes d'érosion linéaire observables le long des pistes

Le secteur représentatif des phénomènes d'érosion linéaire observés le long des pistes, principalement en rive gauche de la Doubégué, se localise au sud de Koama (N 11 39'45''4 W 00 24'13''3) (**Photo 56**). Une nouvelle fois, nous nous localisons dans un secteur portant des sols ferrugineux lessivés, indurés, et à concrétions. Ce sont des secteurs empruntés par

l'eau de façon saisonnière (lors de quelques événements pluviométriques annuels intenses). Ils servent alors de canalisateurs aux écoulements de versants. Nous sommes ici en présence d'une ravine. Parfois, il s'agit d'anciens lits actifs.

La roche en place est érodée. Le cœur du lit est occupé par des herbes. La photo a été prise un mois après la fin de la saison des pluies (10/11/2008). Ce type de végétation se développe dans les lieux humides non engorgés d'eau. Au premier plan, ces espèces sont desséchées. L'eau n'est donc plus présente dans le secteur depuis plusieurs jours et elle n'est restée que peu de temps dans ce secteur.

Le passage de l'eau a encore un tracé sinueux (**photo 57**). Les berges mettent également en avant l'action érosive par l'eau drainée dans ce secteur (premier plan de la photo). Comme dans un cours d'eau, la puissance de l'écoulement agit directement sur les berges, mais différemment selon que la rive est concave ou convexe⁵⁷. A l'inverse, en arrière-plan, le plan incliné souligne que l'agent hydrique agit différemment, de façon homogène, telle que l'action d'un ruissellement en nappe provenant des champs cultivés et des secteurs amont. Par ailleurs, il n'y a pas de blocs, mais principalement des sables et secondairement des gravillons (**Photo 58**). Cette observation renseigne sur la puissance de l'écoulement sur les versants liés à cet espace, mais également dans le tronçon linéaire même. Elle peut être qualifiée de **moyenne**, principalement entre **5 et 35 cm/s** et **inférieure à 50 cm/s** (diagramme de Hjulström). Ce fait souligne à **quel point les particules fines fertiles des champs sont arrachées de ces derniers pour être transportées jusqu'à ces éléments linéaires** localisés le long des pistes dans le bassin versant de la Doubégué.



Photo 56 : Secteur longé par la piste **Photo 57 : Zoom sur le secteur érodé** **Photo 58 : Particules fines dominantes**

Clichés : E. Robert, 2008

Dans ce secteur compris entre Koama et Ouanagou, toutes les pistes portent des traces d'érosion, et ce phénomène s'observe au niveau de la majorité des pistes comme celle de Bassaré, de Pata. Toutefois, **il semble davantage développé en rive gauche où les ravines sont plus profondes et plus longues.**

Par ailleurs, nous rappelons que les **éleveurs** mettent également en évidence le **surcreusement le long des pistes (57 %)**. Toutefois, la majorité ne relie pas ce phénomène

⁵⁷ L'agent hydrique érode la rive concave et perd de l'énergie, et les matériaux érodés sont déposés sur la rive convexe.

aux changements observés dans leur environnement : 7 % ne connaissent pas les raisons et seulement 39 % les associent.

Enfin, aux débouchés des rigoles et des ravines, un envahissement latéral des sables généralisé ou ponctuel se produit. Le premier se localise au pied de versant et forme une auréole blanchâtre alimentée par le ruissellement diffus. Le second comporte une accumulation de sable entraînant la progression de cônes de dimension métrique à décamétrique, déjà évoqués à Belcé et Douka.

Cette Partie 2 s'achèvera par l'observation plus précise des ravins dont le nombre croît tout comme leur vitesse de mise en place. Au cours de notre étude de terrain, deux principaux ont été rencontrés, l'un en rive droite et l'autre en rive gauche.

5.2.3.5 L'accélération de la mise en place des ravins

L'érosion en ravin est un des plus spectaculaire processus de dégradations des terres. Les ravins affectent de grandes étendues de terrain qui, dans notre bassin versant agro-pastoral étaient auparavant voués à la mise en culture. Ils fonctionnent comme **d'importants fournisseurs de particules pour des rivières, et ont donc une incidence sur le transport de ces dernières issues des versants**. Les ravins peuvent être qualifiés de **micro-reliefs** mis en place dans des roches friables, formés d'un « canal » aux berges hautes. Ils se caractérisent par un **écoulement liquide éphémère**. De plus, il ne faut pas oublier que nous sommes en présence d'un climat nord soudanien, d'une végétation qui a fortement régressé, et d'un impact anthropique qui s'est accentué. Dans ce contexte, les terrains sont extrêmement sensibles au ravinement.

Ainsi, dans le bassin versant de la Doubégué, **une accélération du creusement des ravins** est en cours. Leur **régime hydrologique dépend des pluies tombées**, et principalement des **comportements hydriques des versants, particulièrement de leurs surfaces nues**. Les écoulements dans ces ravins sont rapides. Par ailleurs, leurs têtes sont des lieux privilégiés de départ de matériaux. Ce sont les zones les plus dynamiques d'un ravin, à partir desquelles le ravin progresse de manière régressive. Cette instabilité est liée à la concentration de l'eau vers le sommet du ravin ou encore à la présence d'une infiltration au contact de deux entités structurales (le plus souvent des horizons différents du sol). Il s'agit d'une érosion régressive ou remontante. Les ravins progressent selon deux processus : de rivages englobant les éboulements, les glissements, les écoulements, et de transport longitudinal. Ce dernier, qualifié également de « nettoyage » du ravin des matériels écoulés, se produit sous l'action de la force tractrice de l'écoulement dans les limites du « canal ». Ces deux processus sont primordiaux dans le creusement de ces ravins.

Afin d'illustrer nos propos sur le ravinement, nous allons présenter plusieurs ravins, formés dans des contextes géologique et géomorphologique distinct. Leurs formes et leurs aspects sont donc différents.

Le long de la piste reliant Douka et Zaba, il existe une zone fortement disséquée (**photo a de la Planche photos 14**) par l'érosion hydrique. En effet, cet espace raviné s'est développé, par érosion régressive, depuis un cours d'eau en s'appuyant sur une faiblesse de la structure géologique et sur la géomorphologie. Ainsi, à partir de la rive gauche de cet affluent

(secteur amont), l'approfondissement remonte du bas vers le haut de la pente. Ce type d'érosion a transformé le paysage qui pourrait être qualifié de « *badlands* ».

Le secteur médian est assez sinueux (**photo b** de la **Planche photos 14**). Les berges présentent d'importantes marques d'érosion hydrique. Elles ont été littéralement rongées par cette dernière. En effet, cette zone subit l'action de l'érosion pluviale et celle de l'eau issue des écoulements de versant lors de principaux événements météorologiques. La puissance de l'eau chargée de particules en suspension érode ce secteur. Par ailleurs, la présence d'un arbre dessouché souligne l'importance de l'agent éolien comme relais de l'érosion hydrique. La profondeur dans le secteur amont du ravin est de 1,75 m (**Photo c** de la **Planche de photos 14**). Le paysage à cet endroit est fortement disséqué et raviné. Dans la partie médiane, la largeur est souvent supérieure à 50 cm et la profondeur d'1 m (**photo d** de la **Planche photos 14**). La partie la plus dynamique est assez logiquement la tête du ravin (**photo e** de la **Planche photos 14**).

Par ailleurs, à la différence des secteurs précédents, les sols ne sont plus rougeâtres. Ils présentent une différence de teinte grise et ocre. L'horizon de surface (type A) gris clair peut être qualifié d'organo-minéral. Il montre une structure massive, quelques racines, et mesure 30 cm (**photo f** de la **Planche photos 14**). Le second (ocre), qui pourrait correspondre à un horizon Bt, présente des accumulations de fer plus importantes que celles d'argile (présence de nodules ferrugineux), dont une partie migre. Plus en profondeur, la structure lithologique est altérée.

Des blocs de 60 cm sur 80 cm sont également présents. Ils soulignent la puissance de l'agent hydrique. D'origine autochtone, ils ont été arrachés aux berges par l'eau.

Après avoir présenté de multiples exemples de traces d'érosion en rive gauche du bassin de la Doubégué, nous achèverons cette sous-partie par la présentation d'**un ravin formé en 5 ans**. Il se localise au niveau de Ouéloguen, à quelques mètres de la piste de Loanga, le long de laquelle se sont formées de nombreuses ravines. Ce ravin s'étend sur **une centaine de mètres, et mesure 6 m de large pour 1,5 à 2,4 m de profondeur**. Il a été mis en place suite à l'augmentation du ruissellement en surface causée par une **extension des parcelles cultivées**. En effet, la mise en culture n'a fait que croître, surtout depuis la fin des années 1990. En 2007, cette dernière est alors quasi totale et les portions de sols dégradés se sont étendues. Le ravin de Ouéloguen s'est développé au cours des années 2000, suite à ces modifications de l'occupation des sols. Il s'est formé le long d'une piste secondaire. Le ravin s'est creusé sous l'effet de la circulation d'un écoulement abondant, et il a progressé rapidement vers l'amont, augmentant rapidement sa profondeur et s'élargissant peu à peu.

La zone aval est la plus large (plusieurs mètres) et sa profondeur est d'environ 1,50 m (**photo a** de la **Planche photos 15**). Le centre est composé de sables transportés par les ruissellements (en nappe et linéaire) depuis les versants jusqu'au ravin, dans lequel s'est concentré l'écoulement. Ces sables ont été déposés lorsque la puissance de l'écoulement a diminué. Une autre partie a été transportée jusqu'au cours d'eau. La végétation n'a pas pu se développer au cœur du lit. Toutefois, des paquets d'herbes bien vertes sont visibles au pied des berges.



a : Localisation de la zone disséquée
Au niveau de la piste reliant Douka à Zaba
Source : Google Earth



b : Secteur médian du ravin
Zone fortement disséquée



c : Partie amont du ravin
Secteur totalement disséqué et raviné, avec marques d'érosion éolienne (arbre déraciné)



d : Partie amont du secteur médian
Vue de la largeur (plus de 50 cm) et de la profondeur du ravin (plus d'1 m)



e : Tête de ravin
Zone active d'érosion régressive



f : Mise en évidence des deux horizons
Horizon organique supérieur et horizon inférieur davantage ferrugineux

Clichés : E. Robert, 2008

Planche photos 14 : Secteur très érodé le long de la piste Douka/Zaba

Par ailleurs, comme dans un lit de cours d'eau, la rive concave davantage attaquée, où les berges sont plus abruptes, se différencie de la rive convexe au niveau de laquelle la berge présente une forme en terrasse. Les débris végétaux, au centre (**photo b** de la **Planche photos 15**), révèlent le sens de l'écoulement. Le ravin s'élargit suite à l'attaque de l'agent hydrique (processus de rivage et de transport longitudinal), les berges sont « rongées », et des radicelles sont visibles (**photo c** de la **Planche photos 15**).

Plus en amont, la largeur décroît légèrement. A l'inverse, la profondeur s'est fortement accentuée pour atteindre plus de 2 m (**photos d et e** de la **Planche photos 15**). L'écoulement est particulièrement concentré dans ce secteur. Il creuse davantage le ravin qu'en partie aval où l'élargissement atténue la force du ruissellement. Les traces plus claires soulignent le sens de l'écoulement. Enfin, plus l'on se rapproche de la tête du ravin, plus la largeur se réduit de même que la profondeur (**photo f** de la **Planche photos 15**).

La dernière série de photographies expose l'amont du ravin prenant peu à peu l'apparence d'une ravine. La profondeur a fortement diminué. Au centre du lit, il y a peu de sables, et la roche en place est davantage visible. Ce secteur ne connaît pas de dépôt, il est totalement actif et il est parcouru par un ruissellement concentré dont la puissance permet le creusement de la roche en place. La tête du ravin est la portion dynamique depuis laquelle il s'étend par érosion régressive ou remontante (**photo g** de la **Planche photos 15**). Des secteurs de couleur gris foncé localisés principalement au cœur de ce secteur peuvent également être observés. Cependant, une différence de teintes est à noter. Le premier horizon est blanchâtre soulignant les migrations du fer et des argiles qui se retrouvent en partie dans le niveau sous-jacent de couleur ocre. Les secteurs plus clairs présentent des marques de concrétions (**photo h** de la **Planche photos 15**), et les filets gris se localisent dans le fond du ravin et au niveau des parois dans les secteurs les plus creusés là où l'eau s'est concentrée à la sortie des versants. Il s'agit d'un mélange de gravillons et de débris.

Enfin, ce site présente également des marques d'érosion qu'il est possible de rattacher à un type chimique soulignées par la présence de vacuoles (**photo i** de la **Planche photos 15**).

Il existe d'autres ravins dans le bassin versant de la Doubégué comme dans le secteur compris entre Ouréma, Bado et Zaka, Ils se sont formés en quelques années et atteignent 1 m de profondeur. Ces différents exemples soulignent à quel point **l'érosion linéaire** progresse. **Le paysage est alors de plus en plus disséqué. Ces formes se multiplient et menacent davantage de secteurs.** L'accroissement de la puissance des écoulements entraîne l'arrachement de nombreux débris et particules. **Les éléments les plus grossiers sont laissés dans les ravines et les ravins,** alors qu'une large part **des particules plus fines est transportée jusqu'aux différents cours d'eau. La turbidité est donc accrue entraînant des impacts négatifs sur le milieu naturel mais également humain.**



a : Secteur aval du ravin
Très large et moins profond (1,50 m)



b : Débris végétaux
Indiquant le sens de l'écoulement



c : Radicelles
Soulignant l'érosion des berges



d : Partie aval du ravin



e : Partie médiane du ravin
Secteur le plus profond



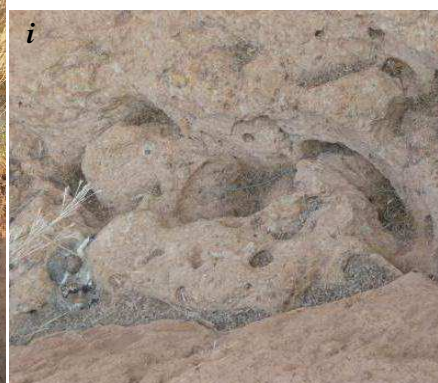
f : Remontée en direction de la tête de ravin



g : Tête du ravin



h : Présentation des différents horizons
h : Filets gris composés de gravillons et de débris végétaux



i : Erosion chimique par l'eau
i : Vacuoles

Clichés : E. Robert, 2009

Planche photos 15 : Ravin de Loanga



Dans le bassin versant de la Doubégué, l'érosion hydrique est le principal mode d'érosion. L'enquête effectuée auprès des populations confirme ce fait. Pour 85 % des interrogés, il s'agit du processus dominant. L'intensité pluviale, la configuration (longueur de pente), et la nature du sol favorisent l'érosion par l'eau. Lors des premières pluies, l'érosion pluviale est maximale car les sols sont laissés à nu. Tant que le couvert végétal était bien développé, son action érosive était supérieure au ruissellement ; excepté dans le bas des versants où il existait déjà un ruissellement en nappe en micro marche d'escalier ou concentré, visible par la présence de plaques nues, d'entailles linéaires et de rigoles.

L'érosion en nappe prédomine dans le bassin versant de la Doubégué. Les écoulements entraînent les argiles, les limons, la matière organique, le fer, la silice, l'alumine tandis que les sables et les graviers s'accumulent en surface. Ce type d'érosion est fortement lié à la forme géomorphologique qu'est le glacis. Il laisse à la surface un dépôt de gravillons ferrugineux et de cailloux quartzeux, rend difficile la régénération de la végétation « naturelle », et appauvrit davantage les sols. Comprendre son fonctionnement et localiser les zones qui sont les plus affectées, peut permettre la mise en place d'une lutte antiérosive efficace pour la végétation dite « naturelle », et la pérennisation des cours d'eau en leur évitant, ainsi qu'au lac, un ensablement trop important. De plus, les écoulements deviennent plus érosifs qu'auparavant (les sables sont davantage pris en charge). Les causes sont principalement anthropiques (mise en culture, extension des pâturages, prélèvement de bois, enlèvement des herbes coupées). Par ailleurs, les sols gravillonnaires favorisent le ruissellement. Ainsi, le type de sol et le mode de mise en culture ont un rôle amplificateur.

Par ailleurs, depuis 15 ans, l'érosion linéaire croît rapidement (en nombre et en superficie), et elle s'est accélérée depuis 5 ans. Les causes sont la régression du couvert végétal suite à la mise en culture, à l'appauvrissement des sols, à l'irrégularité pluviométrique plus importante, et à la modification des pratiques culturelles. Le facteur prédominant est une nouvelle fois l'agent anthropique. Le ravin au niveau de Ouéloguen, formé en 4 - 5 ans, souligne cette aggravation et cet emballement. De même, le long des pistes et des routes, on observe de plus en plus de ravines, voire de petits ravins. L'érosion linéaire signifie que le ruissellement s'est organisé. Elle se rencontre principalement en bas de versant, dans les sols argileux comme les vertisols, et le long des axes d'écoulement (piste de Loanga) à partir desquels elle se propage vers l'amont des bassins versants comme des « tentacules ». Les parcelles cultivées portent également davantage de rigoles. Le ravinement est donc un phénomène en plein essor, lié aussi à la longueur de la pente.

En définitive, trois effets sont observables : l'action pluviale est toujours aussi agressive (principalement en début d'hivernage), le ruissellement diffus est plus actif, et l'érosion linéaire est en expansion arrachant et transportant davantage de particules. Ces dernières sont alors emportées jusqu'au différents cours d'eau conduisant à un accroissement de la turbidité. La perte de la fertilité des sols n'est donc pas la seule conséquence observée. L'augmentation des matières en suspension est alors à l'origine de nombreux impacts négatifs sur la santé humaine, sur la biodiversité, sur les cours d'eau, etc.

Conclusion de la Partie 2

Au Burkina Faso, comme le souligne MIETTON (1988), il existe un haut potentiel d'agressivité érosive (précipitations, vents, chocs thermiques). L'interaction des agents d'érosion tropicaux se complexifie par les interrelations entretenues avec la végétation et les types de sols ; et, l'ensemble est amplifié par l'action humaine ayant dégradé la végétation. En d'autres termes, dans le bassin versant de la Doubégué, l'érosion des sols est liée à la forte intensité des pluies, à la lente pédogenèse, à un taux de matière organique faible, à des caractéristiques physiques défavorables, à une culture intense, et à une végétation dégradée principalement par l'Homme. Les sols sont alors plus fragiles car privés d'une bonne protection contre l'action pluviale. Dans un contexte d'accroissement démographique et d'augmentation des migrations, on assiste à la mise en place d'une occupation anarchique dominée par le type de culture extensive. La demande en terre est croissante et implique des défrichements. En effet, au cours de nos enquêtes les agriculteurs ont clairement mis en évidence les difficultés qu'ils rencontrent du fait de l'éclatement de la répartition de leurs champs : certains sont trop éloignés pour être enrichis ou protégés. De plus, laissés à nu lors des premières précipitations, ils sont très vulnérables à l'attaque des gouttes de pluies.

Ainsi, la savane est une terre de contrastes morphodynamiques soumise à la loi du « tout ou rien ». La savane naturelle est considérée comme pénestable. Mais, la rupture anthropique peut tout changer. Les coefficients de ruissellement sont alors supérieurs à 40 % sur des sols nus peu travaillés et l'érosion est de 0,02 à 0,4 t/ha/an sur culture manuelle, de 2,5 à 10 t/ha/an pour celle attelée (NEBOIT, 1991), et supérieure à 10 t/ha/an sur sols nus. Or, dans le bassin versant de la Doubégué, principalement depuis les années 1980, la mise en culture s'est accrue ainsi que les sols dégradés. L'évolution de leur répartition (1986, 1995, 2007) est respectivement de 26,5 %, 51,3 %, 62,2 % et de 3,6 %, 5,1 %, 7,3 %. Par ailleurs, l'érosion hydrique, processus dominant dans notre région d'étude, est un des phénomènes les plus actifs dans l'évolution du couvert pédologique.

Malgré ce constat, il existe une perception du phénomène par les populations riveraines et le désir de mettre en place des pratiques antiérosives. D'autres solutions sont aussi envisageables comme la multiplication des rotations culturales, et des pâturages. L'association de la culture et de l'élevage pourrait être à la base de l'intensification des cultures vivrières qui remplaceraient les engrais chimiques par la fumure organique.

Cependant, l'érosion du sol a également un impact négatif sur une autre ressource vitale pour l'homme : l'eau. Les particules arrachées lors du ruissellement sont transportées vers le talweg où elles se concentrent et modifient la qualité physico-chimique des eaux. Le transfert des matières en suspension des versants cultivés vers les cours d'eau contribue à augmenter la turbidité de l'eau diminuant alors sa qualité et colmatant les zones de frayères. Ainsi, l'érosion pelliculaire et linéaire entraîne l'envasement et l'incision des lits mineurs dans les bas-fonds. Des plaques de sols nus se forment souvent sur les bas de pente. De nouvelles rigoles apparaissent le long desquelles transitent des sables. Elles sont prolongées par un cône en éventail. Cette thématique des risques de pertes en eau tant en termes de quantité que de qualité sera le cœur de la prochaine partie.

TROISIÈME PARTIE

DES MODIFICATIONS HYDROLOGIQUES CROISSANTES VÉCUES PAR LES POPULATIONS

L'amplification du processus érosif sous l'impact combiné de la « Nature » et surtout de « l'Homme », remet en cause la qualité même de l'élément vital « eau ». D'une part, elle s'écoule de plus en plus chargée en matières en suspension et dissoutes dans la Doubégué et ses affluents. D'autre part, à ce problème physique s'associe un peu plus chaque année un risque chimique. En effet, dès qu'elles le peuvent, les populations font l'acquisition d'intrants afin d'augmenter leurs rendements. L'utilisation d'engrais et de produits phytosanitaires s'accroît et l'extension des surfaces mises en culture se poursuit. La résultante de cette expansion est bien souvent une augmentation des valeurs de la turbidité. Il s'opère alors une modification de l'état de l'eau.

C'est donc bien la **qualité** même de l'eau qui est remise en cause. Par qualité, nous entendons la qualité physique (turbidité), chimique (notamment les intrants engrais et phytosanitaires), et biologiques (bactériologies, OGM, etc.). Néanmoins, même si notre propos s'intéressera avant tout à la question de la turbidité, il convient de s'entendre sur la définition générale que nous donnons à la qualité de l'eau.

Cette question est essentielle dans ces lieux où la majorité de la population dépend de celle-ci puisée à l'état « brut »⁵⁸, sans aucun traitement, et consommée telle qu'elle. Au sens étymologique, le terme qualité est emprunté au latin philosophique *qualitas* (formé sur *qualis* « quel ») « *manière d'être, attribut propre de l'Etre, et en particulier l'aspect sensible et non mesurables des choses* » (ROBERT, 1ère éd., 1973). **La modification de la qualité renvoie à l'idée de pollution**, plus ou moins visible. L'étude de la turbidité, indicateur visuel, semble la mettre plus facilement en avant. Néanmoins, une eau très claire peut être très polluée. Le terme est issu du latin *polluere* « salir, souiller » et *pollutio* « salissure, souillure ». Le *Trésor de la Langue Française* la définit ainsi c'est une « **infection due à la présence (dans l'eau, dans l'atmosphère) d'agents chimiques, biologiques ou physiques** ». La contamination naturelle et celle anthropique pourraient être distincte. Or, l'emploi même du terme pollution renvoie à un impact humain. « *Polluer, c'est rendre malsain ou dangereux un milieu en répandant des matières toxiques. La pollution c'est un changement brusque, ou à long terme, de composants de l'air, de l'eau ou du sol, par une activité humaine qui provoque la dégradation de l'environnement humain, celui-ci étant souvent construit et ressenti* » (SALOMON, 2003). Enfin, « *un cours d'eau est considéré comme étant pollué lorsque la composition ou l'état de ses eaux sont, directement ou indirectement, modifiés du fait de l'activité de l'homme dans une mesure telle que celles-ci se prêtent moins facilement à toutes les utilisations auxquelles elles pourraient servir en leur état naturel ou à certaines d'entre elles* » (COLAS, 1973).

Nous choisissons donc de garder son **acception neutre au terme « qualité »**, et nous n'utiliserons le terme « **pollution** » **que dans son sens d'impact anthropique**, et non naturel.

La synthèse de toute la bibliographie sur la pollution des eaux n'a pas lieu d'être ici. Néanmoins, il est important de connaître le cadre législatif relatif à la qualité de l'eau au Burkina Faso. Le Code de l'Environnement comporte un Chapitre 6 intitulé « Pollution des eaux ». Il définit ainsi cette expression : « *il y a pollution ou acte de pollution dès lors qu'il y a modification des caractéristiques naturelles de l'eau et/ou si les usages qui en sont faits,*

⁵⁸ Le terme « brut » est entendu ici en opposition à l'eau que nous buvons dans de nombreux pays mais aussi à la capitale et dans certaines villes burkinabées.

sont ou risquent d'être remis en cause par cette pollution » (article 61). Il est intéressant de noter que les perturbations naturelle et humaine sont mises sur un plan d'égalité (environnement naturel et usage). Par ailleurs, le Burkina Faso reconnaît quatre types de pollution : physico-chimique, biologique, microbiologique, et radioactive. Ce chapitre fait essentiellement référence à la notion de rejets et non aux problèmes plus diffus de l'érosion de sols pollués ou non, du transport des produits phytosanitaires et autres. Ils ne doivent pas *« remettre en cause les usages qui sont faits de l'eau, altérer la couleur, l'odeur, la température et la qualité des milieux récepteurs, nuire aux animaux et au végétal, à leur alimentation, à leur reproduction et à la saveur de leur chair, porter atteinte à la santé humaine et animale »* (article 64).

En regard de cette définition, il semble donc que la **turbidité relève de la pollution** car elle modifie la transparence de l'eau. Elle peut avoir aussi des incidences sur la hausse des températures et plus largement sur le milieu par l'intermédiaire d'une pollution chimique ou microbiologique. **Cette troisième partie est alors un essai de caractérisation d'une large partie du processus érosif par l'étude de la turbidité.** Elle sera complétée par un diagnostic de la présence des phosphates, principal traceur des activités anthropiques. Dans le bassin versant de la Doubégué, ils sont principalement utilisés comme engrais (en source de phosphore). Des mesures de conductivité électrique *in situ* ont également été menées (Chapitre 6). Comme il n'existe pas d'études, de relevés effectués dans notre bassin versant ni dans les secteurs voisins. Nous nous sommes donc appuyés essentiellement sur nos mesures, exception faite pour le lac de barrage de Bagré où, chaque année, sont effectués deux analyses des paramètres physico-chimiques à deux dates différentes en zone amont et aval. Exutoire de l'ensemble des cours d'eau présent dans le secteur d'étude, il nous a semblé opportun de présenter les chiffres de ce plan d'eau, en dernier point du Chapitre 6, afin de mieux comprendre la région de Bagré.

Le Chapitre 6 présentera le travail central de cette recherche, à savoir **un diagnostic de l'état du paramètre « turbidité »** dans l'ensemble du bassin versant de la Doubégué. D'autres méthodes (comme l'analyse des MES) auraient pu être envisagées, mais nous avons choisi la turbidité⁵⁹.

Aux vues des moyens, de la période (durée) et de la difficulté du terrain, il était difficile de faire davantage d'analyses (analyse bactériologique, étude des nitrates impossible faute de réactifs disponibles au moment du départ). De plus, nous nous justifions d'une part par le fait que cette région du Burkina Faso connaît une empreinte humaine faible au sens industrielle du terme. D'autre part, dans cette région rurale, ce processus porte essentiellement sur les problèmes relatifs aux modifications environnementales liées principalement à l'impact agropastoral et démographique (Partie 2), mais aussi au changement climatique : morphologie des cours d'eau, temps de stagnation des eaux, modification de l'occupation du sol, quantité de matière transportée au sens stricte de la turbidité. Ainsi, nous gardons à l'esprit que, dans le cadre d'une étude de la qualité des eaux, nos résultats sont partiels. **Notre principal objectif demeure celui d'une caractérisation des zones soumises aux risques de**

⁵⁹ Ne disposant pas de laboratoire d'analyse sur le terrain, seul un turbidimètre (nécessitant comme seul matériel de l'eau distillée et du papier absorbant) permettait de disposer de résultats fiables

pertes en terre et en eau. Dans cette région, l'élément central à prendre en compte est alors essentiellement les **impacts liés aux turbides**.

Par ailleurs, nous tenterons de savoir s'il existe d'autres facteurs à prendre en compte, que ceux déjà mis en avant au cours de la Partie 2, influant sur les teneurs en fines et en éléments dissouts (phosphates) des cours d'eau. L'objectif final est **d'identifier les zones à risques**, afin de réfléchir aux solutions à mettre en place le plus rapidement possible (Partie 4). Il s'agira de mettre en évidence les secteurs les plus turbides et de les relier aux zones de départ de matière mis en avant au cours de la Partie 2 (les régions mises en culture où l'érosion en nappe est en essor et où l'érosion en ravine se développe, et les ravines et ravins).

L'étude de ces paramètres renvoie également aux notions de normes, de valeurs, de limites, et de seuils. Néanmoins, l'ensemble de ces chiffres n'est qu'un « garde-fou » afin d'éviter les catastrophes, produisant, sur le plan sanitaire, une illusion de sécurité. L'augmentation croissante des cancers, de la stérilité, des malformations congénitales sont là pour en témoigner. Cette notion de **norme** sera développée au cœur des différentes sous-parties en fonction des paramètres. Nous verrons que les seuils existants sont tantôt insuffisants (turbidité), tantôt acceptables (phosphates).

Face à cette réalité mise en avant sur le plan scientifique, et afin de valider ou invalider nos hypothèses, il était intéressant de connaître l'avis des populations sur ces phénomènes. Les usagers sont un pan essentiel à étudier dans l'objectif de trouver et de mettre en place des solutions. **Le travail de terrain s'est donc divisé en deux temps : les relevés puis les enquêtes auprès des populations.** Ils étaient tous deux indispensables pour comprendre dans sa totalité cette modification de la qualité de l'eau. Certains faits n'auraient pu être expliqués sans la réalisation de ces questionnaires. Sans eux, des éléments seraient demeurés sans réponse au niveau de l'évolution de l'eau, du sol et de la végétation.

Par ailleurs, le thème **des risques encourus par le milieu naturel et les sociétés humaines** doit être abordé. En effet, une turbidité élevée et/ou son accroissement peuvent avoir des impacts négatifs pour l'environnement humain et « naturel ». Les thèmes, entre autres, de l'eutrophisation, de la divagation des cours d'eau, de l'envasement sont au cœur de ces problématiques qui seront abordées au cours du Chapitre 7. Les risques liés aux sociétés pèsent lourdement sur l'environnement, de même que l'inverse. Ainsi, un nouveau risque est apparu de type environnemental, dans lequel l'environnement est à la fois aléa et soumis à la vulnérabilité. Risque et environnement sont alors étroitement imbriqués.

Sur le plan cartomatique, les graphiques sont issus du traitement sur Excel, les cartographies sont réalisées sur Philcarto, puis retravaillées sur Illustrator. Nous avons présenté les valeurs minimales, maximales (respectivement moyenne calculée sur les trois résultats les plus faibles et les trois plus élevés) et moyennes de suivi. Les moyennes sont des données relatives. Au regard de la sémiologie graphique, leur représentation aurait dû être un aplat de couleur et non un figuré ponctuel. Le choix de les représenter en figurés ponctuels et proportionnels est justifié par le fait que les points de prélèvement soient des relevés d'eau. Il nous apparaît donc inopportun d'utiliser la couleur, lorsqu'il s'agit de présenter des valeurs. Elles seront donc en figurés ponctuels plus ou moins grands.

Chapitre 6 :

La Doubégué, témoin d'un processus érosif amplifié : l'apport de l'étude de la turbidité

Comme précisé en introduction à cette Partie 3, le Chapitre 6 expose un troisième pan du travail de terrain : le diagnostic de la turbidité des cours d'eau du bassin de la Doubégué.

La turbidité est présentée comme un indicateur qui peut-être dans un premier temps « naturel ». Nous entendons, qu'elle peut exister sans implication de l'Homme. En effet, il s'agit de « *la condition plus ou moins trouble d'un liquide due à la présence de matières fines en suspension (limons, argiles, micro-organismes...)* » (PARENT, 1990). Elle deviendrait alors une pollution suite à l'implication de l'être humain, soit par l'accroissement des solides en suspension ou dissous, soit lors de traitement en (re)-devenant transparente. Or, l'impact anthropique n'est pas toujours direct. En effet, dans le bassin de la Doubégué, l'accroissement des particules amenées au cours d'eau par le ruissellement résulte d'une dégradation du couvert végétal et de l'érosion des sols dont l'origine est l'évolution climatique, démographique, et des activités humaines. Les hommes ont donc essentiellement un impact indirect. Néanmoins, deux exceptions demeurent : la pratique du maraîchage et le surpâturage au niveau des berges du cours d'eau. Ainsi, **l'amplification du taux de matières en suspension peut-être indicatrice d'une pollution.**

Par ailleurs, ce type de pollution fait appel à la vue, il s'agit donc à un paramètre sensoriel. Ainsi, le Dictionnaire de l'eau (GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, 1981) définit la turbidité comme le « *caractère d'une eau qui n'est pas transparente* ». Néanmoins, elle peut aussi intégrer deux autres sens : l'odorat et le goût. C'est pourquoi, nous tenons à coupler l'étude purement scientifique axée sur les propriétés physiques, à l'apport par les populations des modifications sensorielles observées.

Après avoir rappelé l'intérêt du choix de la turbidité dans l'étude des risques de pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué, et exposé notre méthodologie, nous présenterons nos résultats soulignant que les valeurs de turbidité sont élevées. L'objectif sera de comprendre les processus en cours, responsables de ces chiffres importants. Enfin, un éclairage sur la turbidité du lac de barrage de Bagré et sur quelques paramètres physico-chimiques permettra d'avoir un aperçu plus général des valeurs rencontrées dans une retenue d'eau appartenant au bassin le plus anthropisé du Burkina Faso.

6.1 L'étude de la turbidité : généralité, méthodologie et limites

Longtemps, la turbidité de l'eau a été une caractéristique physique peu précise. En effet, elle était mesurée à l'aide d'un *disque de Secchi* qui plongé dans l'eau, disparaissait à la vue au bout d'une certaine distance de la surface. De nos jours, cette mesure est le plus

souvent remplacée par des appareils appelés *turbidimètres* utilisant la transparence et la réflectivité de la lumière. Les mesures en sont d'autant plus précises. Ainsi, le paramètre de la turbidité a été retenu ici dans l'objectif d'établir une estimation rapide de la teneur en matière en suspension. Par cette étude, nous désirons mettre en avant les **sites les plus affectés par ce phénomène révélateur du processus érosif**. Nous reconnaissons qu'il ne rend pas compte de l'ensemble de ce dernier. Il n'est qu'un bilan des matériaux en suspension ainsi que de certains matériaux en solution (comme l'hydroxyde de fer). Nous n'aurons de cesse de garder à l'esprit ce biais. Néanmoins, il va nous permettre de mieux comprendre quels sont les paramètres influençant l'accroissement des valeurs de turbidité, selon les différents points sélectionnés dans le bassin versant de la Doubégué. Ainsi, il mettra en lumière les zones les plus affectées par le processus érosif. Toutefois, il est encore peu utilisé, de par le monde, dans l'étude ce phénomène, et c'est là l'originalité de notre étude. En effet, les analyses sont principalement effectuées dans le cadre d'un suivi de la qualité de l'eau desservie aux populations (station d'épuration). Il concerne donc essentiellement les pays dits développés disposant d'une réglementation. La bibliographie est alors peu fournie, en particulier dans les Pays du Sud.

6.1.1 La turbidité en milieu tropical : contexte mondial et contexte local

6.1.1.1 Définition

Le nom turbidité trouve son origine dans les termes latins *turbidus* « troublé » (attesté dès le XI^{ème} siècle) et *turbulendus* « agité, en désordre ». Il serait alors apparu dans le sens hydrologique actuel en 1910 (Centre National Français des Sciences Hydrologiques). **L'étude de la turbidité permet d'évaluer la « limpidité relative » de l'eau. Elle mesure l'aspect plus ou moins trouble de l'eau.** Il s'agit d'un des paramètres d'analyse de la qualité de l'eau des eaux de surface, ou à destination de la consommation humaine (eau potable). La turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. C'est « *la propriété optique de l'eau permettant à une lumière incidente d'être déviée (diffraction) ou absorbée par des particules plutôt que transmise en ligne droite* » (APHA, AWWA, WEF 1998 ; US EPA, 1999 ; Santé Canada, 1995).

La turbidité est, par conséquent, un paramètre organoleptique mesurant le trouble de l'eau. C'est **un indice de la présence des particules minérales et des particules organiques en suspension dans l'eau**. Ces dernières sont généralement liées aux **ruissellements dans les parties émergées du bassin versant, à l'érosion des berges** d'un cours d'eau, et aux rejets d'effluents pollués dans les eaux de surface. Au niveau du bassin versant de la Doubégué, ces derniers se limitent aux engrais et produits phytosanitaires pris en charge par les eaux de ruissellement. Cette notion est particulièrement intéressante à étudier car elle relève de **facteurs « naturels »** (nature du sol, état et évolution du couvert végétal, type d'écoulement, total pluviométrique, répartition des précipitations), mais également **anthropiques** (occupation des sols, protection des berges, traitement de l'eau).

La turbidité est donc un révélateur des processus érosifs en cours dans le bassin versant de la Doubégué. En effet, les valeurs les plus élevées de turbidité correspondent, le plus souvent, à de fortes densités des superficies mises en culture (Atlas sur l'état de l'environnement du Québec). Nous l'entendons donc comme un paramètre exprimant un bilan

de l'ensemble de ces phénomènes à l'œuvre dans notre région d'étude, principalement des zones aval mais également de celles médianes et amont.

En dehors de la modification des propriétés organoleptiques de l'eau qu'elle entraîne, la turbidité ne semble pas dangereuse en soi. Cependant, son apparition a une importance sur les autres paramètres définissant la qualité de l'eau tant d'un point de vue bactériologique que chimique. En effet, il existe un **risque que les micro-organismes s'adsorbent sur les particules**. Ils peuvent alors se développer plus facilement et les maladies liées à l'eau peuvent croître (cf. Chapitre 7). De plus, la formation d'amas protège les micro-organismes contre les désinfectants. Les performances d'un traitement par rayons ultra-violet sont alors davantage affectées. Les propriétés chimiques rencontrent le même processus : les matières en suspension adsorbent les ions métalliques (cuivre, mercure...) ou les composés chimiques, comme les pesticides. Ce dernier fait est à prendre particulièrement en considération dans le bassin versant de la Doubégué comportant un certain nombre de parcelles utilisant des pesticides (principalement pour le coton et le maïs).

Enfin, l'étude de la turbidité prend en compte la taille des particules inférieures au micron comme c'est le cas des bactéries, des spores de micro-organismes et des kystes de parasites (Cryptosporidium, Giardia). Ainsi, les éléments à l'origine de la turbidité augmentent la demande en chlore de l'eau traitée suivant la relation empirique :

$$\text{demande en chlore en 1 heure (mg/l)} = 0,15 \text{ turbidité (NFU)} + 0,2.$$

6.1.1.2 Peut-on parler de pollution ?

Nous avons déjà évoqué cette question dans l'introduction de cette troisième partie, mais il semble opportun de préciser ce fait. La notion de turbidité dépend à la fois de facteurs humains et naturels. Son origine réside dans le processus érosif qui, au départ, peut être tout à fait naturel, même s'il est souvent amplifié par l'homme. RAMADE (2002) le résume ainsi : « *la turbidité est un phénomène naturel modifié par certaines actions anthropiques* ».

Afin d'éclairer cette affirmation prenons un exemple. Pendant la période Tertiaire, dans le sud-ouest de la France, le climat était de type tropical. L'érosion du Massif Central sous l'effet combiné de la chaleur et de l'humidité a été très importante. Les débris de cette érosion ont alors été transportés par les fleuves et ont contribué à augmenter leur turbidité. Cette dernière, dans ce cas précis, était naturelle et ne pouvait donc pas être qualifiée de pollution.

Néanmoins, depuis le Néolithique, l'empreinte de l'Homme est de plus en plus prégnante. Par ses diverses actions, il augmente ou réduit la turbidité par la construction de retenue d'eau, la mise en valeur des terres, les pompages, les rejets. Il semble donc que la turbidité puisse être, bien souvent, qualifiée de pollution. Pour justifier cette idée nous présentons la définition de la pollution, extraite du dictionnaire européen de l'environnement, qui est décrite comme « *la présence de matière ou d'énergie dont la nature, la localisation ou la quantité provoquent des effets environnementaux négatifs* » (GROZAVU et KOCSIS, 2005).

Ne pourrions-nous pas aller plus loin dans cette réflexion ? Pour cela, nous nous appuyons sur le travail de LAVIE (2009). En effet, tout comme VEYRET (2007), elle caractérise **la turbidité de pollution physique**. Cette dernière renverrait alors « à des **choses**

visibles, ou du moins perceptibles par l'homme ». Il peut s'agir comme nous l'avons souligné précédemment de l'aspect ou de l'odeur. La pollution physique serait alors « **une dégradation de la qualité des cours d'eau : couleur, odeurs... présence d'eaux très turbides** ». La turbidité pose également des **problèmes d'usages, et a de multiples répercussions sur l'environnement et la sphère humaine. Il semble donc que la turbidité puisse être qualifiée de pollution**. Par ailleurs, il est essentiel de tenir compte de certains seuils critiques, seuils à partir desquels l'eau n'a plus les capacités suffisantes d'autorégulation. En définitive, la turbidité doit être considérée comme une pollution lorsqu'elle dépasse ces seuils (VEYRET, 2007).

6.1.1.3 Des unités de mesures

La turbidité est une mesure directe de la quantité de particules en suspension, mais il serait plus exact de parler de leur effet sur la diffusion de la lumière.

La première méthode de mesure utilisée était le turbidimètre à bougie de Jackson, constitué d'une bougie à la luminosité normalisée située sous un tube contenant de l'eau à évaluer. Une Unité Jackson de Turbidité (UJT) correspond approximativement à la hauteur de la colonne d'eau à laquelle la flamme cesse tout juste d'être visible par le dessus de cette colonne. Bien qu'il existe des références à la méthode de Jackson, actuellement la turbidité est déterminée à l'aide d'un turbidimètre selon deux principes : la néphélométrie ou l'opacimétrie. Cet appareil mesure la lumière dispersée par les particules en suspension avec un angle de 90° par rapport au faisceau de lumière incident.

La turbidité est exprimée en UTN (Unité de Turbidité Néphélométrique) ou NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*). Cependant, il existe différentes unités de valeur : l'UNT (Unité Néphélométrique de Turbidité), l'UTJ ou JTU (Unité de Turbidité Jackson ou *Jackson Turbidity Unit*), et l'UTF ou NFU (Unité de Turbidité Formazine ou *Nephelometric Formazine Unit*). Pour des turbidités inférieures à 10 – 20 NFU : 1 NFU = 1 NTU = 1 JTU. Au-delà de cette valeur, ce qui est principalement le cas pour le bassin de la Doubégué : 1 NFU = 0,6 NTU.

Certains auteurs expriment la turbidité en g/m³ (GEORGE et VERGER, 2004), ou encore en mg/l. Or, il semble difficile de corrélérer la turbidité à une concentration massique de solides. La taille, la forme et l'indice de réfraction influent sur la diffusion de la lumière. Ils n'ont pas de lien avec la masse. C'est pourquoi la turbidité est évaluée en UNT et non en termes de concentrations de MES par volume d'eau (mg/l) (APHA, AWWA, WEF, 1998 ; Santé Canada, 1995). En effet, cette unité (mg/l) est celle attribuée par le SEQ-eau⁶⁰ aux matières en suspension et non à la turbidité. Cependant, certains pensent qu'il est possible de corrélérer la turbidité à la concentration en matières en suspension par une pondération :

- pour des turbidités inférieures à 10 -20 NFU : MES = 2 NFU
- pour des turbidités supérieures à 20 NFU : MES = 3,3 NFU

Nous avons choisi de retenir comme la *Nephelometric Turbidity Unit* (NTU) comme unité de mesure lors de notre travail de terrain.

⁶⁰ Le Système d'Evaluation de la Qualité de l'eau a été créé suite à la loi sur l'eau du 3 janvier 1992. Ce système apporte une grille d'évaluation de l'eau en fonction de différents paramètres déclassant. Cette grille est faite par les SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau). Il permet de constater les modifications de qualité en fonction des usages.

6.1.1.4 Des normes et des seuils différents selon les lieux

La fixation de normes en matière d'environnement s'appuie selon l'OMS sur un schéma théorique de cinq critères (JUAN in DUPONT, *Dir.*, 2003) que sont : « la gravité et fréquence des effets adverses sur la santé ; l'ubiquité et abondance de l'agent dans l'environnement ; la persistance dans l'environnement ; la transformation ou altération dans l'environnement ; et l'étude des populations exposées ».

Il existe peu de classifications aux niveaux mondial et national, relatives à la turbidité. Sur le plan de la consommation, à l'échelon international, les valeurs guide OMS (1996) sont de 5 NTU (origine MES, colloïdes, matières dissoutes) et de 1 NTU pour la désinfection (paramètre important dans le traitement de l'eau). A cette échelle, il y a seulement un classement en quatre catégories (**Tab. 26**) : inférieure à 5 NTU, de 5 à 30 NTU, entre 50 NTU et 200 NTU, et supérieure à 200 NTU.

Turbidité (NTU)	Classe de qualité
< 5	Eau claire voire « incolore »
5 - 30	Eau légèrement trouble ou légèrement colorée
> 50	Eau trouble ou colorée
> 200	La plupart des eaux de surface en Afrique atteignent ce niveau de turbidité. On parle également d'eau de surface « Africaine »

Tab. 26 : Exemple de classification de la turbidité à l'échelle internationale

Source : Action contre la Faim (ACF)

Cette classification pourrait nous servir de référence en regard du lieu étudié et des valeurs de turbidité observées en saison sèche. Mais les relevés obtenus au cœur de l'hivernage posent problèmes. Lors de la saison des pluies, il serait nécessaire de compléter cette classification en modifiant et divisant la dernière classe. En effet, au cours de l'hivernage, toutes les valeurs moyennes sont supérieures à 200 NTU et elles s'échelonnent jusqu'à 635 NTU. Il nous a alors semblé recommandé de définir deux nouvelles classes pour ces 11 valeurs⁶¹. La méthode selon le découpage à l'estime (200 à 400 NTU et plus de 400 NTU) a alors été combinée à la méthode mathématique (200 à 420 NTU et 420 à 637 NTU). Par conséquent, la classe plus de 200 NTU a été remplacée par celle de 200 à 420 NTU, et une classe, plus de 420 NTU, a été ajoutée.

Par ailleurs, à l'échelle mondiale, l'OMS a des valeurs guides qui ne sont que des recommandations. Elles ne peuvent donc pas correspondre à chaque région hydrologique et climatique, et à chaque usage. Chaque État a alors la possibilité de légiférer cette classification. Par exemple, au Québec, la turbidité de l'eau distribuée ne doit jamais dépasser 5 UNT, alors qu'aux États-Unis, elle ne fait pas l'objet d'une norme par l'Agence Fédérale de Réglementation de l'Environnement. En France, il existe la classification de l'Agence de l'Eau (**Tab. 27**) découpée en 5 classes. Cette nomenclature correspond davantage à des seuils visibles dans les pays occidentaux. En France, les eaux destinées à la consommation humaine ont une limite de qualité à 1 NFU, et une référence de qualité à 0,5 NFU.

⁶¹ Nous avons retenu le nombre de deux aux vues de la progression de la classification d'ACF.

La non uniformisation des normes de turbidité n'est pas une exception. Elle concerne également les nitrates, les phosphates, etc. Ainsi, il est rare qu'il existe des lignes directrices communes à plusieurs pays. Ces chiffres et ces seuils avancés sont-ils alors crédibles ?

Enfin, la classification d'ACF renvoie au paramètre optique, alors que celle de l'Agence de l'Eau française, par l'emploi du terme « qualité », fait clairement référence à la dimension d'eau potable. A titre d'exemple, l'Agence de l'Eau Adour Garonne considère la turbidité comme une pollution

Turbidité (NTU)	Classe de qualité
< 2	Eau de très bonne qualité
2 - 35	Eau de bonne qualité
35 - 70	Eau de qualité moyenne
70 - 105	Eau de mauvaise qualité
> 105	Eau de très mauvaise qualité

Tab. 27 : Exemple de classification de la turbidité : celle des eaux brutes en France

Source : AEAG

6.1.1.5 Petit tour du Monde en quelques valeurs de turbidité

Il est intéressant de présenter quelques résultats d'études effectuées sur différents continents et sous des climats divers, non pas pour ces chiffres en soi, mais en termes de comparaison avec les valeurs du bassin de la Doubégué.

En Argentine, dans l'oasis de Mendoza qui est un milieu fortement anthropisé, les valeurs s'échelonnant de moins de 2,5 à 177 NTU (hors réseau irrigué) (LAVIE, 2009). En octobre, la turbidité passe de 105 NTU en aval de l'arroyo Uspallata⁶² à 60 NTU sur les rives du lac Potrerillos⁶³, et elle atteint 2 NTU à Alvarez Condarco. Les valeurs de turbidité sont plus importantes en amont du lac quand aval de la retenue où les eaux sont limpides. Les teneurs les plus faibles s'étudient dans le rio Mendoza en aval d'Alvarez Condarco. Ainsi, la turbidité est très importante, dans ces régions subarides, car la **couverture végétale est absente et la saisonnalité des pluies implique des violences temporelles**.

Le fleuve Sénégal subit, quant à lui, très fortement l'hivernage. A Kharé, la turbidité peut atteindre 1 200 NTU (fin juillet). Puis, elle oscille entre 800 et 1 000 NTU (entre août et septembre), pour diminuer jusqu'à 100 NTU fin novembre (Programme Alizés, nov. 2004/ Août 2008).

D'un point de vue plus général, le graphique de TABUTEAU (**Fig. 41**) met en évidence **la progression des turbidités des eaux selon les différents climats : semi-aride, méditerranéen, tropical et tempéré**.

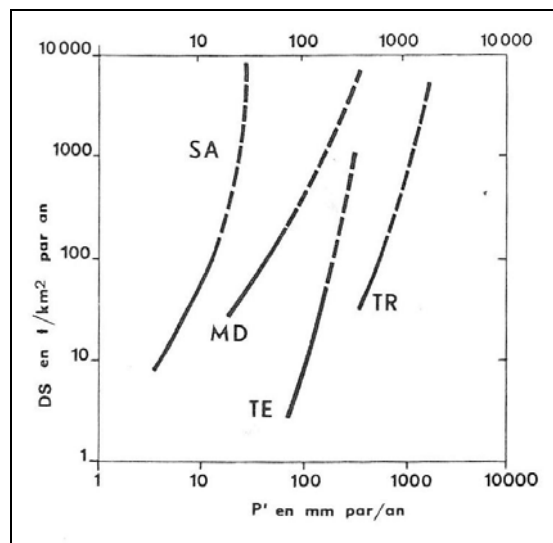
Par ailleurs, il ressort des différentes études réalisées que les eaux fluviales des régions équatoriales ou tropicales humides, à forte couverture végétale et ne descendant pas des

⁶² Arroyo correspond au terme français ruisseau. Uspallata est une ville de la province de Mendoza.

⁶³ Le lac de Potrerillos a été mis en eau suite à la construction d'un grand barrage sur le fleuve Mendoza. Il mesure 12 km de long et 3 km de large.

montagnes, ont une faible turbidité, en dehors des périodes de crues : Congo 26 g/m^3 , Guyane 30 mg/m^3 , Sanaga inférieure 58 mg/m^3 , et les rivières amazoniennes (vers Belém) 80 mg/m^3 .

La charge, et donc **la turbidité, augmentent principalement au niveau des rivières tropicales au régime contrasté, comme au Burkina Faso**. Les régions sahéliennes, le plus souvent dépourvues de couvert végétal, connaissent, quant à elles, des chiffres considérables : 3 000 à 4 000 mg/m^3 pour le Niger moyen. Nous présentons ces résultats afin d'avoir un aperçu des valeurs de matières en suspension rencontrées à travers le monde. Même s'il ne s'agit pas de valeur de turbidité à proprement parlé, elles nous permettent de mettre en avant des **différences selon les régions climatiques, selon l'importance du couvert végétal et surtout selon les pentes**, expliquant les très fortes valeurs observées en Asie. Nous verrons, par la suite, qu'il faut également prendre en compte d'autres facteurs.



Coordonnées logarithmiques ; DS : dégradation spécifique ; P' : écoulement spécifique moyen en mm/an ; SA : bassins semi-arides ; MD : bassins méditerranéens ; TE : bassins tempérés ; TR : bassins tropicaux.

Fig. 41 : L'efficacité érosive des bio-climats (inspiré du graphique de Tabuteau)

Source : d'après, Démangeot, 1998

6.1.1.6 Les causes de la turbidité

Pour constater la présence de turbidité, il faut tout d'abord que des particules soient disponibles, « détachées » de leur support, et présentes dans un cours d'eau. Cela signifie qu'elles sont soit issues du lit du cours d'eau, soit des versants. Dans le second cas, il est nécessaire qu'un agent soit présent tel que le vent, ou encore l'eau. Dans le bassin versant de la Doubégué et plus largement en Afrique de l'Ouest, cette action est avant tout réalisée par cette dernière par l'intermédiaire du **lessivage et du ruissellement**.

La cause principale est par conséquent, **l'érosion**. Par son impact continu, elle entraîne le dégagement de nombreuses particules de taille diverse, qui seront alors mobilisables par différents agents. L'érosion hydrique prédomine au regard des autres types. L'érosion est donc une source de turbidité des cours d'eau et des lacs. Celle-ci est influencée par **l'inclinaison et la longueur de la pente**. L'eau ruisselante va se charger plus ou moins facilement en particules selon la vigueur et la longueur du versant, et ce jusqu'au cours d'eau. Il faut également prendre en compte **le type de sol**.

La turbidité peut être aussi le résultat de **l'effondrement des berges**. Les berges étant érodées, les particules les moins stables sont emportées par la force et la compétence de l'eau.

Par ailleurs, l'impact humain se rencontre à différents niveaux. L'agriculture accroît le phénomène érosif, notamment en période de labour et/ou lorsque les **sols sont laissés à nu**. Ces derniers sont alors sensibles à chaque épisode pluvieux (particulièrement violent en domaine tropical). Ce fait est d'autant plus agressif selon **l'intensité de la pluie**. **L'usage d'intrants agricoles** a également un rôle dans l'augmentation de la turbidité, tout comme le fluide issu du fumier. La turbidité est aussi le résultat d'une autre activité, fortement présente dans le bassin versant de la Doubégué : **le pastoralisme** combiné au problème **du surpâturage**. En effet, par le piétinement abusif des animaux, les sols sont désagrégés, et le tapis herbacé est abîmé. Ce dernier dégradé protège moins les sols, et les particules sont plus facilement mobilisables. D'autres faits doivent être évoqués, plus exceptionnels mais encore présents dans le système agro-pastoral africain comme **les feux de brousse**. Ainsi un incendie peut amener de nombreuses particules dans l'eau, du fait de la présence de cendres mobilisées cette fois-ci par **le vent et l'eau**.

En réalité, comme démontré dans la Partie 2, **l'élément central est l'état du couvert végétal** (second thème de nos enquêtes). En effet, sa présence protège les sols. Ainsi, leur cohérence est plus importante car la végétation « amortie » l'impact des gouttes et limite la désagrégation mécanique du sol et l'effet de « *splash* » (WICHEREK, 1988).

L'impact de ces différentes causes, de leur poids respectifs, ainsi que les conséquences de la turbidité, éléments centraux de cette étude, feront l'objet d'une sous-partie (cf. 6.2) et du Chapitre 7.

Enfin, un élément naturel exceptionnel, telles que **les inondations** de 2008 et de 2009, peut également influencer les teneurs en turbides. Des crues se sont produites, de nouvelles surfaces en contact avec l'eau ont été créées, et un barrage en terre a également été éventré. Le risque de prise en charge s'est alors accru.

La turbidité est donc un paramètre essentiel dans l'étude des risques de pertes en terre et en eau. Elle fait appel à des facteurs d'ordre « naturels » et anthropiques. Le principal à prendre en compte est l'extension du couvert végétal. Par ailleurs, la présentation des normes souligne à quel point les eaux Africaines sont qualifiées de très mauvaise qualité (AEAG), de très troublée ou colorée (ACF).

6.1.2 Méthodologie utilisée : représentativité, technique, limites

6.1.2.1 Choix des sites

Un des points essentiels de ces campagnes de prélèvements a été la recherche d'une bonne représentativité. En effet, l'analyse s'effectue sur une eau échantillonnée à un moment donné, sur un lieu donné, et selon une méthodologie donnée. La question est alors de savoir dans quelle mesure l'échantillon est représentatif du point d'eau et du cours d'eau à analyser. Il est possible qu'il existe des variabilités. Il peut s'agir du **type de sol, de l'état du couvert végétal, de la période climatique, de la position du point par rapport au réseau hydrographique, de l'occupation des sols**. La sélection des sites de prélèvements a été guidée par tous ces paramètres. Par conséquent, il fallait disposer de points tout le long du

réseau, sur différents types de sols, différentes rives, plus ou moins proches des sources, et selon le mode d'occupation des sols.

Par ailleurs, la turbidité obéit au fonctionnement des cours d'eau. Il est alors indispensable de travailler à **l'échelle du bassin versant**. Il est l'unité hydrologique la mieux appropriée lorsqu'il s'agit d'observer des phénomènes fluviaux. En effet, le transport de particules s'effectuant par le ruissellement ou le lessivage, l'unité du bassin versant est celle qui doit être privilégiée dans le cadre de ces analyses (RAMADE, 1993).

Nous avons alors choisi onze sites qui semblaient pertinents et représentatifs de l'ensemble du bassin versant étudié. Ils se localisent le long du cours d'eau depuis sa source Pèsséré jusqu'à la confluence avec le lac de Bagré au cœur de la zone pastorale de la Doubégué. Le site de Pata a été ajouté lors de la seconde campagne de terrain afin d'améliorer la représentativité de l'étude (site en domaine caillouteux). Ces lieux se situent principalement en rive droite. Il a été retenu trois sur cette rive, un seul en rive gauche, six dans le cours principal de la Doubégué, et un dernier sur un petit affluent du lac de Bagré.

Les raisons de ce choix après l'essai de représentativité étaient d'une part leur accessibilité, et d'autre part fonction de la distance par rapport au lieu de logement. En effet, il était essentiel de pouvoir réaliser l'ensemble des prélèvements en 36 heures afin de réduire les risques de déclenchement d'un phénomène pluviométrique au cours de la campagne hebdomadaire pouvant entraîner des différences entre les sites affectés ou non par un événement météorologique. Cependant, nous avons rencontré ce problème une fois, au cours de la semaine 5 (le 27 et le 28 juillet 2009). Il était également impératif de réaliser les manipulations et le traitement le plus rapidement possible entre les différents échantillons. Ainsi, une homogénéité maximale a-t-elle été recherchée au cours de nos prélèvements (météorologiques en particulier). De plus, il était essentiel de tenir compte des différences morphopédologiques, du rang des affluents, de la position de prélèvement par rapport à l'amont et l'aval de ces cours d'eau, des différences de débit, et de l'occupation des sols.

La représentativité devait également être temporelle. Ainsi, nous avons réalisé deux campagnes de prélèvements. La première s'est opérée au cours des mois d'**octobre**, de **novembre**, et de **décembre 2008** (le début de la **saison sèche** et fraîche) (**Fig. 42**). A cette période, la quantité d'eau présente au niveau des lits des cours d'eau diminue. La valeur minimale de turbidité s'est déjà produite (en octobre), mais elle demeure moyenne à faible au début du mois de novembre. Au-delà de la mi-décembre, les prélèvements n'auraient pas eu beaucoup d'intérêt. A ce stade de l'année, les cours d'eau sont quasiment à sec. La seconde campagne s'est déroulée durant l'**hivernage** sur la période **juillet - août 2009** (**Fig. 43**). Les processus érosifs sont alors particulièrement intéressants à étudier, de même que les étapes d'évolution des stades végétatifs, au cœur de ces mois les plus pluvieux, témoins d'événements météorologiques d'une forte intensité. Ces deux campagnes d'échantillonnage se sont déroulées pendant **sept semaines** chacune.

La sélection théorique, dans un second temps, a été confrontée à la réalité terrain. Grâce à la carte de Tenkodogo de l'IGB, à Google Earth et au GPS emprunté sur place, nous avons pu corréliser les points tracés sur la carte aux sites réels. En définitive, l'ensemble des sites choisis en France lors de la préparation a été maintenu.

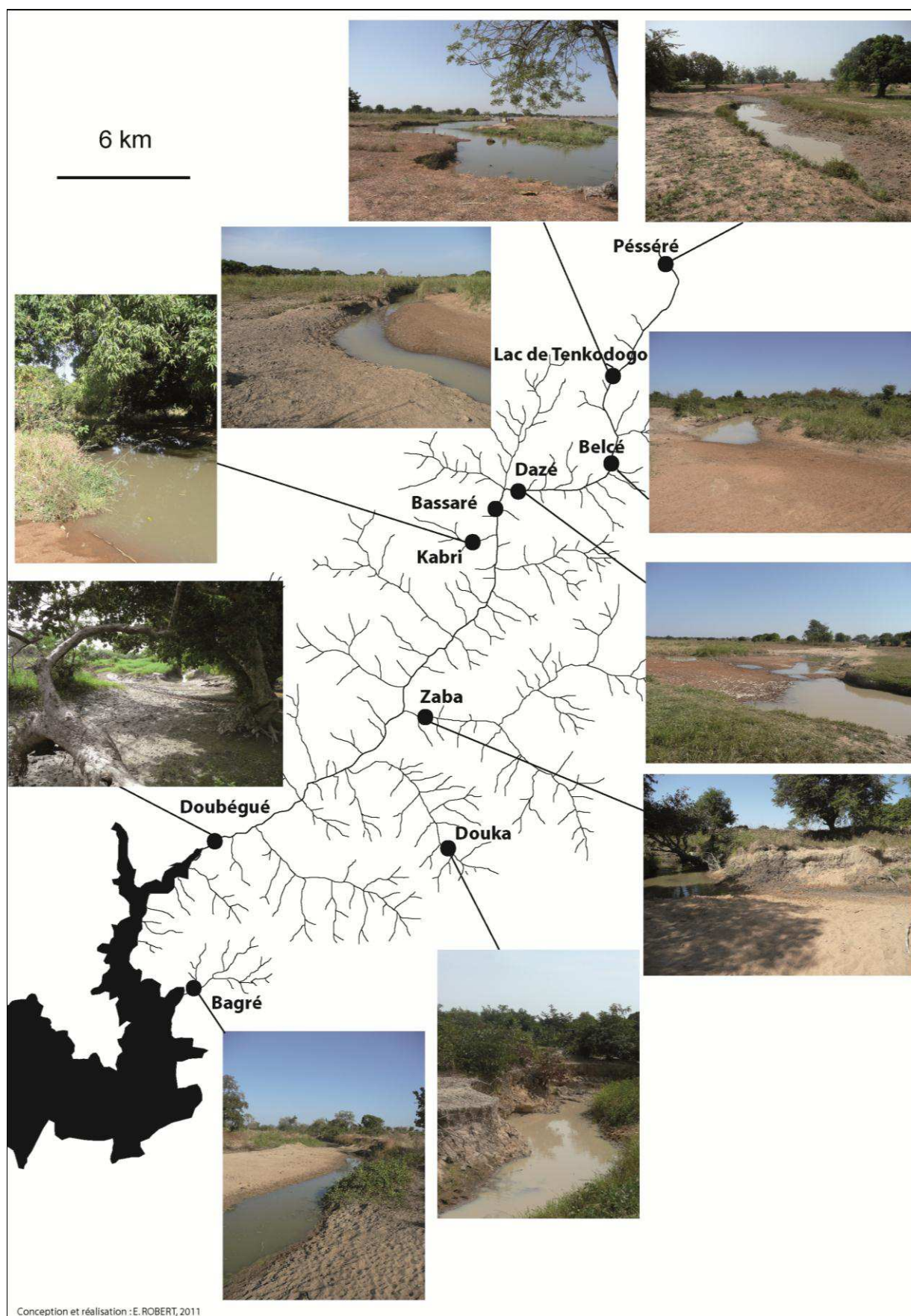


Fig. 42 : Localisation des relevés de turbidité en saison sèche

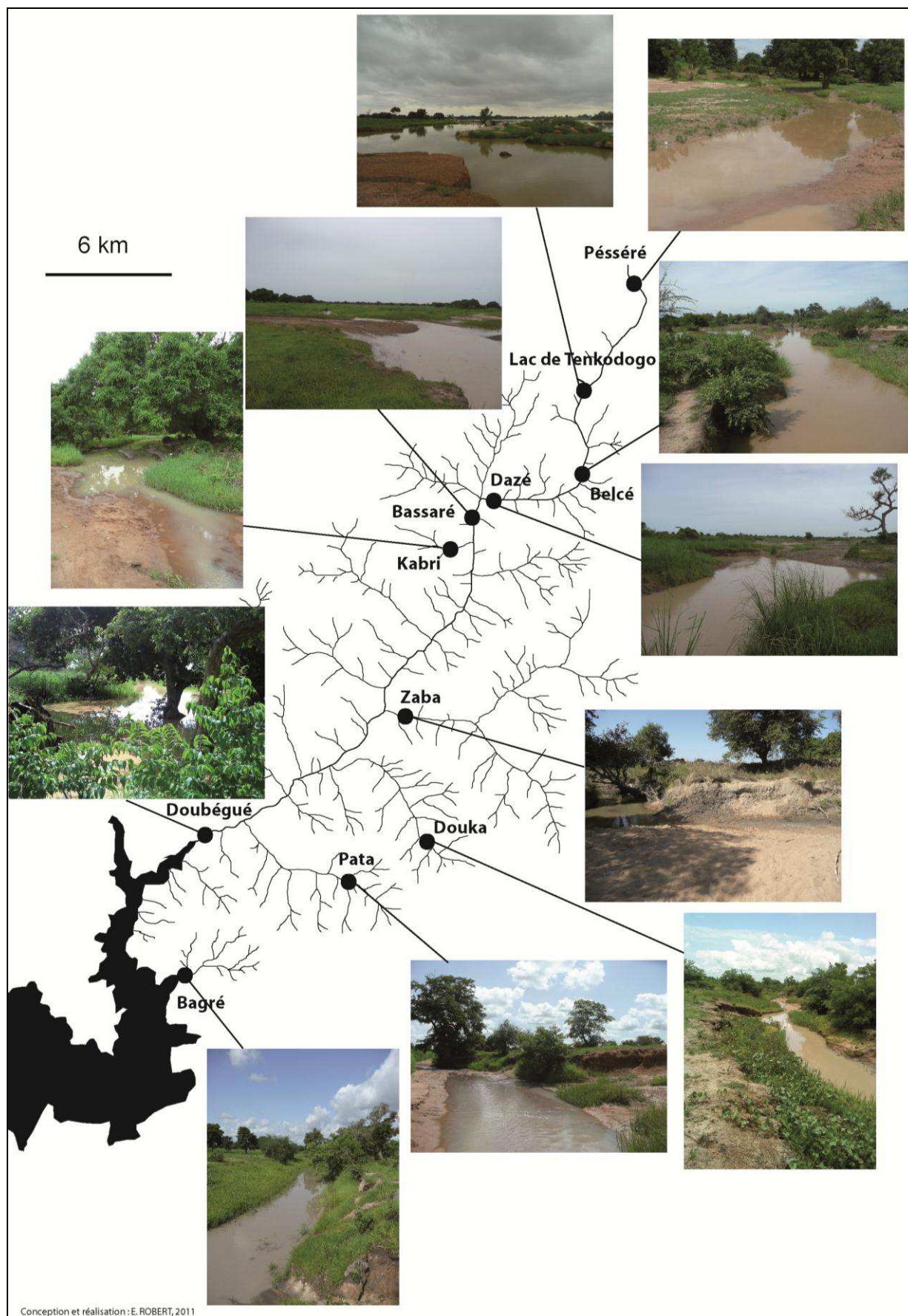


Fig. 43 : Localisation des relevés de turbidité en saison humide

6.1.2.2 Des prélèvements aux analyses

Les protocoles utilisés lors des travaux de terrain ont été réalisés grâce à l'appui du LGPA. La méthodologie a été mise en place empiriquement par les membres de ce laboratoire en particulier par Frédéric HOFFMANN et Jean-Christophe PELLEGRIN (1996), et Emilie LAVIE (2009). Celle-ci a alors été adaptée aux réalités du terrain en contexte tropical.

Lors de relevés et de travaux dans le domaine hydrochimique, l'emploi, le respect d'une méthodologie précise et la rigueur sont essentiels. Beaucoup de paramètres rentrent en ligne de compte : **les prélèvements, la conservation, le transport et les travaux en laboratoire**. Ainsi, un site a été sélectionné et le prélèvement s'est toujours opéré à l'endroit repéré lors de la première campagne. Le choix du **relevé hebdomadaire**, plutôt que mensuel, s'explique d'une part par les possibilités de présence sur le terrain qui étaient courtes (10 semaines environs). D'autre part, la fréquence mensuelle ne permet pas de connaître en détail le fonctionnement du système tels que les cycles des végétaux, ou encore sa réactivité à un stimulus pluvial. En effet, ce dernier a un rôle essentiel dans la variation des valeurs de turbidité. De même, les stades d'évolution des plantes, cultivées ou non, changent relativement rapidement au cours de l'hivernage dans le bassin de la Doubégué. Toutefois, dans le cadre d'une meilleure accessibilité et en travaillant uniquement sur la question de la turbidité, il aurait été intéressant d'effectuer les prélèvements tous les jours. En effet, le relevé journalier semble le pas de temps « idéal ».

Afin de réaliser cette opération hebdomadaire, nous avons eu besoin de onze contenants en plastique numérotés chacun selon le site de l'échantillon. Les prélèvements ont été faits dans des bouteilles d'eau hermétiques de 50 cl. Chaque bouteille correspondait à un site unique. Comme les lieux n'étaient pas faciles d'accès, les ponts inexistant, le relevé s'est réalisé à l'aide d'un seau et d'une corde. Ce dernier était lancé, une première fois, au centre du cours d'eau afin de le nettoyer. La bouteille en plastique était également rincée deux fois avec l'eau du site. Puis, le seau était jeté une seconde fois, toujours dans la partie centrale du cours d'eau (**photo 59**). Il était remonté et ramené sur la rive à l'aide de la corde et cela sans toucher ni effleurer la berge afin de ne pas contaminer l'analyse en augmentant la turbidité de l'échantillon. La bouteille était de nouveau rincée avec l'eau du site avant d'être une dernière fois plongée dans le seau. L'échantillon était alors prélevé (**photo 60**). Le contenant était rempli et fermé sous l'eau afin de ne pas introduire d'oxygène.



Photo 59 : Prélèvement d'eau au site de Bassaré



Photo 60 : Prélèvement d'eau au site de Zaba

Clichés : E. Robert, 2008

Par ailleurs, il fallait impérativement conserver les échantillons au froid (4 °C) ce qui n'est pas une chose aisée dans un pays intertropical, comme le Burkina Faso, où les températures journalières varient en moyenne entre 22 °C et 32 °C en juillet et août, et entre 20 °C et 36 °C en octobre et novembre. Le fait de se déplacer en moto a amplifié cette première difficulté puisque nous ne pouvions utiliser de climatisation. Notre ultime handicap a été de trouver de la glace en quantité suffisante et au bon moment. Enfin, le délai de conservation entre le prélèvement et l'analyse ne devait pas excéder 48 heures. Il a été au maximum de 12 heures.

Le spectrophotomètre/turbidimètre est un appareil photolab WTW. Il nous a permis d'effectuer les travaux relatifs à la turbidité, mesurée directement. L'appareil utilisé pour l'analyse a été étalonné à l'aide de solutions étalons de formazine (0,1 NTU, 10 NTU et 100 NTU). Lors des deux terrains d'étude, cette opération s'est réalisée une première fois avant notre départ et une seconde fois sur place. En effet, l'appareil doit être étalonné, selon les recommandations, une fois par mois⁶⁴.

La première étape de l'analyse consiste à bien agiter l'échantillon, puis à remplir une fiole de 16 ml. Cette dernière est nettoyée trois fois à l'aide de l'eau du site. Puis, après avoir été bien essuyée à l'aide de papier absorbant propre, la fiole est placée dans le « puits de mesure » de l'appareil. Le capot est rabattu et la mesure lancée. Le résultat est affiché directement par le matériel en NTU. Afin d'avoir un résultat moyen et fiable, la mesure est effectuée trois fois de suite pour un même échantillon.

Il faut garder à l'esprit que les résultats obtenus ont un niveau d'erreur de l'ordre de 5 - 10 % (OMM, 1994). Il convient alors de parler **d'intervalle d'exactitude**.

Un élément essentiel à souligner est que l'étude hydrologique n'est pas une science exacte. Il arrive qu'un artefact trouble la série de prélèvements (problème de conservation, erreur humaine ou matérielle dans le protocole d'analyse, etc.). C'est pourquoi, il est nécessaire de garder un esprit critique et de tenir compte de ces risques lors des analyses des travaux.

Enfin, il ne faut pas omettre que l'étude de la turbidité ne rend compte que d'une partie de l'impact du phénomène érosif. En effet, elle ne comptabilise pas l'ensemble des matières dissoutes ni les éléments se déplaçant par charriage. Néanmoins, en zone tropicale, la majorité des particules issues du processus d'érosion est constituée des matières en suspension, comme cela sera souligné ci-après lors de l'évocation de la dégradation spécifique.

6.1.2.3 Les biais liés à la méthodologie

Tout d'abord, il aurait été intéressant d'effectuer cette campagne depuis le début de l'hivernage (fin mai) jusqu'au moment pendant lequel les cours deviennent à sec lors de la fin décembre. De plus, une étude pendant au moins deux ans (seule période réalisable dans le cadre d'un doctorat) aurait été nécessaire. Cela n'a pas pu être possible en raison d'impératifs professionnels relatifs à l'enseignement. En effet, mes contrats successifs de chargée de TD et d'ATER ont limité mon temps de présence au Burkina Faso.

⁶⁴ Lors du second terrain, le turbidimètre s'est désétalonné au cours du vol aérien et nous ne disposions pas de l'ensemble des solutions étalons. Nous avons eu la chance qu'un étudiant burkinabé nous l'apporte à Ouagadougou lors de son retour.

Par ailleurs, il s'agit toujours de l'analyse d'un petit échantillon sélectionné dans des cours d'eau dont le débit moyen est de $0,45 \text{ m}^3/\text{s}$ (moyenne sur l'ensemble du bassin de la Doubégué). La campagne de prélèvement est donc une image de la réalité à un instant t .

Enfin, des artéfacts dans la manipulation et des erreurs matérielles peuvent subvenir. Le turbidimètre peut être mal réglé, la conservation des échantillons peut être mauvaise suite à trop de secousses sur la moto ou encore à des problèmes de réfrigération. L'utilisation de glace a été essentielle afin d'abaisser la température pour ralentir, voire arrêter, la prolifération de bactéries, d'algues qui peuvent avoir des incidences en augmentant les valeurs de turbidité. Une fois de plus nous soulignons, l'importance de la rigueur dans la réalisation de notre protocole.

6.1.3 La dégradation spécifique et la répartition entre les différents types de matériaux

Le concept de dégradation spécifique est important lors de l'étude de l'érosion dans un bassin versant, principalement lorsque que cette analyse porte sur le réseau hydrographique. En effet, la dégradation spécifique a pour formule :

$$DS = \text{MES} \cdot Q \cdot \text{NS/S}$$

DS : dégradation spécifique, MES : matières en suspension, Q : débit, NS/S : surface du cours d'eau.

La dégradation spécifique tropicale est d'environ $50 \text{ t/km}^2/\text{an}$ pour un écoulement spécifique de 300 mm en plaine et de $1\,200 \text{ t/km}^2/\text{an}$ pour un écoulement de 1 200 mm (TABUTEAU, 1960).

Il est important de présenter certaines valeurs issues des bassins versant tropicaux les plus connus (Tab. 28). Comme pour la turbidité, les cours d'eau disposant des de dégradations spécifiques les plus élevées sont ceux issus des montagnes tropicales principalement asiatiques (Brahmapoutre, Magdalena, Gange, Mékong). A l'inverse, les plaines forestières et savanicoles ont les dégradations spécifiques les plus faibles (Congo), tout comme les « savanes pures » (Zambèze, Paraná, Niger). L'Amazone et l'Orénoque sont en position intermédiaire en raison de leur amont montagneux.

Bassin versant	DS (t/km ² /an)	MD (matières dissoutes)	MES
Amazone	79	37 %	63 %
Congo	18	66 %	34 %
Orénoque	91	36 %	64 %
Brahmapoutre	865	9 %	81 %
Mékong	435	15 %	85 %
Ganga	591	13 %	87 %
Paraná	56	33 %	67 %
Zambèze	81	13 %	87 %
Niger	62	13 %	87 %
Magdalena	1 054	10 %	90 %
Godavéri	14	8 %	92 %

Tab. 28 : Proportion de matières dissoutes et en suspension dans les principaux bassins versants tropicaux
Sources : DEMANGEOT (1999), diverses, dont Reading 1995. (SD ou MD selon les auteurs).

La rivière étudiée, la **Doubégué, de type savanicole** se rapproche des cours d'eau disposant de **moins de 20 % de matières dissoutes**. C'est pourquoi, l'étude de la turbidité se justifie en raison de la forte proportion des MES. La mesure de la **turbidité** permet ainsi de connaître au mieux **le taux des quatre cinquièmes de l'érosion et au moins les trois quarts**.

Par ailleurs, il est important de présenter les chiffres rapportés par MIETTON (1988) pour le bassin versant burkinabé, la **Kompienga**⁶⁵. La **dégradation spécifique** était alors de **90 t/km²/an dont 63 t/km²/an pour les MES (70 %), 6 t/km²/an pour les matières dissoutes (6,7 %), et 21 t/km²/an pour les matériaux grossiers (23,3 %)**. Quant à au Nakambé, à Niaogho, la **dégradation spécifique** était de **7 t/km²/an**.

La dégradation spécifique varie également selon le mode d'occupation des sols. D'après ROOSE (1973), la dégradation spécifique est de 1 t/km²/an sous forêt, de 10 t/km²/an sous savane, de 100 t/km²/an en région cultivée, et de 1 000 t/km²/an sur sol nu. Au Burkina Faso, les valeurs sont proches : 8 t/km²/an sous savane et 120 t/km²/an sous culture. Elles doivent également être voisines sous forêt et sur sol nu (**Tab. 29**).

En milieu nord soudanien, la dégradation spécifique est de 50 - 100 t/km²/an. Mais, il existe une variabilité interannuelle et/ou spatiale d'origine anthropique ou climatique

Bassin	Forêt	Savane	Cultures	Sol nu
RCA	-	150 - 200	100 - 500	800 - 1 000
Côte d'Ivoire	3-15	-	600	2 000
Guyane	4	35	-	-
Niger moyen	-	600	-	-
Burkina Faso	-	8	120	-
Cameroun du sud	28	-	67	-

Tab. 29 : La dégradation spécifique selon l'occupation des sols dans quelques pays d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique Centrale (en t/km²/an)

Sources : DEMANGEOT (1999), diverses

Après avoir présenté le cadre théorique et méthodologique, il faut à présent « se plonger » au cœur des relevés de terrains et de leur interprétation, afin de mettre en avant les zones à risques, d'identifier les paramètres les plus déterminants, et de comprendre le fonctionnement et la réactivité du système.

6.2 Résultats : une eau trouble qualifiée à juste titre « d'Africaine »

6.2.1 L'importance des saisonnalités climatiques et agricoles

Il est important de rappeler le contexte climatique et l'évolution des stades de croissance des cultures pendant lesquels se sont réalisés les deux terrains. La première campagne de prélèvements (octobre à décembre 2008, saison sèche et fraîche) s'est déroulée

⁶⁵ La Kompienga appartient à la même zone climatique que la Doubégué, la superficie de son bassin versant équivaut à celle de Bagré. Son module annuel est de 12,1 m³/s, son module spécifique est de 2,2 l/s/km², son coefficient d'écoulement est de 9 % et sa turbidité annuelle est de 0,95 t/m³/an.

lors d'une **année** dite « **normale** », d'un point de vue pluviométrique. L'*United States Agency for International Development* (USAID) la qualifie même d'année excédentaire (période 1971 - 2000). Cependant, elle met en avant des inquiétudes sur la **pérennité de l'eau en contre-saison** du fait de **l'ensablement des retenues**.

La seconde campagne de terrain (juin à septembre 2009) s'est opérée au cours d'un **hivernage marqué par la faiblesse des précipitations durant le mois de juillet**. Il faut remonter à l'année 2000 pour rencontrer un total pluviométrique mensuel si faible. En mai, des pluies prématurées se sont déclenchées. Des semis précoces ont été réalisés, en particulier dans la région Est. Les agriculteurs se sont alors exposés à un risque d'échec dans le cas d'une pluviométrie faible, ce qui a été le cas au cours des mois de juin et de juillet. Les pâturages ont également été fortement dégradés et les stocks de fourrages naturels ont diminué. De plus, les sous-produits agro-industriels étaient peu disponibles et à un prix élevé : le sac de 50 kg de son valait entre 8 500 et 9 500 F CFA en mai 2009. La généralisation des semis s'est alors effectuée pendant la 3^{ème} décade de juin au lieu de la première décade de juillet. A Tenkodogo, elle s'est déroulée un peu plus tôt entre le 1^{er} et le 15 juin. Le ralentissement des semis de céréales face à la situation pluviométrique a entraîné le flétrissement des plants au stade de levée et un début de tallage (production de multiples tiges). En définitive, l'installation des semis des légumineuses s'est fait avec un retard. Néanmoins, les totaux pluviométriques ont repris des valeurs normales au cours de la 3^{ème} décade de juillet et de la 1^{ère} d'août. **En août**, nous avons alors pu constater **un bon développement des cultures malgré l'irrégularité des précipitations**. Les céréales étaient au stade de montaison avec un début d'épiaison/floraison pour le maïs (récolte moyenne). Ainsi, en septembre 2009, la situation a été qualifiée de déficitaire avec une tendance à la normale. Cependant, le **cumul des pluies** de septembre et d'octobre présente une **diminution de 30 %**. Des problèmes d'alimentation se sont alors produits à la fin du premier trimestre 2010, en raison d'une part de la faible productivité, et d'autre part de l'insuffisance des pâturages.

Il est également important de rappeler qu'en période d'étiage, les éléments transportés sont regroupés, concentrés dans un faible volume d'eau alors qu'en fin d'hivernage, lors de la période de grandes eaux, la dilution est à son maximum. Ainsi, **entre le 15 novembre et la fin du mois de décembre**, lors de l'abaissement rapide du niveau de l'eau dans l'ensemble des cours, les valeurs les plus élevées sont observées (volume d'eau plus faible). **Les plus faibles, quant à elles, se manifestent de la fin septembre à la mi-octobre** quand la dilution est importante, les événements météorologiques rares, et les sols mieux protégés par le couvert végétal. **La saisonnalité climatique influant les débits des cours d'eau a donc un impact sur la turbidité**. Elle introduit des quantités plus ou moins grandes de précipitations qui favorisent le ruissellement ou le lessivage (valeurs importantes en août et septembre), et l'écoulement dans les cours d'eau.

De plus, bien que la quantité d'eau précipitée joue un rôle important, l'intensité pluviométrique a le plus fort impact. Plus elle est élevée plus le nombre de particules aptes à se détacher du sol est conséquente. Ainsi, **les orages de début de saisons de pluies**, qui sont de plus précédés par les vents violents, **ont des effets en termes de turbidité beaucoup plus importants qu'une faible pluie en continu**.

Par ailleurs, **l'existence d'une saisonnalité agricole agissant sur la turbidité** ne doit pas être omise. La plante, ayant différents stades d'évolution au cours du calendrier agricole, ne protège pas le sol de manière identique au cours de l'année. A partir de la première décennie d'août, le développement végétal de la majorité des cultures se produit. Les sols sont alors mieux protégés de l'impact des gouttes de pluies. Cette couverture est réellement efficace à partir de la deuxième décennie d'août (**photo 21**). La protection sera variable selon le type de spéculation plantée. Ainsi, les arachides, le pois de terre et le haricot protègent mieux les sols que les cultures de maïs, de mil, et de sorgho. Le coton est un cas à part car bien qu'il protège mieux le sol que les trois dernières céréales citées, il se développe plus tardivement laissant le sol peu protégé plus longtemps. En effet, les arachides, le pois de terre et le haricot se développent au ras du sol, elles ont un taux de couverture important en regard des secondes dont le port est plus haut, droit, sous forme d'épis. La protection est d'un côté homogène, alors que pour les cultures du maïs, du mil, et du sorgho, les espaces entre les épis subissent l'action érosive de l'eau. C'est pourquoi, l'association culturale peut être une solution afin d'opérer une bonne protection du sol.

Les travaux agricoles ont également un rythme saisonnier. Le labourage conduit à une perte de cohérence du sol. Au Burkina Faso, cette action se déroule de plus en plus sous forme attelée et non plus manuellement. Le sol perd alors sa cohérence sur une plus grande profondeur. La préparation des sols s'effectue de mars à juin, puis s'opère le désherbage, le sarclage, et les semis qui peuvent s'étendre, selon les types de culture, jusqu'à la fin septembre. **Ces espaces sont donc menacés pendant plusieurs mois par l'action érosive des pluies et du ruissellement.** Or, ces champs préparés, quasi à nu, sont des zones de départ de quantités importantes de particules retrouvées dans les cours d'eau. Néanmoins, la présence, parfois, de résidus agricoles permet de ralentir, de freiner l'impact des gouttes de pluie et du ruissellement. Cette pratique de protection des sols doit donc être développée au maximum.

D'un point de vue général, l'érosion des sols est donc importante du mois de mai au début du mois de septembre. Pendant mai et juin, elle est ponctuelle, mais elle s'opère sur des sols totalement à nu et préparés (les particules seront plus facilement arrachées) lorsqu'il s'agit de parcelles devant être mises en culture. Les espaces « naturels » sont, également, moins développés. Leur rôle de protection est amoindri suite à la saison sèche. L'ensemble de la zone est donc peu, voire parfois non protégée, de l'action érosive, et lors des événements pluviométriques, les particules sont donc transportées jusqu'au cours d'eau.

Puis, durant les mois de juillet et d'août, les cultures s'épanouissent, la végétation se développe. Fin août, les sols semblent mieux protégés. La zone reverdit. Les précipitations sont plus importantes et plus intenses. L'action érosive est donc encore importante. Ainsi, le **mois de juillet et les 2-3 premières décades d'août** connaissent-ils d'**importants transports de particules** en direction **des cours d'eau**. Ces derniers deviennent, peu à peu, permanents.

En définitive, dans les premiers temps, les forts taux de turbidité s'observent quelques heures en même temps que s'actionnent les premiers écoulements. Puis, à partir de **mi-juillet**, un **pic de turbidité** est mis en évidence pendant quelques heures, suivi d'une baisse. **Plus la saison humide progresse, plus une dilution de la turbidité s'opère**, bien que des pics soient toujours observables pendant quelques heures après l'événement pluviométrique.

6.2.2 Des sols originels pauvres et des événements météorologiques intenses dans un contexte de dégradation du couvert végétal

Les relevés ont été réalisés au cours de deux campagnes de terrain : la première au cours des mois d'octobre, novembre et décembre 2008 (**Fig. 44** et **Tab. 30**), et la seconde lors des mois de juillet et août 2009 (**Fig. 45** et **Tab. 31**). Il est alors intéressant de noter les différences observées entre le cœur de l'hivernage et les mois qui lui font suite (**Tab. 32**).

Il a fallu mettre en place une présentation des sites afin de les replacer dans leur environnement particulier respectif (cadre morphopédologique, occupation des sols et évolution du couvert végétal, changements apparus au niveau du réseau hydrographique, etc.). Bien que le travail de thèse implique une synthèse des résultats, nous estimons que ce travail de terrain doit pouvoir être utilisé par les gestionnaires locaux. De plus, lors de nos entretiens avec les différents organismes et associations, nos interlocuteurs étaient désireux d'accéder à nos résultats écrits. Nous tenons donc à ce qu'une présentation par site soit intégrée ici. Il ne s'agit pas non plus d'une annexe puisque c'est à partir de ce travail que nous avons pu effectuer la synthèse qui suit. Le lecteur intéressé par les détails du fonctionnement du système trouvera ici toute l'information nécessaire. Pour le lecteur désireux d'une synthèse, il pourra « dépasser » cet encadré.

	Sem. 1 (21- 22/10)	Sem. 2 (27- 29/10)	Sem. 3 (03- 05/11)	Sem. 4 (10- 12/11)	Sem. 5 (17- 19/11)	Sem. 6 (25-26/11)	Sem. 7 (01- 03/12)	Moy.
Pésséré	Pas d'eau	209	1 067	Pas d'eau	Pas d'eau	Pas d'eau	Pas d'eau	638
Lac	28	21	25	32	25	21	14	24
Belcé	44	64	73	419	257	295	553	244
Dazé	67	88	152	178	292	307	491	225
Bassaré	61	61	104	157	156	123	113	111
Kabri	Pas d'eau	48	24	30	29	34	30	33
Zaba	81	74	90	75	59	28	19	61
Douka	102	119	153	266	1 100	785	692	460
Doubégué	166	164	151	186	173	157	171	167
Bagré	106	76	70	87	102	172	201	116
Moyenne	82	92	191	159	244	214	271	

Tab. 30 : Relevés de turbidité (NTU) après la saison des pluies 2008

	Sem. 1 (01-02/07)	Sem. 2 (08 et 09/07)	Sem. 3 (13- 15/07)	Sem. 4 (20- 21/07)	Sem. 5 (27- 28/07)	Sem. 6 (03- 04/08)	Sem. 7 (10- 11/08)	Moy.
Pésséré	1 100	460	1 029	743	318	533	262	635
Lac	545	420	301	232	125	202	93	274
Belcé	424	206	301	266	385	404	209	314
Dazé	501	258	314	350	1 023	68	434	421
Bassaré	555	652	444	338	1 100	695	606	627
Kabri	Pas d'eau	Pas d'eau	139	72	764	447	120	308
Zaba	688	216	377	213	318	432	293	362
Douka	1 100	Pas d'eau	1 061	418	348	149	148	537
Pata	231	231	350	174	151	396	139	239
Doubégué	1 100	Pas d'eau	784	309	669	581	350	632
Bagré	414	134	99	155	129	186	300	202
Moyenne	666	322	473	297	485	372	269	

Tab. 31 : Relevés de turbidité (NTU) au cours de l'hivernage 2009

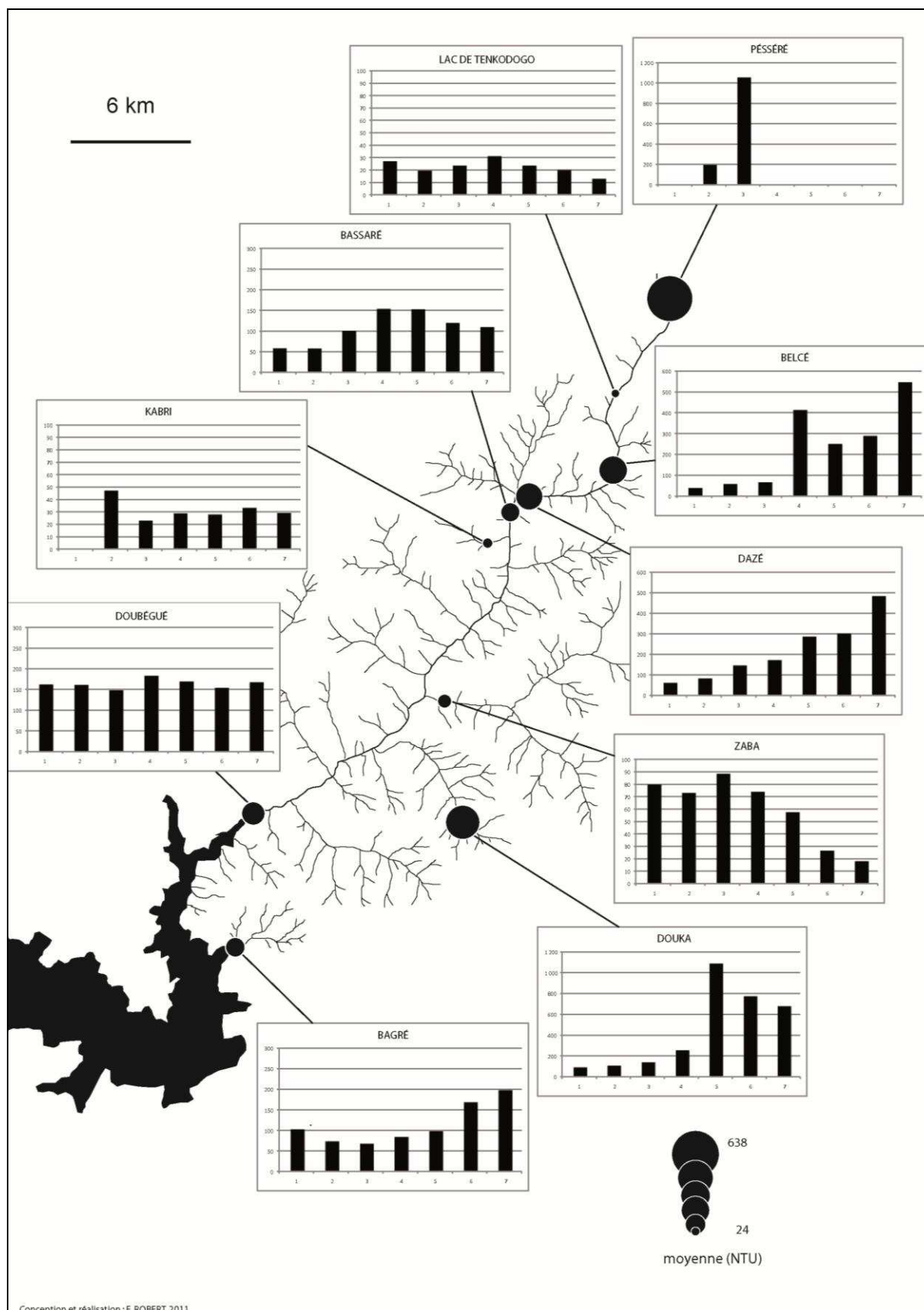


Fig. 44 : Relevés de turbidité dans le bassin versant de la Doubégué en fin de saison sèche (2008)

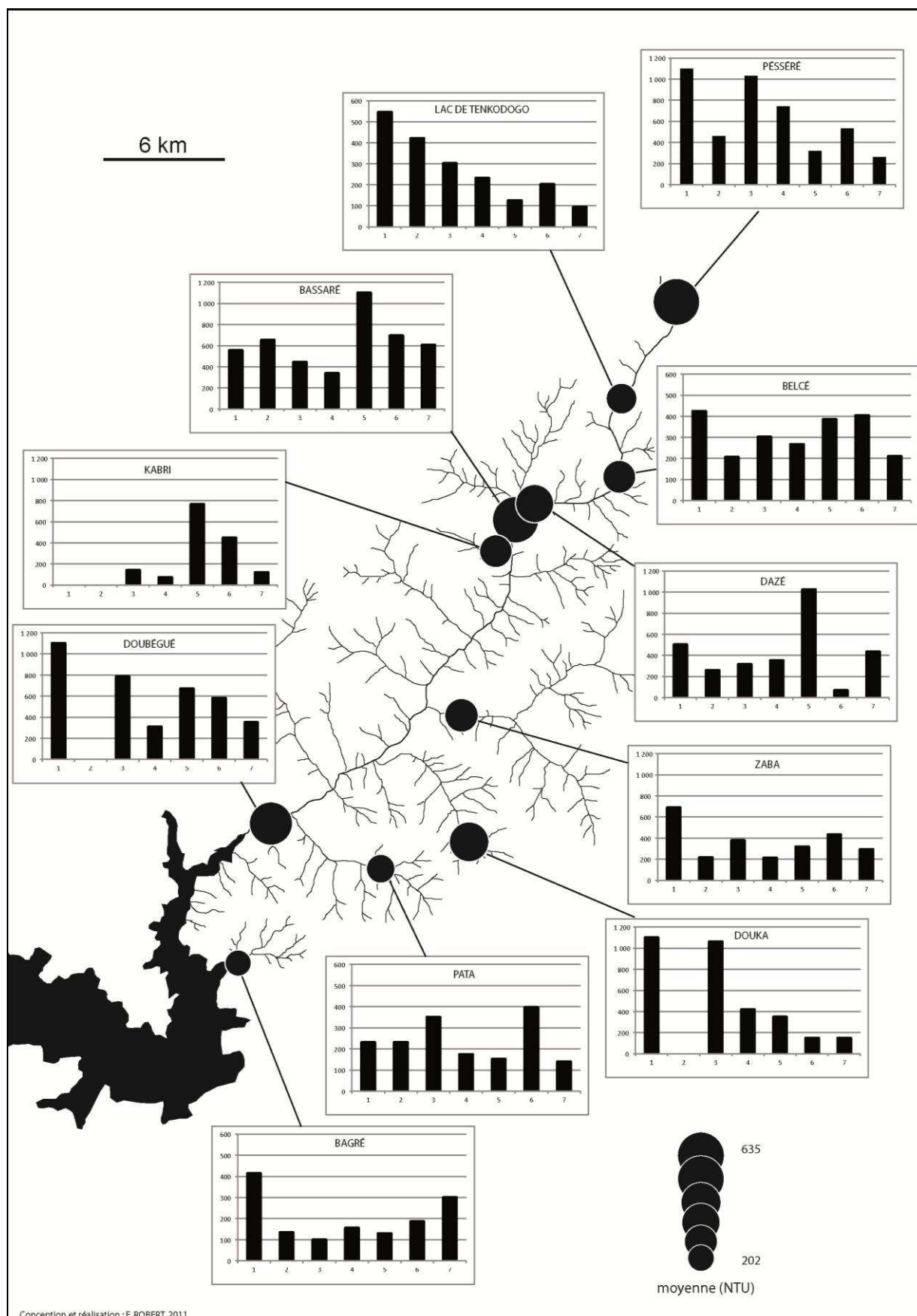


Fig. 45 : Relevés de turbidité dans le bassin versant de la Doubégué au cours de la saison des pluies (2009)

	Valeur moyenne en saison humide	Valeur moyenne en saison sèche	Valeur minimale	Valeur maximale	Moyenne
Pesséré	635	638	209	1066	637
Lac	274	24	14	545	149
Belcé	314	244	44	553	279
Dazé	421	225	67	501	323
Bassaré	627	111	61	1 100	369
Kabri	308	33	24	764	171
Zaba	362	61	19	688	194
Douka	537	460	102	1 100	499
Pata	242	-	-	396	-
Doubégué	632	167	151	1 100	400
Bagré	202	116	70	414	159
Moyenne	402	207	76	748	318

Tab. 32 : Tableau récapitulatif des moyennes de turbidité au cours des deux campagnes de terrain

Les sites sont présentés depuis la source de la Doubégué jusqu'à sa confluence avec le lac de Bagré. Par ailleurs, elle s'achève par la présentation de Bagré localisé à l'extérieur du bassin versant. Il a été retenu car il est représentatif des nombreux petits affluents rejoignant la retenue de Bagré.

Pesséré

Il s'agit du nom du lieu-dit du site correspondant à **la source de la Doubégué**, localisée à une altitude de 320 m. Il se situe au nord de Tenkodogo. Ce village est sous l'influence directe de la croissance de la ville, comme l'ont souligné de nombreux cultivateurs interrogés dans le secteur. Ils craignent d'être repoussés, lorsque les propriétaires de leurs terres voudront vendre à de nouveaux arrivants désireux de construire et de vivre en périphérie de cette ville en pleine expansion. En effet, située sur l'axe reliant Ouagadougou au Togo mais aussi au Ghana, elle constitue un point d'attraction. De nouvelles terres risquent alors d'être déboisées. Or, elles sont peu nombreuses et la pression foncière risque donc de s'accroître.

Cet espace dispose de sols peu évolués d'érosion régosoliques et de sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés. En regard de ces types de sol, en théorie, il devrait être respectivement observé des *badlands* ainsi que des terres marginalement aptes aux cultures pluviales et irriguées, et aptes aux plantations. Or, cette zone a connu de profonds bouleversements au cours des 15 - 20 dernières années. Auparavant, la Doubégué prenait sa source 200 à 300 m plus en amont, **l'eau stagnait et restait plus longtemps. Le cours était plus large**. Il faut imaginer que les personnes qui s'y baignaient⁶⁶ ne pouvaient être vues. La végétation ripicole était développée (herbes fixatrices) et la profondeur importante de 1,50 m à 2 m à certains endroits. Il y a, encore 15 ans, c'était donc une « *cuvette remplie d'eau* » (paroles d'interrogé). Mais, tout a été raviné, ensablé, et cela s'est aggravé depuis 5 ans (**photo a** de la **Planche photos 16**). L'étude diachronique a souligné cette réalité. Entre 1986 et le début des années 2000, ce secteur a connu une mise en culture totale. La modification sur les versants s'est principalement effectuée entre 1986 et 1995. Par la suite, la baisse trop importante de la productivité a entraîné un abandon de nombreuses terres (enquêtes 2008 et 2009). Par ailleurs, en 1995, le cours d'eau était encore protégé par un couvert végétal au niveau de ses berges. Puis, ce dernier a régressé. De plus, l'eau ne stagne plus au site de l'ancienne source. Les berges sont attaquées. L'eau issue des versants, chargée de particules, s'écoule jusqu'à ce secteur disséqué ; et lors des fortes averses, elle érode et ne stagne plus.

⁶⁶ Au cours de nos enquêtes, plusieurs personnes vivant depuis longtemps dans ce secteur ont rapporté ce fait.

Actuellement, la profondeur n'excède pas les 30 cm, le cours est moins large, et le temps de présence de l'eau s'est fortement réduit. Les cultures de riz, de tomates, etc. ont laissé leur place à celles du mil, du sorgho, et des arachides. La terre « *ne donne plus* » comme souligne un enquêté. **Les puits que les cultivateurs creusent sont à sec, et la disponibilité en eau est négligeable dans ce secteur.** L'environnement est devenu semi-aride. « *Peut-on planter des choses s'il n'y a pas d'eau ?* » s'interroge un cultivateur. De **nombreuses ravines** sont apparues au cours de ces dernières années, et elles menacent des terres cultivées. Les abords même du cours d'eau ne sont plus mis en culture. En regard des sols présents à l'origine, ces derniers ont dû aussi jouer un rôle dans l'explication du **changement de type d'agriculture**. En effet, les sols n'étaient pas spécialement aptes à supporter des champs rizicoles et des cultures maraîchères.

Ce site dispose d'une des **turbidités les plus élevées** lors des deux campagnes de prélèvements : 638 NTU lors de la première (1^{er} rang) et 635 NTU au cours de la seconde (2^{ème} rang). La zone est fortement touchée par le **phénomène de ravinement**, principalement au niveau de l'ancienne source. En effet, les blocs observés au cœur du lit ont une hauteur de 40 cm pour un diamètre de 30 cm, et ceux arrachés au niveau des berges sont de 35 cm de diamètre et 13 cm de haut. L'eau « attaque » la **base** des berges. Quant à la profondeur, elle est de 1,40 à 1,50 m, alors qu'au site de prélèvement elle n'est plus que de quelques dizaines de centimètres. Par ailleurs, le lit du cours est fortement occupé par du **sable issu** de l'ancienne source, d'un petit affluent de rive gauche et des versants mis en culture. Enfin, cette importante turbidité est également liée à un double processus physique et chimique saisonnier. Ce point d'eau stagnant est soumis aux rayons du soleil. Ainsi, d'une part, l'eau se charge alors en éléments solides en remontant à la surface. D'autre part, un phénomène **d'eutrophisation** s'opère car les agriculteurs de la zone utilisent des engrais. La concomitance de ces deux processus n'est qu'une hypothèse. Toutefois, la part du premier doit prédominer sur la seconde.

La première campagne de prélèvements, effectuée durant la fin du mois d'octobre, celui de novembre et au début de décembre, a permis de rendre compte de cette réduction dans le temps de la quantité d'eau disponible. Le cours d'eau étant à sec dès la semaine du 10 novembre 2008, **seules deux mesures** ont pu être réalisées. Lors du premier prélèvement, les valeurs de turbidité étaient de 209 NTU, ce qui est déjà élevé (caractéristique des eaux de surface Africaines). La semaine suivante, alors que la rivière était presque à sec, le chiffre était de 1 066,5 NTU. Il est important de rappeler que l'année 2008 est qualifiée, d'un point de vue pluviométrique, d'année normale. Les habitants proches de la source de la Doubégué disposent donc d'eau (dans la rivière), uniquement pendant cinq mois, et pas toujours en quantité importante.

Cette partie du bassin versant a subi de **profondes transformations depuis 15 - 20 ans**. Suite aux différentes sécheresses, le cours d'eau s'est modifié. Au fil des années, ce milieu a été profondément disséqué. En effet, les fortes précipitations irrégulières (interannuelles et intra-annuelles) ravinent les petits rus. A présent, seules des céréales comme le mil, le sorgho sont cultivées, ou encore des arachides. Les arbres fruitiers ont disparu ainsi que la faune sacrée.

Il a donc fallu attendre la campagne suivante (**photo b de la Planche photos 16**) afin d'avoir une meilleure connaissance du fonctionnement de l'érosion et de son corollaire : la turbidité. En effet, trois valeurs caractéristiques ont pu être identifiées : **250 NTU, 450 NTU et 1 000 NTU**.

Le premier cas a été observé au cours de deux prélèvements le 27/07/2009 et le 10/08/2009. Il s'agit respectivement d'une baisse régulière de la turbidité suite à l'absence ou à de très faibles pluies pendant 3 semaines, et à une augmentation de la quantité d'eau suite à une pluie moyenne (25 mm) au cours de la nuit et du matin. Cette faible valeur après une précipitation s'explique par le fait qu'à partir du début du mois d'août, **la végétation bien développée et les champs mis en culture** (recouvert par les plantes cultivées) jouent un rôle important en freinant l'action hydrique, et en piégeant les particules transportées par l'eau. Pendant les quatre à cinq premières semaines de l'étude, la protection des sols est trop faible et les pluies agressent les sols. Elles sont secondées par l'action érosive du ruissellement quand celui-ci a pu s'enclencher suite à l'effet « *splash* » et au développement de la **croûte de battance**. Cette dernière se développe facilement à cet endroit.

La majorité des valeurs observées **s'échelonnent entre 450 et 750 NTU**. Il s'agit, le plus souvent, de chiffres observés une semaine après une forte pluie.

Enfin, les valeurs supérieures à 1 000 NTU correspondent à des résultats obtenus suite à des précipitations importantes (30 mm) la veille ou l'avant-veille. On a donc des **temps de réaction très court**. Les particules sont apportées principalement par **l'ancienne source et par le petit cours d'eau de rive gauche**, eux-mêmes ayant reçus des **matériaux issus des versants** et des champs mis en culture (**photos c et d de la Planche photos 16**). En effet, ce petit cours présente des traces de ravinement (**photos e, f et g de la Planche photos 16**). Par ailleurs, **la piste** porte des marques **d'érosion** (largeur 90 cm et profondeur de 40 à 70 cm) suite également aux transports de particules jusqu'au site de prélèvement.

Le temps de réponse du système est très rapide. Après un événement pluviométrique, il semble donc s'opérer une **évolution temporelle : 1 100 NTU pendant 2 jours, puis 450-750 NTU durant une semaine, et 250 NTU les 7 jours suivants**. En définitive, lorsqu'il y a de l'eau en quantité « suffisante », les valeurs de turbidité sont de 200 NTU en période de fin d'hivernage – début de saison sèche, et varient entre 200 et 400 NTU au cœur de l'hivernage. Les principaux facteurs explicatifs de cette forte turbidité semblent être le manque de **couvert végétal principalement depuis 15 ans et la nature fragile et pauvre des sols**. Ils sont à l'origine de **l'accroissement de l'érosion de surface** augmentant les quantités de particules transportées jusqu'au cours d'eau. De plus, la **composante linéaire** (fortement émettrice de matériau) s'est fortement **développée** au cours des années 2000. Toutefois, les quelques zones protégées par la végétation naturelle ou humaine ont encore un impact (**élément protecteur**) en réduisant et en freinant le transport des particules comme le souligne le relevé du 10/08/2009 (**Tab. 30**). Par ailleurs, dans ce secteur, le débit est faible : 0,03 m³/s ; et l'incidence de la pente (son inclinaison ou sa longueur) est quasiment nulle.

Le lac de Tenkodogo

Le second site retenu se localise au sud de Tenkodogo, dans un environnement particulier en regard des autres lieux de prélèvement, car il s'agit d'un lac (environ 0,1 km²). Ce point est intéressant d'une part, pour son emplacement à la sortie de cette ville, et d'autre part pour prendre un exemple au niveau d'une petite retenue d'eau. Cette illustration permet d'enrichir notre connaissance du fonctionnement de l'hydrosystème d'un petit cours d'eau en milieu intertropical : la Doubégué.

Les sols présents autour du lac sont proches de ceux de Pesséré. Il s'agit en rive gauche de **lithosols** sur roche brute associés à des sols peu évolués d'érosion, et en rive droite de **sols ferrugineux** tropicaux lessivés à concrétions et taches. L'aptitude des terres est alors respectivement inapte aux cultures pluviales, irriguées et aux plantations et juste apte à l'élevage ; et moyennement apte aux cultures pluviales, aux plantations et à l'élevage intensif et fourrager.

Le secteur comporte peu de terres mises en culture. En effet, l'expansion de Tenkodogo est importante et limite donc l'activité agricole dans la zone. Néanmoins, les berges du lac agissent comme une attraction pour les populations ayant fait ce choix agricole. Ainsi, l'ensemble du pourtour du lac fait exception, et compte des petits champs de cultures vivrières s'étendant jusqu'aux rives du lac (**photo a de la Planche photos 17**). Des parcelles de riz (**photo b de la Planche photos 17**) sont même plantées jusqu'aux rives.

Les personnes résidentes autour du point d'eau soulignent **l'élargissement du lac** au fil des années. Cela corrobore ce que nous avons observé au niveau du **recul des berges (photos c, d et e de la Planche photos 17)**. Ces dernières portent également des marques d'érosion. L'arbre en équilibre, en partie déchaussé, explicite ce fait. Ainsi, entre le 18 novembre 2008 et le 03 août 2009, la berge a été davantage érodée.

**a : Ancienne source de la Doubégué**

Ancien secteur en eau, à présent totalement disséqué. L'eau stagne 200-300 m en aval

**b : Site de prélèvement de Pesséré**

Turbidité très élevée, et un des secteurs qui a le plus évolué dans le bassin de la Doubégué

**c : Parcelle mise culture**

Parcelle proche de secteur soumis à une érosion linéaire. L'eau est drainée jusqu'à ce secteur dégradé. La parcelle aggrave le phénomène érosif

**d : Zoom sur l'espace dégradé**

Secteur totalement disséqué proche du relevé d'eau (situé un peu plus en aval)

**e : Vue du petit affluent gauche**

f et g : Secteur sableux fortement raviné visible en rive gauche
f : Secteur sableux en aval de la zone fortement dégradée proche de la parcelle soulignant l'importance des particules sableuses issues des versants et transportées par l'eau.



g : Secteur élargi par le passage brusque de l'eau (arbre en équilibre).

Clichés : E. Robert, 2009

Planche photos 16 : Le site de Pesséré

Les valeurs de turbidité sont faibles : dernier rang et 9^{ème} rang (respectivement durant la saison sèche et l'hivernage). De 24 NTU, lors de la première campagne, elles augmentent au cours de la seconde pour atteindre 274 NTU. Il s'agit de la plus forte variation entre les deux périodes d'échantillonnages, ce qui peut sembler surprenant. Elle met en évidence d'une part les **fortes variations possibles entre les saisons** ; et d'autre part que **le déplacement et l'apport de particules sont importants au cœur de l'hivernage**. En effet, lors des mois d'octobre, de novembre, et de décembre l'eau peut être qualifiée de légèrement trouble ou légèrement colorée. Alors que les mois de juillet et d'août révèlent des valeurs de nouveau supérieures à 200 NTU (comme pour l'ensemble des autres sites à cette période). L'explication de cette différence est, qu'à la fin de l'hivernage, le cours d'eau dispose des plus importantes quantités d'eau annuelles. Les précipitations du mois d'octobre sont plus rares et le couvert végétal bien développé. Le transport de particules est réduit et le lac bien rempli. Un effet de dilution influence alors les valeurs de turbidité. Toutefois, au cours de la première campagne de terrain, la profondeur du lac a diminué d'environ 40 cm entre le 29 octobre et le 1^{er} décembre. Les résultats au cours de la seconde campagne de terrain s'expliquent en grande partie par la taille de la retenue. Celle-ci est peu étendue et elle a une réponse hydrologique proche des cours d'eau du bassin versant de la Doubégué. Les valeurs de turbidité sont donc plus élevées en début de saison humide (apport de particules et moins d'eau dans le lac), et elles tendent à diminuer suite à l'accroissement de sa profondeur, de sa superficie, et au développement végétal retenant davantage de particules. Le lac est donc révélateur du système (des variations) fonctionnant dans le bassin versant de la Doubégué. Néanmoins, la quantité d'eau présente, en regard des affluents et de la Doubégué, explique ces valeurs plus faibles.

Par ailleurs, il est intéressant de noter une différence majeure entre les deux campagnes. Lors de la première, les valeurs de turbidité n'ont varié que de 20,5 à 32,125 NTU alors qu'au cours de la seconde elles sont passées de 545,3 à 93,3 NTU. L'une se caractérise par des relevés variant peu tandis que la seconde met en évidence une diminution au fil des semaines de la turbidité du lac (effet tampon du lac diminuant l'impact des écoulements au cours de la saison humide). Au cours de la deuxième campagne, une partie des particules issues des champs et du quartier de Doubré a été transportée par l'action hydrique jusqu'au lac. Certaines particules n'ont pas été transportées jusqu'au plan d'eau et ont été déposées. La différence de teintes au niveau du sol révèle ce processus, telle que la présence de **plages de sable plus claires (photos f et g de la Planche photos 17)**. Par ailleurs, **l'érosion linéaire** agit comme le souligne la rigole canalisant les écoulements depuis les champs jusqu'au lac (**photo h de la Planche photos 17**).

De plus, lors des deux derniers relevés, des **débris organiques** (dont des brindilles dans le lac) ont été observés, ainsi qu'une élévation du niveau de l'eau suite aux importantes précipitations du début du mois d'août. Cela a eu pour effet de réaugmenter les valeurs de turbidité lors de la semaine 6 de 125 NTU à 202,3 NTU. L'apport en particules a donc été important malgré le développement du stade de floraison des espaces cultivés et plus largement de la végétation. Cela peut s'expliquer par : la présence en amont de la ville de Tenkodogo, l'apport par le cours d'eau, et surtout une réponse instantanée du système suite à une forte pluie. En effet, dès la semaine 7, les valeurs étaient redescendues à 93,3 NTU.

L'étude de ce point permet de montrer que **les variations saisonnières de cet hydrosystème affectent aussi les plans d'eau. Ils sont également soumis à des variations instantanées**. Elles sont cependant moins visibles du fait de la quantité d'eau (**effet de dilution**).

Belcé

Le troisième site se situe toujours dans la partie amont du cours principal de la Doubégué et se localise 5 km au sud de Tenkodogo. N'étant pas sous la dépendance de nombreux affluents, il est particulièrement intéressant. En effet, entre le point précédent et celui-ci, ces derniers sont alors peu susceptibles d'augmenter ou de diluer la turbidité : un très petit, deux de taille moyenne, et un plus important. Il s'agit alors d'une **sorte de relevé témoin** (de la turbidité) de la **partie amont** du bassin versant de la Doubégué.



a et b : Champs cultivés aux abords et sur les rives du lac du site 3 (rive gauche)

a : Parcelle de culture vivrière en lien direct avec le lac

b : Parcelle rizicole à la limite des berges du lac



c et d : Recul des berges du lac entre les deux campagnes de terrain

Le 18 novembre 2008

Le 03 août 2009

e : Erosion des berges

Recul des berges mis en évidence par l'apparition des racines



f et g : Marques d'érosion et de dépôt

f : Trace du passage de l'eau soulignées par les marques plus claires
g : Dépôt de particules (sables) issues des parcelles bloquées par une présence herbeuse

h : Rigoles aux abords du lac

Rigole se creusant chaque année, formée depuis la parcelle jusqu'au lac

Clichés : E. Robert, 2009

Planche photos 17 : Le lac de Tenkodogo

-Elodie ROBERT-

Les risques de pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué (Burkina Faso) : pour une gestion intégrée

Par ailleurs, ses abords se caractérisent par une **impression de relative verdure**. La mise en culture est plus modérée. De même, au lieu de prélèvement, le site présente **une savane arbustive dépourvue de mise en culture comprenant parfois des fragments de savane arborée**. L'impact anthropique semble assez faible au niveau du cours d'eau. Toutefois, le versant en rive droite porte davantage de parcelles cultivées. Entre 1986 et 2007, et surtout entre 1986 et 1995, la mise en culture s'est opérée progressivement affectant davantage la rive gauche que droite. De plus, cet espace est fréquemment affecté par le passage de troupeaux.

D'un point de vue pédologique, on peut distinguer trois espaces : en rive gauche des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétion et à taches, en rive droite des sols lessivés indurés, et en amont des sols ferrugineux lessivés indurés. L'aptitude des terres se répartit donc entre celles moyennement aptes aux cultures pluviales, aux plantations et à l'élevage intensif et fourrager en rive gauche et à l'amont, et celles marginalement aptes aux cultures pluviales et irriguées mais aptes aux plantations en rive droite (au nord de Loanga). Cette dernière information souligne l'adéquation entre la théorie et la mise en pratique récente de ce secteur de Loanga : des plantations dans un premier temps d'eucalyptus semblant évoluer vers l'implantation d'autres espèces moins néfastes (cf. Partie 4).

Le début de **saison sèche** se caractérise par une évolution régulière de la turbidité de 44,2 à 553,25 NTU avec une moyenne de **207 NTU** « identique » à la **moyenne calculée sur l'ensemble des sites de prélèvements** sur cette période qui est de **206,8 NTU**. Cette augmentation progressive est en lien direct avec la diminution continue de la quantité d'eau présente dans le cours d'eau au fil des semaines. La variation entre les périodes de prélèvement est de l'ordre du tiers.

En période d'hivernage, il est intéressant de souligner qu'il se produit les **mêmes variations de concentrations en MES que remarquées à Pesséré**. Une fois de plus, ces dernières trouvent leur origine dans **l'impact des événements pluviométriques, atténué à partir du mois d'août par l'avancée du stade de floraison**. La différence de valeurs (635 NTU à Pesséré contre 314 NTU à Belcé) s'explique par la présence d'un couvert végétal au niveau même du cours d'eau freinant, piégeant, et empêchant le transport d'une partie des particules jusqu'à la Doubégué, ainsi que d'une protection végétale relative en rive gauche.

L'épisode le plus intéressant s'est déroulé au cours de la 5^{ème} semaine. En effet, le 27 juillet 2009 nous nous sommes retrouvés au point de Belcé aux environs de 12 h. Un orage a alors éclaté, ce qui nous a permis d'effectuer ce relevé sous la pluie et de voir comment s'organisait l'écoulement de l'eau précipitée. Les pistes ont été prises par l'eau en quelques minutes et la quantité présente n'a fait qu'augmenter (**photos 25 et 26**). Comme décrit au cours de la Partie 2, le travail de l'érosion hydrique a été observé. La piste en rive gauche s'est transformée en un petit affluent. L'eau a alors creusé davantage cette dernière. **L'érosion de type linéaire** prédomine alors de ce côté. Alors qu'en rive droite, l'espace est plus large, plus homogène est davantage soumis à une érosion de surface. Elle est à l'origine d'apports importants en particules comme le souligne la présence d'un mini « cône de déjection » le lendemain (**photo 48**). Durant l'averse, cet espace a été totalement pris par les eaux, le débit a crû, au point de devenir un tributaire (**photo 61**). **Les temps de réactions sont donc très faibles** (une dizaine de minutes). Il aurait été intéressant de faire un relevé au cœur de l'événement puis à sa fin⁶⁷. La valeur enregistrée ce jour-là a été de **385 NTU**. Le cours s'est beaucoup élargi, et l'eau est arrivée de trois nouveaux « tributaires » différents. La pluie n'a cessé qu'à 15h30min.

Le lendemain matin au même site, nous avons comparé la physionomie du cours d'eau ainsi que la turbidité. En une journée, cette dernière était redescendue à **184,6 NTU**. Le débit était de 1,68 m³/s alors qu'en semaine 3 il était de 0,58 m³/s. Un banc de sable était visible au niveau du passage de la piste. Des morceaux de la berge (**photo 62**) ont été arrachés par la violence du débit.

La forte valeur obtenue la veille était en relation avec l'eau boueuse, colorée, apportée par les pistes, et avec l'érosion hydrique opérée sur les versants. Dès l'arrêt de ces **apports latéraux**, la turbidité diminue. Les fortes valeurs de turbidité mises en évidence relèvent donc de cette action. **Il semble qu'il existe un système de « domino »** : les particules sont transportées depuis les versants aux pistes, puis ces dernières (souvent transformées en rus) servent de relais jusqu'au cours principal. Suite à cet événement, le cours d'eau s'est élargi. Il a continué de s'écouler sur toute cette nouvelle surface

⁶⁷ Cela n'a pas pu être réalisé car nous devions récupérer notre véhicule avant d'être bloqués au site de prélèvement.

en semaine 6 suite aux pluies de la veille (le 2 août). Le débit était alors de 0,44 m³/s (plus faible qu'en semaine 3). La profondeur était par ailleurs plus importante que le 28 juillet. Cette différence est due principalement à l'activation d'un petit affluent en rive gauche du site de prélèvement. L'eau occupait également une des pistes. Le sol était totalement gorgé d'eau, il est tombé 63,8 mm en une semaine. Au cours de la dernière semaine, le cours d'eau originel a été retrouvé : la partie droite n'était plus dans l'eau. La présence d'un arbre en partie déraciné souligne le passage régulier d'un écoulement au cours de l'hivernage (**photo 63**). Les pistes laissaient apparaître les traces d'eau ressemblant à de petits chemins. Le courant était plus faible que la semaine précédente.



Photo 61 : Secteur de rive droite transformé en tributaire au cours d'un événement pluviométrique intense



Photo 62 : Portion de berge arrachée par la puissance de l'écoulement

Clichés : E. Robert, 2009



Photo 63 : Secteur en rive droite régulièrement emprunté par des écoulements lors des principaux événements pluvieux

Cliché : E. Robert, 2009

En définitive, la valeur moyenne à Belcé est plus faible que celle de l'ensemble des points d'eau : 307 contre 395,3 NTU. Cela doit être lié à la présence **d'un couvert végétal plus développé au niveau du cours d'eau**. Cette protection de la Doubégué s'observe **en amont et en aval du site de prélèvement** ainsi qu'au **sud du lac** précédent. La végétation joue le rôle de « peigne ». Néanmoins, le facteur **événement pluviométrique** a toujours un **impact important**, mais cette fois-ci seulement **d'ordre journalier** du fait de cette protection végétale.

Dazé

Ce 4^{ème} site se localise au sud de Loanga, au niveau de la piste reliant ce village et Zéké. Les prélèvements sont effectués dans le cours d'eau principal de la Doubégué (largeur 1,80 m). Les valeurs sont dans l'ensemble supérieures à celle de Belcé quel que soit la période de prélèvements. Un **nombre plus important d'affluents** doit être pris en compte. De plus, certains portent des sols peu évolués d'érosion dans leur partie amont. Il s'agit d'un espace principalement rizicole disposant de nombreux bas-fonds.

Les sols sont homogènes entre les deux points : une petite section en rive gauche de sols peu évolués d'érosion régosolique, et principalement des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétion et à taches. La première zone correspond donc en théorie à une zone de *badlands* où devraient être appliquées, en priorité, des actions de restauration des sols. Quant à la seconde, elle comprend des terres moyennement aptes aux cultures pluviales, aux plantations et à l'élevage intensif et fourrager. Cependant, ce **milieu est moins sableux, plus gravillonnaire que les trois précédents**.

Comme pour Belcé, une augmentation continue de la turbidité au cours de la saison sèche de 66,8 à 490,75 NTU a été observée. Ce fait s'explique toujours par la diminution de la quantité d'eau présente dans le lit. En effet, cela est particulièrement visible entre les semaines 1 et 3. D'une part, le 5 novembre, le nombre de nénuphars a augmenté, et d'autre part davantage de cailloux sont apparus la semaine du 17 novembre. En sept semaines, l'eau a alors fortement diminué.

Entre les deux périodes de prélèvements, la **variation** observée est supérieure à **47 %** ce qui est proche de la valeur **moyenne générale**. La turbidité passe de 225 NTU à 421 NTU qui sont des valeurs caractéristiques des **eaux de surface « Africaine »**.

Au cours de l'hivernage, entre les deux premières semaines, le site a évolué comme les autres : division par deux de la valeur. Des blocs arrachés aux berges sont visibles dès la première semaine. La semaine 3 a connu une légère augmentation de la turbidité, identique à Belcé.

La différence s'est opérée en semaine 4 pendant laquelle une élévation de la valeur s'est produite en lien, comme au cours de la saison sèche, avec une réduction de la quantité d'eau. L'eau était très colorée. Elle ne s'écoulait plus aussi facilement. Les **nénuphars** ont continué de se développer (en nombre et en taille). Le débit s'est ralenti : 0,41 m³/s à 0,27 m³/s.

Comme pour l'ensemble des relevés, la semaine 5 s'est caractérisée par un pic de turbidité en relation avec la forte pluie du jour même : 1 023 NTU. La rivière a débordé (**photo 64**) et la berge droite a été recouverte. Les importantes quantités d'eau étaient issues de la partie amont. En effet, la piste ici n'a pas joué le rôle intermittent de cours d'eau tel qu'à Belcé ou à Pesséré.

En semaine 6, une différence par rapport aux autres points a été observée. La turbidité a diminué de façon importante : la quantité d'eau était identique alors que le courant avait augmenté (retour au niveau de la semaine 4) avec un débit de 0,28 m³/s. Une accélération s'est opérée au niveau de la bifurcation vers la gauche permettant une bonne évacuation des turbides. Cette diminution s'explique par la combinaison d'une bonne quantité d'eau et d'un **débit assez important**. Par ailleurs, la présence d'une **zone davantage gravillonnaire que sableuse** a également joué un rôle important. Ce fait est une des principales causes de l'impact plus modéré des pluies.

Enfin, lors de la semaine 7, la quantité d'eau a diminué. Les touffes d'herbes sont réapparues (**photo 65**) et le cours d'eau empruntait moins la piste.



Photo 64 : Site de Dazé suite au principal événement pluviométrique (semaine 5)



Photo 65 : Site de Dazé en semaine 7

Clichés : E. Robert, 2009

En définitive, comme pour les autres lieux, les variations de turbidité du site de Dazé doivent être sous **l'influence directe des événements climatiques**. D'un point de vue **spatial**, aux vues de l'étude diachronique, il semble que les **apports latéraux** jouent également un rôle important. D'une

part, la rive droite (Loanga : au nord) est fortement mise en culture, d'autre part, la rive gauche porte de nombreux sols dégradés (entre Sébrétenga et Dazé). En effet, les fortes pluies du mois d'août attaquent les sols préparés et laissés à nu. Les particules sont alors détachées et transportées jusqu'au cours d'eau. Par ailleurs, un lien doit exister entre **une turbidité augmentant moins lors de faibles pluies** et la présence d'un espace davantage **gravillonnaire** (moins sableux). Ainsi, ici, il faut une certaine **capacité d'agressivité** pour qu'il y ait **une efficacité au niveau de la prise en charge et du transport des particules** depuis la zone latérale jusqu'au cours d'eau.

Bassaré

Ce 5^{ème} site est particulier car il se localise **après la confluence** de la Doubégué et de deux de ces affluents principaux (Loang kwila et le Boundoudi). Cette situation permet d'expliquer en partie l'augmentation moyenne de la turbidité à ce point : **627 NTU en saison humide**. Sans la présence de cette confluence et aux vues de l'évolution de la turbidité dans la Doubégué, les valeurs au site de Bassaré devraient se situer aux alentours de 520 NTU.

Les sols sont principalement **ferrugineux tropicaux** tantôt lessivés indurés sur les versants, tantôt lessivés à taches à concrétions au site. La zone amont (Loang Kwila), de même que le secteur de la Boundoudi, portent des sols peu évolués d'érosion. Les terres sont donc marginalement aptes aux cultures pluviales irriguées et aux plantations, ou moyennement aptes aux cultures pluviales, aux plantations et à l'élevage intensif et fourrager. En réalité, il s'agit d'une **zone de passage de troupeaux**, observés chaque semaine. En rive gauche, des **champs rizicoles** sont cultivés tandis que la rive droite porte des **herbes**. **Cet espace est très boueux et vaseux.**

Depuis 10 ans, et surtout plus récemment, il y a une importante prise de conscience de la **nécessité de protéger les sols**. Elle est pour l'instant peu visible au niveau du point d'eau. Néanmoins, les populations interrogées au village de Bassaré la mettent peu à peu en pratique (cordons pierreux, bandes enherbées, plantations de *Moringa oleifera*). Les reboisements sont, encore, essentiellement ponctuels. Il faudrait mettre en place des plants en particulier de neem, qui pourraient être utilisés comme engrais, mais également de néré, de manguier et/ou de karité. Actuellement, il manque une véritable organisation planifiée **associant de grandes plantations, la protection des sols** (cordons pierreux, bandes enherbées) et **l'enfouissement de résidus agricoles et ménagers**. Il convient de réfléchir aussi sur l'association de cultures plus protectrices et sur l'instauration de haies de *Jatropha* et de *Moringa* (vente de graines, enrichissement culinaire, pharmacopée, etc.) afin de réduire l'effet du vent, du ruissellement et l'impact des troupeaux cf. Partie 4). Par ailleurs, en contrepartie de cette volonté de protection, il y a eu un accroissement démographique augmentant alors la demande de terres cultivables.

Le site de Bassaré est parmi ceux qui connaissent une très **forte variation entre les deux saisons** : 82,3 %, de 111 NTU à 627 NTU (4^{ème} à 10^{ème} rang). Les valeurs, inférieures à la moyenne en saison sèche (il s'agit alors d'une eau trouble ou colorée), deviennent largement supérieures pendant l'hivernage du fait de la **confluence amont, de la mise en culture des terres et de la protection moindre des sols**. En effet, cette confluence apporte énormément d'eau au point de prélèvement et par la même des matières en suspension et dissoutes. Elle joue tantôt un rôle d'apport d'eau amont régulier en octobre permettant une régulation et des valeurs de turbidité modérées, tantôt, en juillet et août, elle amplifie ces valeurs (sols moins bien protégés).

De plus, ce site présente une évolution bien différente des autres en saison sèche. Dans un premier temps, il s'est opéré une augmentation de la première semaine jusqu'à la 4^{ème} : de 60,9 NTU à 157 NTU. Cela semble lié, comme pour les autres points, à une baisse de la quantité d'eau présente. Puis la 5^{ème} correspondait à une stagnation : 156 NTU. La différence s'est observée dans un troisième temps, au cours des semaines 6 et 7. En effet, une diminution de la turbidité est apparue ce qui peut sembler surprenant en théorie au regard des autres points. En réalité, sur le terrain, une élévation de la hauteur d'eau s'est produite tel que cela s'est produit à Kabri en semaine 7. Il s'est alors opéré un phénomène de dilution. Cette perturbation ne peut avoir comme origine que l'un des deux affluents. En effet, le site de Dazé n'est pas affecté par une élévation de la hauteur d'eau de la Doubégué. Kabri étant également touché, il doit s'agir de préférence de l'affluent issu de l'ouest.

Par ailleurs, la forte valeur moyenne laisse penser que les **affluents jouent un rôle important dans l'apport de particules**. Entre les deux points, Dazé et Bassaré, les valeurs passent de 421 NTU à 627 NTU, alors qu'ils sont seulement distants de 1,5 km.

L'étude, effectuée au cœur de l'hivernage, a permis de mettre en avant l'importance des **systèmes amont** dans les variations de la turbidité. Sur notre terrain, l'impact de **l'érosion des pistes**, spécialement celle reliant Loanga à Ounzéogo, est particulièrement visible. Cette érosion s'observe principalement au niveau des fossés. Une grande proportion de particules est arrachée, prise en charge au cours des fortes précipitations, et transportée jusqu'aux affluents, puis à la Doubégué. La présence de **ravin**, comme celui de Loanga, joue également un rôle déterminant. Il mesure 1,5 à 2,4 m de profondeur pour une largeur moyenne 6 m et une longueur d'une centaine de mètres (**Planche photos 15**). Dès les deux premières semaines, les valeurs sont élevées : aux alentours de 500 NTU. **L'érosion linéaire** joue donc un **rôle important dans l'amplification des valeurs de turbidité**. Par ailleurs, le versant en rive gauche porte **des sols dégradés**. Cette réalité concerne également les secteurs riverains du Boundoudi, du Loang Kwila, et la zone comprise entre ces deux affluents. Ces secteurs sont émetteurs de nombreuses particules retrouvées par la suite dans la Doubégué au site de Bassaré.

La semaine 3 a été marquée par une diminution, alors que l'ensemble des autres points (exceptés le lac et le site de la Doubégué) a connu une augmentation. Le 9 juillet, 30 mm sont tombés dans la région ayant eu pour effet d'accroître momentanément la turbidité à Bassaré. Puis, comme les pluies ont été très faibles (2,5 mm, 10 mm et 2 mm), le transport de particules a diminué bien que le courant et l'apport d'eau soient restés importants. Cette tendance s'est poursuivie en semaine 4. Il y avait alors un peu plus d'eau qu'en semaine 2, soulignée par la présence d'eau dans l'affluent en rive gauche. Les débits étaient de 0,46 m³/s en semaine 3 et de 0,49 m³/s en semaine 4.

A l'inverse, comme pour l'ensemble des sites, la semaine 5 s'est caractérisée par un pic de turbidité : plus de 1 100 NTU. Suite aux importantes précipitations, le cours s'est élargi, et le courant a été multiplié par quatre (1,98 m³/s). Les valeurs à Dazé sont passées de 400 NTU à 1 000 NTU, et ici de 380 NTU à plus de 1 100 NTU. La plage de sable s'est retrouvée sous l'eau (**photo 66**). Le site en semaine 6 présentait toujours autant d'eau, mais le courant s'est ralenti. **Le temps de réaction est donc très faible**. Le site de **Bassaré** doit être **fortement lié aux autres éléments du système lors d'un laps de temps très court**. Il ne faut pas omettre également, **les nombreux secteurs soumis à l'érosion linéaire en rive gauche (pistes, fossés, ravins, ravines, etc.)** et la présence de **zones portant des sols dégradés soumis aux deux formes d'érosion hydrique de surface et linéaire**. Puis, cette relation diminue au fil des jours. Finalement, en semaine 7, une réduction importante de la profondeur de l'ordre de 50 cm a été observée (**photo 67**). La plage de sable s'est redécouverte. Le débit a fortement diminué (0,69 m³/s), mais il demeure plus élevé que lors des premières semaines.



Photo 66 : Site de Bassaré le 27/07/09 suite à un important événement pluviométrique



Photo 67 : Réduction de la profondeur de la Doubégué de 50 cm par rapport au 27/07/09 au site de Bassaré, le 18/10/09

Clichés : E. Robert, 2009

Enfin, comme déjà évoqué, de nombreux efforts sont réalisés au village de Bassaré afin de stopper l'action de l'érosion par des reboisements à l'aide de manguiers, de *Jatropha*, par la mise en place de bandes enherbées, de cordons pierreux, etc. Mais cette portion protégée se situe dans la partie aval. Or, il serait important que ces actions soient développées en amont. Toutefois, une prise de

conscience s'opère au niveau de la piste reliant Loanga à Ounzéogo. Elle sera lente et difficile à mettre en place du fait du manque de moyens des associations pour la formation, et surtout de la pauvreté des populations dont l'objectif est, avant tout, de pouvoir nourrir leur famille tout au long de l'année.

Kabri

Il s'agit de l'unique site de prélèvement localisé en rive droite. Il est large de 3 m pour une profondeur de 30 à 80 cm et présente des blocs de 20 cm et des gravillons sur ses bords (**photo a de la Planche photos 18**). Par ailleurs, c'est un espace boisé (présence de manguiers, *Jatropha curcas*, etc.), comprenant même une parcelle de maraîchage à l'endroit retenu. Cet espace est particulièrement visible sur les images satellites et constitue une sorte « **d'oasis** » de verdure (**photo b de la Planche photo 19**). A une échelle plus générale, le point de prélèvement se situe dans la partie médiane de l'affluent, il est entouré de champs de culture et de sols dégradés.

Quatre types de sols peuvent être distingués : peu évolués d'érosion régosolique le long du cours d'eau, ferrugineux tropicaux lessivés indurés plus éloignés de part et d'autre, des sols bruns eutrophes peu évolués ferruginisés vertiques en zone amont (source), et, en faible proportion, des lithosols sur roche brute associés à un sol peu évolué d'érosion au centre (en rive gauche). Les terres sont alors qualifiées respectivement de *badlands*, de marginalement aptes aux cultures pluviales et irriguées mais aptes aux plantations, de moyennement aptes aux cultures pluviales de coton et aux plantations, et d'inaptes aux cultures pluviales, irriguées, aux plantations, mais aptes à l'élevage. Le lit du cours d'eau est constitué surtout de cailloux et de graviers (**photo c de la Planche photos 18**, le 05/11/2008). Par ailleurs, d'importantes quantités de sables ont été observées au passage de la piste⁶⁸.

Dans l'ensemble, au début de la saison sèche, le site de Kabri connaît des valeurs de turbidité homogènes et très faibles en regard des autres lieux. Ces dernières varient entre 24 et 34,325 NTU. L'eau est légèrement colorée. A partir de la 4^{ème} semaine, l'assèchement s'est accéléré expliquant l'augmentation à 30 NTU. Lors de la semaine 5, une légèrement diminution de la présence des turbides s'est opérée en relation avec une élévation de la hauteur d'eau. Cette modification peut s'expliquer par **l'ouverture d'un petit barrage en amont**. L'eau au niveau de cet affluent est beaucoup moins trouble, comparable à celle observée dans le lac. Comme pour ce dernier, ce point de prélèvement connaît une des plus importantes variations entre les deux saisons (de 28 à 308 NTU).

Par ailleurs, les versants portent de nombreux sols dégradés soumis à l'érosion principalement aréolaire. Mais, le type linéaire tend à prendre le dessus. Ces secteurs laissent peser de lourds risques sur le cours d'eau. Cependant, **la végétation ripicole** semble avoir un effet **protecteur**. En effet, les zones de sols peu évolués d'érosion régosolique portent **des formations « naturelles »** freinant le transport des particules, en piégeant une partie, et **limitant** ainsi **la dégradation des berges**. Associées à ce facteur, les **actions menées par les hommes** (village de Sasséma) et la présence de **sols eutrophes** peuvent également expliquer ces plus **faibles valeurs**.

Ainsi, la valeur moyenne de turbidité sur ce site en saison humide demeure inférieure à la moyenne de tous les autres. De 2^{ème} rang, il est passé au 4^{ème} rang. Ce site se distingue une nouvelle fois par une particularité en début d'hivernage. En effet, bien qu'il ait plu le 29 juin 2009, il est resté les deux premières semaines à sec. Ce fait renforce l'idée d'un possible petit barrage localisé en amont sur cet affluent. La seule marque visible du passage de l'eau s'observait au niveau des *Jaatropha curcas* qui ont été couchés par la force du courant (**photo d de la Planche photos 18**). Il s'agit du seul site présentant des traces de passage de l'eau aussi violente et marquée.

En semaine 3, le site était en eau suite aux deux événements pluviométriques du 10 et du 13 juillet. Par ailleurs, au niveau de l'arbre, une importante quantité de sable était visible. Elle a dû être transportée et déposée par le courant. Le débit était faible et l'eau colorée : 139 NTU. Lors de la semaine 4, la turbidité a diminué comme pour l'ensemble des autres sites. Il y avait moins d'eau.

La semaine 5, après une pluie intense, s'est caractérisée, par une forte augmentation de la quantité de turbides. Cette violence s'est observée, quelques mètres en amont du point de prélèvement, par la présence de feuilles et de branches mortes au pied de plusieurs arbres. Il semble que ces derniers aient servi d'obstacles lors du passage de l'eau (**photo e de la Planche photos 18**). Par ailleurs, le

⁶⁸ Des camions venaient s'approvisionner en sable à ce site.

cours d'eau était plus profond et plus large (**photo f** de la **Planche photos 18**). Le ru s'est actionné en rive gauche. Le courant était plus important et l'amas de sable au cœur du lit n'était plus visible. La pluie a une nouvelle fois attaqué les sols, et l'érosion hydrique s'est mise en place. Elle a permis la prise en charge des particules des versants jusqu'au cours d'eau.

Les deux dernières semaines ont présenté un retour à la normale. En semaine 6, l'amas de sable était de nouveau visible (**photo g** de la **Planche photos 18**). Le ru ne portait plus que quelques flaques, et la turbidité a diminué. Lors de la semaine 7, la diminution du cours d'eau s'est poursuivie. Le débit était alors de 0,20 m³/s.

Ces valeurs de turbidité proches des autres affluents s'expliquent également par le fait que ces **formations « naturelles »** soient **uniquement présentes le long du cours d'eau**, et qu'elles ne se rencontrent **guère sur les versants**. En effet, Sasséma est le seul village à avoir développé, il y a fort longtemps⁶⁹, la réalisation de cordons pierreux. Par ailleurs, ce site renforce l'idée que les **temps de réponse sont rapides** avec les zones latérales et la partie amont, ce qui avait déjà été observé sur le cours principal de la Doubégué. Ce fait semble alors également se confirmer au niveau de ses affluents. Cette analyse sera étayée par l'étude des affluents de rive gauche.

Zaba

Ce site est localisé dans la partie aval du principal affluent de la Doubégué : la Gnagna ou Kila. Dans son bassin versant se trouvent plusieurs villages agricoles : Koama, Ouanagou, Séla, Vagvagué et Zaba (11 500 habitants en 2009). Les deux premiers rencontrent de nombreuses difficultés tant au niveau du nombre de forages (seulement 2) que dans l'absence de CSPS et d'écoles.

La végétation se développe difficilement dans la partie médiane de ce petit bassin versant. La majorité des arbres plantés meurt avant d'avoir atteint l'âge adulte. Bien que les **conditions de vie et environnementales soient difficiles**, la mise en valeur des terres s'est accrue depuis 1986 passant de formations « naturelles » à des champs foncés (1995) et à des sols cultivés (2007). De plus, le cours d'eau est moins bien protégé : la savane arborée et les formations ripicoles présentes au niveau des berges (1995) ont laissé place à une savane arbustive. Enfin, l'eau stagne moins longtemps qu'avant.

La zone est sableuse, comme pour la majorité des points de prélèvements. Les sols sont ferrugineux tropicaux lessivés à taches et concrétions en rive droite, et lessivés indurés en rive gauche. Les terres sont dans le premier cas moyennement aptes aux cultures pluviales, aux plantations, à l'élevage intensif et fourrager, et dans le second cas marginalement aptes aux cultures pluviales, irriguées et aptes aux plantations. Il existe également quelques sections de sols peu évolués d'érosion où peuvent être observés des *badlands*.

Les valeurs en saison sèche sont caractéristiques d'une eau colorée : **61 NTU**. Une importante évolution s'est opérée entre la semaine 1 et 3. La plage de sable s'est peu à peu révélée. De plus, des marques de dessiccation sont apparues (**photo 30**). La semaine 3 est marquée par un accroissement de la quantité d'eau (**photos a et b** de la **Planche photos 19**). Puis, les quantités d'eau ont de nouveau diminué, mais pas celle des turbides. Ces dernières de couleur gris/noir (**photo c** de la **Planche photos 19**) ont dû se déposer au niveau de la plage de sable. Ainsi, le cours d'eau disposait de quantités plus faibles de MES au site de Zaba. En 7 semaines, la profondeur du cours d'eau a diminué de 60 cm.

Comme pour Kabri, la valeur moyenne de turbidité a connu une **importante variation entre les deux saisons : plus de 80 %**. Ce site présente également une végétation bien développée : les sols et les rives sont alors protégés. Les rythmes de variation des teneurs en turbides sont les mêmes qu'observés précédemment.

Suite à la pluie de la veille, la semaine 1 s'est caractérisée par une forte turbidité (688 NTU). Elle a diminué au cours de la semaine 2 (216 NTU), bien que la quantité d'eau ne fût pas encore importante. Les MES ont dû se déposer, comme en saison sèche, au niveau du banc de sable.

⁶⁹ Il y a plus de 20 ans pour les premiers dans le cadre d'une mission catholique.



a : Gravillons aux abords du site de Kabri
Aspect différent en regard des autres sites sableux



b : Végétation visible autour du site de Kabri
« Oasis » de verdure rare dans le bassin de la Doubégué



c : Eau peu turbide (05/11/08)



d : Jeunes *Jaatropha curcas* couchés par la force du courant (01/07/09)



e : Branchages transportés par les forts écoulements lors des principaux événements et bloqués par les arbres



f : Elargissement du cours d'eau (27/07/09)



g : Retour à la normale en semaines 7 et 8

Clichés : E. Robert, 2009

Planche photos 18 : Site de Kabri

-Elodie ROBERT-

Les risques de pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué (Burkina Faso) : pour une gestion intégrée

La semaine 3 s'est caractérisée par une élévation du niveau de l'eau (visible au niveau du tronc de l'arbre) et de sa turbidité (337 NTU)⁷⁰. Le débit était parmi les plus faibles observés en regard des autres sites : 0,29 m³/s. **Les berges sont érodées (photo d de la Planche photos 19)**. Leur dégradation a conduit à l'augmentation de la quantité de particules présentes dans le cours d'eau. Ce fait n'est pas isolé, il s'est observé tout le long de cet affluent et au niveau d'autres cours d'eau. **Le rôle déclencheur et amplificateur des précipitations dans la variation de la turbidité** est une fois de plus à souligner, **ainsi que des temps de réponse courts**.

Puis, un retour à l'état de la semaine 2 s'est produit. Le débit était alors de 0,39 m³/s. La végétation se développait de plus en plus et un dépôt de sable est visible au niveau du tronc. La semaine 5 s'est caractérisée une nouvelle fois par une augmentation des turbides liée à la forte pluviométrie de la veille. De plus, des traces d'érosion au niveau de la piste (**photo e de la Planche photos 19**) ont été observées. Ce fait renforce l'idée de la forte agressivité des pluies, de l'action hydrique de la lame d'eau qui en résulte, et, par la même, de l'importance des apports latéraux. Les marques sont issues d'une **érosion de type linéaire** soulignée par la mise en place de **rigoles évoluant en ravines**. Le filet d'eau s'est concentré dans cette zone, les écoulements ont **apporté des particules** (présence de sables). Par ailleurs, l'agent hydrique par l'intermédiaire du ruissellement concentré a davantage creusé ce secteur. Ainsi, l'impact de l'érosion de surface est prépondérant sur les versants, et, en bas de ces derniers, l'érosion linéaire devient dominante.

Enfin, la semaine 6, suite à une forte averse, a connu une quantité d'eau équivalente mais une turbidité encore plus élevée. Cet accroissement trouve son origine au niveau **des versants peu protégés, mis en culture aux alentours des villages** cités ci-supra. Les berges sont également davantage affectées. Le débit a fortement augmenté au cours de ces deux dernières semaines pour atteindre 0,91 m³/s. Il s'est réduit (0,74 m³/s) lors de la dernière semaine, tout comme la turbidité. L'importance de la valeur du débit est, ici, essentielle pour comprendre les effets de transport selon sa vitesse. Enfin, la quantité de sable déposée au niveau du tronc semble avoir augmenté en regard de la semaine 4 (**photos f et g de la Planche photos 19**).

En définitive pour le site de Zaba, s'il a plu le jour ou la veille la turbidité augmente comme en semaine 3, 5 et 6. Après deux jours, l'impact devient plus faible. De même, **le débit** est une notion essentielle pour comprendre les valeurs plus ou moins importantes de turbidité. Dès qu'il redescend à 0,7 m³/s, un dépôt s'opère. **L'événement météorologique** a donc un rôle important. Néanmoins, il semble que la **mise en valeur des terres amont et la présence d'espaces dépourvus de végétation** (suite à la régression pluviométrique) soient les **deux principaux facteurs de l'accroissement de la teneur en turbides dans le cours d'eau**.

Douka

Le site de Douka dispose de **valeurs de turbidité élevées pour un affluent (le Pona)**. Sa largeur est de 4 m pour une profondeur maximale d'1 m. La taille de ce cours d'eau est moyenne.

Le site de prélèvement se localise comme pour Zaba en rive gauche, mais cette fois-ci, dans la partie amont de l'affluent. Il est uniquement sous la dépendance de deux villages Douka et Kalakoudi.

Il semble que la forte turbidité est liée d'une part **au substrat et à la pente**, et d'autre part **à la présence et à l'action humaine**. Cette **zone est productrice de coton depuis 15 ans**, alors que la nature de ses sols ne la destinait pas à ce type de culture. En effet, l'étude diachronique a souligné **l'extension de la mise en culture** dans ce bassin versant depuis la fin des années 1980 : formations « naturelles » (1986), puis savanes arbustives et champs foncés (1995), et enfin accroissement de la mise en culture permanente (2007). Cette progression s'est opérée depuis les villages de Douka et de Kalakoudi. L'empreinte humaine s'est principalement développée à partir du milieu des années 1990.

⁷⁰ Il est à noter qu'il a plu le matin même.



a et b : Différence de niveau d'eau entre la semaine 3 et la semaine 4 au site de Zaba
Evolution rapide du niveau dans le lit du cours d'eau

Clichés : E. Robert, 2008



c : Dépôts organiques dans le lit du cours d'eau



d : Berges érodées suite à un événement pluviométrique
Soulignent la force de l'écoulement suite à ces pluies intenses



e : Marques d'érosion linéaire : rigoles



f : Secteur de Zaba et dépôt de sable

Clichés. E. Robert, 2009



g : Dépôt de sable en semaine 7, plus important qu'en semaine 4

Planche photos 19 : Site de Zaba

Les sols rencontrés sont de type ferrugineux tropicaux lessivés à concrétion et taches en rive droite et des **lithosols** sur cuirasse ferrugineuse. Les terres sont donc, en théorie, respectivement marginalement aptes aux cultures pluviales et irriguées et aptes aux plantations, et seulement aptes à l'élevage. En définitive, alors que ce secteur devrait être voué à cette dernière activité et aux plantations, il porte de nombreux **champs de coton** en rive gauche. Ils se localisent, principalement, sur les sols les moins propices à cette culture. Ces faits expliquent les fortes valeurs de turbidité rencontrées au cours des deux périodes de prélèvements : substrat en saison sèche, substrat et activité (sur sols inaptes) en saison humide.

En saison sèche, comme pour l'ensemble des sites, une augmentation des valeurs de turbidité a été observée. Cette progression s'est accélérée entre les semaines 4 et 5 (mi-novembre), tels qu'à Belcé et à Dazé. La profondeur du cours d'eau a diminué de 10 cm entre les deux premières semaines, puis de 40 cm. Au cours de cette période, les traces d'érosion dans le lit de la rivière étaient importantes et la végétation était peu développée (**photo 68**). Le fond du cours d'eau est gris foncé révélant des traces de dépôts d'origine organique (**photo 69**).



Photo 68 : Secteur érodé avec un faible couvert végétal



Photo 69 : Traces de dépôts organiques dans le lit du cours d'eau
Clichés : E. Robert, 2008

Au cœur de l'hivernage, la première semaine s'est caractérisée par une faible quantité d'eau comme à Pesséré. Il y avait peu d'endroits recouverts par les herbes et les berges présentaient déjà des marques d'érosion (**photo 70**). Elles ont été totalement disséquées par l'agent hydrique. Des blocs de 1 m sur 40 cm étaient présents. La pluie de la veille n'avait pas suffi à ce que l'eau demeure en quantité importante. Les valeurs étaient alors de 414 NTU.

La seconde semaine, il n'y a pas eu de précipitations, la présence d'eau dans le cours d'eau était tellement faible que nous n'avons pas pu effectuer de prélèvements, ce qui nous a paru surprenant. Nous n'avons pas envisagé que le cours d'eau ne puisse pas être activé en juillet (en saison des pluies).

Néanmoins, en semaine 3, un filet d'eau était présent, suite à la pluie du jour même de 24 mm. L'eau était alors très colorée (**photo 71**). Le cours d'eau a continué d'augmenter au cours de la semaine 4. Ce fait était également mis en avant au niveau du passage de la piste, de moins en moins praticable. La turbidité a donc diminué en rapport avec la quantité d'eau présente : 418,3 NTU. La pluie de la semaine 5 a permis de réduire une nouvelle fois la turbidité : 348 NTU. Cela peut sembler perturbant en regard des autres sites plus en amont. Mais, dorénavant, il faut également prendre en compte les totaux pluviométriques de Bagré soit 13,5 mm (en plus de ceux de Tenkodogo). L'intensité et la quantité étaient alors trop faibles. L'effet n'était plus assez agressif sur les versants d'où la réduction de la turbidité à 348 NTU.

En semaine 6, le site a connu une importante précipitation la veille. Or, elle n'a plus d'effet le jour même sur l'accroissement des turbides. Seule une augmentation de la profondeur du cours d'eau est constatée. Un filet d'eau était également visible au passage de la piste d'une profondeur de

30 - 40 cm et en amont de 20 cm. La semaine 7 s'est caractérisée par un maintien de la turbidité, bien qu'il y ait eu davantage d'eau. En effet, c'est la première fois que de l'eau a été observée au niveau de la piste en rive droite avec un étagement dans les sables. De nombreuses particules ont été amenées par cette dernière, soulignées la présence d'un cône de déjection (**photo 49**). Comme à Belcé, ces pistes jouent un rôle de relais lors des événements pluviométriques et des écoulements qui en résultent. L'eau est canalisée dans ces secteurs et transporte les matériaux jusqu'au cours d'eau. Les sols de cette zone cotonnière devaient être en majorité à nu, ce qui explique le maintien d'une importante turbidité, malgré l'accroissement de la quantité d'eau. L'effet de dilution n'a pas pu se réaliser.



Photo 70 : Berges totalement disséquées **Photo 71 : Eau très turbide au site de Douka (22/07/09)**
Clichés : E. Robert, 2009

En, définitive, ce site présente **les plus nombreuses traces d'érosion au niveau de ses berges**. L'eau les a littéralement « rongées » à leur base, et elle est à l'origine de la chute de blocs dans le cours d'eau. De plus, les versants de la zone amont sont **peu protégés par la végétation**. Par ailleurs, comme le laisse penser l'évolution de ce paramètre (croissant d'amont en aval), **la turbidité** devrait être plus importante en aval, et elle serait alors **exceptionnelle sur cet affluent : plus de 500 NTU**. Toutefois, la partie aval est davantage protégée principalement en rive gauche par une savane arbustive et arborée.

En résumé, ce petit bassin versant dispose **d'une importante zone de lithosols, d'une pente plus importante et d'une mise en culture sur des sols inaptes**. Ce secteur est donc fragile et pauvre, et facilement érodable.

Pata

Le site de Pata se situe également sur un affluent de rive gauche, mais dans sa partie médiane, juste au sud dudit village. Il correspond au dernier affluent important. Sa région amont comprend de **nombreux villages** implantés sur un milieu **caillouteux, peu propice aux activités agricoles**. De nombreux cailloux sont encore présents dans les champs ainsi qu'au niveau des pistes. Leur présence en quantité pourrait expliquer la plus faible valeur de turbidité : 239 NTU pendant l'hivernage (2^{ème} rang). En effet, les cailloux vont jouer un rôle d'obstacle, casser les écoulements (diminution de la vitesse), et perturber le transport de particules fines. En définitive, la quantité de ces derniers sera plus faible. Les relevés au niveau de ce site se sont uniquement déroulés au cours de l'hivernage.

Par ailleurs, sur le lieu du prélèvement, la zone est totalement dépourvue de végétation en rive droite. Elle porte de nombreuses **traces d'érosion de type linéaire** sur 8 à 9 m de long et plus de 1,10 m de hauteur (**photos 72 et 73**). Ce secteur est totalement raviné. Un arbre déraciné témoigne du processus d'élargissement du cours d'eau.

De part et d'autre du lit fluvial, les sols sont peu évolués d'érosion régosolique. Les versants portent en rive gauche amont des sols bruns eutrophes tropicaux vertiques et ferruginisés, et en rive droite des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétion et à taches ainsi que quelques lithosols. La rive gauche est composée de sols moyennement aptes aux cultures pluviales de coton et aux plantations. Celle de droite comprend des secteurs théoriquement voués à des cultures pluviales, des plantations et à l'élevage intensif et fourrager, ainsi que quelques terres inaptes. Les sols sont donc peu aptes aux cultures. La majorité risque de devenir, ou n'est déjà, des *badlands*.



Photo 73 : Ravines visibles en rive droite du site de Pata



Photo 72 : Secteur érodé sur plus de 1,1 m au site de Pata

Clichés : E. Robert, 2009

En 1986, ce secteur était totalement protégé par des formations naturelles. Depuis, il a été peu à peu mis en culture. Actuellement la moitié amont de ce bassin est intégralement cultivée. Seuls les abords des cours d'eau portent un couvert végétal. Toutefois, dans sa partie aval la savane arborée et la savane arbustive demeurent encore bien développées.

Pendant l'hivernage, en semaine 2, la valeur était de 240 NTU après une semaine sans précipitations⁷¹. Il y avait alors peu d'eau. En semaine 3, la turbidité a augmenté suite à deux pluies. Il y avait davantage d'eau dans le cours. En deux semaines la profondeur a gagné 10 cm. Les deux semaines suivantes ont présenté une tendance à un retour à la semaine 2 suite à deux faibles pluies (10 mm en semaine 4 et 13,5 mm en semaine 5) ayant eu peu d'impact, à la différence de la pluie violente en semaine 3. En semaine 5, la valeur de turbidité était alors de 170 NTU.

La semaine 6 a correspondu à un pic de turbidité suite à la forte précipitation de la veille de 34 mm. Il y avait davantage d'eau. Il s'agit, une nouvelle fois, d'un système où les **temps de réponse** sont **rapides** et où le rôle de **l'agent pluie** est **primordial** pour expliquer **les variations de turbidité** : 400 NTU.

Enfin, la dernière semaine, n'ayant connu que de faibles précipitations, a vu sa turbidité diminuer à 150 NTU, à l'inverse de sa quantité d'eau. Les valeurs devraient être davantage élevées en aval : 400 NTU, et à l'inverse plus faible en amont : 200 NTU.

Le secteur du site présente un aspect fortement disséqué, avec d'importantes marques d'érosion linéaire formées par les écoulements issus des versants. Cependant, les **valeurs de turbidité sont faibles en regard des autres sites portant des parcelles cultivées**. L'origine est principalement la présence de **nombreux cailloux**. Il y a moins de particules facilement mobilisables et le parcours des ruissellements est cassé par la présence des éléments plus grossiers. **Les écoulements doivent se concentrer en aval des versants**, au niveau de ce site, expliquant **ces formes d'érosion linéaire**.

En définitive, il semble que les faibles précipitations de l'ordre de 10 mm jouent un rôle d'augmentation du débit, mais qu'elles n'ont pas d'impact sur l'accroissement de la turbidité. Il est nécessaire que **l'événement soit plus agressif (plus de 30 mm)** pour assister à l'augmentation de la quantité de turbides. Ainsi, **à partir de 24 mm** précipités la veille, cette croissance est visible : de 220 à 350 NTU, et elle est davantage marquée lors d'un événement **de 34 mm** : de 150 à 400 NTU. Enfin, ce site met en avant, **qu'au bout de deux jours, l'effet dilution** devient plus important et qu'il entraîne **une diminution de la turbidité**.

⁷¹ Suite à un problème mécanique, nous n'avons pas pu effectuer le prélèvement lors de la première semaine.

Doubégué

Ce site se localise à la **confluence entre la Doubégué et le lac de Bagré**. Le relevé s'est effectué, juste en amont, dans une zone assez difficile d'accès, au cœur d'une zone rizicole (**photo 74**). Le secteur comprend plusieurs manguiers qui sont tantôt les pieds dans l'eau, tantôt à sec.

Le secteur n'est franchissable qu'à partir d'octobre-novembre. Dès janvier, il est à sec. Par conséquent, au cœur de l'hivernage, il est très difficile de réaliser le prélèvement au centre du cours d'eau. Comme dans l'ensemble du bassin versant, ce site connaît une variation importante entre **les deux périodes de prélèvements : 56 %**.

Les sols sont de part et d'autre des lithosols sur cuirasse ferrugineuse. Plus en amont, ceux de rive gauche sont bruns eutrophes tropicaux vertiques et ferruginisés, et ceux de droite des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétion et taches. Les terres sont alors principalement inaptes ou moyennement aptes aux cultures pluviales de coton et aux plantations, et moyennement aptes aux cultures pluviales, aux plantations et à l'élevage intensif et fourrager.



Photo 74 : Champs rizicoles aux abords du site de la Doubégué

Cliché : E. Robert, 2009

La saison sèche est marquée par une diminution progressive du cours d'eau ainsi que par une élévation, au fil des semaines, de la turbidité. Le taux de variation entre les deux périodes de prélèvements est un peu supérieur à la moyenne, mais il demeure modéré. Cette différence peut s'expliquer par la présence de lithosols au niveau du site de prélèvement. En effet, ces derniers sont davantage attaqués pendant l'hivernage. Cette action accentue les valeurs de turbidité. Par ailleurs, ce fait peut être également renforcé par la présence de sols peu évolués d'érosion. L'ensemble de ces facteurs explique donc cette **valeur moyenne de 632 NTU** au cours de l'hivernage. Enfin, il se situe à l'aval du système, et la turbidité augmente le plus souvent d'amont en aval.

Le 30 juin, suite à la forte pluie de la veille (31 mm), les arbres ont déjà les « pieds dans l'eau » (**photo 75**). Les taux sont alors supérieurs à 1 100 NTU⁷². En semaine 2, il n'y avait plus d'eau (**photo 76**). Ce fait était surprenant. Une nouvelle fois l'observation de ces 15 jours souligne à quel point **le temps de réponse du système est lié au déclenchement ou non d'un événement pluviométrique**. Puis, le niveau de la rivière a réaugmenté en semaine 3, suite aux précipitations du 9 et du 13 juillet. De l'eau était même visible au niveau de la fin de la piste pour se rendre au prélèvement et les champs de riz étaient inondés. La valeur était importante 800 NTU et un courant était clairement visible dans la zone de prélèvement.

Comme pour de nombreux sites, la semaine 4 s'est caractérisée par une diminution de la quantité d'eau et de la turbidité (250 NTU), bien qu'il y ait eu une pluie de 11,5 mm à Bagré et que Tenkodogo n'ait pas connu de précipitation le jour même. Cela prouve qu'il faut **une pluviométrie supérieure** pour qu'il y ait **un impact amplificateur sur la turbidité**. Il a suffi d'attendre la semaine suivante pour en avoir la confirmation. En effet, suite à la pluie de la veille sur Bagré de 13,5 mm et sur Tenkodogo de 38,5 mm, le site a présenté une forte quantité d'eau et surtout une turbidité

⁷²Nous n'avons pas pu effectuer le relevé au cœur du lit, expliquant en partie cette valeur élevée. De plus, l'ensemble des prélèvements avaient pu se réaliser au cœur du lit, la valeur moyenne aurait dû être de 250 NTU et non pas 350 NTU.

importante de 700 NTU. Il semble donc que **ce qui se déroule sur Tenkodogo ait un impact important**, bien que plus faible qu'à Bassaré.

Dans ce secteur, **le rôle des pluies est toujours primordial**. Mais son étude a également montré à quel point les **différentes parties du réseau hydrographique de la Doubégué sont liées**. La semaine 6 a maintenu ces valeurs : 600 NTU, suite à des précipitations la veille sur Bagré et Tenkodogo. Il y avait beaucoup plus d'eau que la semaine précédente. Enfin, la dernière semaine, les quantités d'eau se sont réduites, les pluies tombées au cours des 10 derniers jours ont été trop faibles. La turbidité a également diminué 390 NTU.



Photo 75: Site de la Doubégué en semaine 1



Photo 76 : Site de la Doubégué en semaine 2

Clichés : E. Robert, 2009

En définitive, les pluies tombées sur Tenkodogo ont un réel impact. La **turbidité et la quantité d'eau** semblent être corrélées **pendant 2 jours**. Par ailleurs, le site se situe à l'aval d'une portion dominée par les sols peu évolués d'érosion (depuis Zaba jusqu'au lac) à la différence de la partie supérieure. Enfin, le **couvert végétal bien développé joue le rôle d'effet tampon** expliquant ce plus faible taux. Il s'agit en rive droite du **centre biblique**, et en rive gauche de la **zone pastorale de la Doubégué**.

En définitive, au cours de l'hivernage, les taux rencontrés sont supérieurs à ceux de Dazé, mais inférieurs à ceux de Bassaré du fait de sa confluence. **Les affluents le long de la Doubégué ont des valeurs s'échelonnant entre 239 NTU et 326 NTU**. Ils sont à l'origine en partie du maintien d'un taux de turbidité assez important plus de 500 NTU tout le long de cette rivière. Par conséquent, **ces valeurs sont soutenues par ces petits cours d'eau**. La **mise en culture des rives de la Doubégué** qui sont alors davantage **soumises à l'action érosive** de l'eau est également à prendre en compte. Elle se localise principalement **dans le secteur médian**, et plus modérément **dans le secteur aval** portant plus de champs foncés.

Bagré

Il s'agit d'un site localisé à **l'extérieur du bassin versant de la Doubégué**, d'une largeur de 15 m et d'une hauteur de 1,70 m. Sa taille explique les valeurs moyennes plutôt faibles de turbidité (116 NTU et 202 NTU). Néanmoins, il semblait intéressant à étudier car il correspond à la confluence entre un petit affluent et le lac de Bagré. De plus, il matérialise la limite entre la zone pastorale de la Doubégué et l'espace mis en valeur par la MOB dont fait partie le centre éco-touristique. Ainsi, la rive droite correspond à la zone pastorale, et celle de gauche est un secteur où les agriculteurs ont été déplacés afin de construire ce centre. Ils ont donc été relogés plus en amont, comme à Pata.

La zone, comprise entre le site de prélèvement et le lac de Bagré, peut être qualifiée de savane arbustive. C'est un secteur très sableux au niveau de la piste et en rive droite, à l'inverse des nombreux gravillons présents en rive gauche. Elle porte de nombreuses traces d'érosion régressive.

Il existe **une opposition de rive** entre les sols. Celle de gauche porte des sols peu évolués d'érosion puis des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et taches. Tandis que celle de droite présente davantage de sols bruns eutrophes vertiques et ferruginisés. En théorie, ils correspondent respectivement à des *badlands*, des sols moyennement aptes aux cultures pluviales, aux

plantations et à l'élevage intensif et fourrager ; et moyennement aptes aux cultures pluviales de coton et aux plantations. Il semble donc que ce soit **un des secteurs les plus propices à l'agriculture** de part cette **importante proportion de sols bruns**. Mais, ils correspondent à la zone pastorale. Les agriculteurs critiquent ce choix alors que les pasteurs disent que ces terres ne sont pas bonnes. Ces sols sont donc une des causes de désaccords entre les deux catégories d'acteurs.

Durant les trois premières semaines de la saison sèche, une baisse de la quantité d'eau a été observée, principalement en aval du relevé d'eau, ainsi qu'une réduction de la turbidité de 106 à 70 NTU. Ce qui a semblé surprenant. A partir de la troisième semaine, le cours d'eau a également diminué en amont du point de prélèvement. Ce fait s'observait d'une part particulièrement en rive droite où les nénuphars étaient plus nombreux, et d'autre part au passage de la piste laissant apparaître de plus en plus de sable. Les rives s'opposent également : sables contre roches (**Planche photos 8**).

A partir de la semaine 4, l'évolution de l'ensemble des autres sites est retrouvée : à savoir une élévation progressive de la turbidité (89,975 NTU) avec pour corollaire une diminution de la quantité d'eau présente. La piste était alors totalement découverte. En semaine 5, il n'y avait même plus d'eau en amont et en aval du point de prélèvement, et la turbidité a poursuivi sa progression : 101,75 NTU. La semaine 6 a présenté la même évolution. La semaine 7 a témoigné de la presque fermeture du cours d'eau. La lame d'eau n'était plus que de 10 cm, et la valeur de turbidité de 200,75 NTU.

Au cours de l'hivernage, comme pour la majorité des points observés, la première semaine s'est caractérisée par un pic de turbidité (414 NTU) en relation avec la forte précipitation de la veille. Les apports sont donc venus de l'amont, principalement des versants cultivés en rive gauche sur des sols peu évolués d'érosion (peu propices à la mise en culture et facilement érodables). Des gravillons sont présents en rive gauche. Quant à la plage de sable en rive droite, elle était recouverte par la végétation, et le courant était faible.

Au niveau de la piste d'importantes traces d'érosion sont présentes : 75 cm à 1,5 m de large, 8 m de long et 80-90 cm de profondeur. Le premier horizon est noir comprenant quelques taches ocre sur 20 cm et présentant des racines. Le second de 70 cm ne dispose pas de ces dernières (**photo 77**). Il est alors intéressant de comparer la progression de l'érosion régressive entre les deux campagnes de terrain (**photo 78 et 79**) : un approfondissement et un élargissement de ce secteur.



Photo 77 : Différence d'horizons au site de Bagré



Photos 78 et 79 : Évolution de l'érosion entre le 21/10/08 et le 11/08/09
mise en évidence du recul du pan où se trouvait la règle en 2008

Clichés : E. Robert, 2008 et 2009

En semaine, la turbidité a diminué : 134 NTU. Une partie des particules a dû se déposer au niveau de la plage de sable, tels qu'à Bassaré et Zaba. Cette progression s'est poursuivie la semaine suivante : 99,2 NTU. La pluie journalière matinale du 20 juillet a été à l'origine de l'augmentation de la turbidité lors du prélèvement une heure plus tard : 155 NTU. Une fois de plus, la relation est soulignée entre la hausse de la turbidité et la pluie du jour même. La zone sableuse, recouverte de végétaux, agit comme un véritable support. La valeur, la semaine suivante, a peu diminué, il y a eu une faible pluie la veille.

La semaine 6, comme à son habitude, s'est caractérisée par un pic suite à la forte pluviométrie (34 mm) : 186,3 NTU. Cette augmentation reste cependant modérée par rapport aux autres sites : d'une part, il s'agit d'un petit affluent, d'autre part la végétation déjà bien développée à certains endroits a joué son rôle de filtre. Et, en semaine 7, la turbidité a augmenté : 299,7 NTU.

En définitive, pour le site de Bagré, **cette valeur plus faible** par rapport aux autres sites peut s'expliquer par la **petite taille de cet affluent**, et par la **très bonne protection de sa rive droite**. Les **valeurs de turbidité** doivent trouver leur origine principalement au niveau de **la rive gauche** reposant **sur des sols fragiles** (peu évolués d'érosion) **mis en culture**. La réalisation du complexe écotouristique devrait permettre la reprise végétale dans ce secteur et diminuer la turbidité. Par conséquent, une nouvelle fois, **l'influence de la pluie sur la turbidité** doit être soulignée. Principalement, lorsqu'elle se produit le **jour même**, mais également si elle s'est déroulée **la veille** et a été importante : **plus de 30 mm**. Par ailleurs, la **végétation** joue aussi un rôle à partir du **début du mois d'août**. Ainsi, passé un jour, le poids des précipitations est alors à relativiser.

Dans le bassin versant de la Doubégué, **l'impact de l'évènement pluviométrique** s'observe au maximum **pendant 48 h**. De plus, il doit être **supérieur à 30 mm**. Un pic de turbidité se produit pendant 1 à 2 jours, puis une diminution s'opère durant une semaine. Toutefois, cet évènement météorologique est **atténué à partir de la mi-août** suite au développement végétal des cultures et à la reprise des espèces de type « naturel » en particulier les herbes. A partir, de cette période, la durée du pic de turbidité est réduit, de même que sa valeur. De plus, au niveau de deux sites (Zaba et Douka), l'impact de l'évènement pluviométrique intense est uniquement visible pendant un jour.

Par ailleurs, le second élément à prendre en compte lors de l'étude du paramètre turbidité est **l'occupation des sols**. L'analyse diachronique a souligné, à quel point, le bassin versant de la Doubégué a connu un accroissement des superficies cultivées. Cette mise en valeur était de 26,5 % en 1986. En deux décennies, elle a été plus que doublée (62,2 %). La progression de la mise en culture a été plus importante au cours des années 1990 que des années 2000. Toutefois, entre 1995 et 2007, une diminution de la pratique de la jachère s'est opérée au profit de cultures permanentes. La mise en culture a progressé depuis l'amont du bassin de la Doubégué et depuis les interfluves en direction respectivement de l'aval du bassin et des vallées. Ainsi, les sites amont et médians sont davantage affectés par cette anthropisation : Pésséré, lac de Tenkodogo, Belcé, Dazé, Bassaré et Zaba.

Ainsi, le site de Zaba a une position particulière. Au nord, le bassin versant est fortement mis en culture et porte de nombreux sols dégradés. Au sud, il est encore modérément protégé, bien qu'attaqué depuis les interfluves (Pata, Douka, Ounzéogo).

Cette évolution dans l'occupation des sols du bassin versant de la Doubégué a joué un rôle dans la modification et l'amplification des phénomènes érosifs (soulignée en Partie 2). Parallèlement à cette mise en culture, deux évolutions se sont produites : **l'érosion de surface a affecté davantage d'espaces**, et **les formes d'érosion linéaire se sont étendues** (en nombre et en taille), principalement depuis la fin des années 1990. Ce fait est souligné par la mise en place du ravin de Loanga. **L'apparition de ces nouveaux espaces dégradés combinés à une érosion de surface croissante a un impact non négligeable sur les valeurs élevées de turbides observées (tout particulièrement au cours de l'hivernage)**. Les ravins et les ravines sont des zones fortement émettrices de particules localisées en bas de versant et donc fortement reliées aux cours d'eau. Le site de Pésséré a connu la mise en place de ravines

localisées entre les champs et la Doubégué. Ces dernières ne font que progresser de manière régressive. Les sites de Bassaré, et de Dazé sont également de parfaits témoins de l'influence de l'érosion linéaire sur les teneurs en turbides retrouvées dans la Doubégué. Ils sont tous deux sous la dépendance de secteurs dégradés porteurs de ravins, et de ravines. De plus, lors des événements pluviométriques intenses, les pistes se transforment en relais, elles sont totalement prises par les eaux et sont alors attaquées (Douka, Belcé). Des traces d'érosion linéaire sont aussi visibles au niveau des rives du lac de Tenkodogo et de Zaba

Toutefois, les transports de particules issues des versants, et des formes d'érosion linéaire (ravins, ravines) peuvent être ralentis par la **présence d'un couvert végétal aux abords du cours d'eau. La végétation joue donc un rôle de tampon et de filtre**. Ce fait s'observe particulièrement aux sites de Belcé et de Kabri. Bien que leurs versants soient anthropisés et qu'ils portent chacun sur leur versant de rive gauche des sols dégradés, les valeurs de turbidité sont relativement faibles en regard de cette mise en valeur et de cette dégradation. La comparaison des valeurs de turbidité observées à Dazé et à Belcé, tous deux localisés avant la confluence (de la Doubégué avec le Loang kwila et le Boundoudi) confirme ce fait⁷³.

Un troisième paramètre, lié à l'impact des événements pluviométriques intenses, explique ces valeurs de turbidité élevées : **la pauvreté des sols** du bassin versant de la Doubégué. Néanmoins, il faut souligner qu'il existe des différences. En effet, les sols peu évolués et les lithosols sont davantage menacés par les processus érosifs. Il convient donc de mettre en avant les sites reposant sur ces deux types de sols : Doubégué, Douka, Pata, Kabri, lac de Tenkodogo, Bassaré, Pésséré, et plus modérément Dazé.

Par ailleurs, **les pentes du bassin** versant sont majoritairement inférieures à 2 %. Cependant, il ne faut pas omettre de prendre en compte **leur longueur**, particulièrement dans le cadre d'une mise en culture importante. Les écoulements ont alors tendance à prendre davantage de vitesse. Par conséquent, **le processus érosif est accru que ce soit pour le type aréolaire ou linéaire**. Les fortes valeurs de turbidité sont également à relier à ce paramètre.

Nous achèverons cette conclusion par la présentation de deux paramètres aux impacts plus faibles : **la position dans le système hydrographique et le type de texture (sableuse, gravillonnaire, etc.)**.

Ainsi, Bassaré est sous l'influence directe de deux affluents jouant un rôle important au cours de l'hivernage. De plus, en amont, ce secteur porte des pistes affectées par l'érosion linéaire (piste de Loanga). Par ailleurs, d'amont en aval, les valeurs de turbidité augmentent : progression depuis l'amont du bassin (Pésséré) vers l'aval Zaba. De même selon la localisation des sites sur les affluents, les relevés sont plus ou moins élevés.

Une différence apparaît également entre les sites sableux et ceux pouvant être qualifiés de gravillonnaires. Pésséré est de type sableux à la différence de Kabri ou encore de Dazé. Néanmoins, ce paramètre joue un rôle uniquement lors des événements de faible intensité. Comme observé à Dazé, lors de pluies intenses la turbidité croît de manière importante. A l'inverse, la présence de cailloux au niveau de Pata a un réel impact. Ils cassent les

⁷³ La situation à Belcé n'aurait pas pu être confrontée à celle de Bassaré se situant en aval de cette confluence, et pour lequel il faut prendre en compte d'autres facteurs.

écoulements. Leur impacts sont alors circonscrits à l'espace aval des versants (où il y a moins de cailloux). L'érosion s'opère donc sur des surfaces plus limitées, diminuant parallèlement les quantités de particules amenées jusqu'au cours d'eau et donc la turbidité.

Ainsi, la **combinaison de la diminution du couvert végétal et donc de l'extension des cultures sur des sols originellement pauvres est à l'origine d'un accroissement de l'érosion de surface et linéaire et donc d'une augmentation des turbides**. En définitive, suite à un événement important les **temps de réactions sont très rapides, et liés aux éléments du système (sols dégradés, mise en culture, pistes, fossés, ravins, ravines)**. Puis, la relation diminue au fil des jours. Ce fait est avéré pour la Doubégué et pour ses affluents.

Abordons, à présent plus précisément, ces différentes conclusions afin de pouvoir dégager des généralités applicables à ce bassin versant et à ceux évoluant dans un contexte similaire d'un point de vue humain et physique.

6.2.3 Conclusion : un lien turbidité/érosion prégnant, accentué par l'emprise humaine

6.2.3.1 L'impact des variations interannuelles

Comme souligné en début de ce point, pendant la seconde campagne le mois de juillet était déficitaire. Puis, il s'est opéré un retour à la normale fin juillet - début août. Les pluies de juillet, plus nombreuses en année normale, sont agressives. Par conséquent, elles attaquent les sols, et les ruissellements apportent davantage de particules au cours d'eau. Les relevés auraient donc dû connaître des valeurs plus élevées en juillet, et les sols auraient dû présenter des marques d'érosion plus importantes en nombre et en taille.

A l'inverse, les mois de mai et de juin ont été dans l'ensemble davantage pluvieux. A Bagré, il a été respectivement observé 100,2 mm contre en moyenne 77,9 mm, et 158,2 mm contre 122,4 mm. A Tenkodogo, les totaux pluviométriques ont été pour le mois de mai de 85,9 mm contre en moyenne 72,2 mm, et pour le mois de juin de 202,3 mm contre 109,2 mm (**Tab. 33**). Cette **forte pluviométrie des mois de mai et juin a également eu une incidence sur la quantité de turbides présente dans le cours d'eau**. En effet, dans le bassin versant de la Doubégué, les champs sont préparés au cours des mois de mars, d'avril et de mai. Puis, ils sont désherbés, sarclés et binés de juin à octobre. Les sols devant être mis en culture sont alors à nu pendant les mois de mai et juin. La terre remaniée et ameublie est alors plus facilement transportable. Par ailleurs, ce processus est amplifié lorsque sont effectués des billons à la charrue. L'autre problème rencontré par les populations à cette période est le semis. Suite à ces pluies importantes, les agriculteurs ont pris le risque de semer précocement. Mais, cette tendance ne s'est pas poursuivie en juillet. Il a donc fallu semer de nouveau et cela plusieurs fois. Or, tous les cultivateurs ne peuvent pas se le permettre.

Suite à ce mauvais début agricole, les travailleurs se retrouvent à devoir effectuer de multiples travaux et sur des types de cultures différents. Ce fait handicape les familles qui ne disposent pas de nombreux bras afin d'effectuer l'ensemble des préparations.

	Mai			Juin			Juillet		
	Moy. annu. (mm)	Moy. 2009 (mm)	Taux de variation (%)	Moy. annu. (mm)	2009 (mm)	Taux de variation (%)	Moy. annu. (mm)	2009 (mm)	Taux de variation (%)
Bagré	77,9	100,2	+ 25	122,4	158,2	+ 23	180,2	105,2	- 41,7 %
Tenkodogo	85,9	72,2	- 15,9	109,2	202,3	+ 46	175,8	124,7	- 29,1 %

Tab. 33 : Taux de variation des précipitations des premiers mois de l'hivernage en 2009 (moy. 1950-2007)
Sources : MOB et Direction Générale de la Météorologie

En définitive, il pourrait être pensé que la pluviométrie plus importante de mai-juin et moindre de juillet s'équilibrerait sur l'impact général au niveau des valeurs de turbidité. Or, ce **faible total en juillet** a eu pour conséquence **un développement moindre du couvert végétal et des plantes cultivées. Les pluies** suivantes, de la **fin juillet** et du mois **d'août**, ont alors été d'autant **plus agressives pour les sols**. Les valeurs de turbidité du mois d'août 2009 devraient se rapprocher de celle d'un mois de juillet en année normale. Par ailleurs, si les précipitations avaient eu une bonne répartition, le couvert végétal aurait dû être davantage développé au mois d'août 2009. Les sols auraient été mieux protégés, moins propices au départ de particules et les cours d'eau davantage en eau. Ainsi, les **valeurs de turbides** pour le **début** du mois **d'août** (15 premiers jours) doivent être **surévaluées en 2009**, et doivent davantage correspondre à un **mois de juillet en année normale**.

6.2.3.2 L'importance de la variabilité temporelle durant l'hivernage

Pendant l'hivernage, dès qu'il se produit un événement pluviométrique, cela a pour conséquence l'augmentation immédiate de la turbidité. Dans la majorité des cas étudiés, cette relation se poursuit **pendant une journée et demie**. A partir du surlendemain, l'action ralentit rapidement. Pour être plus précis, cette relation est visible pendant 1 jour pour Belcé, Kabri et Douka, 1 à 1,5 jour pour Pesséré, Dazé et Bassaré, et 2 jours pour Pata, Doubégué et Zaba.

Il convient également de préciser qu'il existe un **seuil déclencheur** aux alentours de **25-30 mm journalier** qui pourrait être qualifiée « d'intensité horaire ». **Inférieures à cette valeur, les pluies ont davantage un effet de dilution. A partir de 25 mm journalier, le système s'enclenche, et un apport important de particules s'opère en direction des cours d'eau**. Cet accroissement des valeurs de turbidité s'observe le jour même. A partir **de 30 mm journalier**, cette observation est valable durant **deux jours** (Zaba, Pata, Doubégué, Bagré, Bassaré). Enfin, lors d'un total pluviométrique journalier de 34 mm, comme étudié à Pata, les impacts seront plus importants.

En définitive, lors d'une précipitation importante (30 mm), la pluie par la force de ses gouttes « frappe » le sol en rejetant les particules à l'extérieur (« *effet splash* »). Dans un second temps, une croûte de battance se développe, permettant au ruissellement de s'activer et de prendre ainsi en charge les particules jusqu'au réseau hydrographique. Dans le secteur étudié, **ce système s'actionne en moins de 30 minutes**, tel qu'observé au site de Belcé en semaine 5. **Cette relation est donc le principal facteur explicatif des hausses de turbidité.** Elle va être modulée par la présence ou non de couvert végétal.

Certains sites montrent à quel point, la présence et le développement d'une **protection végétale** peuvent freiner l'impact de l'événement pluviométrique. Ce fait se produit

spécifiquement à partir de la **première décade d'août** comme à Pésséré, et à Bagré. Le développement végétal, au cours de ce mois, influence les quantités de particules transportées. Il évite la désagrégation du sol et freine le transport de ces dernières. Les valeurs de turbidité sont alors plus faibles.

La présence d'un couvert végétal plus développé en particulier au niveau de leurs berges explique les plus faibles valeurs de turbidité de Belcé, Kabri et Zaba. Les deux affluents localisés à Kabri et Zaba font figure « d'oasis de verdure », bordés de nombreux arbres et arbustes. Ces derniers évitent la dégradation des berges et piègent d'importantes quantités de particules. Quant à Belcé, il fait figure de cas particulier, car il se caractérise par un secteur dans l'ensemble bien protégé (et non pas juste quelques portions contrairement à d'autres sites comme à Dazé et Douka). Cette bonne protection végétale en continue protège les sols et évite que de nombreuses particules se retrouvent dans les cours d'eau.

Il existe donc un lien important entre l'occupation des sols et la turbidité. **Les secteurs les moins dégradés, les moins attaqués par l'Homme** présentent des **valeurs de turbidité plus faibles**. La protection par des formations « naturelles » joue à deux niveaux. D'une part, aux abords des cours d'eau, sur leurs rives. Ce fait a été corrélé par les observations aux sites de Belcé, Kabri, Pata et plus modérément de Zaba. Sans prendre en compte le lac de Tenkodogo (cas particulier du fait qu'il soit un plan d'eau), Kabri est le 3^{ème} site le moins turbide en saison humide, Belcé le 4^{ème}, Pata le 2^{ème}, Zaba le 5^{ème}⁷⁴. Ainsi, **la protection végétale au niveau même du cours tempère donc les valeurs de turbidité**. D'autre part, cette dernière joue également **un rôle au niveau des versants**. Les sols sont alors moins attaqués par les gouttes de pluies ; de même les ruissellements freinés, ne prendront pas de vitesse. Ainsi, les versants, les mieux protégés disposent des valeurs de turbidité les plus faibles. A titre d'exemple, le site de Zaba se localise en aval de son bassin versant, juste avant sa confluence avec la Doubégué. Pourtant, sa valeur moyenne de turbidité au cours de l'hivernage est seulement de 326 NTU. De même celle de Bagré est de 202 NTU. Ces deux bassins sont bien protégés (secteur de Ouanagou) en regard des autres et de l'ensemble du bassin versant de la Doubégué. **Le maintien d'un couvert végétal** (surtout de type savane arbustive) modère les processus érosifs. Ces secteurs présentent alors moins de sols dégradés propices à la mise en place de ravines et de ravins fortement émetteurs de matériaux. **Les quantités de particules prises en charge sont réduites**. Par conséquent, **les valeurs de turbides le sont également**. L'impact au niveau des rives semble prendre le pas sur l'importance du couvert végétal sur les versants. Il n'empêche que les pertes en terre sur les parcelles cultivées sont à l'origine d'une perte de fertilité ayant des conséquences négatives sur la production et les revenus des agriculteurs. **L'environnement dans son ensemble** est donc **affecté**.

Cette variabilité temporelle s'applique également au calendrier agricole. Selon ses étapes, les champs sont plus ou moins protégés. Ainsi, la période de mai à la fin juillet (parfois début août) est particulièrement agressive pour les sols et les résultats de turbidité sont par conséquent plus importants à ces périodes. **Les versants fortement mis en culture sont donc soumis aux processus érosifs essentiellement aréolaires, mais également de plus en plus linéaire principalement en bas des versants**. Dans notre bassin versant, ces

⁷⁴ Le premier est Bagré présentant une opposition de rive (l'une en culture et l'autre protégé).

secteurs correspondent **surtout à la partie amont et secondairement médiane**. Toutefois, celle aval est de plus en plus menacée. Les valeurs de turbidité sont alors les plus élevées à Pésséré, Bassaré, Dazé, mais aussi à Douka.

Suite à cette étude, nous soulignons que les **plus faibles valeurs de turbidité** doivent s'observer **de la mi-septembre jusqu'à la mi-octobre**. En effet, au cours de cette période les pluies ont presque cessé, les cours d'eau connaissent leur profondeur maximale, et les versants, mieux protégés (pleine floraison), sont beaucoup moins agressés par la pluie.

Par ailleurs, les fortes valeurs de turbidité s'expliquent aussi par la puissance des débits érodant les berges. Elle est particulièrement forte au cœur de l'hivernage, au cours des mois de juillet et d'août. Lorsque la puissance des débits est liée à la dynamique hydraulique naturelle, l'érosion des berges est un phénomène normal qui ne perturbe pas la santé du cours d'eau ni le milieu, mais qui peut, en revanche, menacer les ouvrages et les usages. Cependant, elle peut avoir une origine « artificielle », devenir excessive et menacer également la qualité du cours d'eau. La surface est alors déstructurée par l'arrachement et le déplacement des particules. Ces dernières se retrouvent ainsi dans le cours d'eau et augmentent les valeurs de turbidité. Ce fait a été observé sur la majorité des sites de prélèvement d'eau, mais également dans de nombreux lieux du bassin versant de la Doubégué. Les berges s'écroulent dans des proportions différentes (**photos 62 et 80**). Une fois la zone déblayée, il ne reste plus qu'une berge érodée, avec quelques cailloux et des racines. Le secteur le plus affecté est Douka, où de vastes pans totalement dessoudés de la berge initiale sont visibles (**photo 81**).



Photo 80 : Berge érodée au site de Bassaré



Photo 81 : Berge totalement écroulée au site de Douka

Clichés : E. Robert, 2009

L'eau stagne moins qu'auparavant dans le lit des cours d'eau, ces derniers ne font que s'élargir suite au passage brutal des écoulements sapant tout sur le passage. La hauteur d'eau diminue, et les variations du niveau d'eau (crue - décrue) jouent un rôle important dans ce mécanisme érosif. Cette modification dans les écoulements au niveau des cours d'eau est à relier avec la mise en culture croissante des versants depuis le milieu des années 1980. Ces derniers, moins protégés, sont davantage propices à générer des ruissellements puissants. Ne rencontrant que peu d'obstacles (végétation) et s'écoulant sur des pentes généralement longues, ils prennent de la vitesse. Ces eaux chargées et rapides ont alors un fort pouvoir érosif. Elles transitent jusqu'au cours d'eau et érodent tout sur leur passage : berges, lits du cours d'eau. **Ces ruissellements** sont à l'origine de **l'accroissement des formes d'érosion linéaire** (en nombre et en taille) **canalisant ces écoulements et conduisant**

au creusement des rigoles, des ravines et des ravins. Dans le bassin versant de la Doubégué, un véritable cercle vicieux s'est mis en place au cours des deux dernières décennies. Les secteurs les plus affectés sont Ouéloguen, entre Dazé et Sébrétenga, Bassaré, Kabri, Gouni Peul, Boura, les rives du secteur médian de la Doubégué (entre Dazé et Zaba), et Kalakoudi. Les eaux sont alors particulièrement turbides au niveau de ces lieux.

Nous clôturons ce point par l'analyse de deux paramètres relevant à la fois de la sphère temporelle et également de celle de l'espace. Ainsi, il nous permettrons de faire la transition avec le point suivant centré sur la variabilité spatiale. Il s'agit des pistes et de la texture des sols.

Le **rôle des pistes** est également un élément essentiel pour la compréhension de ces temps de réaction très courts. Elles peuvent se transformer en rus lors des principaux événements météorologiques, **accélérant le transport de particules** en direction des cours d'eau. Ce sont de véritable **relais** entre les écoulements de versant et les cours d'eau tel qu'observé à Belcé. La canalisation de ces derniers les transforme même en **vecteur**. La mise en évidence et la prise en compte de ces **éléments linéaires du paysage** est indispensable, afin de comprendre **le fonctionnement et le transport des particules jusqu'au cours d'eau**. Ils drainent les ruissellements issus des versants. Ces derniers étant plus importants que par le passé, leur rôle dans le transport des matériaux s'est accru. De plus, elles sont de plus en plus érodées, creusées. Elles ont donc un **rôle important sur la quantité de turbides**.

Enfin, il existe des **zones gravillonnaires** : Dazé, Bagré (en partie), Kabri et la région amont de Pata. Ces derniers espaces sont alors moins soumis à l'action érosive générale. Leurs valeurs de turbidité sont plus faibles. Néanmoins, la majorité des sites se localisent en **zones sableuses** : Pésséré, Bassaré, Belcé, Douka, Zaba, Pata, Bagré (**photos 82 et 83**).



Photo 82 : Zone sableuse au site de Belcé



Photo 83 : Zone sableuse au site de Pata

Clichés : E. Robert, 2008

6.2.3.3 Une variabilité spatiale

L'ensemble des valeurs est supérieur à 200 NTU ce qui correspond selon la classification en vigueur à des eaux de surfaces « Africaine », en adéquation avec la localisation de l'étude. Cependant, la majorité des sites connaît des moyennes bien supérieures à celles mentionnées ci-dessus. Ainsi, selon la classification présentée (cf.6.1.1.4) elles sont de **200 à 420 NTU** pour les sites du **lac de Tenkodogo, de Bagré, de Pata, de Kabri, de Zaba, de Belcé, de Dazé, de Bassaré et de Doubégué**, et **supérieures à 420 NTU pour Douka et Pésséré**.

La turbidité des **affluents** est plus faible que dans le cours principal que ce soit au cœur de l'hivernage ou en début de saison sèche. Pour les affluents, elle varie de 202 à 326 NTU (moyenne de **268,75 NTU**) et de 28 à 167 NTU (moyenne de **93 NTU**) soit une moyenne variant de 159 à 203 NTU (moyenne de **180,9 NTU**). Alors que le **cours principal de la Doubégué** connaît des valeurs de 314 à 636 NTU (moyenne de **507,8 NTU**) et de 11 à 638 NTU (moyenne de **291,2 NTU**) avec une moyenne de 278,5 à 635,5 NTU (moyenne de **399,5 NTU**). Une exception s'observe à Douka dont la turbidité est de l'ordre de 460 NTU pendant les deux périodes de prélèvements. Cette singularité résulte de l'accumulation de plusieurs facteurs négatifs (dont la somme conduit à des valeurs de turbidité élevées). En effet, sa rive gauche porte des lithosols, la pente est plus importante, son secteur amont est mis en culture principalement en coton, et ses berges sont peu protégées.

En moyenne, les valeurs de turbidité ont connu une **variation de 50 %** entre les deux périodes de prélèvements ce qui n'est pas négligeable. Deux sites se caractérisent par une stagnation (Pésséré et Douka), cinq évoluent entre 30 et 55,9 % (Pata, Belcé, Bagré, Dazé et Doubégué), et quatre ont vu leur taux quasiment doubler entre les deux périodes (Zaba, Bassaré, Kabri et lac de Tenkodogo).

Ces fortes valeurs s'expliquent en partie par la présence de sols principalement pauvres, facilement érodables dont la majorité est à nu pour des raisons essentiellement agro-pastorales. Il existe une différence expliquant les **variations de valeurs de turbidité** entre les secteurs comprenant des **lithosols et des sols peu évolués d'érosion** (turbidité élevée) tels qu'à Pésséré, Douka, Doubégué, Pata, et ceux disposant de **sols bruns eutrophes vertiques ferruginisés** (turbidité plus faible). Les sols **tropicaux ferrugineux lessivés indurés ou à concrétion et à tache** sont dans une position intermédiaire comme à Belcé.

La présence de nombreuses **plages de sable** (Zaba, Belcé) souligne l'importance des dépôts des turbides. Ainsi, il s'agit de sortes de **zones de relais** réduites lors des pluies intenses (réactivation), ou en expansion lors de la réduction des quantités d'eau et du courant.

Enfin, les **pent**es, ici, **très faibles (2 %)** ont un impact modéré. L'élément qui peut jouer un rôle est davantage **la longueur des versants**. La conséquence s'observe donc principalement dans le cours principal.

6.2.3.4 Le couvert végétal, premier facteur explicatif des valeurs de turbidité

L'état du couvert végétal et le type d'occupation des sols semblent les **facteurs les plus déterminants dans l'explication des forts taux de turbidité**. Ces paramètres jouent un rôle essentiel pour l'ensemble des sites. Ainsi, il existe une mise en culture importante dans les secteurs de Pésséré, de Bassaré, de Douka, de Dazé, et de Belcé. A l'inverse, elle est plus faible à Doubégué, à Zaba, à Kabri, à Bagré, et à Pata. Toutefois, pour les deux sites présentant les plus fortes valeurs de turbidité (637 NTU pour Pésséré et 498 NTU pour Douka), l'usage des sols, principal paramètre, se combine à un ou plusieurs autres facteurs.

L'occupation des sols dans la région de **Pésséré** a subi de profondes mutations. Cet espace est sous l'influence directe de la croissance de la ville de Tenkodogo. Les pressions foncière et agricole ne cessent de s'accroître. D'une part, les agriculteurs locataires de leurs terres craignent que leurs parcelles ne leur soient reprises par les propriétaires désireux de vendre à des personnes voulant s'installer à Tenkodogo. Cette incertitude empêche la mise en place de techniques de protection des sols. D'autre part, face à l'arrivée de nouvelles

populations et à l'accroissement démographique, de nouvelles parcelles ne cessent d'être déboisées pour être mises en culture. Auparavant, les formations ripicoles étaient bien développées, le cours d'eau était profond 1,50 m à 2 m, et l'eau était présente longtemps (août à janvier). Mais, suite à **l'extension des superficies mises en culture, les processus érosifs se sont accrus**. Ils ont affectés des **surfaces de plus en plus importantes et des formes d'érosion linéaire sont apparues**, principalement des **rigoles et des ravines** et plus rarement **des ravins**. **Le secteur a alors été disséqué, et l'eau de la Doubégué est devenue davantage turbide**. L'expansion des superficies cultivées et la mise en culture de sols ne pouvant supporter certains types de spéculation expliquent les forts taux de turbidité rencontrés à Pesséré. En effet, cet espace dispose de **sols peu évolués d'érosion régosolique**, de sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés, et de quelques **lithosols** en zone amont. **Les sols sont épuisés**. Les champs rizicoles et les cultures maraîchères ont été remplacés par le mil, le sorgho, car la « terre ne donne plus ». L'extension des parcelles cultivées sur des sols pauvres, facilement érodables, a donc conduit à **l'exacerbation des processus érosifs aréolaires** dans un premier temps auxquels se sont **combinés**, dans un second temps, ceux de **type linéaire**. **Ce double mécanisme a contribué à augmenter les pertes de terres sur les champs et à accroître les particules transportées jusqu'au cours d'eau**.

Le site de **Douka** a connu la même évolution et la mise en place de mécanismes identiques. Comme Pesséré, il associe de **mauvais sols et un couvert végétal très dégradé suite à une extension des parcelles cultivées**. Cependant, ce site subi aussi **des effets de la pente et la culture du coton** sur des sols inaptes à la pratique de cette spéculation. La combinaison de l'ensemble de ces éléments explique en grande partie pourquoi cet affluent possède des valeurs supérieures à celles relevées dans le cours principal. Le site présente un paysage totalement disséqué.

Un second groupe peut être défini. Ces valeurs sont plus faibles qu'aux sites de Pesséré et Douka. Toutefois, elles **sont comprises entre 200 et 420 NTU** (« eaux africaines »). Elles regroupent les prélèvements effectués dans le cours principal de la Doubégué supérieurs à ceux relevés au niveau des affluents

Bassaré est le troisième site disposant d'une turbidité très élevée. Cette réalité est à relier, une fois encore, à une extension de la mise en culture depuis le milieu des années 1980. Elle a conduit à la mise en place de sols dégradés portant d'importantes marques d'érosion. Une nouvelle fois, **le paysage a évolué en trois temps : mise en culture, exacerbation des processus érosifs principalement de type aréolaire, et développement des formes d'érosion linéaire**. Les particules prises en charge par les ruissellements se sont accrues, et les turbides présentes dans le cours d'eau ont alors augmenté. Cependant, il ne s'agit pas du seul paramètre à prendre en compte pour expliquer les fortes valeurs de turbidité observées au site de Bassaré. Il faut également s'intéresser à **sa position hydrographique**. Il se localise **après la confluence** entre deux affluents importants (Boundouni et Loang Kwila) et la Doubégué. Dans un contexte « naturel », cette position aurait déjà un impact (augmentation) sur la quantité de turbides mesurée au site de Bassaré. Mais, ce fait est renforcé par l'accroissement de l'emprise humaine. Ainsi comme pour le secteur de Bassaré, les bassins du Boundoudi et du Loang Kwila ont connu une extension des parcelles mises en culture. Leur turbidité a donc augmenté suite à l'amplification des processus érosifs. De fait, **un**

accroissement démographique et des superficies cultivées s'adjoignent alors « **au mauvais** » **emplacement du site de Bassaré** pour expliquer les valeurs élevées de turbidité rencontrées. Le dernier facteur influençant ce site, mais de façon plus modéré, est le type de sol présent au niveau de l'affluent venu du nord : des lithosols.

Par ailleurs, les valeurs rencontrées au site de **Dazé et de Belcé** sont assez proches. La zone amont du bassin versant de la Doubégué a connu une **expansion rapide des superficies mises en culture** (à l'origine de l'amplification des processus érosifs déjà décrits au niveau de Pésséré, Bassaré et Douka). Ce fait explique en grande partie, **les taux élevés rencontrés dans ce secteur amont**. Néanmoins, il existe une légère différence entre ces deux points de prélèvements. **La bonne protection des abords du cours d'eau au site de Belcé et une mise en valeur moindre en regard du secteur de Dazé en sont les causes principales**. De plus, le site de Dazé présente, en rive gauche amont, une portion de sols peu évolués.

Enfin, il semble logique que **le site Doubégué** dispose d'un taux élevé de turbidité : position à l'aval du système. Néanmoins, en regard des chiffres de Bassaré, ces valeurs auraient dû être supérieures car la turbidité augmente normalement d'amont en aval. Cette « anomalie » rencontrée dans le bassin versant de la Doubégué s'explique par **la présence d'une meilleure protection végétale en aval**. En effet, les berges de la Doubégué sont, dans l'ensemble, bien protégées entre le secteur de Zaba et cette confluence. De plus, les affluents aval de notre bassin versant présentent une végétation bien développée (aval de l'affluent de Pata, dernier affluent principal de rive droite). La végétation observée au centre biblique souligne également la bonne protection au niveau même de ce secteur (**photo 3**). Ainsi, la rive gauche de la partie aval du bassin versant de la Doubégué est dominée par la savane arbustive et présente quelques secteurs de savane arborée. Les surfaces mises en culture sont moins importantes que celles de la zone amont du cours d'eau.

Ces fortes valeurs de turbidité résultent donc l'association de plusieurs facteurs amplificateurs qui peuvent être modérés par certains paramètres. On distingue :

- des valeurs très élevées liées au prélèvement dans le cours d'eau principal, à la mise en culture importante, aux types de sols pour Pésséré ; auquel il faut ajouter la pente et la culture du coton sur des sols inaptes pour Douka (expliquant alors qu'un affluent présente des valeurs si fortes) ;
- des valeurs élevées associées aux relevés effectués dans le cours d'eau principal et à : l'extension des activités agricoles et une position hydrographique après une confluence pour Bassaré ; une situation à l'aval du cours d'eau principalement modérée par la protection végétale pour la Doubégué ; une mise en valeur importante pour Dazé ; une mise en culture contenue par une protection végétale au niveau du cours d'eau à Belcé.

Les affluents ont quant à eux des valeurs moyennes inférieures à 200 NTU (excepté Douka). Le Kila, sur lequel a été effectué le prélèvement de **Zaba**, dispose d'une bonne protection végétale (savane arbustive) de part et d'autre de son cours d'eau. Il se localise dans la partie médiane du bassin versant de la Doubégué correspondant à une zone de transition dans l'occupation des sols : la rive droite est dominée par l'exploitation agricole alors que la rive gauche laisse apparaître davantage de secteurs de végétation que dans la zone amont de la Doubégué. **L'exploitation des terres devient plus modérée en rive gauche aval**.

Le site de **Kabri** présente des valeurs similaires. Les versants davantage mis en valeur connaissent une exacerbation des processus érosifs et des secteurs de sols dégradés se sont développés sur les deux rives. Toutefois, **les abords du cours d'eau sont protégés sur toute leur longueur**. Les formations ripicoles jouent donc leur rôle de peigne, freinent les ruissellements et piègent les particules. Ces dernières sont alors moins nombreuses dans le cours d'eau. De plus, il s'agit d'un site de type gravillonnaire. Par conséquent, une turbidité modérée ne signifie pas pour autant que les versants sont bien protégés. **C'est donc bien le paramètre protection végétale aux abords même des cours d'eau qui est primordial pour réduire la turbidité**. Cependant, pour la protection des sols, il convient d'agir sur les versants (bandes enherbées, cordons pierreux, associations culturales, etc.).

Le dernier groupe (inférieur à 160 NTU) comprend le lac de Tenkodogo, Bagré et Pata. Il compte chacun un ou plusieurs facteurs modérateurs : dilution, protection végétale, petit affluent, secteur gravillonnaire ou encore porteur de cailloux.

Dans le **plan d'eau situé au sud de Tenkodogo**, il s'opère un **effet de dilution** sur les quantités de turbides. Toutefois, subissant les mêmes variations que les autres sites, il souligne à quel point les **temps de réactions sont faibles**. De plus, il est sous la menace de **l'emprise humaine** (ville de Tenkodogo et parcelles cultivées jusqu'aux berges).

Le **site de Bagré** appartient également à cette ultime catégorie. **La savane arbustive** est bien **présente en amont et en rive droite**. **La rive gauche** est composée de terres reconquises peu à peu par **la végétation**. Il s'agit d'un tout **petit affluent**, doté de **secteurs gravillonnaires**. De plus, sa rive droite porte des sols bruns, non mis en culture et peu érodés.

Enfin, **Pata** dispose d'une **zone** particulièrement **caillouteuse** réduisant les possibilités agricoles. Ces éléments grossiers cassent les ruissellements (diminution de leur puissance) qui transportent alors moins de particules jusqu'au cours d'eau. Les quelques ravines et rigoles rencontrées se localisent sur des secteurs réduits (site de prélèvement). La présence d'un **bon couvert végétal aux abords du cours d'eau** explique, une nouvelle fois, les plus faibles valeurs de turbidité.

Par conséquent, les zones disposant d'une **bonne protection végétale localisées dans les secteurs peu mis en culture ont les valeurs de turbidité les plus faibles**. Il s'agit donc du **facteur déterminant dans l'explication des variations de la turbidité**. Toutefois, il convient de préciser que la présence d'un couvert végétal développé aux abords des cours d'eau modère davantage la présence de turbides (réduction) que la celle observée sur les versants. **La qualité, le type de sol est le second facteur**. Les **deux éléments essentiels** pour la compréhension de ces processus sont tout d'abord la **régression du couvert végétal au profit de champs mis en culture ou de sols devenus nus** et **l'absence de végétation aux abords même des cours d'eau**, puis la **pauvreté et la fragilité des sols**.

La position hydrographique (après confluence, cours principal ou affluent) correspond au troisième paramètre. L'état plus ou moins gravillonnaire se place en **quatrième position**. Enfin, dans l'ensemble du bassin de la Doubégué, **la pente est faible**. Elle a donc peu d'impact sur le phénomène érosif, et en définitive sur les valeurs de turbidité. Il s'agit du **dernier paramètre** à prendre en compte.

Les secteurs les plus menacés (Douka et Pesséré) sont donc ceux subissant une dégradation de la végétation dite « naturelle » et ceux disposant des sols les plus pauvres (lithosols et sols peu évolués). Ils sont suivis des zones présentant une mise en culture importante combinée à une « mauvaise » position hydrographique. Toutefois, les valeurs de turbidité relevées dans les cours d'eau peuvent être modulées par la présence d'un couvert végétal à leurs abords (Belcé et Kabri) ou encore par une mise en culture modérée (Zaba). Enfin, l'effet dilution d'un lac ou la présence de cailloux en nombre important sont également des facteurs modulateurs des quantités de turbides présentes dans les cours d'eau.

En définitive, l'extension de la mise en culture sur des sols inaptes ou peu aptes à l'agriculture et la dégradation des formations ripicoles ont conduit à une exacerbation des processus érosifs. Les ruissellements se sont accrus et les formes d'érosion aréolaire se sont développées (en nombre et spatialement). Ces derniers, plus puissants, davantage chargés ont transporté une quantité croissante de particules jusqu'aux cours d'eau. Les écoulements de versants se sont concentrés en bas de pente, et ont conduit à amplifier l'érosion de type linéaire. Des rigoles, des ravines et des ravins se sont formés et étendus. Le paysage du bassin versant de la Doubégué s'est alors transformé, présentant de plus en plus de marques d'érosion et par conséquent des sols dégradés.

En regard de cette étude de la turbidité dans le bassin versant de la Doubégué, le lien entre ce paramètre et l'érosion est donc bien réel. En effet, les secteurs les plus turbides se localisent au niveau des zones les plus soumises à l'érosion, car fortement mises en culture. A l'inverse, les secteurs mieux protégés présentent des valeurs de turbidité plus faibles, même ceux localisés à l'aval (site Doubégué). La présence de sols dégradés est également révélatrice d'une très forte turbidité. Ce fait renforce alors l'idée qu'il existe un lien fort entre érosion et turbidité, et qu'il n'est pas seulement limité à l'érosion aval mais bien à celle se produisant dans l'ensemble du bassin. De plus, l'impact de l'érosion pluviale a été souligné par la relation établie entre les fortes précipitations, supérieures à 30 mm, et les pics de turbidité. Par ailleurs, l'évolution de la physionomie des cours d'eau (de plus en plus cassés, profonds), souligne que, suite à une augmentation des surfaces à nu (liée principalement à l'agriculture), les écoulements de versants sont plus violents qu'auparavant. L'érosion hydrique a donc une action plus efficace que par le passé et est révélée à l'étude de la turbidité.

Suite à cette mise en relation des différents processus et étapes à l'œuvre dans le bassin versant de la Doubégué, il convient de s'intéresser au point de vue des populations riveraines. Un de nos objectifs consiste à maintenir ce lien entre la réalité scientifique et la réalité sociale en s'appuyant sur nos enquêtes réalisées lors de nos deux terrains.

6.3 Un paysage hydrographique modifié, conscientisé par les acteurs

Le bassin de la Doubégué a subi depuis **20 ans** une dégradation de son couvert végétal. Ce fait a été établi par l'étude diachronique de l'état de la végétation et de l'occupation des sols. La région a été affectée par de nombreuses perturbations tant aux niveaux climatique qu'humain, suite à l'accroissement démographique et aux vagues

migratoires. Ce milieu est touché par un processus érosif qui ne cesse de s'amplifier et de s'accélérer. Les sols s'appauvrissent alors davantage sous cet impact.

Par ailleurs, l'activité principale de ce bassin versant est agro-pastorale, les acteurs sont donc **en lien permanent avec leur environnement**. Ils ont alors pleinement conscience de ce qui se déroule autour d'eux et sous leurs yeux.

6.3.1 Pertes en terre et en eau, une relation de cause à effet bien établie

Les particules arrachées des champs sont transportées en direction des bas-fonds, des petits affluents rejoignant la Doubégué et du lac de Bagré. La majorité des personnes interrogées évoque principalement les deux premiers (bas-fonds et affluents). Elles mettent explicitement en évidence le fait que le réseau hydrographique a subi d'importantes modifications. Cette affirmation concerne d'une part la durée de stagnation de l'eau ainsi que sa profondeur, et d'autre part le ravinement des lits. Différents faits s'observent alors.

Tout d'abord, une prise en charge toujours plus importante de particules peut être soulignée, suite à une plus grande mise en valeur des terres, à un appauvrissement des sols, et à un recul du couvert végétal. **Un apport croissant au niveau des cours d'eau** est donc observé : certains lits sont ensablés partiellement et d'autres, des rus, le sont totalement.

Ce fait est également signalé par les **éleveurs** qui mettent d'abord en évidence **l'ensablement des cours d'eau, avant leur creusement**. Les fortes pluies s'abattant sur ces superficies, laissées à nu ou peu protégées, déclenchent des ruissellements importants qui déferlent en direction des cours d'eau. Ils attaquent les champs mais également les **pistes**. Bien souvent, au niveau de ces dernières, il se forme un **fossé** drainant l'eau pluviale (cf. Partie 2) augmentant au fil des années. Des **ravines apparaissent** au niveau des petites pistes entre Douka et Zaba (**photo 84**), le long de celle de Loanga (**photo 85**), des berges, mais également sur certaines terres ou portions laissées à nu (**photo 86**). Le bassin versant de la Doubégué est également marqué par **d'importants ravins** (**Planche photos 15**). La majorité des cours d'eau a donc subi de grandes modifications.



Photo 84 : Ravine le long de la piste Douka - Zaba **Photo 85 : Ravine formée le long de la piste de Loanga**
Clichés : E. Robert, 2008

A Douka, il y a 15 ans, le cours d'eau était davantage en eau, « *tout était inondé* » (personne interrogée). **L'eau restait beaucoup plus longtemps, la rivière était plus profonde**, soulignée la hauteur des berges. Ce fait s'observe aussi à Zaba, où les questionnés signalent également que « *tout se détériore, se dégrade, et l'eau ne reste plus* ». De même, à Kibolina et à Zaka, **le riz** était cultivé. Or, cela est devenu impossible car l'eau ne stagne plus, et emporte tout sur son passage. Les agriculteurs ont donc abandonné cette culture en 2006.

Depuis 10 ans, ce fait s'observe également à Pesséré. L'eau ne reste plus comme avant, et la culture du riz s'est arrêtée comme celles maraîchères. Les riziculteurs de Ouanagou ont aussi abandonné leur culture, et les habitants de Vagvagué commencent à mettre ce problème en avant. **Les bas-fonds et les champs rizicoles se dégradent sous l'effet du courant. Un ravin (Planche photos 15) d'1,5 à 2 m s'est formé en 4 ans.**

De plus, les systèmes ont un temps de réponse court. Ainsi, à Belcé, le 27/07/2009, en 30 minutes, les pistes se sont transformées en cours d'eau, produisant un débit assez important. Au bout d'une journée, le phénomène s'est arrêté et la rivière a repris son rythme précédent. De fait, les cours d'eau sont, dans la majorité des cas, ravinés, perforés selon les termes employés par les habitants. Ils se sont élargis, approfondis. **L'eau ne stagne plus aussi longtemps qu'auparavant.** En effet, elle n'est présente dans les lits qu'entre 5 et 6 mois en moyenne : de juin-juillet à décembre (Ouréma, Zabo, Pata, Douka, Zaba). Nos résultats d'enquête mettent en avant que les cours d'eau connaissent ces modifications depuis en moyenne⁷⁵ : **10 ans en rive gauche et 12 ans en rive droite, 8 ans pour la partie amont du bassin versant, 12,5 ans pour la partie médiane et 11,5 ans pour l'aval.** De plus, ce processus s'aggrave et s'accélère depuis le milieu des années 2000. En effet, ce phénomène s'est particulièrement accentué depuis les inondations de 2008. Les bas-fonds se cassent à Loanga, ainsi qu'à Dazé et à Zaba. Certains **petits affluents sont totalement ensablés comme Zangayare à Douka, ou encore dans la région de Sasséma, et de Soné.** D'autres sont à présents à sec comme dans la région entre Douka et Zaba (photo 87).



Photo 86 : Sol nu au site de Bassaré



Photo 87 : Ancien cours d'eau à présent à sec (piste Douka - Zaba)

Clichés : E. Robert, 2008

⁷⁵ La moyenne a été effectuée sur un échantillon de 20 villages : 8 en rive droite et 12 en rive gauche.

Suite à la mise en évidence d'une **perte de particules sur les terres et d'une modification du réseau hydrographique**, il était intéressant de s'interroger sur la **relation** que les populations établissent **entre ces deux faits**. Alors qu'agriculteurs et éleveurs ont tous signalés le processus érosif d'une part et les modifications hydro-morphologiques d'autre part, leurs discours sur la relation de cause à effet entre ces deux éléments divergent.

En effet, les **cultivateurs établissent un lien à 90,3 %** alors que seuls **60 % des éleveurs** le perçoivent. La part des personnes ne sachant pas s'il existe un rapport entre les deux étant plus importante pour la seconde catégorie : 10,6 % contre 3,8 % chez les agriculteurs. Bien que certains pasteurs soient également cultivateurs, ils doivent être moins touchés par le départ de particules depuis les champs. C'est pourquoi ils n'opèrent pas spécifiquement un lien entre la perte de terre et les changements du réseau hydrographique. Cependant, selon **les éleveurs, les modifications** (accroissement de l'érosion et changement morphologique des cours d'eau) **actuelles** sont dues **aux labours pour 54,8 % et à l'élevage pour 22,6 %**.

Il semble donc que les agriculteurs aient pris conscience de l'ensemble des processus affectant la zone d'étude, et de leur interdépendance. Il serait alors intéressant de poursuivre et de mettre en place une sensibilisation en s'appuyant sur ses bases préexistantes. Le terrain « intellectuel » ou « psychologique » étant prêt, il faut à présent lancer des actions concrètes tant au plan individuel (haies, résidus sur place, meilleures associations de cultures, cordons pierreux ou bandes enherbées), que collectif (reboisements collectifs, recul du travail sur les berges du lac ou des rivières, réglementation des prélèvements en bois et des défrichements). Une réflexion participante peut être lancée et la réalisation d'actions prévue. Par conséquent, la sensibilisation serait donc davantage à porter sur les populations pastorales. Bien qu'ayant été pendant de nombreuses décennies laissées de côté par les autorités, il convient de **les (ré)-intégrer dans les filières associatives, le micro-crédit**, etc. De plus, certains sont demandeurs, et désirent créer des groupements. Il apparait, alors, essentiel de se déplacer au cœur de la zone pastorale et de ne pas attendre que les éleveurs se rendent aux associations. A réagir trop tard, il se pourrait qu'un fossé se creuse entre ces deux principales catégories d'acteurs (cf. 8.3).

En définitive, 83,8 % des personnes interrogées ont conscience qu'il existe un lien entre les pertes en particules affectant les champs, ainsi que d'autres secteurs, et les modifications s'opérant depuis un peu plus de 10 ans au niveau du réseau hydrographique de la Doubégué et de ses affluents. Ces changements mis en avant sont la plus faible stagnation des eaux, l'action érosive de l'eau lors des fortes pluies ravinant les terres, et les précipitations et les débits importants creusant le lit des cours d'eau. Cette puissance de l'eau emporte tout sur son passage obligeant l'arrêt de certains types de cultures.

6.3.2 Un impact des activités plus ou moins bien conscientisé

Au-delà des causes naturelles précédemment citées, le rôle majeur des activités anthropiques dans les pertes en sol ne doit pas être oublié. Soit, elles amplifient le processus, soit elles en sont à l'origine. Il est alors essentiel de savoir ce que pensent les principaux usagers des versants de leur rôle sur ces modifications pédologiques et hydromorphologiques.

Il semble que les agriculteurs aient davantage conscience de l'impact de leur activité par rapport aux éleveurs. Il peut sembler assez logique, qu'un lien s'opère entre la part des personnes percevant le départ de particules depuis les champs, et le pourcentage des interrogés qui a conscience de l'impact de leur activité sur ce changement (modification du réseau hydrographique). Observant directement cette perte de fertilité, ils s'interrogent davantage sur sa cause. Ainsi, **65,1 % des agriculteurs interrogés avouent avoir un effet** sur ce dernier. 3,4 % ne savent pas s'ils jouent un rôle ou non. Certains agriculteurs soulignent alors les conséquences négatives du passage à **une culture attelée**, à l'origine du creusement de billons plus profonds et d'un risque de départ de matières plus important.

A l'inverse, **80,6 % des éleveurs** pensent que **leur activité n'a pas d'impacts**. Cela semble logique, en regard de la principale cause de modifications qu'ils mettent en avant : les labours pour 54,8 %. L'élevage joue un rôle pour seulement 22,6 % des pasteurs. Ce résultat renforce l'idée précédente qu'il est essentiel de sensibiliser les éleveurs quant à l'impact de leur activité sur l'environnement, en particulier celui concernant le déplacement des troupeaux. Des pistes banalisées, davantage protégées, entretenues et surveillées doivent être mises en place afin d'éviter les piétinements excessifs sur de multiples portions, comme le montre la divagation des troupeaux à Bassaré, au passage du site de Bagré, ou encore sur les champs le long de la RN 16 (**photos 15 et 88**). Ainsi, dans la zone éco-touristique, le bétail divague (**photo 14**) bien que des pancartes signalent son interdiction (**photo 89**).

Les personnes interrogées ont donc plutôt conscience de l'impact qu'elles produisent sur leur environnement. **La moyenne** pour l'ensemble des personnes interrogées sur le bassin versant est alors de **57,9 %**.



Photo 88 : Bovins mangeant les résidus laissés dans les champs après la récolte
Cliché : E. Robert, 2008



Photo 89 : Pancarte interdisant la divagation des animaux dans l'espace éco-touristique
Cliché : E. Robert, 2009

6.3.3 La dégradation du couvert végétal, cause des modifications de la physionomie des cours d'eau

Ainsi, la prise de conscience de la dégradation de l'environnement va bien au-delà de la simple constatation. En effet, **83,1 % des personnes interrogées établissent un lien entre la dégradation du couvert végétal et les modifications apparues au niveau du réseau hydrographique**. Cette relation est davantage établie par les agriculteurs 86,1 % (7,9 % pas de lien) que les éleveurs 75,9 % (20,7 % non). Un éleveur sur cinq n'établit donc pas de

relation directe entre ces deux processus contre à peine un cultivateur sur dix. Quant aux pêcheurs, ils se rapprochent des pasteurs et relient ces deux phénomènes pour 76,9 % des interrogés. De plus, il y a **concomitance entre la dégradation observée au niveau du réseau hydrographique et du couvert végétal respectivement 10 à 12 ans et 13 ans.**

Par ailleurs, à la fin du questionnaire, lorsque nous leur demandons s'ils observent une conséquence sur la terre, 97,6 % des questionnés (qu'il soit agriculteur ou éleveur) décrivant une réduction du couvert végétal répondent oui. Pour les pêcheurs, la proportion est plus faible : 84,6 %.

Les populations établissent donc un lien entre la réduction du couvert végétal et les conséquences sur leur terre (perte de particules), ainsi qu'avec **les modifications apparues au niveau du réseau hydrographique. Cette affirmation renforce notre hypothèse**, démontrée au cours de la Partie 2 et de ce Chapitre 6, qui est : que **le paramètre végétation est le principal élément jouant un rôle dans l'étude des risques de pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué.** La zone a donc subi des changements multiples. La modification climatique combinée aux évolutions sociétales (démographie, extension des cultures, modifications de certaines pratiques, etc.) a eu pour effet de transformer considérablement ce milieu, et pour longtemps. En effet, le couvert végétal a régressé : d'une part, le long des cours d'eau suite à la disparition d'une quantité importante des herbes fixatrices et plus largement des formations ripicoles, et d'autre part, sur les versants avec la réduction du nombre d'arbres et des graminées suite à l'extension de la mise en culture. **La diminution de la végétation a amplifié les pertes en terres** (quantitative et qualitative). Les particules arrachées au sol sont donc plus à même d'être prises en charge par les ruissellements. **Les versants dépourvus de protection sont alors parcourus plus rapidement, et sur de plus vastes surfaces. Les ruissellements transportent davantage de particules jusqu'au cours d'eau accroissant les quantités de turbides, modifiant leur physionomie** (berges et bas-fonds cassés par la violence des écoulements, cours d'eau élargis, approfondis, eau stagnant moins longtemps), et **augmentant le risque de pollution.**

Enfin, les résultats du travail réalisé par GOUEM (2007) renforcent cette idée que les populations remarquent les changements vécus par leur environnement et qu'elles établissent des liens directs. **52,66 % à 57 % des personnes interrogées au cours de son étude ont conscience des causes fondamentales de l'état de dégradation des berges.** Elles soulignent l'impact de leur activité, et de leurs actes quotidiens sur le milieu hydrique. Elles n'ignorent pas, non plus, qu'une exploitation des berges ne se fait pas sans un minimum de mesures de protection. Elles mettent également en avant que l'ensablement résulte de l'érosion, principalement hydrique. Les débris végétaux, de terre et de sable sont alors transportés jusqu'aux différents lits des cours d'eau, puis en direction du lac. Ainsi, **plus de la moitié des personnes du bassin de la Doubégué, mais également des occupants des berges de Bagré, est conscientisée sur la nécessité de protéger les berges et plus généralement leur environnement. Cette connaissance est essentielle pour la mise en place de solutions.** La majorité des populations riveraines semble prête à participer à leur élaboration puis leur mise en place, comme on le développera au cours de la Partie 4.

La présentation des résultats de Gouem et de nos enquêtes auprès des pêcheurs ont élargi notre champ de réflexion au lac de barrage de Bagré. Exutoire du bassin versant de la Doubégué, il est intéressant de présenter également ses paramètres physico-chimiques.

6.4 L'étude des caractéristiques physico-chimiques du lac de Bagré et de la qualité de la Doubégué

Les valeurs de turbidité enregistrées au niveau de la Doubégué et de ses affluents renseignent sur une large part des particules présentes dans les cours d'eau, et donc indirectement sur les processus érosifs et les matériaux arrachés et transportés dans son bassin versant. Néanmoins, il convient d'étudier les valeurs relevées dans le lac de Bagré où « débouche » cette rivière. Ce plan d'eau est essentiel pour les populations de cette région, et il joue un rôle au niveau national. Il est donc important de connaître ses teneurs en turbides. Par ailleurs, les autres paramètres physico-chimiques (pH, conductivité, température, minéralisation, teneurs en oxygène, sels minéraux) vont nous fournir davantage d'informations, pouvant expliquer certaines pollutions. Enfin, les teneurs en phosphates dans le bassin de la Doubégué nous renseigneront directement sur la qualité de bassin.

6.4.1 L'étude de la bathymétrie et de la turbidité du lac de barrage de Bagré

Au regard des chiffres de turbidité étudiés dans le bassin versant de la Doubégué, il s'avère que la turbidité est forte. Les valeurs moyennes varient de 149 à 636,5 NTU. Ainsi, suite principalement à l'extension de la mise en culture (sur des sols majoritairement peu aptes), les processus érosifs se sont accrus et ont conduit à amplifier les quantités de turbides transportées jusqu'aux cours d'eau. L'exutoire de la Doubégué étant le lac de barrage de Bagré, ce dernier doit être étudié.

Les prélèvements concernant la gestion de la qualité de l'eau du lac sont effectués par la SONABEL, deux fois dans l'année (avril et octobre) en zone amont et aval. Les analyses sont effectuées par l'Ecole Inter-États d'Ingénieurs de l'Équipement Rural (EIER).

Le lac de Bagré représente 14 % de la superficie en eau du Burkina Faso. Ainsi, de par sa taille, cette retenue d'eau ne connaît pas de variations brutales, mais un cycle annuel régulier divisé en trois périodes : une baisse lente en saison sèche et froide, une baisse plus rapide en saison sèche et chaude, et une augmentation nette et franche en saison humide. Il existe alors une forte corrélation entre la pluviométrie annuelle et les variations du marnage lacustre (cf. Partie 1).

La turbidité, et plus largement les paramètres physico-chimiques du lac de Bagré, suivent également un cycle annuel. Pendant l'hivernage, la conductivité électrique est faible, le coefficient d'absorption de lumière élevé, et la zone productive de faible profondeur (les tendances de ces paramètres s'inversent au cours de la période des étiages).

La turbidité accompagne les variations saisonnières climatiques. Elle est faible en début d'étiage, puis elle augmente pour atteindre son maximum au cœur de la saison pluvieuse (août). Cet accroissement s'explique par l'érosion accrue des sols due à un ruissellement important. Les MES apportées jusqu'au lac augmentent. Les eaux deviennent davantage

turbides. En moyenne, les valeurs sont faibles : entre 2,1 et 14,6 NTU en saison sèche et entre 19,6 et 29 NTU en saison humide. Par conséquent, en saison sèche, le lac dispose d'une eau qualifiée de claire, voire d'incolore, lorsque les relevés sont inférieurs à 5 NTU. Elle serait alors de bonne qualité. Néanmoins, ce fait demeure exceptionnel⁷⁶. Par ailleurs, les valeurs des mois de juillet, d'août et de septembre sont inférieures à la moyenne. A l'inverse, les mois de mai, juin et octobre ont des totaux supérieurs. Les pluies au cœur de l'hivernage ont donc eu un impact moindre qu'en année normale. Celles supérieures, du mois d'octobre, ont également eu peu de conséquences car le couvert végétal était bien développé. Enfin, les précipitations précoces des mois de mai et de juin n'ont plus d'impact visible sur la turbidité du lac au mois d'avril de l'année suivante. L'effet dilution du lac a opéré, et/ou les particules se sont déposées au fond. Cela ne signifie pas pour autant, que les versants n'ont pas été fortement érodés. Lors de l'exploitation de résultat, il faut donc faire attention de ne pas omettre de les replacer dans une plus vaste temporalité.

En majorité, les valeurs de turbidité renvoient à une eau dite légèrement trouble ou légèrement colorée comprise entre **5 et 15 NTU**. Des termes identiques sont employés pour les prélèvements effectués en saison humide.

Ainsi, les valeurs des prélèvements de turbidité, effectués par la SONABEL (**Tab. 34**), demeurent faibles que ce soit en avril ou en octobre. Ce fait peut sembler surprenant suite à notre étude de la Doubégué qui présente, respectivement au cœur de l'hivernage et au début de la saison sèche, des valeurs de l'ordre de 500 NTU et de 200 NTU. En regard de sa représentativité, par rapport aux autres affluents du lac, nous supposons que la majorité d'entre eux apportent des MES dans des quantités semblables ; exception faite, du Nakambé qui transporte des quantités considérables de turbides. Au cours de l'hivernage, la charge de ce fleuve est en moyenne de 2,08 kg/m³.

Par ailleurs, les chiffres avancés par ALOU en 1996 et 1997 diffèrent des résultats de la SONABEL. Pour ALOU, les chiffres varient de **48 à 59 NTU en saison sèche** et de **48 à 78 NTU en saison humide** (**Tab. 35**). A titre de comparaison le mois d'avril 1997 est de 51 NTU pour le relevé d'ALOU et de 3,6 NTU pour la SONABEL. Ces valeurs demeurent inférieures à celles observées dans les affluents. Elles ont une qualité moyenne et sont qualifiées de trouble ou colorée.

Année	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Valeurs guides
Turbidité	29	6,3	5,3	3,6	14	7	2,1 et 22	9,9 et 25,2	19,6	1,45 et 27	Moins de 30

Tab. 34 : Turbidité (NTU) du lac de Bagré entre 1994 et 2003

Source : SONABEL, 2004

Date	30/08/ 1996	23/10/ 1996	06/11/ 1996	23/11/ 1996	21/02/ 1997	24/02/ 1997	28/02/ 1997	02/03/ 1997	02/04/ 1997	Moy.
Turbidité	48	53	79	78	62	59	51	48	51	59

Tab. 35 : Turbidité (NTU) du lac de Bagré en 1996 et 1997

Source : ALOU, 1997

⁷⁶Observé en avril 1997, 2000 et 2003, mais le total pluviométrique de chaque année précédente était inférieur à la moyenne.

Par ailleurs, un rapport du mois de janvier 2011 (FAYE, 2011) souligne que les eaux du lac de Bagré présente une forte turbidité certainement liée à la pauvreté des sols du bassin versant. Elle constitue une contrainte significative pour la croissance de certains poissons (tilapias). Ce document met en avant que l'érosion résulte de la trop grande pression de humaine sur l'espace rural, que la dégradation des berges est essentiellement d'origine anthropique, et que l'envasement, d'abord naturel, est aggravé par l'action de l'homme dans l'ensemble des sous-bassins alimentant le lac. L'ensemble de nos observations est en adéquation avec ce rapport⁷⁷.

Les eaux du lac ont donc un véritable effet de dilution permettant de réduire sa turbidité. Chaque année, une part des MES apportées à la retenue se dépose. En effet, les courants sont faibles. Il n'y a plus assez d'énergie pour transporter davantage les particules qui se déposent alors, petit à petit, dans des espaces proches des berges du lac comme le soulignaient des pêcheurs interrogés en 2006. Ces derniers mettaient en évidence que le lac se comblait petit à petit depuis les rives vers le centre, expliquant qu'ils s'enfonçaient parfois sur **plus de 30 cm**⁷⁸. Le barrage étant, à l'époque, en eau depuis 12 ans **l'évolution** est de l'ordre **de 2,5 cm/an**. Le lac se comble donc, peu à peu, remettant en cause sa pérennité. Il s'agit par conséquent d'un risque important pour l'environnement (cf. Chapitre 7).

Enfin, comme pour l'analyse diachronique, il est intéressant d'avoir des repères afin de pouvoir replacer ces valeurs de turbidité dans un contexte plus large dans l'objectif de savoir si elles font exception ou sont représentatives. En comparaison, en 2007 lors de notre étude de terrain réalisée **au Cameroun** et effectuée dans le cadre d'un Master 2, nous avons pu observer que la turbidité moyenne du lac de **la Mapé** (520 km² pour un volume maximal de remplissage de 3,2 milliards de m³ et une profondeur moyenne pour la cote maxi de 6,25 m et de 5,75 m pour celle moyenne) était de **43,5 NTU au barrage**. Les valeurs des **MES** étaient de **89 mg/l**. Il existe toutefois des différences entre ces deux retenues. Le total pluviométrique dans cette région camerounaise est de 1 648 mm (848,4 mm Bagré), l'évaporation de 1 667 mm/an (2 600 - 3 000 mm/an). Les roches sont métamorphiques, et les sols sont ferrallitiques. Néanmoins, elles appartiennent toutes les deux à une zone dont le relief est en pente douce, le modelé peu ondulé. Il s'agit de deux pénéplaines. Au regard des chiffres d'ALOU et des remarques de FAYE, les valeurs de ces deux lacs sont proches. Les eaux sont alors qualifiées de troubles ou colorées, de qualité moyenne.

L'étude de la turbidité du lac de barrage de Bagré souligne son effet dilution et sa qualité moyenne. Toutefois, le comblement de la retenue progresse par l'intermédiaire de ces particules, porteuses en partie de pollutions (cf. Chapitre 7), transportées jusqu'au plan d'eau. D'autres caractéristiques physico-chimiques peuvent également nous renseigner sur ces dernières (facteurs explicatifs), ainsi que sur la production biologique du plan d'eau.

⁷⁷ Ainsi, les résultats de la SONABEL ne peuvent pas être totalement remis en cause, mais il nous semble important de présenter ces deux rapports dans lesquels les valeurs de turbidités sont supérieures.

⁷⁸ Leur référence était le genou (leur taille en moyenne de 1,70 m à 1,75 m).

6.4.2 Une faible minéralisation

Un des principaux paramètres physico-chimiques intéressant à étudier est le **pH**. Il influence la diversité biologique d'un lac. Celui du lac de Bagré oscille entre **6,6 et 8,6** (SONABEL, 2004) (**Tab. 36**). Les valeurs les plus faibles observées en octobre (1994, 1996 et 1997) correspondent à des années déficitaires. Néanmoins, en année normale, le pH est plus modéré lors du prélèvement d'avril. Quant à l'amplitude intra et interannuelle, elle demeure faible : 0,1 à 1 unité⁷⁹. Il est également important de souligner que lors du suivi mensuel, voire hebdomadaire, un pic de pH peut s'expliquer par de fortes pluviosités. En définitive, selon l'EIER, depuis 2000, les conditions sont acceptables pour la bonne évolution de la faune piscicole. Il est à noter le relevé effectué par CECCHI (2005) de **7,80**. Le pH du lac de Bagré se situe dans l'intervalle 6,5 à 9 recommandée afin d'assurer la protection de la vie aquatique et éviter un stress aux organismes qui compromettraient certaines de leurs fonctions vitales. Toutefois un pH très élevé ou au contraire très faible peut expliquer certaines pollutions.

Dans le bassin de la Doubégué, les valeurs s'échelonnent entre 7,2 et 7,95. L'eau est donc alcaline. Le plus souvent les eaux naturelles ont un pH compris en 6 et 8. Les eaux de notre bassin ne semblent donc pas menacées par une pollution importante. A l'inverse, celles de Bagré soulèvent un risque plus important, principalement en octobre. D'après les observations effectuées depuis plus de deux chapitres, ce pH plus élevé et synonyme de **risque de pollution est à relier aux eaux de ruissellements agricoles**.

Le second paramètre que nous avons pu étudier est la **conductivité** (**Tab. 36**). Elle traduit la minéralisation totale de l'eau. Il s'agit de la capacité de l'eau à conduire le courant entre deux électrodes. Cette traversée est affectée par la présence des matières solides dissoutes. **La conductivité permet alors d'apprécier la quantité de sels dissous dans le milieu aquatique.** Ainsi, *« certains composés chimiques s'ionisent dans l'eau. Ces ions sont chargés positivement ou négativement. Cette ionisation permet à l'eau de transporter des charges électriques, de devenir conductrice. Cette propriété dépend des types d'ions en solution, de leur concentration et de la température de l'eau (...) Chaque ion possède une conductivité spécifique. Elle est en général exprimée à 25 °C en $\mu\text{S}/\text{cm}$. Il existe une relation mathématique entre la somme des conductivités spécifiques et tous les ions présents dans l'eau et la conductivité de l'eau. Ainsi, plus une eau est minéralisée, plus sa conductivité augmente. La conductivité est exprimée en S/m (...). Usuellement, pour les eaux douces naturelles en général peu chargées (par rapport aux eaux de mer, par exemple), on utilise les $\mu\text{S}/\text{cm}$ ou mS/cm »* (HOFFMANN et PELLEGRIN, 1996).

Par conséquent, l'étude de la **conductivité fournit une indication globale de la qualité et de la quantité de matières dissoutes dans l'eau**. Elle dépend d'une large variété de substances ou de matières inorganiques solides dissoutes dans les solutions d'eau. C'est donc une **mesure globale de l'ensemble des constituants dissous dans l'eau**. La minéralisation de la majorité des eaux est dominée par neuf ions appelés couramment les ions majeurs : les cations (sodium, calcium, potassium et magnésium) et les anions (chlorures, sulfates, bicarbonates, nitrates et phosphates). Tous ces éléments (selon leur niveau de concentration) ont la capacité de porter un courant électrique. Ainsi, si **le niveau d'éléments dissouts s'accroît, la conductivité augmentera** également. En définitive, plus **une eau est**

⁷⁹ Exception faite entre 1997 et 1998, mais l'année 1997 est réellement singulière tant les totaux pluviométriques sont faibles

dite pure plus son taux de conductivité sera bas. Approximativement, la conductivité correspond à la salinité en mg/l. Elle est liée à la température.

Année	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	Valeurs guides
pH (H+)	6,6	7,5	6,6	6,9	8,6	8,35	7,25	8,07 et 7,5	7,53	7,68 et 7,95	6,5 à 8,5
Conduct. (μS/cm)	55	88	81	76	112	104	81 et 70, 3	85,8 et 63,4	71	96,5 et 58	Plus de 150

Tab. 36 : Ph et conductivité du lac de Bagré entre 1994 et 2003

Source : SONABEL 2004

Selon MAIGA *et al.* (2007), **la minéralisation est faible au Burkina Faso.** Elle augmente du domaine soudanien vers le sahélien. Cette affirmation semble se confirmer sur notre terrain d'étude. En effet, la conductivité est inférieure aux valeurs guides recommandées (150 μS/cm). Elle est à peu près deux fois plus faible, environs 81,45 μS/cm, et varie de 70 à 96 μS/cm au cours des différentes années. Pour CECCHI, en 2004, elle est de 63 μS/cm (mois de mai) (Tab. 37). **Ces valeurs ne témoignent pas d'une forte productivité primaire des eaux.** En effet, il faudrait que la conductivité dépasse 150 μS/cm (Sonabel, 2004). Les variations mensuelles se présentent sous forme de cycles saisonniers du fait de la concentration/dilution des ions suivant les pluies. Le maximum est alors atteint en fin de saison sèche (avril) et le minimum après le remplissage de la retenue.

	pH	Conductivité	Température	Phytoplancton	Benthos
Bagré	7,8	63 μS/cm	30°C	104,1 μg/l	31,2 mg.m ⁻²

Tab. 37 : Paramètres physiques du lac de Bagré en 2004

Source : CECCHI, 2005

Ces valeurs semblent en adéquation avec celles observées dans la partie aval du bassin versant de la Doubégué. En effet, au niveau de Bassaré, des valeurs inférieures à cette valeur guide ont été remarquées. Ce site apparaît comme une sorte de limite entre une partie supérieure où les valeurs dépassent les 150 μS/cm (entre 147 et 220 μS/cm) et celles de la partie aval comprises entre 23 et 121 μS/cm. Au cours de l'hivernage, les eaux du bassin peuvent être qualifiées de très bonne qualité, que ce soit selon les normes de l'AEAG ou de l'*European Environment Agency*. Lors de la saison sèche, elles sont respectivement de très bonne qualité et de bonne qualité. Dans l'ensemble, **le bassin de la Doubégué connaît une faible conductivité, ce qui renforce l'intérêt de travailler au niveau de la turbidité.**

Les **teneurs en oxygène dissous** observées dans les couches superficielles sont conformes aux résultats obtenus par GUENDA en 1996 au niveau du Mouhoun, et à ceux de BAIJOT *et al.* en 1994 réalisés dans le lac Kompienga et plusieurs autres retenues du Burkina Faso. L'absence de stratification nette de la teneur en oxygène pourrait être due aux vents du Harmattan qui homogénéisent l'eau, ainsi qu'à la faible profondeur de la retenue. En effet, ce phénomène de stratification est peu fréquent au Burkina Faso, et ne s'observe qu'en fin d'après-midi (16 h). Les valeurs varient entre 6,62 et 5,65 mg/l en saison sèche, et 4,8 et 4,037 mg/l au cœur de l'hivernage (ALOU, 1997). Cette différence s'expliquerait par la

baisse de température de l'eau agissant sur la solubilité de l'oxygène. Plus la température est grande, plus faible sera la solubilité de l'oxygène, et donc plus la teneur en oxygène sera basse. Aux vues des résultats, **l'eau est oxygénée même en profondeur**. Selon l'AEAG, ces eaux peuvent être qualifiées de qualité **moyenne** à bonne en saison sèche, et moyenne pendant l'hivernage. Néanmoins, ces relevés doivent être régulièrement effectués afin de s'assurer que cette teneur ne diminue pas. Si elle venait à **augmenter**, elle serait un **bon indicateur** d'une possible **activation** d'un processus **d'eutrophisation**, suite à une **réduction de la profondeur de la retenue** et/ou à un **accroissement de l'usage de nutriments** (NPK en particulier). Ces mesures n'ont pas été effectuées au niveau de la Doubégué.

Il convient de présenter également les quantités de **sels minéraux** mesurées dans la retenue de Bagré. Ainsi, le lac **présente une faible dureté**. Les concentrations de calcium et de magnésium sont deux sels favorisant le développement de la flore et de la faune. La productivité maximale est obtenue lors de valeurs équivalentes à 25 mg/l, ce qui est loin d'être le cas ici (**Tab. 38**). Les teneurs en calcium et en magnésium demeurent faibles. Pour ces deux anions, les valeurs minimales se rencontrent en fin de saison des pluies. Les taux observés ne permettent donc pas une forte production piscicole. Les teneurs en potassium sont, quant à elles, plus élevées en période de crue : 0,5 à 0,6 mg/l. Les ions sodium de 0 à 12 mg/l présentent les valeurs les plus fortes en saison sèche. Enfin, le fer est plus important en saison humide. En effet, cet élément est abondant dans le sol, et lors du lessivage, il est entraîné en direction du lac.

Paramètre (mg/l)	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	Valeurs guides	Valeurs guides AEAG
Ca ²⁺	8	9,6	9,2	10,8	9,2	8,4	10,4 et 0	9,2 et 7,2	7,2	10,8 et 9,2	50 à 120	1,2 à 25 meq/l
Mg ²⁺	2,2	1	4,8	6	2,7	2,9	1 et 0	5,3 et 2,7	2,9	8 et 1,7		- 4,11 à + 32,9 meq/l
Na ⁺	1	4, 3	4	3,3	0	4	12 et 3,4	5 et 2,1	2,5	5,4 et 2,5	Pas de valeur guide	- 8,6 à + 32,6 meq/l
K ⁺	2,8	4,2	0,5	4,6	0	2	4 et 1,5	1 et 2,6	3,9	3,1 et 4,3	Non limitant	- 0,3 à + 1,8 meq/l
Fe	1	0,2	0,11	0,07	0,8	0,41	0,2 et 0,54	0 et 0,45	0,25	0,23 et 0,16	Pas de valeur guide	

Tab. 38 : Teneurs en anions dans le lac de Bagré (entre 1994 et 2003)

Source : SONABEL, 2004

Par ailleurs, les ions CO₃²⁻ sont absents et les HCO₃⁻ sont faibles (particulièrement en saison des pluies) (**Tab. 39**). Les chlorures varient entre 3,5 et 10 mg/l. Les valeurs minimales s'observent après la montée des eaux. Quant aux sulfates, ils sont concentrés pendant les

basses eaux : 14 mg/l. Et, les nitrates et les phosphates, contrairement aux prévisions suite à l'intensification des cultures et l'usage d'engrais, ne présentent pas d'accroissement significatif. Les premiers sont à l'état de trace après le remplissage. Ils augmentent lors de la baisse des eaux sans dépasser 8 mg/l. Néanmoins, les **nitrites** (sels de l'acide nitreux), **très toxiques, ont ponctuellement des teneurs largement supérieures** aux valeurs guides maximales : 0,44 mg/l au lieu de 0,05 mg/l. Ils proviennent d'une transformation de l'ammonium par les bactéries. Leur présence est signe d'une **pollution bactériologique et organique**. L'ammonium est souvent lié à la réduction des nitrates ou aux activités humaines (rejets d'effluents des stations d'épuration, activités industrielles, élevage). Dans notre étude, il semble que ce soit la première cause qui joue un rôle. Cette transformation est catalysée par une enzyme (la nitrate-réductase) produite par les végétaux et par les micro-organismes contaminant certains végétaux. Ainsi, les faibles valeurs observées de nitrate ne signifient pas pour autant que leur utilisation soit peu pratiquée. Elles semblent dues à la transformation du nitrate en nitrite. **L'utilisation d'engrais**, tout du moins de nitrate, doit donc être **une réalité**.

Paramètre (mg/l)	94	95	96	97	98	99	00	01	02	03	Valeurs guides	Valeurs guides AEAG
CO ₃ ²⁻	0	0	0	0	0		0	0	0	0		
HCO ₃	37,8	51,2	58,5	65,9	57,4	56,12	61 et 51,24	54,9 et 42,7	50	61 et 45,1	100 à 250	
Cl ⁻	4,5	5,8	3,5	6,6	8,9	7,5	6 et 10	10 et 3,5	7,5	7,5 et 7		- 1,76 à + 7,04 mg/l
SO ₄ ²⁻	2	3	0	0	0	2	5 et 4	10 et 3	0	3 et 0	500	
NO ₂ ⁻	0	0	0,02	0		0,14	0,03 et 0	0 et 0	0,02	0,44 et 0	Moins 0,05/3 et 0,2 pour long terme	
NO ₃ ⁻	2,6	0,9	0,8	0,88	3,7	0	4,4 et 29	1,32 et 3,9	3,1	0,013 et 0	5 à 15/ 50 et 0,2	- 2 à + 50 mg/l
PO ₄ ³⁻	0,29	0,06	0,21	0,1	0	0	0 et 0,1	0,16 et 0,08	0,11	0,04 et 0,05	0,3 à 0,5	- 0,05 à + 0,5 mg/l
SiO ₂							0,3	6,3	8,2	5,8		

Tab. 36 : Teneurs en cations dans le lac de Bagré (entre 1994 et 2003)

Source : SONABEL, 2004

6.4.3 Des taux de phosphates préoccupants : une pollution diffuse

Nous avons également effectué des mesures de phosphates via la spectrophotométrie. Les sites de prélèvements retenus correspondent à ceux retenus dans le cadre de l'étude sur la turbidité⁸⁰. Ces prélèvements se sont opérés au cœur de l'hivernage.

Il convient de revenir quelques instants sur ce qu'est le phosphate avant de présenter nos résultats. « *Le phosphore est présent dans les eaux naturelles presque essentiellement sous forme de phosphates. Trois types de phosphates sont rencontrés : les orthophosphates, les phosphates condensés (pyrophosphates, métaphosphates, polyphosphates) et les phosphates liés organiquement. Bien que les phosphates soient essentiellement pour la croissance des végétaux, ils sont en général en quantité très faible dans les eaux (moins de 0,1 mg/l) car réutilisés assez rapidement (...). Des concentrations élevées dans les cours d'eau entraînent aussi une eutrophisation de ceux-ci par développement anarchique des algues (les phosphates étant le facteur conditionnant la croissance des végétaux). Le développement augmente encore s'il y a pollution par les nitrates* » (HOFFMANN et PELLEGRIN, 1996).

Par ailleurs, les Agences de l'Eau en France définissent des classes de qualité des eaux en fonction des valeurs en phosphates : inférieures à 0,05 mg/l (très bonne qualité), de 0,05 à 0,1 mg/l (bonne qualité), de 0,1 à 0,25 mg/l (qualité moyenne), de 0,25 à 0,5 mg/l (très mauvaise qualité). Il existe également un seuil de pression anthropique de 0,1 mg/l. Néanmoins, aucune norme de potabilité n'a été retenue. **Au Burkina Faso, il n'existe pas encore de limite officielle**, ni pour les eaux brutes, ni pour les eaux potables.

Les phosphates représentent un cas typique de pollutions diffuses : les sources sont multiples et leur progression relativement lente. A l'inverse, dans le bassin versant de la Doubégué, les rejets accidentels concentrés sont quasiment inexistants.

Il existe **une corrélation entre les variations de turbidité et celles des teneurs en phosphates**. Concernant l'ensemble de la campagne de prélèvements, elle est identique pour six des onze sites : Pésséré, lac de Tenkodogo, Belcé, Zaba, Doubégué, Bagré. En semaine 6, d'une part une légère variation apparaît pour deux d'entre eux (Bassaré et Pata), et d'autre part une réelle opposition concerne les trois derniers (Dazé, Kabri et Douka).

Ainsi, **le classement des sites les plus turbides correspond quasi parfaitement avec celui des lieux ayant les taux de phosphates les plus élevés**. En effet, on conserve les quatre premiers sites : Doubégué, Pésséré, Bassaré et Douka (plus de 0,83 mg/l), puis Dazé une nouvelle fois en position intermédiaire (0,65 mg/l), suivi de Zaba, Belcé et le lac de Tenkodogo (entre 0,45 et 0,51 mg/l), enfin Pata, Kabri et Bagré (0,29 à 0,30 mg/l) (**Fig. 46**).

Seuls cinq sites disposent de valeurs inférieures à 0,5 mg/l mais supérieures à 0,3 mg/l. Ce qui représente entre 3 et 5 fois le seuil de pollution (ou de pression anthropique). Quant aux six autres, ils varient entre 0,65 mg/l et 0,90 mg/l. Si l'on se réfère à l'AEAG, ces eaux sont respectivement qualifiées de mauvaise qualité et de très mauvaise qualité.

⁸⁰ Méthodes de HOFFMANN et PELLEGRIN (1996) et LAVIE (2009).

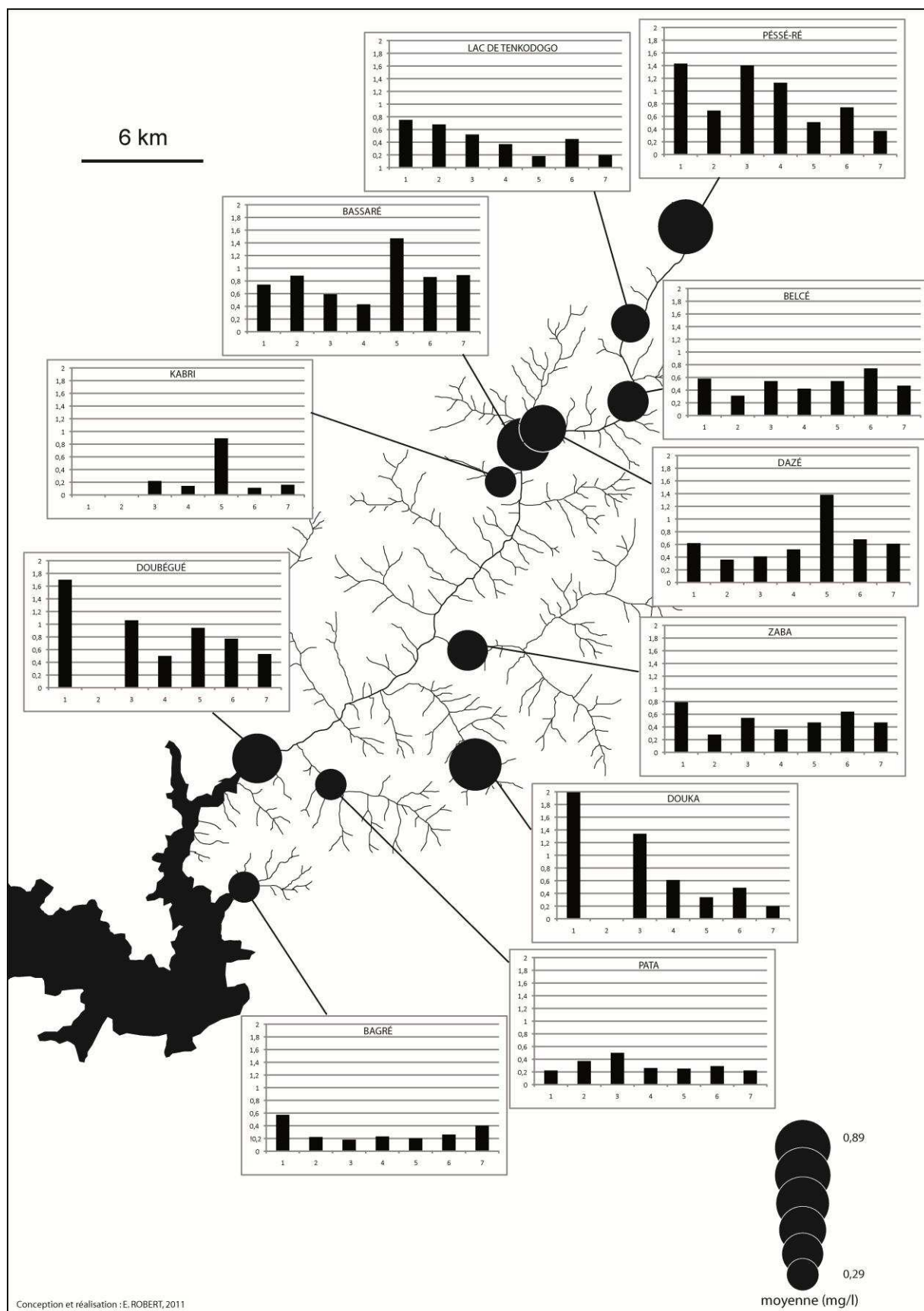


Fig. 46 : Relevés de phosphates dans le bassin versant de la Doubégué au cours de la saison des pluies (2009)

Sur l'ensemble du bassin versant, les relevés hebdomadaires présentent des valeurs de 1,4 à 1,99 mg/l pour les plus élevées et de 0,11 à 0,18 mg/l pour les plus faibles. Ces faits sont en adéquation avec l'idée que les bassins de Pata et Kabri peu cultivés disposent donc de plus faibles teneurs en phosphates. De même, le site de Bagré ne dispose que d'une rive mise en culture ce qui atténue l'impact des engrais en ce lieu.

Par ailleurs, l'environnement de Belcé est peu anthropisé. Ses valeurs intermédiaires s'expliquent par sa localisation dans le cours principal. De même, la position du lac de Tenkodogo combine deux facteurs antagonistes : **un effet dilution** (réducteur des taux de phosphates), et la **mise en culture de ses berges et l'expansion de Tenkodogo**.

Les sites de Doubégué et de Bassaré sont pour ce paramètre également victimes de leur position dans le réseau hydrographique. Enfin, à Douka et à Pésséré, la mise en culture de sols pauvres dans un environnement dégradé constitue le principal paramètre à l'origine de l'accroissement des taux de phosphates.

Il est important de souligner que ces relevés ont été effectués au cœur de l'hivernage, lorsque les sols sont les plus soumis au processus de lessivage. Ainsi, les teneurs en phosphates doivent diminuer à partir de septembre lorsque les champs sont mieux couverts et la végétation bien développée. Les plus faibles teneurs devraient s'observer à la mi-octobre (effet dilution). Elles doivent être de nouveau élevées de la mi-décembre à la fin janvier, lorsque que l'eau diminue dans les cours jusqu'à se tarir.

Afin d'illustrer la présence de phosphates, synonymes d'eutrophisation, le développement de nénuphars au niveau de plusieurs sites a été observé. Le plus marquant est Dazé (**photo 90**) : accroissement de leur nombre tout au long de la campagne effectuée durant l'hivernage. L'origine semble provenir des engrais épandus sur les champs. Les pluies ont alors lessivé les sols, et le ruissellement a transporté les phosphates jusqu'au cours d'eau. La présence de ce type de végétation a également été révélée dans le lac de Tenkodogo, au site de Bagré et de Douka.



Photo 90 : Nénuphars au site de Dazé

Cliché : E. Robert, 2008

Le bassin versant de la Doubégué est donc caractérisé par **une pollution diffuse**. Néanmoins, certains sites réclament une attention tout particulière. Il s'agit des quatre points présentant des taux supérieurs à 0,8 mg/l en moyenne. Leurs valeurs varient pour :

- Doubégué : entre 0,5 mg/l et 1,7 mg/l ;

- Pésséré : entre 0,37 mg/l et 1,43 mg/l ;
- Bassaré : entre 0,43 mg/l et 1,47 mg/l ;
- Douka : entre 0,2 mg/l et 1,99 mg/l.

Cette étude souligne encore l'importance du plus ou moins bon **développement du couvert végétal et de sa protection**. Par ailleurs, **la place dans le réseau hydrographique est également importante**. Enfin, il est important de rappeler que la principale cause est la mise en culture expliquant en grande partie les taux observés à Douka.

Enfin, en regard, des valeurs observées dans la retenue de Bagré, les taux de phosphates sont particulièrement plus élevés. Il semble donc que les petits bassins versants de ce lac de barrage **subissent, eux, les effets de l'accroissement de l'utilisation des engrais produits phytosanitaires**. Aux vues de l'ensemble de nos résultats, le bassin est donc affecté dans sa globalité, et il ne semble pas exister de véritables « poches » de bonne qualité. Ces valeurs sont alors particulièrement préoccupantes que ce soit pour l'environnement « naturel » ou la santé humaine (cf. Chapitre 8).



*L'étude de la turbidité du bassin versant de la Doubégué a révélé que les eaux étaient fortement turbides. Leur moyenne varie de 149 à 636,5 NTU. Les relevés effectués dans le cours principal sont supérieurs à ceux réalisés dans les affluents (sauf Douka). Il existe une progression de l'amont vers l'aval du bassin. Par ailleurs, l'influence de pluies intenses est primordiale pour comprendre ces fortes valeurs et les pics de turbidité. Le seuil déclencheur est 25 mm/j. Si l'événement pluviométrique est supérieur à 30 mm/j, les impacts sont alors visibles plus d'un jour. Toutefois au-delà de deux jours, la relation s'estompe et les valeurs diminuent. **La turbidité est donc en lien direct avec l'érosion pluviale** et les ruissellements qui en découlent. Les **temps de réactions sont donc très courts**. Les plus fortes valeurs s'observent de juin à la première décade d'août lorsque les sols sont préparés, semés mais non protégés contre l'impact des pluies intenses. Puis, elles sont de nouveau élevées au cours des mois de novembre et décembre suite à l'abaissement des quantités d'eau présentes dans les cours d'eau. Les plus faibles se constatent durant la fin du mois de septembre et le mois d'octobre.*

*Par ailleurs, cette analyse a démontré que les paramètres à prendre en compte dans l'étude de la turbidité ne jouent pas un rôle identique. **Le facteur déterminant est le couvert végétal**. Les sites disposant d'une végétation bien développée aux abords du cours d'eau présentent les valeurs les plus faibles. Une bonne protection des versants a également un impact positif. Le second élément à prendre en compte est le type de sol. Ainsi, les sites ne disposant pas ou peu de formations « naturelles » et reposant sur des sols pauvres (lithosols, sols peu évolués) ont les teneurs en turbides les plus élevées (Pésséré, Douka). La position hydrographique, telle qu'une confluence, joue également un rôle (à Bassaré). A l'inverse, l'état gravillonnaire du site ou la présence de cailloux sur les versants modère ces valeurs (Pata, Bagré). La pente, majoritairement inférieure à 2 %, a peu d'impact.*

Par conséquent, c'est **l'extension de la mise en culture**, démontré à l'aide de l'étude diachronique, qui joue un rôle de premier plan. Elle s'est faite au détriment de formations « naturelles » qui protégeaient les sols contre l'attaque des pluies intenses et qui ralentissaient, cassaient les ruissellements résultants. Cette modification dans l'occupation du sol est à l'origine d'une part d'une **augmentation des surfaces soumises à l'érosion pluviale** (amplifiant le nombre de particules détachées et facilement mobilisables par les écoulements). D'autre part, elle est le point de départ de **l'accroissement des ruissellements le long des versants**. L'érosion de type aréolaire a affecté des secteurs plus nombreux. Les **ruissellements plus rapides, plus chargés ont accru leur capacité érosive**, les espaces de bas de versant ont également été touchés. Des **formes d'érosion linéaire** (rigoles, ravines, ravins) se sont multipliées et ont progressé plus vite qu'auparavant. Cette situation s'est particulièrement dégradée à partir du milieu des années 1990. L'amplification de ces deux formes d'érosion hydrique a amené davantage de particules jusqu'aux différents cours d'eau augmentant alors les teneurs en turbides. Les fossés le long des pistes et des routes sont également de formidables relais. Par conséquent, **l'extension des surfaces mises en culture est le point de départ à l'accroissement des valeurs de turbidité**. Les secteurs les plus susceptibles d'être émetteurs sont donc ces dernières, mais aussi les ravines et les ravins.

Par ailleurs, les populations riveraines ont fortement conscience des liens existants entre les pertes de terres observées sur leurs champs, l'amplification des processus érosifs et les modifications constatées au niveau des cours d'eau. Elles soulignent également l'impact qu'a eu la régression du couvert végétal sur ces évolutions : exacerbation de l'érosion aréolaire et linéaire, élargissement, creusement des cours d'eau, ensablement, etc.

Le bassin versant de la Doubégué subi alors de multiples modifications révélées par une turbidité élevée et par un niveau important de phosphates. Ainsi, les sols sont lessivés par les fortes pluies de l'hivernage, et le ruissellement entraîne les particules jusqu'au cours d'eau. **La qualité et la quantité hydrique s'en trouvent alors affectées**. D'une part, la présence en nombre important de MES peut servir de support au virus, bactéries et parasites. De même le transport de molécules chimiques jusqu'à la rivière abaisse le niveau de qualité des eaux et laisse peser de lourdes menaces sur la santé humaine, animale et celle des écosystèmes. D'autre part, les changements observés à l'heure actuelle soulignent à quel point l'eau ne stagne plus. Les lits sont ravinés.

En définitive, les modifications actuelles font peser des risques importants sur les habitants du bassin versant de la Doubégué, ainsi que sur l'environnement. Par ailleurs, les populations sont déjà soumises à des menaces que ce soit en termes de santé publique (maladies hydriques, etc.) ou de conflits d'usage. L'accroissement de la dégradation du milieu naturel a eu pour conséquence une exacerbation de certains risques et l'apparition de nouveaux auxquels les populations ne sont pas préparées. Il convient alors d'exposer quelles sont ces anciennes et nouvelles menaces présentes dans le bassin versant de la Doubégué. Leur identification est essentielle afin de pouvoir dans un dernier temps mettre en place des solutions répondant à la protection du milieu naturel et au développement des populations. Il est alors important de connaître l'ensemble des données du problème.

Chapitre 7 :

Risques environnementaux et humains dans les bassins versants de la Doubégué et du lac de Bagré

Le terme **risque** est originaire de l'italien *risco* (aujourd'hui *rischio*) et plus probablement du latin populaire *rescum* : « ce qui coupe, écueil ». Pour le latin classique, *resicare* signifie « enlever en coupant, retrancher, supprimer ». Actuellement, le risque est défini comme le **résultat des interactions entre les processus physiques d'endommagement (aléa) et les facteurs de peuplement (vulnérabilité)**. Le risque est créé par la superposition spatiale entre l'extension d'un aléa et d'un territoire anthropisé. Sa définition donne l'impression de l'existence de deux pôles l'un relatif à la Nature et l'autre à la Société. Or, il faut dépasser cette distinction car il existe des imbrications perpétuelles, des interdépendances.

L'environnement est alors « *un grand vecteur du risque puisque c'est le plus souvent par la voie de l'eau, de l'air ou indirectement des sols que peuvent se propager de très nombreuses maladies* » (LEPAGE in DUPONT, *Dir.*, 2003). A titre d'exemple, la prévalence du paludisme est de 41 à 60 % dans la zone (MARA/ARMA, *Program* 2002), et 61 à 73 % de la population de la région étudiée (département) ont accès à une eau de mauvaise qualité (Recensement Général de la population et de l'habitation en 1996). **Dans notre bassin, les deux paramètres (ressources en terre et en eau) affectés par l'évolution de l'occupation des sols sont aussi les deux principaux vecteurs de risques, renforçant l'idée d'interpénétration entre les différentes sphères « naturelle » et humaine.** En effet, l'impact anthropique ne doit surtout pas être omis. De plus, « *l'acceptabilité sociale des risques dépend de la reconnaissance de la nature anthropique de ces risques* » (DESCROP in DUPONT, *Dir.*, 2003). Tant que les populations n'auront pas conscience des risques encourus, et du fait qu'elles en sont souvent la cause, une gestion, une prévention du risque ne pourra être effective et efficace.

Par ailleurs, dans un souci de quantification, le risque environnemental est souvent défini en regard de normes, de taux, de seuils. Ainsi, leur respect est associé à l'absence de danger. L'illusion d'un seuil en deçà duquel le risque est considéré comme négligeable et donc acceptable est créé. Or, au Burkina Faso, concernant la turbidité, nous sommes en présence le plus souvent d'eaux dites africaines. Les valeurs sont donc majoritairement au-delà de toutes les normes de potabilités et des recommandations de l'OMS. Les écosystèmes sont détériorés, et les activités humaines menacent alors les interférences entre l'eau, le sol et les cycles géochimiques (DELÉAGE in DUPONT, *Dir.* 2003). Elles sont les premières responsables de la réalisation de ces risques, mais également bien souvent les premières affectées. Dès les années 1980, l'environnement a subi des changements d'ordre « naturel » et humain. Ils se sont accrus et accélérés au cours des décennies suivantes. Depuis les années 2000, un emballement oblige à mettre rapidement des actions en place afin de contrecarrer ce

processus de dégradation du couvert végétal, des sols et de forte turbidité des cours d'eau. **L'accroissement des pertes en terre issues de la régression de la végétation a des conséquences en particulier sur les ressources en eau et cause des pertes principalement de type qualitatif.** Il convient alors d'étudier les risques affectant le milieu naturel, la sphère humaine, et de présenter les impacts de l'exacerbation de ces risques. Faute de moyens, les terres se dégradent, et la forêt disparaît rapidement. Les impacts sont alors plus nombreux et affectent davantage les sphères « naturelles » et humaines.

Ce Chapitre 7 s'intéressera donc aux risques naturels et anthropiques, et à leurs conséquences à la fois pour l'homme et son environnement. Le premier point présentera les risques subits par le milieu et leurs différences sur le plan spatial, avec une étude plus ciblée sur les pesticides. Le second et le troisième points s'attacheront aux risques pour l'homme, d'abord sur les plans social et sanitaire, enfin sur ceux économique et politique.

7.1 Des risques pour l'environnement

Les modifications et l'amplification de phénomènes évoqués au cours des chapitres précédemment (exacerbation de l'érosion, accroissement des particules transportées jusqu'au cours d'eau, hausse de la turbidité, changement morphologique des affluents et de la Doubégué) conduisent à l'aggravation de certains risques connus et/ou à l'apparition de nouveaux. Les perturbations du milieu naturel sont alors multiples et différent selon qu'elles concernent l'hydrographie (lac, affluents) ou les organismes (végétaux, animaux).

7.1.1 Une distinction spatiale des risques environnementaux

Depuis le milieu des années 1980, suite à l'anthropisation croissante de la région, de plus en plus de particules sont apportées par les ruissellements jusqu'aux cours d'eau. Or, les affluents, comme la Doubégué, n'ont pas toujours un débit suffisant pour transporter l'ensemble des particules jusqu'au lac de Bagré. Les débits assez puissants s'observent seulement quelques mois par an (de la mi-août à la mi-novembre). Les mois précédents, son fonctionnement est irrégulier. Ainsi, de la fin juin à la mi-août, le cours de la Doubégué n'est pas encore permanent (elle est à sec de janvier à mai-juin). Les différences de débits et de pression anthropique entre les différents affluents de la Doubégué, et avec le lac de Bagré amènent de fait à une distinction spatiale forte des risques sur le milieu.

7.1.1.1 Les risques physiques et morphologiques

Les premières pluies de fortes intensité érodent les sols dont les particules sont transportées violemment jusqu'au cours d'eau. La puissance de la Doubégué, sapant tout sur son passage, arrache les particules des berges. Cependant ce processus ne dure que quelques heures. En définitive, un **creusement du cours d'eau dans sa zone centrale** se produit. Ce fonctionnement irrégulier crée également, suite au sapement des berges, un élargissement du lit. Par ailleurs, ce processus s'opère aussi au niveau des plus petits affluents qui sont « cassés » et qui s'approfondissent (Kila, Zangarye à Douka, secteur de Gouni Peul, etc.). De plus, la majorité des personnes interrogées souligne que ce système s'accroît avec le temps.

A l'inverse, de **nombreux sites connaissent la mise en place de dépôts sableux**, comme cela a été remarqué sur différents points de prélèvements (Zaba, Bagré, Pesséré,

Bassaré, Douka). Un exhaussement du lit est alors observé. Une des conséquences est la **montée du niveau statique des nappes superficielles** et la **divagation des petits affluents**.

Par ailleurs, **la combinaison du fonctionnement irrégulier et puissant des cours d'eau et de l'exhaussement du lit, conduit** à des modifications dans le réseau telle que la création d'un nouveau bras (**photos 91 et 92**).



Photo 91 : Nouveau bras créé suite au fonctionnement violent et irrégulier du réseau hydrographique **Photo 92 : Ancien bras de plus en plus à sec**

Le cercle rouge indique la direction de l'ancien bras indique

Clichés : E. Robert, 2008

Suite à cette augmentation de particules transportées dans l'ensemble de son bassin versant, le lac de barrage de Bagré subit **une modification morphologique en relation avec l'exhaussement du niveau de base de la cuvette**. Ce changement a un impact sur l'habitat des invertébrés aquatiques. Les sédiments se compactant peu à peu, une modification morphologique apparaît principalement au centre du lac dans le secteur aval de la digue. Cette retenue constitue le point de convergence des écoulements en eau, prenant en charge la majorité des sédiments. Ceux-ci se déposent alors au fond du lac et se compactent petit à petit.

De plus, comme corollaire à ce fait **une diminution de la capacité de stockage** s'observe. En parallèle de ce processus de comblement, le lac de Bagré devient peu à peu moins profond. En définitive, il présente au fil du temps **une exposition croissante au processus d'évaporation**. Ces ouvrages sont en effet voués à se colmater et à disparaître plus ou moins rapidement selon leur environnement naturel et humain. L'accroissement du processus érosif suite à l'extension des parcelles cultivées accélère ce phénomène. Au Burkina Faso, les chiffres de 1986 de MIETTON peuvent être présentés (**Tab. 40**), ainsi que l'envasement moyen annuel du barrage de Tamasgho de $8\,989,3\text{ m}^3$ pour une dégradation spécifique de $466,1\text{ m}^3/\text{km}^2/\text{an}$ avec une perte de 40 % du volume initial entre 1978 et 1998. Les apports annuels du lac de Dem, en moyenne de $60\,866,6\text{ m}^3$, sont également une bonne illustration de ce phénomène. Par ailleurs, depuis la mise en exploitation du barrage de la Kompienga (1989) environ 3 m de hauteur de sable se sont entassés dans le lac (soit 450 millions de m^3) (Directeur des Ressources Halieutiques, Idrissa Zampaligré). Le contexte « naturel » et humain est assez proche de celui du lac de barrage de Bagré⁸¹. Ces chiffres sont

⁸¹ Le lac de Kompienga et de Bagré ont respectivement une superficie de 21 000 et 25 000 ha, leurs précipitations varient entre 800 et 1 000 mm/an. Ils ont connu l'arrivée de population suite à la mise en eau de ces deux lacs, et leur bassin est

alors un indicateur de ce qui doit se dérouler dans cette retenue. Quant à la perte de 60 % du volume des trois barrages de Ouagadougou, elle résume à elle seule les conséquences de ce processus et toutes les problématiques d'accès, d'usage et de conflits liées à la ressource en eau. Enfin, selon une étude de l'Orstom, **l'envasement du lac de barrage de Bagré** atteindrait en moyenne **un million de m³/an** pour un volume stocké de 270 millions de m³ au-dessus des ouvrages de prises d'eau.

Site (Région -Année de construction)	Précipitations (mm)	Surface du bassin versant (km ²)	Pente moyenne (%)	Envasement (m ³)
Samboendi (Bogandé - 1962)	724	148	0,11	38 500
Goundi (Tenado - 1964)	900	38	1,2	6 000
Vi (Boromo - 1964)	1 000	92	0,3	4 800
Boulibi (Ouagadougou-1959)	896	102	0,2	6 800

Tab. 40 : Envasement de 4 barrages au Burkina Faso

Source : d'après Mietton, 1986

7.1.1.2 Les risques chimiques

Par ailleurs, les solides dans l'eau absorbent l'énergie du soleil et la convertissent en chaleur ce qui a pour conséquence, au cours du temps, **d'élèver la température de l'eau** et d'accroître l'évaporation. Or, chaque organisme a une plage de tolérance de température, même une faible hausse peut entraîner des maladies, voire la mort de certains organismes aquatiques. A cela se combine, le fait que l'oxygène se dissout moins bien dans une eau réchauffée que dans une eau « froide ». Une élévation de **la température renforce donc le risque d'hypoxie** (ETIENNE, Futura-Sciences, 2008)⁸². Ces phénomènes s'observent principalement dans des secteurs proches des berges où une partie des particules a été déposée et où la profondeur du lac est faible (système proche du marécage). Ces processus s'accroissent suite à la dégradation de l'environnement, car les eaux de ruissellements ont tendance à contenir davantage d'engrais et à apporter un excès de nutriments stimulant la croissance d'algues et de plantes nuisibles (eutrophisation) au détriment des autres organismes.

Il convient donc de prendre plus en compte les conséquences d'un milieu faible en oxygène pour les populations aquatiques, en particulier les poissons qui auront des difficultés pour se développer. Cet impact aura également une répercussion sur la pratique de la pêche. En effet, l'augmentation de l'usage d'engrais principalement pour la culture du coton dans le bassin versant de la Doubégué et plus largement dans l'ensemble de celui de Bagré est une réalité. Les doses préconisées pour les cultures (surtout coton et maïs) sont de 150 kg/ha pour le NPK, auxquels il faut y adjoindre 50 kg/ha d'urée. Par ailleurs, dans les zones aménagées, les recommandations sont respectivement de 300 et 80 kg/ha. Néanmoins, l'ensemble des agriculteurs ne pratique pas la culture du coton, du maïs ou du riz, et ceux qui la ou les pratiquent appliquent rarement ces doses pour des raisons financières. C'est pourquoi, la

dominé par les activités agropastorales. Toutefois, le Nakambé est plus important et ses densités humaines aussi. Ainsi, les quantités de particules transportées jusqu'au lac de Bagré doivent être supérieures à celles observées à Kompienga.

⁸² État d'un milieu naturel ou d'un organisme vivant en état de manque d'oxygène. Un milieu naturel, aquatique par exemple, est en hypoxie quand la teneur en oxygène ne permet pas la survie des organismes qui s'y trouvent.

majorité des cultivateurs dispose d'une fosse fumière. La proportion des paysans utilisant des engrais est d'environ 1/3. Néanmoins, le secteur amont (Béguedo-Niaogho) du lac de barrage présente de grandes superficies de cultures maraîchères où l'emploi de NPK est plus important, de même que dans le bassin du Nakambé dont le lac de Bagré est l'exutoire. Ainsi, au cours des vingt dernières années, les proportions de NPK ont augmenté conduisant à des modifications des équilibres du milieu du lac : **prolifération d'algues, diminution de la quantité d'oxygène présente pour les poissons et autres organismes**, etc.

Un **processus d'eutrophisation** se met donc en place. Il est le **principal mécanisme en œuvre**. Il s'agit d'une surfertilisation des eaux qui va être favorisée et qui stimule le développement d'algues unicellulaires, filamenteuses et de macrophytes. L'eutrophisation conduit alors à un envasement progressif des plans d'eau. En effet, le transport des matières fertilisantes, utilisées principalement pour l'amendement des champs de coton et de maïs, par les eaux de ruissellement s'opère en direction des cours d'eau et du lac.

En temps normal, les algues servent de nourriture au zooplancton et à différents types d'invertébrés filtrants. Or, si elles se développent plus vite qu'elles ne sont consommées, l'ensemble du système devient instable. Les secteurs peu profonds, émergés en saison sèche, sont les premiers et les principaux affectés. Ils sont irradiés par le rayonnement solaire. Une végétation aquatique hydrophile (*Ipomea aquatica*, *Eichhornia crassipes* ou jacinthe d'eau douce) peut s'installer sur les dépôts sédimentaires. Ce phénomène accélère l'assèchement de ces zones. En définitive, un déséquilibre écologique s'opère suite à la colonisation des végétaux. Le processus d'eutrophisation peut être ainsi défini en six étapes :

- une accumulation de phosphore, d'azote provenant de sources diverses naturelles et anthropiques ;
- Une prolifération d'algues et de plantes aquatiques dans la couche supérieure et dans les zones les moins profondes du lac et des cours d'eau se produit ;
- une diminution de la transparence et donc du passage de la lumière à travers la colonne d'eau s'observent. La photosynthèse s'effectue uniquement près de la surface du lac ou du cours d'eau ;
- une augmentation de la quantité de matière organique à décomposer apparaît. Le surplus de matière végétale produit dans l'épilimnion se dépose au fond du lac suite à sa sénescence (mortalité) ;
- une diminution de l'oxygène dissous en profondeur s'opère suite à l'utilisation de l'oxygène dissous afin de décomposer la matière végétale ;
- un changement apparaît dans la biodiversité telle que la disparition de poissons.

Par ailleurs, la minéralisation bactériologique des composés organiques (surtout à l'interface eau/vase) cesse, et des cyanobactéries se développent. Le fond devient le siège de fermentation putride.

Enfin, les aquifères sont également affectés par la pollution chimique provoquée par des excès d'intrant (nitrates liés aux engrais, pesticides). Même les aquifères de socle ne sont pas protégés par leur manteau d'altérites.

7.1.1.3 Les risques pour les organismes aquatiques

L'augmentation de la turbidité du lac de barrage de Bagré peut avoir une autre conséquence pour les populations piscicoles. En effet, l'accroissement du nombre de particules entraîne un risque plus important d'irriter, voire de boucher les branchies des poissons. Il est également observé une altération du développement des œufs et des larves, une augmentation du stress, une diminution de la nutrition, un ensablement des sites de nutrition ou de fraie, et donc une modification des comportements.

Or, le lac de barrage de Bagré dispose déjà d'une faible richesse spécifique de la faune benthique des macro-invertébrés. Les diptères⁸³ forment le groupe dominant, mais la densité absolue est relativement faible bien qu'une augmentation des valeurs au cours de la période des basses eaux soit notée. En regard de cette faible diversité des macro-invertébrés de la faune benthique, le lac de Bagré n'offre pas de choix aux organismes qui se nourrissent des invertébrés benthiques. Au niveau de la **biomasse piscicole** cela peut se traduire par une **faible composition spécifique**. Le milieu n'est guère favorable qu'aux espèces herbivores. Ainsi, la majeure partie des poissons est représentée par le *Tilapia nilotica* qui a un régime omnivore à tendance herbivore. Cette **faible diversité serait due à la nature du substrat du fond de la retenue et aux divers produits chimiques** utilisés dans le cadre de la lutte contre l'onchocercose en particulier l'**abate**. D'après GUENDA (1985), l'abate® (ou téméphos), qui est un insecticide, tue non seulement le *Simulium damnosum* mais aussi beaucoup d'insectes sensibles à son action.

Les poissons semblent donc être les premières victimes de cette amplification des processus érosifs. Ils subissent l'impact de l'augmentation des particules au sens stricte, mais surtout de l'accroissement des engrais ou encore des pesticides (entraînés par ruissellement) comme présenté ci-après. Les hommes sont alors également indirectement touchés (production piscicole et surtout impact négatif sur la santé humaine) (cf. 7.2).

Plus généralement, lors de **l'augmentation des turbides, c'est bien l'ensemble des communautés biologiques et de leurs habitats qui sont affectés**. Or, les espèces animales et végétales ne résistent pas de la même façon (et à la même vitesse) aux modifications du milieu. **Les seuils de résilience varient, certaines ne peuvent pas s'adapter et disparaissent**. Ainsi, l'augmentation de la quantité de MES dans le lac a pour conséquence une diminution de la clarté de l'eau. Le fonctionnement de la photosynthèse, et par là même de l'activité chlorophyllienne sont perturbés, d'où une réduction de la production de phytoplancton. La chaîne trophique s'appauvrit, préjudiciable pour les espèces piscicoles, et en définitive pour les pêcheurs. Par conséquent, **une augmentation globale de la turbidité pourrait à terme conduire à une diminution de la biodiversité**.

Par ailleurs, la hausse de la turbidité s'accompagne, également, d'une **augmentation des bactéries et des virus qui se fixent plus facilement sur les particules** quand elles sont en nombre dans l'eau (Groupe scientifique de l'eau, 2003). Ces éléments peuvent par la suite « contaminer » le milieu aquatique dans lequel ils se développent. Or, certaines espèces

⁸³ Il s'agit d'insectes aquatiques et terrestres présents dans tous les milieux aquatiques. Ils font partie des invertébrés parmi les plus consommés par les poissons. Ils prospèrent même dans les eaux très polluées. Ils peuvent vivre partout à condition que le fond soit recouvert d'un sédiment organique. Au stade larvaire il ressemble à des vers. Adultes, ils disposent d'une unique paire d'ailes membraneuses antérieures.

animales et végétales ne peuvent faire face à cette « contamination ». La capacité de résilience de ces dernières est alors essentielle pour survivre. De plus, **des espèces ont déjà subi une diminution de leur résistance aux maladies par la simple augmentation de la turbidité⁸⁴**.

7.1.2 Un exemple inquiétant : les pesticides

Le transport des particules n'a pas seulement un impact en terme quantitatif (davantage de MES apportées). En effet, dans ce secteur cotonnier de la région Est, il existe également des risques de pollution chimique des sols et des eaux. Ainsi, l'accroissement des terres cultivées, l'utilisation des pesticides contre les ravageurs du cotonnier⁸⁵ et la lutte contre les mauvaises herbes, etc. sont susceptibles de remettre en cause la qualité de l'environnement de la région.

Dans la région de la Doubégué, il existe **quatre circuits de distribution des pesticides**. Le premier est formel : l'approvisionnement est réalisé par l'intermédiaire de la société cotonnière Faso Coton via les GPC (Groupement de Producteur de Coton) et les distributeurs agréés. Saphyto fournit les principaux grossistes en pesticides, elle-même est approvisionnée par Arysta Lifescience, Dupont De Nemours, Callivore, Spia, Syngenta (PARE et TOE, 2011). Ce circuit concerne la majorité des producteurs de coton. Les trois autres s'organisent principalement autour des marchés locaux de Tenkodogo, de Bagré, de Séla, etc. (**photo 93**), mais également des marchés extérieurs au Ghana et au Togo, et de producteur à producteur. Certains produits frauduleux, telle la dieldrine, arrivent également en provenance du Nigeria et/ou du Ghana. Ces circuits parallèles échappent souvent au contrôle de qualité et de réglementation. Les pesticides vendus sont principalement des herbicides et des insecticides destinés à la culture de *Zea mays* (maïs), de *Oriza sativa* (riz), du *Sorgum bicolor* (sorgho), et du *Gossypium* sp. (coton). Le facteur prix constitue alors un paramètre essentiel qui oriente le choix des producteurs.

Les principaux insecticides sont le Fanga, le Rocky, le Capt qui sont utilisés contre les attaques parasitaires du cotonnier, ou encore le Décis (II) et le Cypercal (III). Les herbicides sont principalement totaux, et utilisés lors de la préparation des champs : Calliherbe (II), Glyphalm 50 et 80 wg, Kalach extra (III), Agrazine, Atrazila 80 wp, Kilsect, etc. Certains ne sont pas homologués et sont donc logiquement interdits d'utilisation comme le Gramoxone (II). La majorité sont considérés comme dangereux (**Tab. 41**).

Classes	Utilisable par
Ia Extrêmement dangereux	Seulement par les applicateurs ayant des licences
Ib Très dangereux	Des traiteurs bien entraînés, formés et strictement suivis
II modérément dangereux	Traiteurs entraînés et suivis respectant strictement les précautions prescrites
III Peu dangereux	Traiteurs entraînés respectant les précautions de routine

Tab. 41 : Classes des pesticides compte tenu des restrictions d'utilisation recommandées

Source : d'après Plestine, 1984

⁸⁴ La relation entre l'accroissement de la turbidité et le développement des bactéries, protozoaires et virus sera davantage développée lors de la présentation des incidences sur l'Homme.

⁸⁵ Au Burkina Faso, les superficies de coton sont passées entre 1990 et 2003 de 166 274 à 452 488 ha (taux de variation de 172 %) (MAHRH/DGPSA). Elles ont principalement augmenté dans les zones de l'Ouest mais aussi de l'Est et du Sud.

Par ailleurs, les producteurs de la zone **utilisent les produits chimiques destinés au cotonnier pour traiter d'autres cultures**, à savoir **le niébé, le *Citrulus colocynthis* (pastèque), le melon, et le maïs**. Lors de l'utilisation, les cultivateurs sont faiblement, voire pas équipés de protection (**photo 94**). Ils courent alors d'importants risques pour leur santé et celle de leurs enfants. Quant à la distance entre les points d'eau et les champs de coton, elle est bien souvent faible (inférieure à 500 m). Le risque que les produits utilisés sur ces parcelles se retrouvent directement dans ces cours d'eau est alors important. De plus, les points de nettoyage du matériel ayant servi à la pulvérisation des insecticides et des herbicides sont souvent les champs, les maisons, et les points d'eau (forage, puits, cours d'eau). **Ce lavage des ustensiles à proximité des points d'eau entraîne un risque majeur de contamination de ces derniers**. Comme présenté au cours de la Partie 2, les eaux de ruissellement prennent en charge d'importantes quantités de produits phytosanitaires en direction des milieux environnants. A titre d'exemple, CISSE et *al.* (2004) ont pu mettre en évidence 16 pesticides détectés dans les puits avec une concentration supérieure à 0,1 µg/l dans la région de Niayes (Sénégal). De même, ILLA en 2004 a démontré la présence de métidathion dans les puits et les forages dans la zone cotonnière ouest du Burkina Faso, reliée **au transport en surface ou en profondeur des pesticides**. En regard de l'augmentation des superficies de culture de coton dans le bassin versant de la Doubégué, il est normal et légitime de penser que l'usage des pesticides s'est accru dans cette région. **Ses eaux et ses sols** ont alors été **davantage pollués**. **Le milieu naturel** est donc particulièrement **contaminé** par **l'emploi de ces intrants**.



Photo 93 : Pesticides au marché de Bagré



Photo 94. Equipement et pesticides entreposés à l'association ATTRA/B
Clichés : E. Robert, 2009

Cette prise de risque présente des conséquences diverses sur le milieu. **Il n'existe pas de réelle règle dans l'application de ces produits** (non-respect de la dose, du délai de carence, du nombre de traitements recommandés). Des périodes avec de fortes concentrations en pesticides sont observées pendant lesquelles des parasites non ciblés peuvent être détruits. En effet, les **insecticides affectent les processus biologiques de nombreux organismes vivants et peuvent donc s'avérer toxiques pour un grand nombre d'animaux** autres que les nuisibles. Des populations d'oiseaux, de poissons peuvent être touchées. Ainsi la mortalité des poissons a été observée après des traitements antiacridiens au chlorpyrifos. Ce dernier et le fénitrothion sont également dangereux pour les oiseaux (FAO, 1997).

L'écologie apicole est particulièrement affectée. En effet, pendant les pulvérisations, les abeilles meurent si elles sont atteintes par ces produits (GOMGNIMBOU, 2007). De même, des apiculteurs de Pama soulignent la baisse de production de miel. Or, la diminution ou la quasi-absence des abeilles est inquiétante en regard du rôle important que ces insectes jouent dans la pollinisation des végétaux. Les produits de la ruche, connus pour leurs vertus alimentaires et médicinales (miel, gelée, etc.), sont aussi menacés.

Les animaux domestiques sont également affectés. M. DRABO (commandant chef de la gendarmerie de Bagré) rapporte le fait que chaque année des bœufs sont retrouvés morts suite à l'ingestion de fourrages verts aux abords des champs traités. En 2008, 5 cas ont été répertoriés. En effet, les traitements du cotonnier (pulvérisations) affectent bien souvent les secteurs environnants de la parcelle traitée. De plus, cela est parfois fait pour protéger les récoltes des animaux Peul et ainsi éviter les divagations sur les champs. Cette action peut conduire à la mort de l'animal et être à la source d'un conflit entre agriculteur et éleveur.

LE CLECH (1998) a montré que l'application répétée d'herbicides ayant le même spectre d'activité conduit à la raréfaction des espèces, et corrélativement favorise le **développement d'une flore « adaptée »**, généralement **moins active**, mais à **fort pouvoir de régénération**. Ainsi, l'usage renouvelé d'un même produit sur un même site entraîne la prolifération d'une flore microbienne spécifique l'utilisant comme substrat. Il en résulte une baisse progressive de la persistance agronomique et une chute de l'efficacité du produit.

Par ailleurs, de nombreux insecticides, surtout **les organochlorés** (comme le DDT⁸⁶, l'**endosulfan** (II), l'hetpachlore (II), l'aldrine (Ib), le deldrine (Ia)), laissent des résidus dans les biotopes terrestres et aquatiques, provoquant **une concentration cumulative dans la chaîne alimentaire et l'amplification biologique**. Les résidus peuvent avoir des effets défavorables sur les écosystèmes, en créant un déséquilibre affectant la chaîne alimentaire, les insectes nécrophages, les relations insectes-hôtes et insectes-plantes, etc. Une part importante du produit chimique appliqué et des produits de sa dégradation peuvent persister pendant des années dans le corps des animaux, y compris le corps humain. De très faibles concentrations peuvent avoir des conséquences biologiques significatives, causer des cancers, et/ou provoquer des transformations génétiques (cf. 7.2). **En effet, les organochlorés en raison de leur persistance élevée s'accumulent dans les chaînes alimentaires**, le produit passe en se cumulant par exemple dans les micro-organismes aquatiques aux poissons, et des poissons aux rapaces et/ou à l'homme. Or, les poissons et les crustacés représentent bien souvent pour la population du Burkina Faso la principale source de protéines alimentaires. Ils sont pêchés dans les rivières et les lacs directement ou indirectement contaminés par les pesticides et les produits utilisés dans la lutte contre les vecteurs de maladies. Un autre circuit d'accumulation est celui du bétail ou des animaux domestiques. En effet, une faible part résiduelle d'organochlorés passe presque sans perte de l'aliment aux réserves de graisse de l'animal ou dans le lait (PAN, 1993). A l'heure actuelle, il n'existe pas d'étude sur ces paramètres (très onéreuses à réalisées). Nous ne pouvons donc pas citer de chiffres. Néanmoins, en regard de l'évolution des sols dans le bassin de la Doubégué, et plus largement de Bagré et du

⁸⁶ La DDT (II), interdite en 1986 dans l'Union Européenne, est encore utilisée comme moyen de contrôle du vecteur du paludisme.

Nakambé, ces teneurs doivent être croissantes, et donc les risques pour le milieu « naturel » suivent cette tendance. Ainsi, lors de la culture du coton les deux premiers traitements (sur 6) correspondent à un organochloré fortement toxique : l'endosulfan (lutte contre *Helicoverpa armigera*). La deltaméthrine est également fréquemment utilisée.

Ainsi, **l'utilisation des pesticides et mais aussi des fertilisants minéraux peut affecter la qualité des sols par sa modification physico-chimique et sa contamination.** Dès 1968, HASCOET, avait mis en évidence une contamination des sols cultivés français par les insecticides organochlorés. En 2006, SAVADOGO *et al.* ont également montré ses effets en zone cotonnière burkinabée. Ils ont observé la contamination des sols par l'endosulfan et l'aldrine dont les concentrations sont respectivement de 1 à 22 µg/kg et de l'ordre de 20 µg/kg. Ces deux substances actives sont souvent employées dans la fabrication d'insecticides organochlorés très persistants dans l'environnement et sont parmi les plus utilisées au Burkina Faso. L'aldrine est considéré comme un POP (polluant Organique Persistant) et a été interdite provisoirement. Cependant, une utilisation frauduleuse est observée (SAVADOGO, 2006). Quant à l'endosulfan, il est interdit dans l'U.E depuis 2005. En France, il a été autorisé jusqu'au 31 décembre 2006 pour la distribution et jusqu'au 30 mai 2007 pour l'utilisation. Ils peuvent avoir de graves conséquences sur le plan humain (cf. 7.2). Afin d'argumenter notre propos, nous citons EDWARD qui, dès 1973, avait indiqué que **la présence de pesticides influence directement ou indirectement la microfaune du sol et peut intervenir dans le cycle des éléments et les processus de décomposition de la matière organique.** Quant à BASEDOW (1985), cité par DUEMMLER *et al.* (1988), il avait constaté au cours d'essais que l'atrazine réduisait la population de lombrics.

Par ailleurs, nous avons déjà évoqué au cours de la partie 2, l'influence de la texture des sols sur la dégradation de l'endosulfan, et l'importance de la saisonnalité. En effet, les **sols sableux** (majoritaire dans le bassin versant de la Doubégué) **retiennent mal les éléments fertilisants et les autres produits phytosanitaires et sont peu efficaces dans la dégradation des molécules des pesticides** à la différence des sols sablo-limono-argileux ou argilo-limoneux. Il existe donc un fort risque que **l'endosulfan** soit présent **dans les ruissellements**, tout particulièrement au mois d'août. Les sols sont menacés ainsi que les eaux par l'intermédiaire du ruissellement ou par la pollution des nappes phréatiques. Les populations encourent également indirectement des risques pour leur santé.

Les risques sur le milieu « naturel » suite à l'accroissement des pertes en terre dans le bassin versant de la Doubégué sont donc multiples : le creusement des cours d'eau, l'exhaussement de leur lit, le comblement du lac, la contamination des eaux et des sols par les engrais et les pesticides suite à l'extension de la mise en culture de ce bassin et plus largement de celui de Bagré et du Nakambé, l'eutrophisation, et diminution de la biodiversité. Or, ces risques deviennent de plus en plus une réalité. Par ailleurs, le milieu physique n'est pas le seul affecté par ces processus, les activités socio-économiques et surtout la santé humaine sont également touchées.

7.2 « L'urgence environnementale est avant tout une urgence sanitaire et sociale »⁸⁷

L'eau, indispensable à la vie et au progrès économique, constitue paradoxalement dans les pays tropicaux, et plus particulièrement en Afrique, le vecteur le plus commun de la transmission des maladies.

Les maladies hydriques sont de trois types : par consommation (diarrhées, problèmes rénaux, cancer), par contact (schistosomiasés, bilharzioses ou maladies oculaires, etc.), ou d'environnements humides (paludisme, dengue, etc.). Ces trois formes de maladies se rencontrent régulièrement dans les pays dits du Sud, dont le Burkina Faso.

Par ailleurs, les problèmes liés à l'eau sont de deux types. D'une part, il peut s'agir d'un manque quantitatif comme à Ouanagou. Les besoins quotidiens minimaux des Burkinabés ont été évalués entre 15 et 30 l/jr./hab en milieu rural, et il atteint 100 litres/jr./hab en milieu urbain (DELOLME, *et al.*, 1992). Or, suite aux baisses des précipitations, aux irrégularités des débits consécutives, et au comblement du lac de Bagré (cf. Chapitre 6), la quantité d'eau disponible tend à diminuer. Des conflits d'usage peuvent alors apparaître entre les populations riveraines. Il serait plus exact d'employer le terme « se renforcer », car dans bien des cas, la ressource est déjà un enjeu, en particulier, entre les différents secteurs d'activité : pastoralisme, agriculture, maraîchage, etc. D'autre part, une insuffisance qualitative est observée, souvent dangereuse au plan épidémiologique. Il peut s'agir de problèmes microbiologique ou chimique. Or, plus il y a de particules plus le risque est grand que des bactéries ou encore des substances toxiques (plomb, pesticides, etc.) soient présentes.

En conséquence, par son action sur le comblement, et son rôle de vecteur de bactéries, la turbidité, joue un rôle majeur sur le plan sanitaire.

7.2.1 Une pollution microbiologique

L'absence de contrôles sanitaires rend difficile l'évaluation de ce risque, pour autant, nous savons que des risques existent, accentués par les problèmes de turbidité.

7.2.1.1 Un risque préexistant

Le **risque premier** est d'origine **microbiologique**. Il concerne les maladies dites hydriques consécutives à un contact cutané ou à une ingestion (consommation d'eau souillée). Les populations du bassin de la Doubégué nettoient leur linge et peuvent se laver dans, ou avec l'eau, du cours d'eau. Certains disposent également de parcelles dans les périmètres rizicoles en aval du barrage de Bagré. Ils sont alors en contact direct avec ce milieu à risque. Par ailleurs, beaucoup de cas de parasitoses intestinales sont dus à la consommation de l'eau insalubre (eau des mares). L'accès à l'eau potable reste difficile dans tous les villages. Sur l'ensemble du bassin versant de Bagré, il y a environ un forage pour 600 habitants.

Cependant, l'eau est rarement puisée directement dans la rivière. Le plus souvent, elle est issue des puits qui peuvent être également contaminés par la surface, en particulier lorsqu'ils sont peu ou pas protégés (BESANCENOT *et al.*, 2004), ou par le contact avec les

⁸⁷ LAVIE, E. -2009- Activités anthropiques et qualité de l'eau dans l'oasis de Mendoza (Argentine) : diagnostic, enjeux et durabilité, Thèse de Géographie, Université de Bordeaux 3, sous la direction de Salomon J.N, juin 2009, 387p.

systèmes rudimentaires d'assainissement domestique. En effet, d'une part, les fosses des toilettes sont lessivées par les pluies et les points d'eau se retrouvent alors pollués. D'autre part, elles peuvent entrer en contact avec la nappe lorsque cette dernière remonte. La présence de nombreux troupeaux au niveau des cours d'eau renforce les inquiétudes d'un point de vue bactériologique. Par conséquent, les risques de contamination fécale et par les animaux sont importants. L'insuffisance du « cloisonnement » excrémental est à l'origine de la présence dans l'eau de micro-organismes pathogènes pour l'homme issus de la contamination fécale et/ou animale. De plus, il est important de rappeler que les aménagements hydrauliques, comme le barrage de Bagré, attirent des personnes (pour la mise en culture de périmètres irrigués ou non, pour l'élevage, la pêche, etc.) souvent parasitées et peu immunisées permettant le développement durable de ces vecteurs.

Les germes sont des parasites, des bactéries et des virus dont les formes de résistance leur permettent de vivre dans l'eau de surface, car le plus souvent, il s'agit de bactéries mésophiles (vivant entre 20 et 40°C). Elles apprécient de ce fait le corps humain et les cours d'eau des pays intertropicaux. La première catégorie comprend des protozoaires (dysenteries par l'intermédiaire des amibes et *Balantidium*, ou gastro-entérites par le *Giardia*) et des helminthes (l'ascariase, la dracunculose). Il existe également des bactéries comme l'*Escherichia coli* entéropathogène responsable de diarrhées chez l'adulte et surtout l'enfant. Par ailleurs, le Burkina Faso a connu plusieurs épidémies de choléra (1991, 1995, 1998, 2001 et 2005) (KYELEM *et al.*, 2011). Dans la région de Tenkodogo, plusieurs cas ont été répertoriés en 2001 (55 cas dont 3 décès) (IRIN, 2001) et en 2005 (KYELEM *et al.*, 2011). Enfin, les virus peuvent être présents, telle que l'hépatite A.

Les maladies liées au contact cutané sont différentes. Il s'agit essentiellement de **schistosomias** (*Schistosomiasis haematobium* localisation urogénitale, *S. Mansoni* intestinale, *S. intercalatum* rectale, et *S. japonicum* et *S. mekongi* artéro-veineuse), de bilharzioses et de leptospiroses. Au Burkina Faso, la prévalence est de 30 % pour les schistosomes. Les premières enquêtes parasitologiques datent de 1951. **A Bagré, la souche est la *S. haematobium*. Les écoles connaissent des situations d'hyperendémie (65,8 %)**⁸⁸ (PODA *et al.*, 2001). Afin de traiter cette maladie, il faudrait que chaque élève reçoive une dose standard de praziquantel (biltricide, c'est un anthelminthique efficace contre certains vers), tous les deux ans entre mars et juin. Faute de moyens, cette pratique n'est pas effectuée. Par ailleurs, l'augmentation des surfaces hydriques (mise en eau du barrage) et des densités humaines entraînent la multiplication des interfaces homme - eau propice au développement des **bilharzioses**. Dans la région de **Tenkodogo**, six hôtes intermédiaires ont été identifiés : *b. globosus*, *b. jousseaumei*, *b. forskalii*, *b. senegalensis*, *b. umbilicatus* et *b. pfeifferi*. **La prévalence est de 48,77 % chez les garçons et de 32,2 % chez les filles. A Bagré elle est de 36,7 %** (PODA et TRAORE, 2000).

Enfin, le **paludisme**, maladie d'environnement humide, reste la première affection hydrique en Pays Bissa. A l'échelle du bassin versant de la Doubégué, son impact est plus modéré. En effet, cette maladie touche principalement les personnes disposant de parcelles au

⁸⁸ Une situation est qualifiée d'hyperendémique, lorsque le pourcentage d'onchocerciens est de plus de 60 % et celui d'aveugles supérieur à 5 %.

niveau des espaces aménagés en aval du barrage (rizière). Certaines habitent notre bassin d'étude. Elles résident essentiellement dans le secteur aval (Pata, Kalakoudi, Bagré).

Ainsi, bien que les lacs de retenue des barrages submergent des gîtes à simules, ils créent également d'énormes possibilités de développement pour les anophèles, vecteurs de paludismes et de filarioses. Le risque de transmission du paludisme augmente alors avec la prolifération des anophèles et la modification des faciès épidémiologiques.

Cependant, les conséquences pathologiques du paludisme ne sont pas directement corrélées par l'intensité de la transmission, mais modulées par l'immunité. Cette maladie affecte en particulier les zones de faible endémicité, comme en Pays Bissa. Selon MOUCHET, l'immunité se fragilise lors d'un changement de faciès épidémiologique. Aussi, la transmission s'accroît-elle le temps que la relation homme - milieu se stabilise vers un nouvel équilibre (2 ans en moyenne). Puis, une diminution de la maladie s'observe. En définitive, cela dépend de paramètres entomologiques tels que l'espérance de vie, l'anthropophilie des vecteurs, ou la durée de leur cycle gonotrophique (MOUCHET *et al.*, 1991).

Suite à la mise en eau du barrage, le paludisme est alors devenu la première affection de transmission hydrique. En effet, les rizières, comme à Bagré, sont des sites de production à grande capacité pour certains anophèles et culicins. Elles forment une succession de biotopes propices à la pullulation de diverses espèces de moustiques (*A. gambiae*) favorisant l'accroissement du paludisme. En effet, l'ombrage des tiges de riz évite de brusques réchauffements de l'eau, et la végétation fournit aux larves de moustiques des abris contre les prédateurs. De plus, la majorité des producteurs travaillent encore à la main et sont pieds nus dans les rizières. Sur le plan social, cette maladie provoque des absences répétées aux champs, le non-respect du calendrier agricole, et donc un faible investissement au travail. Elle affecte la capacité productive des exploitants.

Ces maladies sont donc présentes, même sans la modification des processus érosifs et la dégradation des cours d'eau. Pour autant, l'accroissement des pertes en terre et des valeurs de turbidité ont également un impact sur ce risque sanitaire.

7.2.1.2 Un risque renforcé par l'accroissement de la turbidité

Il existe **un risque sanitaire** relatif cette fois-ci à la présence d'une **importante turbidité et/ou à son accroissement**. Dès les années 1950-1960, puis principalement au cours de la fin des années 1970 et au début des années 1981, de nombreuses études ont été réalisées, essentiellement dans les pays développés (États-Unis, Canada, etc.), mais aussi dans quelques pays en développement (Inde). Les travaux de DENNIS (1959), de BROCK (1966), STOTZKY (1966), de TOMBES *and al.* (1979), de LECHEVALLIER *and al.*, de MOTT *and al.*, de HOFF et GELDREICH (1981) peuvent être cités.

En effet, **les caractéristiques microbiologiques de l'eau sont directement influencées par la turbidité**. La croissance microbienne dans l'eau est importante à la surface des particules transportées, ainsi qu'à l'intérieur des floes à faible cohérence (naturellement présents dans l'eau ou formés pendant l'étape de la coagulation). Ce phénomène résulte de **l'adsorption à la surface des particules d'éléments nutritifs et de bactéries**. Ces bactéries adsorbées croissent plus efficacement que les bactéries en suspension

libre (BROCK, 1966 et STOTZKY, 1966). Cette observation vaut également pour les limons des rivières qui adsorbent facilement les virus (BERG, 1973). Par conséquent, en regard de nos valeurs élevées de turbidité, **le risque microbiologique doit être important dans le bassin versant de la Doubégué.**

Ainsi, il existe **une bonne corrélation entre le décompte microbien et la turbidité** (Institut National de la Santé Publique du Québec, 2003). Un accroissement de la turbidité, seulement de 0,2 à 0,3 NTU, se traduit par une augmentation des concentrations de kystes de *Giardia* (Logsdon *et al.*, 1985). Certains micro-organismes se développent, plus aisément, à la surface de particules qu'en suspension libre dans l'eau (RESE, DDASS du territoire de Belfort). Ils sont également **mieux protégés** de la désinfection lorsque la turbidité est élevée. Ainsi, la présence de nombreuses particules permet, par leur rôle de support et de transport, le développement de parasites, de virus et de bactéries. Des maladies peuvent alors connaître un essor avec parfois comme conséquences une hausse de la mortalité, en particulier infantile. En effet, il existe un **lien entre les pointes de turbidité et la survenue de cas de gastro-entérites** (InVs⁸⁹). Ainsi bien que les maladies hydriques (diarrhées, paludisme, dysenterie) se manifestent toute l'année (surtout chez les enfants et les femmes faute de forage), les gastro-entérites prédominent donc davantage au cours des mois de juillet à fin septembre. **La turbidité est alors un des indicateurs de contamination microbiologique. La turbidité élevée du bassin versant de la Doubégué laisse peser de fortes menaces sur les populations riveraines de cette région.**

De nombreuses études sont toujours menées dans ce domaine au Canada dans l'Ontario et le Grand Vancouver (ARAMINNI *and al.*, 2000), en France (InVs), mais également de plus en plus dans des pays en développement (Côte d'Ivoire, Nigéria, Tchad...).

Il convient cependant de distinguer : les bactéries, les parasites et les virus.

Les bactéries sont des organismes vivants unicellulaires procaryotes (absence de noyau et d'organites). Leur pathogénicité (pouvoir pathogène) dépend de leur caractère invasif (capacité à se répandre dans les tissus infectieux) ou de leur capacité à produire des toxines (pouvoir toxicogène). Elles peuvent vivre et se développer par division cellulaire, de façon autonome, contrairement aux parasites et aux virus qui dépendent de leurs hôtes. **Les éléments en suspension dans l'eau sont des « niches » parfaitement adaptées au développement des bactéries.** En effet, les **nutriments indispensables** à la croissance des bactéries se trouvent adsorbés sur les particules et donnent un milieu de culture favorable à leur multiplication (Santé Canada, 2003). Les relations entre les numérations bactériennes et la turbidité restent complexes (absence de turbidité ne signifiant pas toujours absence de bactérie). En effet, selon PRONK (2006), **une forte turbidité indique une contamination bactériologique importante** mais elle peut être observée lors de périodes ayant une turbidité basse. Néanmoins, le fait qu'il existe généralement une relation entre turbidité élevée et contamination bactériologique importante⁹⁰ nous renforce dans le choix de maintenir l'intérêt de cette relation dans le cas de notre bassin versant où les valeurs de turbidité sont élevées et

⁸⁹ Institut de Veille Sanitaire

⁹⁰ En effet, la relation turbidité élevée et contamination bactériologique importante est une constante alors que l'autre lien, période de basse turbidité et bactériologique, ne s'observe pas toujours.

ont augmenté suite à l'exacerbation des processus érosifs et à la modification des écoulements de versants dues à l'extension de la mise en culture.

Les bactéries sont également moins sensibles à la désinfection lorsque l'eau est turbide car les particules en suspension limitent considérablement les contacts entre le chlore et les bactéries. L'efficacité de la désinfection se trouve ainsi diminuée et le développement des bactéries peut reprendre une fois le chlore disparu (Santé Canada, 2003). Ce procédé est rarement pratiqué dans le bassin de la Doubégué. Toutefois, la ville de Tenkodogo et la cité Sonabel de Bagré dispose d'une eau traitée.

Une eau turbide a donc une probabilité non négligeable de contenir des bactéries pathogènes pour l'homme (Tab. 42). Au Burkina Faso, la première cause de mortalité chez les enfants de moins de 5 ans est la pneumonie, puis le paludisme et les diarrhées (OMS).

Contaminant d'origine bactérienne	Pathogénicité	Gammes d'hôtes	Période d'incubation	Epidémiologie
<i>E. coll pathogène</i>	Affection intestinale accompagnée de diarrhées liquides, de fièvres, de crampes et de vomissements.	Humains et majorité des mammifères	12 à 72 h.	Liée à des épidémies d'affection diarrhéique aiguë.
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Affection entérique aiguë avec diarrhées entérocolites, lymphadénite mésentérique aiguë simulant une appendicite, fièvres...	Animaux domestiques et porc.	probablement 3 à 7 jours habituellement moins de 10 jours.	Dans le monde entier (surtout dans les pays industrialisés) : 3/4 des infections chez les nourrissons et les jeunes enfants.
<i>Salmonella sp.</i>	Gastro-entérite aiguë caractérisée par un début brutal et accompagnée de douleurs abdominales, de diarrhées, de nausées et de vomissements. A l'origine de la typhoïde.	Humains, animaux domestiques et sauvages, oiseaux.	6 à 72 h, habituellement 12 à 36 h.	Dans le monde entier. Deuxième cause de mortalité mondiale : 600 000 cas/an. Incidence plus élevée chez les nourrissons et les jeunes enfants.
<i>Proteus sp.</i>	Infections chroniques des voies urinaires, bactériémie, pneumonie et foyers lésionnels.	Humains.	Non clairement définie.	Causes importantes d'infections nosocomiales acquises après traitements antimicrobiens.
<i>Enterobacter sp.</i>	Nosocomiales urinaires, infections des poumons, des plaies et du sang.	Humains.	Non clairement définie.	Pathogènes opportunistes.

Contaminant d'origine bactérienne	Pathogénicité	Gammes d'hôtes	Période d'incubation	Epidémiologie
<i>Shigella sp.</i>	Maladie aiguë du colon et de l'intestin grêle, diarrhées fièvres nausées et parfois toxémie ⁹¹ , crampes et vomissements.	Humains et primates.	1 à 7 jours, habituellement 1 à 3 jours.	Première cause de mortalité mondiale : 1,1 millions cas/an. Majorité des cas et des décès chez les enfants - 10 ans. Lieux surpeuplés, conditions sanitaires médiocres
<i>Vibrio cholerae</i>	Maladie à symptôme grave ou asymptomatique. Affection entérique bactérienne aiguë : début soudain de vomissements, déshydratation.	Humains.	Quelques heures à 5 jours ; habituellement 2 à 3 jours.	Dans le monde entier au XIXème siècle. 3 ^{ème} cause de mortalité mondiale (120 000 cas/an).
<i>Campylobacter jejuni</i>	Affections entériques aiguës, diarrhées, douleurs abdominales, malaises, fièvres, nausées et vomissements. Prolongement chez 20 % des malades : présence de sang, syndromes de type typhoïde et arthrite	Humains, animaux et oiseaux.	2 à 5 jours. Peut aller de 1 à 10 jours selon la dose.	Importantes causes d'affection diarrhéique dans le monde entier. Souvent associées aux aliments et à l'eau non chlorée.
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	Pharyngite, fièvres, sensation de malaise, tuméfaction du cou et céphalée.	Humains.	Habituellement 2 à 5 jours, parfois plus.	Epidémies d'affection diarrhéique.
<i>Aeromonas hydrophila</i>	Gastro-entérite, infections des voies respiratoires et des voies urinaires.	Humains, amphibiens, poissons, reptiles, oiseaux.	Non clairement définie.	Répandu dans le monde entier : surtout chez les nourrissons et les jeunes enfants.
<i>Légionella pneumophila</i>	Pneumonie aiguë accompagnée d'anorexie, de malaise, de myalgie, fièvres et frissons, toux improductive, diarrhées	Humains et cobayes infectés.	2 à 10 jours, le plus souvent 5 à 6 jours.	Répandu dans le monde entier surtout chez les nourrissons et les jeunes enfants.

Tab. 42 : Bactéries pathogènes d'origine hydrique et leurs principales caractéristiques

Source : modifié d'après Cornec, 2005

⁹¹ Présence dans la circulation sanguine de bactéries ou de toxines bactériennes en quantités suffisante pour menacer sérieusement la santé.

Par ailleurs, avec le marnage du lac de barrage de Bagré, des zones sont annuellement asséchées. Il est profond partiellement éclairé et mélangé. Il existe une biomasse importante en sub-surface (biomasse phytoplanctonique en surface de : 104,1 µg/l). Des algues, les phycophytes thallophytes chlorophylliens, y apparaissent progressivement. Elles sont autotrophes. Suite à l'enrichissement par des nutriments, un groupe auquel appartiennent ces algues prolifère en particulier : les Cyanophyta (Cyanobactéries). Lorsque le milieu est très eutrophe (riche en nutriment), certaines espèces se développent rapidement. Parmi ces dernières, certaines produisent des molécules toxiques pour les mammifères dont les hommes. Or, l'augmentation de l'utilisation des engrais (type NPK) contribue à accroître la présence **phosphates** dans les eaux du lac. Elle tend donc à rendre le milieu eutrophe. Le lac de Bagré présente une biomasse chlorophyllienne moyenne où dominent les cyanobactéries. Ainsi, le fond du lac de Bagré comprend : 76 % de cyanobactéries, 13 % de chlorophycées, 8 % de diatomées et de dinoflagellés, et 3 % de cryptophycées. Et, sa surface renferme respectivement : 65 %, 20 %, 11 % et 4 % (CECCHI *et al.*, 2005). Enfin, il convient de préciser qu'il existe trois catégories de molécules toxiques :

- les hépatotoxines altèrent la structure des cellules du foie causant des insuffisances hépatiques, une initiation du cancer du foie. Les microcystines et la cylindrospermopsine en sont deux exemples ;
- les neurotoxines bloquent les canaux Na^+ . Des malaises (maux de têtes, vomissements, diarrhées, paralysie, etc.) se produisent. Les exemples sont les saxitoxines et les anatoxines. En 2009, un cas a été observé au niveau de la retenue de Kouna (Oudalan) : des animaux ont été retrouvés morts suite à la présence de neurotoxines sécrétées par ces algues ;
- les dermatotoxines provoquent une sensibilisation et des allergies cutanées (inflammation, démangeaisons, rougeurs, etc.). Un exemple est la lyngbyatoxine.

Les parasites sont de différents types. On distingue les protozoaires et les helminthes. Quelques espèces de protozoaires sont des parasites de l'homme comme le *Giardia*, le *Cryptosporidium* spp et l'*Entamoeba histolytica* qui se reproduisent uniquement dans le tractus gastro-intestinal des êtres humains et des animaux. **La giardiase** est une parasitose due à un protozoaire intestinal appelé *Giardia intestinalis*. Elle cause une diarrhée chronique et figure parmi les premières parasitoses intestinales chez les enfants. Elle sévit dans les zones tropicales. **L'amibiase** est due au protozoaire *Entamoeba histolytica*⁹². La transmission de ces parasites à l'homme se fait par l'absorption de kystes présents dans l'eau de consommation. Une fois ingérés, les kystes entrent en phase de germination pour aboutir à la forme infectieuse du protozoaire provoquant la maladie. Le parasite continue à se nourrir. Il produit de nouveaux kystes qui se retrouvent dans les sels. Un nouveau cycle peut alors démarrer. Ces kystes ont une durée de vie dans l'eau supérieure aux bactéries intestinales. Ils sont souvent plus infectieux et résistent mieux à la désinfection que la plupart des autres micro-organismes (Institut National de Santé publique du Québec, 2003 bis). Comme pour les bactéries, les

⁹² Elle touche 480 millions d'individus et cause la mort de 40 000 à 100 000 personnes dans le monde, essentiellement dans les pays en développement. Il s'agit de la deuxième cause de mortalité due à des protozoaires après le paludisme (World Health Organisation, 1997).

kystes se fixent aux MES. Ainsi, le risque augmente en présence d'une eau fortement turbide comme cela est le cas dans le bassin versant de la Doubégué.

Les helminthes sont des vers intestinaux très répandus dans la « ceinture intertropicale ». Le ver solitaire est le plus commun, et cette maladie est endémique au Burkina Faso. L'eau n'est pas le principal vecteur de ces parasites. Cependant, des contaminations de l'eau distribuée par des œufs helminthes sont possibles (NOZAIS, 1998). Ces helminthes, transmis sous la forme d'œufs excrétés dans les matières fécales ou l'urine humaine, contaminent le sol, ou les sources d'eau dans les zones où l'assainissement est insuffisant (OMS, 2000). Contrairement aux virus, aux bactéries, aux champignons et aux protozoaires, ces parasites ne se multiplient pas chez l'hôte humain.

Enfin, **une corrélation importante** a été mise en évidence **entre une concentration importante de kystes et certains paramètres de qualité de l'eau dont la turbidité, les concentrations de coliformes** (famille de microbes trouvés dans le tube digestif) totaux et fécaux (Santé Canada, 2004). Ainsi, l'étude de GAOCHER et de FOK en 2000 (*in* Santé Canada, 2004) a démontré que les **fortes pluies** provoquant des **pics de turbidité** pouvaient engendrer des **augmentations des concentrations des kystes dans les eaux brutes**.

Les virus entériques sont des virus capables de se multiplier dans le tractus gastro-intestinal humain ou animal. Ils sont excrétés dans l'environnement par les matières fécales et infectent les humains par voie orale. Plus de 140 types de virus entériques sont aujourd'hui connus comme pathogènes pour l'Homme. Les plus notoires associés à des maladies hydriques sont les adénovirus, les astrovirus, les calicivirus, les entérovirus, les rotavirus, les virus de l'hépatite, etc. (**Tab. 43**).

Le **rotavirus** a été identifié en 1973 par Ruth Bisphop à Melbourne. Il s'agit de la **première cause de diarrhée aiguë sévère du jeune enfant dans le monde** (PARASHAR *et al.*, 2006) que ce soit dans les pays développés ou en développement (40 % des hospitalisations pour diarrhées chez l'enfant de moins de 5 ans). Cependant, parmi les 500 000 enfants de moins de 5 ans qui meurent de diarrhées à rotavirus chaque année, **85 % se localisent dans les pays pauvres d'Afrique ou d'Asie** (PARASHAR *et al.*, 2009). La voie de transmission est oro-fécale directe ou indirecte, essentiellement inter-humaine. Ils ne peuvent pas se reproduire dans l'environnement, mais survivent, dans l'eau, plus longtemps que les bactéries intestinales (plusieurs mois).

Les astrovirus ont été étudiés plus tardivement en Afrique. Or, il s'agit du troisième agent incriminé après les rotavirus et les calicivirus. Leur taux de prévalence varie de 2 à 9 % (Nigeria 6,7 %, Côte d'Ivoire 4 %, Botswana 2,7 % et Afrique du Sud 2,5 %) (BON *et al.* 1999) ; alors que ceux du rotavirus varient de 20 à 26 % (AKOUA-KOFFI *et al.*, 1993).

L'adénovirus n'est pas seulement responsable des gastro-entérites. Le pouvoir pathogène de ce virus peut également s'exercer sur l'appareil respiratoire, et affecté l'œil.

Enfin, les **entérovirus** sont responsables des cas de poliomyélites. Entre 2004 et 2008, **la transmission endémique** s'est rétablie dans 6 pays dont le **Burkina Faso** (République Centrafricaine, Tchad, Côte d'Ivoire, Mali et Soudan (OMS, 2005)). Néanmoins, en 2008, la maladie est de nouveau endémique dans « seulement » 4 pays (Nigéria, Inde, Pakistan et Afghanistan). L'infection à poliovirus est transmise par voie digestive (oro-fécale).

Ces virus sont très infectieux et résistent mieux à la désinfection que les bactéries (Santé Canada, 2004). Les virus persistent davantage dans l'environnement lorsqu'ils s'adsorbent sur des sédiments (BUSTINA et LEVALLOIS, 2003). Lors d'évènements pluvieux importants, ces sédiments se retrouvent en suspension dans l'eau brute et si la turbidité n'est pas efficacement « abattue » lors de traitements de l'eau, la présence de virus dans l'eau potable est alors possible (LECHEVALLIER *et al.*, 1981). Ils peuvent également être présents même si les indicateurs de contamination fécale sont absents (Santé Canada, 2004). Une nouvelle fois, la présence de valeurs élevées de turbidité augmente le risque de présence de ces virus dans l'eau. La santé humaine est alors davantage menacée.

Contaminant d'origine virale	Pathogénicité	Gamme d'hôtes	Période d'incubation	Epidémiologie
Hépatite A	Début soudain accompagné de fièvre, de malaises, d'anorexie, de nausées et de gênes abdominales suivis après quelques jours d'une jaunisse.	Humains, singes et macaques.	10 à 15 jours selon la dose ; moyenne de 28 à 30 jours.	Sporadique et épidémique ; récurrentes cycliques.
Hépatite E	Ictère, anorexie, hépatomégalie ⁹³ , douleurs et sensibilité abdominale, nausées, et vomissements.	Humains, primates, porcs, rongeurs, poulets domestiques.	2 à 9 semaines, 26 à 42 jours en moyenne.	Infections associées à la consommation d'eau contaminée par la matière fécale.
Gastro-entérite virale				
Adénovirus	Nausées, vomissements, diarrhées et sensation de malaise.	Humains, lapins, porcs, veaux.	3 à 10 jours.	Epidémies et cas sporadiques. Graves affections chez les nourrissons et les jeunes enfants.
Virus de Norwalk	Diarrhées, vomissements et crampes abdominales, mortalité associée à un déséquilibre électrolytique.	Humains.	10 à 60 h ; habituellement 24 à 48 h.	Touche particulièrement les grands enfants et les adultes.
Rotavirus	Fièvres et vomissement suivis de diarrhées aqueuses associées parfois à une déshydratation.	Humains.	27 à 70 h.	Principale cause de gastro-entérite chez les enfants. Fort taux chez les enfants de 4 mois à 3 ans.
Astrovirus	Diarrhées, vomissements et crampes abdominales.	Humains.	24 à 36 h.	

Tab. 43 : Virus pathogènes d'origine hydrique et leurs principales caractéristiques

Source : d'après Cornec, 2005

⁹³ Augmentation du volume du foie.

Les impacts de la turbidité sur la santé sont donc une triste réalité, aux effets indirects. Les parasites, les bactéries et les virus résistent davantage lorsqu'ils sont adsorbés par les particules et ont d'importants effets microbiologiques. Les conséquences de la consommation d'une eau contaminée par des micro-organismes pathogènes dépendent de plusieurs facteurs dont l'état de santé du consommateur (défense immunitaire, âge, *etc.*), mais aussi de la virulence et du nombre de germes ingérés. La turbidité a en effet tendance à protéger les microbes (bactéries et parasites) et les virus contre les actions des désinfectants. Ainsi une turbidité élevée est synonyme d'une contamination importante de l'eau (bactéries, virus, parasite). Dans les secteurs où la protection sanitaire est faible, le risque est alors immense. Suite à l'accroissement de la présence de turbides, les populations du bassin de la Doubégué sont alors davantage menacées par le développement et la prolifération de ces maladies.

Les bactéries (*Shigella* et *Campylobacter*), les virus (hépatite A) et les protozoaires peuvent être à l'origine de troubles gastro-intestinaux graves (Santé Canada, 2004). En effet, les maladies d'origine hydriques se manifestent le plus souvent par des nausées, des vomissements, des diarrhées, *etc.* Ces symptômes sont généralement de courtes durées. Cependant, les conséquences d'une maladie d'origine hydrique peuvent être beaucoup plus graves pour des êtres humains sensibles comme les personnes immunodéprimées, les personnes âgées, les jeunes enfants. Dans certains cas, le stade ultime est la mort.

Par ailleurs, dès 1981, HOFF et GELDREICH ont affirmé le rôle important que jouent les caractéristiques des particules dans le phénomène de protection face à la désinfection. A titre d'exemple, l'ozone, l'alun et la bentonite assurent peu de protection aux divers organismes, alors que les matières fécales, et notamment les cellules humaines épithéliomateuses, garantissent une bonne protection (SPROUL *et al.*, 1979).

Enfin, suite aux dépôts alluviaux, une végétation semie-hydrophile peut se mettre en place. Elle est alors un refuge pour les insectes et les fourmis, vecteurs du paludisme, de la bilharziose, de l'onchocercose, et de la fièvre jaune.

La présence de valeurs de turbidité élevées dans le bassin versant de la Doubégué est donc synonyme d'un accroissement du risque sanitaire d'origine microbiologique. Or, en Afrique, depuis le milieu du XX^{ème} siècle, cette menace n'est plus unique. En effet, suite à certaines découvertes scientifiques, pharmaceutiques et technologiques et à la volonté d'intensifier les rendements agricoles, a été lancée la « Révolution verte ». Des variétés à haut rendements ont été sélectionnées et l'usage des engrais minéraux et de produits phytosanitaires ont été développés. Une nouvelle forme de pollution, et donc un nouveau risque, sont apparus que l'on peut qualifier de « **chimique** ».

7.2.2 Agriculture et risques sanitaires

Une **pollution chimique** est également observée. Elle est causée par des substances toxiques, peu ou pas dégradables, en solution dans l'eau. Elle englobe le plomb, les chlorates, les sulfates, mais également les produits pharmaceutiques, les pesticides, et les dés herbants. A la différence du risque bactériologique, il s'agit ici d'un risque à moyen ou long terme.

Les mécanismes de transferts sont fonction :

- de l'absorption, de l'exsudation et de la rétention par les végétaux ;
- de la dissolution et de la diffusion dans la phase aqueuse du sol et des eaux de ruissellement ;
- de l'adsorption et de la désorption sur les particules du sol.

Selon LECOMTE *et al.* (1997), 86 % du transfert phytosanitaire s'effectue sous forme dissoute ou adsorbée à des particules.

Dans le bassin versant de la Doubégué, et plus largement dans l'ensemble du Burkina Faso, l'objectif des agriculteurs est d'augmenter leurs revenus via l'accroissement de leurs rendements. Ainsi, dès qu'ils le peuvent, ils achètent des engrais, des insecticides et des herbicides. **Le risque de pollution chimique s'est alors amplifié depuis une quinzaine d'années.** A cela s'adjoint, l'exploitation cotonnière réalisée depuis longtemps dans la région Centre-Est. Il s'agit de la principale spéculation recevant des doses de pesticides (insecticides, désherbants), d'urée, et de NPK.

Les pesticides regroupent les familles des insecticides, des fongicides, des herbicides, des corvicides, des molluscicides, rodenticides et acaricides. Certains sont des toxiques avérés (insecticides organophosphorés, neurotoxiques anti-cholinestérasiques), d'autres sont des mutagènes, voire des cancérogènes qui ont un caractère plus persistant dans l'environnement (insecticides organochlorés). Ainsi, aux vues de notre zone d'étude, nos propos porteront essentiellement sur l'utilisation des pesticides, principalement de **type herbicide et insecticide, et de leurs conséquences sur l'homme dans un contexte d'érosion accrue des sols et de forte turbidité.**

7.2.2.1 Historique sur l'emploi des pesticides au Burkina Faso

Au Burkina Faso, l'utilisation des pesticides est relativement ancienne. Elle a coïncidé avec la « Révolution verte » qui s'est alors traduite par la mise au point de semences et de variétés améliorées à hauts rendements. Elle a permis le développement des cultures d'exportation comme le café, le coton, le cacao, le thé, le palmier à huile et les bananes. Les intrants agricoles ont alors été utilisés à fortes doses pour optimiser les rendements de ces produits. Par ailleurs, au Burkina Faso, l'utilisation des herbicides est plus récente que celle des insecticides.

En 1985, les pesticides au Burkina Faso étaient importés soit par des sociétés agro-industrielles (Sofitex SACOF⁹⁴, SERAGRI⁹⁵, Service des semences et de la protection des végétaux, l'OFNACER, la Sosuco⁹⁶, l'Ucobam⁹⁷), ou par des programmes de lutte contre les vecteurs de maladies : le programme de lutte contre l'onchocercose et celui contre le paludisme. Actuellement, cette situation d'importation perdure, excepté pour le Burkina phosphate considéré comme un amendement et non comme un engrais. Le principal distributeur est Saphyto (cf. 7.12). Le pays ne dispose pas d'infrastructures adéquates et de compétences suffisantes pour assurer une gestion et une production rationnelle de ces produits chimiques. C'est pourquoi, il adhère aux diverses dispositions internationales (code international de conduite pour la distribution et l'utilisation des pesticides de la FAO,

⁹⁴ Créée en 1973, elle importe toutes les gammes de pesticides. Filiale du groupe français Roussel-Uclaf (Côte d'Ivoire).

⁹⁵ S'occupe de l'importation des herbicides. Société suisse CIRA-GEIGY.

⁹⁶ Basée à Banfora, son statut a évolué en SN-SOSUCO : société anonyme d'économie mixte. Elle diffuse toujours les intrants nécessaires.

⁹⁷ Créée en 1968, elle s'est lancée dans la production et l'exportation des fruits et légumes. Son produit phare est l'haricot vert. Elle regroupe une trentaine de coopératives réparties dans tout le Burkina Faso.

Convention de Rotterdam sur la procédure de consentement préalable en connaissance de cause, Convention de Stockholm sur les POPs, Conventions de Bâle et de Bamako sur le contrôle des mouvements transfrontaliers de déchets dangereux et leur élimination, réglementation commune aux États membres du CILSS sur l'homologation des pesticides) en vue d'assurer sa protection contre les différents risques liés à ces produits chimiques pourtant « indispensables » au développement agricole du Burkina Faso. Les différents textes législatifs et réglementaires nationaux⁹⁸ ou locaux régissant la fabrication, l'importation et l'utilisation des produits chimiques sur le territoire national se trouvent ainsi soutenus par les instruments internationaux. Néanmoins, ces textes ne couvrent pas suffisamment les différents aspects en matière de gestion (contrôle, utilisation élimination, information). Cependant, il existe une exception, l'usine Saphyto, installée à l'Ouest du pays. Elle fabrique des insecticides à formulation liquide afin de lutter contre les nuisibles du cotonnier, des bombes aérosols à usage domestique (groupe pyréthrinroïdes et organophosphoré). Une autre unité U-Pharma relevant de l'Institut de Recherche en Science de la Santé produit des substances médicamenteuses (paracétamol, chloroquine, etc.). Les autres types de produits chimiques sont importés principalement depuis la France, la Côte d'Ivoire et le Nigéria.

L'ensemble des produits introduits représente un total de 98 500 tonnes dont 4 500 t de dons et 5 000 t introduites frauduleusement. Depuis les années 2000, il existe 5 canaux principaux d'importations d'engrais (Ministère de l'Agriculture, 2001) :

- Agridis qui approvisionne en grande partie la Sofitex (75 000 t) et vend aussi comme grossiste (5 000 t) ;
- SCAB qui approvisionne la Sofitex (20 000 t), la Sosuco (1 400 t) et vend par son réseau de détaillants environs 900 t ;
- Amefert qui importe pour la Sofitex (15 000 t) ;
- Chemifert qui importe pour la Sofitex (24 000 t) ;
- Sodegrain qui importe et distribue aux riziculteurs environ 1 000 t.

Quant, aux réseaux locaux de distribution d'intrants, ils comprennent 8 circuits (Ministère de l'Agriculture, 2001) :

- le circuit du Ministère de l'Agriculture qui assure la gestion des dons à travers la Direction de la Production végétale ;
- le circuit Sofitex, principal circuit de distribution locale d'intrants au bénéfice des producteurs de coton ;
- le circuit Sosuco qui diffuse les intrants nécessaires à la culture de la canne à sucre au périmètre sucrier de Banfora ;
- le circuit de l'Ucobam qui distribue des intrants au niveau local par l'intermédiaire de ses structures décentralisées ;
- les circuits basés sur une structuration des groupements villageois ;
- les initiatives d'union d'Organisations de Producteurs ;
- le réseau de distribution de la SCAB ;
- les détaillants des marchés s'approvisionnant souvent sur des circuits parallèles dont la qualité est incertaine. Il s'agit de la principale source d'approvisionnement des producteurs disposant de petites superficies.

⁹⁸ La loi n°041/96/ADP instituant contrôle des pesticides au Burkina Faso.

7.2.2.2 Les principaux types de pesticides employés au Burkina Faso

Au Burkina Faso, on dénombre 82 types de pesticides différents. Le plus répandu est le Dichlorodiphényltrichloroéthane ou DDT. On distingue différentes familles (**Tab. 44**).

La première catégorie regroupe les **insecticides organochlorés** qui sont des dérivés du DDT aujourd'hui interdit pour l'agriculture dans la plupart des pays développés. Il est utilisé dans le cadre sanitaire pour combattre le paludisme et le typhus. Cette famille rassemble des composés très rémanents dans l'environnement et cumulatifs chez l'homme au niveau des organes riches en lipides. Ils génèrent des effets neurotoxiques, hépato et néphrotoxiques et sont fortement soupçonnés de participer à des processus de cancérogenèse. Ces composés universellement répandus (Aldrine, Dieldrine, HCH, Lindane) sont aujourd'hui interdits d'utilisation en France, le dernier en date étant le Lindane retiré du marché en 1998. Officiellement, l'aldrine et l'HCH sont interdits mais leur utilisation demeure. Dès 1985, PARE met en évidence les risques encourus face à la persistance de leur pouvoir en particulier pour les insecticides. A titre d'exemple le DDT est à 39 % persistant après 17 ans (Nash et Woolson, cités par RAMADE, 1979). Outre les usages agricoles, les insecticides organochlorés ont été largement utilisés en Europe dans la lutte anti-vectorielle après la première guerre mondiale. Par la suite, ils ont été employés en Afrique afin, entre autre, de lutter contre le paludisme. Ainsi, à partir des années 1980, il est fait état des risques d'intoxication humaine : stockage défectueux, manipulation sans précaution, forte rémanence des insecticides organochlorés rendant dangereux les denrées alimentaires, problème d'analphabétisme et de la méconnaissance du caractère toxique d'un produit (utilisation des récipients ayant contenus des pesticides). Cependant, l'interdiction en Europe de ces produits est surtout liée à leurs effets secondaires : l'accumulation dans la chaîne trophique et les effets cancérogènes. En effet, il existe un potentiel de mutagenèse inhérent à divers composés organochlorés, or, il y a un lien entre les pouvoirs mutagènes et cancérogène (expérience de Fitzhugh cité par RAMADE, 1979). En regard de ces risques et aux vues des interdictions dans de multiples pays, le Burkina Faso a toutefois procédé à l'interdiction de l'aldrine, de la DDT, du fluoroacetamide, du dinosebex et Sels, du chlordane, du cyhexatin, du lindane ou HCH, du 1,2 Dibrimoéthane, de l'Heptachlore, du Chlordimeforme, ou sont en attente d'interdiction : le Captafol, le ChloroBenzilate, l'Hexachlorobenzene, le Pentachlorophenol 2-4) (Ministère de L'Environnement et du cadre de vie, 2008).

La deuxième famille comprend les **insecticides organophosphorés**. Le parathion et le malathion sont très largement utilisés (**Tab. 44**). Moins persistants dans l'environnement que les précédents, ils sont néanmoins préoccupants du fait de leur caractère neurotoxique par inhibition de l'acétyl cholinestérase (enzyme chargée de la dégradation de l'acétylcholine médiateur de l'influx nerveux) et de leur capacité à provoquer à faibles doses des nausées, des vomissements et des diarrhées.

Les insecticides dérivés des carbamates peuvent être également cités. Leur emploi est croissant notamment en remplacement des organochlorés interdits. Le carbaryl et le carbofuran sont neurotoxiques par inhibition de l'acétylcholinestérase, mais avec une intensité moindre que les organophosphorés.

Il ne faut pas omettre de présenter les insecticides organiques végétaux dont les principaux actifs au Burkina Faso sont les pyrethines et ceux de la famille des pyréthriinoïdes

(Tab. 44). Leur apparition est plus récente. Ils sont fabriqués par synthèse organique dans le but de reproduire les effets des principes actifs du Pyrèthre, un arbuste de la famille du Chrysanthème. Leur efficacité importante vis-à-vis des insectes, leur réputation de relative innocuité chez l'homme (hormis des manifestations allergiques cutanées) et leur caractère non rémanent dans l'environnement expliquent leur utilisation croissante. Toutefois des études de génotoxicité sont nécessaires, car il est actuellement prouvé que l'un des principes actifs végétal naturel, la roténone, est dotée de propriétés engendrant des anomalies du nombre des chromosomes.

Dans le bassin versant de la Doubégué, Faso coton préconise l'usage de 3 types d'insecticides : un aficide, un acaracide et un mélange des deux. Il convient de préciser qu'en 2009, le département de Bagré (29 groupements créés entre 1998 et 2006) compte 1 169 ha de coton et celui de Tenkodogo (groupements formés entre 1996 et 2006) 2 989 ha. L'aficide (0,5 l/ha) est alors appliqué deux fois pour lutter contre les pucerons et la mouche blanche. Il s'agit du **Capt 88 EC** (substances actives : acétamipride et cyperméthrine), de l'**Andam 44 EC** ou encore du **Blast 46 EC** (substances actives : acétamipride et cyperméthrine). Ces produits sont de type 3. Les deux pulvérisations suivantes sont réalisées à l'aide du **Fanga 500 EC** (1 l/ha) (substance active : profenofos), puis deux autres de **Cypercal P 230 EC** (substance active : cyperméthrine) (1 l/ha) et parfois une de **Cotalm P 212 EC** (substances actives : cyperméthrine et diméthotate) (1 l/ha). Au total, il est alors préconisé de pulvériser **5 l/ha** d'insecticide. Or, le nombre, d'épandage est souvent plus autour de 8 - 9. Les quantités d'insecticides peuvent être alors supérieures à la théorie. Sur les marchés locaux, les produits rencontrés sont le Calriz (substance active : propanil), le Titan 25 EC (substance active : acétomipride), le Callidium 200 EC (substance active : diméthahote), ou encore le kilsect 25 EC (substance active : cyalothrine),

Par ailleurs, les **herbicides** sont très préoccupants pour la santé humaine. Ils sont, essentiellement, représentés par les dérivés des acides phénoxyalcanoïques (2,4 dichlorophénoxyacétate neurotoxique), les dérivés de l'urée (linuron, diuron, monuron, mutagènes et cancérrogènes potentiels), les triazines (atrazine, simazine suspectés de potentialités cancérrogènes) et les phosphonates (glyphosate irritant). Une étude approfondie des connaissances actuelles est nécessaire pour évaluer les risques pour la santé humaine notamment en termes de risques cancérrogènes liés à la présence de ces produits dans les eaux destinées à la consommation. Il s'agit d'une question cruciale au Burkina Faso.

En effet, la majorité des produits utilisés dans le bassin versant de la Doubégué et plus largement au dans le pays, or cultures de coton, sont des herbicides : Kallach 360, Adwu Na wuru, Calliherbe, Atrazila, Herb extra, Supraxone, Glyphalm. Les principales matières actives sont : le glyphosphate, l'Isopropylamine salt, le 2,4D Amin salt, et l'atrazine. Cependant, dans le bassin versant de la Doubégué, les agriculteurs ne pratiquant pas la culture du coton peuvent également se procurer des herbicides. De plus, certains cotonculteur utilisent les produits chimiques destinées au cotonnier pour traiter d'autres cultures comme le niébé, le maïs, ou encore la pastèque et le melon.

Par ailleurs, fin 2010, une étude a mis en avant que sur 296 empoisonnements aux pesticides au Burkina Faso, 54 sont dus à un herbicide le Gramoxone (de Syngenta). Le

Burkina Faso a alors demandé que le Paraquat (substance active du Gramoxone) soit inclus dans l'annexe de Rotterdam listant les produits chimiques et pesticides dangereux.

Enfin, **les fongicides** se développent. Ils sont récents et le manque de données toxicologiques fait apparaître une méconnaissance quasi totale des effets à long terme sur la santé humaine. Ce sont principalement des dérivés benzimidazolés (benzimidazole, bénomyl), triazolés (propiconazole, triadiméfon) et phosphoriques (fosetyl).

Groupe chimique de pesticides	Exemples	Types	Effets
Organochlorés	Aldrine, lindane, DDT, chlordane.	Insecticides, acaricides, fongicides.	Persistants, bioaccumulables, entravant la capacité de reproduction, le développement et la résistance aux agressions environnementales, dépresseurs des systèmes nerveux, endocrinien et immunitaire.
Organophosphoré	Parathion, lakathion.	Insecticides, acaricides.	Non persistants, inhibent la cholinestérase, pas très sélectif, toxiques pour l'homme
Carbamates	Carbaryl, méthomyl.	Insecticides, fongicides, acaricides.	Non persistant, inhibent la cholinestérase, pas très sélectif, toxiques pour les oiseaux et les poissons
Phénoxy	2,4-D , 2,4,5-T.	Herbicides.	Produits sélectifs, effet mal connus chez les mammifères et les humains. 2,4D : potentialités cancérogènes chez les animaux de laboratoire. 2,4,5-T : à la source d'un contaminant toxique, la dioxine.
Pyréthrinoïdes	Fenpropanthrine Deltaméthrine.	Insecticides.	Plus sélectifs que les organophosphorés ou les carbamates généralement sans toxicité aiguë pour les oiseaux mais particulièrement toxiques pour espèces aquatiques.

Tab. 44 : Les différents pesticides employés au Burkina Faso

Source : d'après Cornec, 2005

Tous ces pesticides sont dangereux pour la santé humaine mais également pour l'environnement comme présenté au point précédent (cf. 7.1). Cependant, la toxicité et la dangerosité varie d'une matière active à l'autre (**Tab. 45**)

Après avoir présenté les pesticides les plus utilisés dans le bassin versant de la Doubégué et avoir identifié les catégories les plus employées (herbicides et insecticides organochlorés), il convient de revenir quelques instants sur leur mise en place.

L'emploi des pesticides au Burkina Faso, et plus précisément dans le bassin versant de la Doubégué, est une source de pollution chimique pouvant affecter l'homme. Les risques sont multiples (empoisonnement, inhalation, intoxication chronique, maux de ventre, irritation, vertiges). Or, cette menace s'amplifie à cause d'une part à l'accroissement des quantités de pesticides pulvérisées et d'autre part suite à l'accroissement des processus

érosifs. Les ruissellements plus importants prennent davantage en charge les molécules toxiques. Par ailleurs, ces dernières sont adsorbées par les particules en suspension. Les cours d'eau sont alors davantage pollués, de même que le lac de Bagré ou encore les eaux souterraines. L'eau issue des puits est également touchée. Suite à l'exacerbation de l'érosion et à l'utilisation amplifiée des pesticides, les risques pour la santé humaine ont fortement crû.

Matière active	DL50 (orale aigue sur rat en mg/kg)	Classe de danger selon CEE/OMS	Délai d'interdiction avant récolte	Nocif pour auxiliaires
Organochlorés				
Aldrine	38DD	/Ib	42	
Chloredane	460 DD	/II		
DDT	113 DD	/II	42	
Dieldrine	46 DD	/Ia	42	
Endosulfan	80	T/II	60	4
Heptachlore	100 DD		49	
Organophosphorés				
Diméthoate	150	Xn/II	60	3-4
Malathion	2100	X/III	21	
Ométhoate	50	T/IIb	42	
Parathion	13 DD T/Ia	56	1	
Carbamates				
Aldicarbe (themik)	0,93 DD	/Ia		
Carbaryl (sevin)	300	Xn/II	35	3-4
Carbofuran (furan)	8	Xn/Ib	70	
Methmyl	17	T/Ib	14	4
Fongicides				
Bénomyl	10 000		56	
Captafol	5 000		35	1
Captane	9 000		28	1
Folpel	7 000		28	
Thirame	560	Xi/III	42	1-2
Herbicides				
Alachlore	1 200	/III	90	
Atrazine	2 000		90	1
Glyphosate (Roundup)	4 320		42	1-2
Paraquat	150	T/II	14	
Simazine	5 000		70	

T = toxique ; Xn = nocif ; Xi = irritant ; Ib = très dangereux ; Ia = extrêmement toxique/très toxique ; II = modérément toxique/nocif ; III = peu dangereux ; 1 = inoffensif ; 2 = faiblement nocif ; 3 = moyennement nocif ; 4 = très nocif.

Tab. 45 : Dangers potentiels des pesticides d'usage répandu (bien que certains soient interdits)

Source : GOMGNIMBOU, 2007

7.2.2.3 Toxicité des pesticides et pertes en terre : un risque amplifié

Les **particules chimiques s'adsorbent également sur les MES**. Comme pour la pollution biologique, ce type de perturbation de l'environnement s'est amplifié suite à l'accroissement de l'érosion des sols dans le bassin versant de la Doubégué. Les particules contaminent de vastes zones et l'ensemble des populations riveraines est menacé. La pollution par l'intermédiaire des MES transportés par les ruissellements et les affluents jusqu'au plan

d'eau peut « empoisonner » les poissons, et dans un second temps les êtres humains. Par ailleurs, les hommes du bassin versant boivent cette eau fortement, voire totalement contaminée par ces produits chimiques. La contamination est alors également directe. Les pesticides sont donc responsables d'une pollution diffuse contaminant l'hydrosphère. Par conséquent, l'emploi d'intrants agricoles (engrais, phytosanitaires) peut accroître le nombre de maladies cancérigènes, mutagènes et reprotoxiques (CMR).

L'INERA (2000) signale que les substances actives utilisées **jusqu'en 1998 au Burkina Faso sont classées pour la plupart dans la classe de toxicité Ib (très dangereux)** de la FAO car ayant une DL50 orale comprise entre 20 et 200 mg/kg comme le montre (**Tab 45**). Les pesticides ont certaines propriétés telles que la persistance, la volatilité et la bioaccumulation dans les chaînes alimentaires. Conjugués à l'action des éléments naturels, ces derniers peuvent avoir d'importantes répercussions sur l'environnement, et parfois sur des endroits très éloignés de leur lieu d'épandage. Ainsi, les pesticides entraînent des problèmes de nature diverse dans le bassin de la Doubégué :

- une pollution des sols suite à leur contamination avec pour conséquence : le dépérissement et la dégradation, l'acidification et la destruction de la faune et de la flore ;
- une pollution des eaux causée par le rejet de substances minérales et organiques plus ou moins toxiques détériorant les qualités physique, chimique, biologique et bactériologique de l'eau ;
- des problèmes au niveau des résidus dans les aliments comme la persistance de certains produits dans les récoltes, la viande, le lait, ou encore les œufs ;
- l'intoxication des hommes (intoxication accidentelle aiguë ou chronique par voie respiratoire, orale ou dermale) et des animaux ;
- des empoisonnement/suicides ;
- des maladies professionnelles (intoxication chronique accidentelle),
- des insuffisances et l'inapplication de textes législatifs et réglementaires (absence et/ou inapplication des textes entraînant un désordre dans la gestion des produits et une augmentation des risques d'exposition).

Les risques sanitaires sont particulièrement importants dans les bassins versants fortement mis en culture ainsi que dans les secteurs situés en aval de ces derniers. Par ailleurs, un de nos paramètres déterminant pour expliquer les fortes valeurs de turbidité est l'extension de la mise en culture. Ainsi, les bassins les plus anthropisés et présentant de fortes turbidités doivent être aussi le siège d'une pollution chimique importante. Les résultats de la présence de phosphates sont également un indicateur pertinent : Doubégué entre 0,5 et 1,7 mg/l, Bassaré entre 0,43 et 1,47 mg/l et Douka entre 0,2 et 1,99 mg/l. Ainsi, les secteurs de Bassaré et Dazé doivent être particulièrement représentatifs de pollution chimique, de même que la région de Douka. Le tronçon hydrographique compris entre Bassaré et Zaba doit également comporter des quantités de pesticides non négligeables. En effet, le secteur médian est de plus en plus mis en culture. Enfin, le site Doubégué, point final du récepteur de l'ensemble des affluents du bassin versant de la Doubégué doit être le lieu d'une pollution plus importante.

Ainsi, des quantités plus importantes de pesticides se retrouvent dans le bassin versant de la Doubégué par l'intermédiaire des pertes en terre. Les eaux sont davantage polluées et les

risques d'intoxication augmentent. En effet, l'intoxication est l'un des principaux risques liés à l'utilisation de pesticides. Cependant, il convient de différencier l'intoxication aiguë de celle chronique. La première est liée à une pénétration massive du produit dans l'organisme. Les symptômes (digestifs, cardiovasculaires, respiratoires, nerveux) apparaissent peu de temps après le contact (24 - 48 h). Cette toxicité est évaluée par la DL50 ou CL50, ainsi que par des études sur les propriétés irritantes et allergisantes. Elle est exprimée en mg de matière active par kg de poids vif. Quant à l'intoxication chronique, elle correspond au résultat d'une exposition répétée ou continue à des doses faibles. Les signes apparaissent souvent très tardivement. Les effets sont multiples : cancérigène, mutagène, tératogène⁹⁹, stérilité, atteinte progressive d'un organe (foie, rein, etc.), baisse des résistances immunitaires (PAN, 1993).

7.2.2.4 Les autres risques liés à l'utilisation des pesticides

L'ingestion d'aliments portant des traces de ces produits chimiques est un problème majeur à prendre en compte. SABA, lors d'une conférence sur le thème « les pesticides et après ? », en 2005, évoquait les problèmes directement liés à la composition des pesticides. Il cite la présence de traces de ce produit retrouvé dans la chair de certains animaux destinés à la consommation, ou encore dans les céréales. Une des conséquences les plus graves se localise au niveau du lait. En effet, chez les mammifères, les organochlorés sont transmis avec le lait de la mère à l'enfant. La contamination du lait est fonction de l'exposition de la mère. CETINKAYA (*in* PAN, 1993) a montré que les mères habitant en région rurale ont un taux de HCH (gamma-hexachlorocyclohexane appelé aussi lindane) dans le lait plus élevé que les mères citadines. De même, la teneur en DDT du lait de mères vivant dans les régions de productions cotonnières est presque quatre fois plus élevée qu'en région urbaine. De nombreuses denrées alimentaires sont souvent contaminées par ces substances organochlorées comme les céréales, les légumineuses, la viande, etc. Toutefois, suite à l'interdiction au Burkina Faso de l'emploi de la DDT et du lindane, ces contaminations devront réduire. Mais, il existe encore de nombreux pesticides organochlorés présentant des menaces pour les populations.

Par ailleurs, le manque de protection des producteurs conduit à augmenter les risques sanitaires liés à l'usage de pesticides. En effet, les agriculteurs ne sont, souvent, pas ou peu protégés lors de l'épandage de ces produits. Ils sont alors en contact direct avec ces molécules toxiques. Ils ne sont pas les seules victimes, leurs enfants présents sur les champs inhalent et touchent les plantes venant juste d'être traitées. Parfois, les produits utilisés sont ceux interdits dans les pays occidentaux. Ces protections, quand elles existent, sont constituées de gants, de bottes, de masques, de cache-nez de fortune, de mouchoirs et de chapeaux. Cependant un tiers des agriculteurs n'a aucune protection. En conséquences, les producteurs mettent en avant le fait de ressentir des malaises pendant et après les applications des pesticides. Ils souffrent de picotements des yeux, de maux de têtes, des troubles digestifs, de manifestations cutanées et de troubles respiratoires. Au cours de notre terrain, la pulvérisation de ces produits par des personnes non protégées a été observée. De plus, dans certains cas, les enfants étaient présents et jouaient à quelques mètres des pulvérisations. Ainsi, les

⁹⁹ Se dit de toute substance pouvant provoquer un développement anormal de l'embryon et conduisant à des malformations. Elles sont donc particulièrement néfastes pour les femmes enceintes.

producteurs ne sont pas les seules victimes.

Par ailleurs, des cas d'intoxication nous ont été rapportés. Elles peuvent aller de simples vertiges aux convulsions, voire à la mort. En effet, certains emballages vides sont réutilisés pour acheter du *dolo*, s'approvisionner en eau de consommation, et conserver des semences. Les risques que des traces d'insecticides soient présentes est important et est souvent la cause de ces intoxications.

Parmi ces risques sanitaires, le pouvoir et le risque cancérigène des pesticides en particulier des herbicides est majoritaire : au Burkina Faso, l'emploi de ces derniers, est plus pratiqué que celui des insecticides. A titre d'exemple nous pouvons citer le glyphosphate qui est un désherbant total, c'est-à-dire un herbicide non-sélectif. Auparavant, il était sous brevet exclusif de la firme Monsanto (1974), sous la marque du fameux Roundup. Puis, le brevet est tombé dans le domaine public depuis 2000. Le glyphosphate seul est peu efficace, il lui est donc souvent adjoint un tensioactif qui serait à l'origine de la toxicité de ces désherbants. Il s'agit du premier désherbant vendu au monde. Il est fortement utilisé en vue d'ensemencer de nombreuses cultures. Or, le glyphosphate pourrait réagir avec les nitrites présents dans certains aliments et dans les sols agricoles pour former le N-nitrosophosphonométhylglycine : un cancérigène probable. Le glyphosphate demeure un toxique puissant agissant notamment sur les cellules placentaires humaines, entraînant une multiplication des avortements spontanés tardifs. Quant à l'atrazine, elle est largement utilisée, bien qu'interdite dans l'UE (France 2003, U.E 2007) mais pas aux États-Unis. Cet herbicide dispose d'un faible taux de biodégradation, et par conséquent d'une faible solubilité, et d'une absorption dans des zones inaccessibles pour les bactéries. Un tensioactif lui est alors souvent ajouté afin d'augmenter la solubilité et catalyser la dégradation. De plus, les principaux effets écotoxiques et écologiques de l'atrazine ne sont pas forcément sa toxicité directe, mais ses effets de perturbateur endocrinien (grenouilles, crapauds) et de dépression de l'immunité de certaines espèces ou groupes d'animaux (TOHME *et al.*, 2010). Face à ces résultats, ne faudrait-il pas faire appel au **principe de précaution** ? N'existe-t-il pas un risque de baisse de la fertilité pour l'Homme ? D'autres études ont mis en évidence un lien entre l'atrazine, le cancer du sein et le cancer de la prostate.

De plus, les molécules à effet toxique ne sont généralement pas vaporisées seules sur les champs, des adjuvants leurs sont nécessaires pour améliorer leur efficacité. Or, ils sont le plus souvent inconnus car participant au « secret de fabrication » comme pour de nombreux pesticides. La présence de nitrates peut favoriser la survenue des cancers digestifs. Les pesticides organochlorés sont liposolubles et s'accumulent dans l'organisme. Outre ces conséquences, un risque au niveau de la stérilité masculine est également possible. BELPOMME (2007), a particulièrement étudié ces conséquences relatives à l'utilisation de pesticides organophosphorés. A titre d'exemple, en France, il a fallu attendre que les enfants d'agriculteurs naissent avec des malformations pour qu'une prise de conscience s'opère.

Les recherches sur ces maladies ne sont pas développées au Burkina Faso. Néanmoins, la prise de conscience de la pollution atmosphérique est présente dans la capitale. Par conséquent la recherche des impacts de celle-ci sur la santé humaine amènera peut-être les chercheurs à se pencher sur cette question.

Enfin, il est intéressant de souligner que l'une des principales justifications de l'implantation du coton Bt (OGM), mise en avant par le gouvernement burkinabé, est la réduction du nombre de traitements à l'aide de pesticides (de 6 à 2 traitements). Le Burkina Faso est le premier État en Afrique de l'Ouest à se lancer dans cette nouvelle culture génétiquement modifiée. Les avis sont fortement partagés (ROBERT, à paraître). Il est devenu, en juillet 2008, le 3^{ème} producteur d'OGM en Afrique après l'Afrique du Sud et l'Égypte. Le recours et l'implantation de cette plante génétiquement modifiée impliquent de nombreux questionnements. Quel impact auront les tourteaux de coton sur les animaux ? Quels sont les effets de l'huile de coton sur la santé humaine ?

« Le passage de l'agriculture à la « moléculture » est la rupture la plus brutale de l'évolution par l'artifice de la transgénèse dirigée faisant fi de la barrière d'espèces qui a commandé à toute l'histoire de la biosphère » (DELÉAGE in DUPONT, *Dir.*, 2003). Il faudrait alors toujours plus de techniques et de science pour réparer les dégâts infligés à la biosphère par la technoscience. Cette utopie rejoint le rêve technologique global : les OGM. En effet, le gouvernement burkinabé justifie l'implantation de cette PGM afin de permettre une réduction des pesticides. Il ne demeure plus que l'utilisation de l'aficide. Par la mise en place de cette nouvelle variété, il espère réduire une partie des problèmes de pollution sans toutefois connaître les impacts de l'utilisation de cet OGM dans l'environnement. Cependant, d'un point de vue de la santé humaine, il demeure que la réduction du nombre de traitement devrait réduire les risques de contamination de la nourriture due à l'abus des pesticides et au recyclage des matériaux d'emballages de ces derniers.

Toutefois, il y a un risque de recrudescence des maladies cancérogènes. Les producteurs et les consommateurs évoquent les effets possibles à long terme des OGM sur la santé. Certaines allergies pourraient être liées. Ils redoutent d'une part le développement de la résistance aux antibiotiques lié au transfert de gènes de résistance aux antibiotiques, aux micro-organismes du tube digestif, et d'autre part la possibilité d'une surproduction de toxines (naturellement existantes) nuisibles à la santé humaine au niveau des plantes transgéniques comme cela a été le cas pour la solanine de la pomme de terre, la tomatine de la tomate ou l'acide érucique du colza. Afin de répondre à ces questionnements, l'Association des Organisations Professionnelles Paysannes (AOPP) du Mali a développé son propre système d'information pour ses membres sur les dangers des OGM. De plus les gains de rentabilités mis en avant sont plus que remis en cause dans le cadre d'une petite exploitation familiale. La question de distance de sécurité afin d'éviter toute contamination du coton biologique ou conventionnel est également au cœur des débats. Par ailleurs, il existe des risques d'accumulation dans l'environnement de la toxine qui conserverait son activité et ferait peser de lourdes menaces sur d'autres organismes (diminution du nombre d'hyménoptères). De plus, l'efficacité des toxines insecticides produites par les cotonniers Bt divergent selon différents critères tels que les chenilles¹⁰⁰, le fonds génétique, la partie de la plante où se concentre la protéine, l'âge de la plante, l'effet de la concentration de

¹⁰⁰ La toxine produite par le coton Bt maîtrise les chenilles *Heliothis virescens* et *Pectiniphora gossypiella*. Mais qu'elle n'est pas la plus à même pour détruire efficacement l'*H. armigera*. En 2002, dans l'Andhra Pradesh, l'invasion de cette dernière n'a pas été contrôlée. 71 % des agriculteurs ont subi plus de dégâts que n'importe quel ravageur (QAYAM et SAKKAHARI, 2003). Il convient de préciser qu'il s'agissait du Bollgard I. Le Bollgard II disposerait d'une meilleure efficacité (non encore prouvée). Il ne combat pas non plus le puceron *Aphis gossypii* très présent en Afrique.

chloroplastes dans les tissus, la température, la sécheresse, la salinité et la saturation en eau, la déficience azotée, et autres facteurs biotiques (niveaux élevés de CO₂, etc.), la concentration en composés secondaires, etc. (HOFS et VAISSAYRE, 2008). Il est donc essentiel de maintenir une bonne fertilité du sol afin que l'efficacité soit maximale. La question des brevets doit être également soulevée. Certes, ils protègent les innovations, mais ils obligent les paysans à payer chaque année les semences sous peine de devoir s'acquitter de lourdes amendes. Enfin, il convient de s'interroger sur le fait que ces firmes multinationales sont peu à peu en train de mettre la main sur la production semencière de plusieurs pays. Cette emprise laisse peser de lourdes menaces sur la production alimentaire mondiale future et sur la dépendance de ces États envers ces firmes.

En conclusion de ce point sur la pollution chimique, il convient de présenter les différents impacts environnementaux humains et « naturels » (directs et indirects) suite à l'usage des produits phytosanitaires, à l'application de fertilisant chimique (**Tab. 46**).

Activités	Impacts environnementaux	
	Directs	Indirects
Usage des produits phytosanitaires (pesticides)	Pollution des sols Pollution esthétique (emballages)	Contamination des êtres vivants
	Pollution des eaux de surfaces	Pertes de ressources halieutiques Contamination de la flore Contamination des êtres vivants Accumulation de pesticides dans la chaîne trophique Eutrophisation
	Pollutions des eaux souterraines et pollution de l'air	Contamination humaine et animale Baisse de la qualité d'eau de boisson
	Bioaccumulation des pesticides dans la chaîne trophique	Contamination humaine Contamination de la faune
	Élimination d'insectes nuisibles et utiles pour la pollution	Problème de pollution Perturbation de la productivité végétale Perte de biodiversité et déséquilibre écologique
	Contamination du fourrage vert	Menace sur la santé animale Bioaccumulation des pesticides dans les animaux
	Élimination des petits mammifères	Déséquilibre écologique
	Intoxication humaine	Apparition des maladies Baisse de facteurs de productions
	Coûts élevés	Usages de pesticides non homologués Développement de contrebande
Application de fertilisant chimique	Pollution des eaux	Eutrophisation Baisse des ressources halieutiques
	Production de CH ₄	Augmentation de l'effet de serre
	Coût élevé	Réduction des marges bénéficiaires

Tab. 46 : grille de quelques impacts environnementaux

Sources : GOMGNIMBOU, 2007

Ces deux types de risque (bactériologique et chimique) sont donc amplifiés lors d'une augmentation de l'érosion des sols et des taux de turbidité. En effet, les ruissellements accrus transportent davantage de particules en direction des cours d'eau. Or, une part des MES adsorbe des bactéries, des parasites, des virus ou encore des particules chimiques. Ces dernières peuvent également être transportées en suspension sans être adsorbées. L'ensemble de ces matériaux est alors apporté jusqu'aux différents cours d'eau qui eux même servent de relais jusqu'à la Doubégué, puis au lac de Bagré. Dans cet environnement, les risques pour l'Homme sont donc croissants.

Ce lien entre une forte turbidité ou son accroissement souligne une fois de plus comment l'Homme crée bien souvent ses propres risques. Les modifications de son milieu (modification des pratiques culturelles, accroissement des superficies cultivées, dégradation du couvert végétal) associées à des changements climatiques font que les versants et leurs sols sont davantage érodés, que la puissance des cours s'est accrue. En définitive, un accroissement des quantités de MES naturelles et chimiques est observé sur lesquelles s'adsorbent plus facilement les bactéries, les parasites et les virus, menaçant la santé des populations riveraines. La réduction de la turbidité, et par la même du processus d'érosion, est donc une question de vie ou de mort au Burkina Faso, et plus précisément dans le bassin versant de la Doubégué. Le lien turbidité/santé et érosion/santé devrait être davantage mis en avant afin de mettre rapidement en place des systèmes efficaces de protection des sols et des berges. Le problème doit être pris à la source. Le point de départ est donc clairement le maintien et même l'accroissement du couvert végétal, la mise en place d'un système de protection des champs lors des fortes pluies précoces, et de rétention des particules. Le tout doit être réalisé dans l'objectif d'un développement humain au sens économique et social.

7.3. Coûts et conflits d'usage

Face à ces risques affectant les sphères environnementale et sanitaire, les populations se retrouvent souvent dépourvues de moyens pour faire face à ces menaces qui deviennent de plus en plus une réalité. Les solutions économiques sont rares dans cette région de Bagré, de même que les réponses politiques. Les habitants se retrouvent bien souvent seuls face à ces faits. Par ailleurs, dans le bassin versant de la Doubégué et plus largement de Bagré, l'accès à l'eau et à la terre est de plus en plus problématique. Même la zone aval (où le couvert végétal est plus présent) est affectée, en particulier dans la région localisée à proximité de la zone pastorale comme à Pata. Les conflits d'usages de la terre et de l'eau sont alors de plus en plus fréquents et affectent davantage de secteurs qu'auparavant.

7.3.1 Un manque de financement et d'actions

En France la chartre de l'environnement consacre un droit individuel, celui *de chacun à vivre dans un environnement équilibré et respectueux de sa santé* (article 1^{er}). Appliquée partiellement en France, elle est tout simplement une utopie au Burkina Faso.

7.3.1.1 Une population pauvre, un faible recours au CSPS

Le bassin versant de la Doubégué dispose d'établissements de santé publique, mais ils sont en nombre limité et difficiles d'accès. Ainsi, la ville de Tenkodogo dispose d'un hôpital (centre hospitalier régional (CHR)), d'une pharmacie, et son département compte dix CSPS

répartis dans neuf villages : Loukou, Mouaga, Sabtenga, Ounzégo, Sasséma, Loanga, Kabri, Ouéguedo, Malenga nagsoré. Ils comprennent un dispensaire (salle de consultation, salle de vaccination et de soins, salle de mise en observation équipée de lits et un dépôt pour la vente de MEG (Médicaments Essentiels Génériques)) et une maternité (salle de consultation, salle d'accouchement et d'hospitalisation). Il existe également un CSPS dans le secteur nord de Tenkodogo. Ainsi, les habitants de la région amont du bassin versant de la Doubégué disposent de cinq CSPS et d'un hôpital. Quant au département de Bagré, il comprend quatre CSPS et deux dépôts pharmaceutiques sont en cours de réalisation. A titre d'exemple, le CSPS de Bagré couvre 10 684 habitants. La MOB a également créé sur les périmètres deux CSPS : l'un en rive droite et l'autre en rive gauche. Enfin, le village de Séla compte aussi un CSPS.

Le rayon d'action des CSPS est inférieur à 8 kilomètres. Les principales maladies pour lesquelles les populations consultent sont le paludisme, les affections respiratoires, les affections cutanées, les diarrhées, les parasitoses intestinales (principalement liées à la consommation de l'eau insalubre), les affections des yeux et les infections urinaires. Il existe aussi des épidémies de méningites pendant la période de février à juin.

La situation de Tenkodogo et de Bagré est assez représentative de ce qui peut s'observer dans l'ensemble du pays. Les centres de soins sont rares, et là où ils existent il n'y a pas de matériel et l'équipement est vétuste. La conservation des médicaments est également problématique par le manque de chaîne de froid. Ainsi, les CSPS rencontrent des difficultés directes tels que le manque d'eau, l'absence de logement pour le personnel, et des effectifs réduits pour s'occuper des deux services.

Par ailleurs, la majorité de la population de la région est pauvre. Ainsi, lorsqu'elles tombent malades, les personnes ont recours dans un premier temps à l'automédication. De plus, leur fréquentation est irrégulière. D'une part, les infrastructures sont éloignées. D'autre part, les populations n'ont pas les moyens pour payer les ordonnances. A cette réalité s'ajoute le fait que les villages les plus reculés sont approvisionnés en médicaments bon marché, mais d'origine inconnue, parfois périmés, avec des notices inaccessibles aux utilisateurs, ou alors sans ces dernières. L'exemple de Zaba est particulièrement représentatif. Le CSPS le plus proche est celui d'Ounzégo. Or, en saison humide, en absence de pont (détruit en 2009), il est impossible de s'y rendre. Les habitants se retrouvent alors isolés. La distance pour aller au centre de soins est accrue et le temps nécessaire insuffisant face à certaines maladies. De même le mode de transport limite le déplacement de certains malades.

En définitive, la fréquentation des CSPS est faible (selon les agents de santé) car la majorité s'adonne à l'automédication et fréquente de préférence des praticiens traditionnels. Ce comportement est surtout imputable au coût élevé des médicaments modernes. La situation est identique pour les accouchements : c'est uniquement dans les cas d'urgence que les femmes sont transférées dans la structure médicale la plus proche.

Dans les cas de grossesses ou d'autres problèmes de santé, les populations se rendent alors au CSPS quand la situation est grave, voire très grave. La maladie s'est souvent déjà fortement développée et les traitements sont plus compliqués et onéreux. Par ailleurs, l'automédication peut également entraîner des complications.

Les populations majoritairement pauvres du bassin versant ont d'importantes difficultés pour se soigner. Cette réalité est principalement liée au manque de moyens financiers. Or, les risques sanitaires se sont accrus suite à l'exacerbation des processus érosifs (cf. Chapitre 6 et 7.1). Ainsi, la qualité de l'eau a-t-elle été davantage affectée. Il s'agit du principal vecteur des maladies de la région. L'augmentation de l'usage de pesticides, d'engrais et l'érosion des sols est à l'origine d'un accroissement des quantités de particules transportées jusqu'au cours d'eau. **Les pollutions microbiologique et chimique se sont alors développées.** Comment est alors prise en compte la turbidité ? Et, existe-t-il des actions pour la diminuer, et donc réduire le risque sanitaire ?

7.3.1.2 Une turbidité élevée synonyme de pollutions, mais peu d'actions

Le risque de contamination fécale est donc omniprésent au Burkina Faso. Il se traduit par un flux ininterrompu de maladies diarrhéiques, bactériennes, virales et parasitaires. Incapacitantes et invalidantes limitant la productivité de la main-d'œuvre, elles représentent une lourde charge économique pour les populations. Il existe déjà un double **coût : sanitaire** mais également **productif**. En effet, les exploitations sont principalement de type familial. Par conséquent, si une ou plusieurs personnes sont malades, le nombre de bras disponibles s'en trouve réduit. La préparation des champs, l'ensemencement, les récoltes sont alors perturbés. En définitive, l'endettement des familles peut augmenter.

La turbidité est bien souvent indicatrice de pollutions, tout particulièrement dans un bassin versant où l'emploi de pesticides et d'engrais est en progression. De plus, les valeurs de turbidité sont élevées et ces chiffres ont dû augmenter parallèlement aux processus érosifs principalement à partir des années 1990. Nous avons déjà rappelé par quel processus ces particules ainsi que les bactéries, les parasites et les virus se retrouvent dans les cours d'eau et le lac de barrage de Bagré. Et comment leur nombre a augmenté, accroissant le risque sanitaire et environnemental. Il convient alors de mettre en place une réduction de cette turbidité élevée. Mais, **cette dernière a des conséquences économiques dans la mesure où une eau turbide nécessite des traitements lourds pour la rendre apte à la consommation.**

En milieu urbain, les Burkinabés boivent essentiellement de l'eau en sachet issue des stations de traitements. En **milieu rural**, elle est issue des puits plus ou moins bien protégés, mais aussi des mares et de certains cours d'eau. Lorsque les populations ont un doute sur l'eau, elles ont tendance d'abord à **la filtrer ou encore à la bouillir**. A l'état brut, l'eau est en effet légèrement colorée et « parfumée » (goût de terre).

Dans notre bassin versant, deux sections font exceptions : la cité Sonabel à Bagré et Tenkodogo. En effet, ce quartier et cette ville disposent d'eau traitée. A titre d'exemple dans les provinces du Boulgou et de Zoudwéogo, il existe respectivement 504 et 596 points d'eau potable, soit un point pour 761 habitants et un pour 378 habitants. Plus précisément dans le bassin versant de la Doubégué, on compte 5 principaux points d'eau moderne (Tenkodogo, Bagré, barrage de Bagré, Kabri, entre Belcé et Zano, et entre Dazé et Zano) et environs 135 puits traditionnels. Nous rappelons que la population du bassin versant s'élève à 100 000 habitants, soit **un point d'eau potable pour 700 personnes**. En regard de ces chiffres, il est clair que l'accès à l'eau potable n'est pas une réalité dans cette région, et plus largement dans le pays (hors villes principales). La majorité des villageois continue d'utiliser les points d'eau

traditionnels car le nombre de forage est encore insuffisant pour couvrir les besoins, et les pannes de pompes fréquentes rendent les ouvrages inexploitable. De plus, **l'eau potable à la pompe est souvent souillée par les germes fécaux ou autres lors du transport et de la conservation**. Les récipients ne sont pas toujours en bon état de propreté, ni protégés par un couvercle. De plus, les mains ne sont pas assez souvent lavées et peuvent alors contaminer les récipients par le simple contact. Lors du puisage, il est aussi possible de polluer l'eau par l'intermédiaire des cordes traînant sur le sol. Il convient alors de rechercher des moyens de **désinfecter** l'eau de boisson en milieu rural. Aux coûts sanitaires et de production, s'ajoute donc le coût de désinfection. Toutefois, **l'accès à une eau potable de qualité permettrait de réduire des coûts**. Par ailleurs, la plantation de *Jatropha curcas* autour des points d'eau, ayant une action répulsive pour les animaux, évite qu'ils ne s'approchent de ces lieux et qu'ils les contaminent (cf. 9.1).

Comme nous le verrons au cours de la Partie 4, il existe des moyens naturels connus depuis des millénaires ou (re)-découverts plus récemment qui permettent de réduire cette turbidité. Il s'agit en particulier de l'emploi des graines du *Moringa oleifera* (cf. 9.1.2).

Par ailleurs, selon les recommandations internationales, l'eau doit subir une **chloration**. Or, selon l'OMS, pour que la désinfection par le chlore puisse agir efficacement, il est nécessaire que la turbidité soit inférieure 5 NTU, ce qui n'a jamais été observé sur notre bassin versant. Ainsi lors de l'utilisation d'une eau trouble issue des puits traditionnels et des eaux surfaces (mode d'accès prédominant dans notre secteur), cette technique se complique. Pour assurer une efficacité optimale aux traitements de désinfection par chloration, la turbidité doit donc être minimale. Dans le premier cas (eau limpide), il convient d'incorporer 5 mg de chlore actif par litre d'eau à traiter, puis mélanger et laisse reposer 30 min. Dans le second cas (eau turbide), il faut en plus filtrer, faire une défloculation-décantation de 2 heures (à l'aide d'alun ou de graines de *Moringa oleifera*) et une filtration rapide sur sable (couche de sable, charbon et gravier), ajouter 20 mg de chlore actif par litre d'eau à traiter, mélanger, couvrir et attendre 30 min avant de la boire. Le produit le plus simple à manipuler est l'eau de javel (hypochlorite de sodium). Cette désinfection semble une méthode facile, efficace, et bon marché ; mais le fait qu'elle ne soit toujours pas généralisée au Burkina Faso, souligne que cela n'est pas si simple à mettre en place. De plus, certains problèmes liés à l'emploi de l'eau de javel existent : conservation difficile sous climats chauds, conditionnement obligatoire en flacon opaque, perte du pouvoir germicide, multiples contrefaçons (falsification ou photocopie de l'étiquette, bouchons perméables, bouteille transparente, contenu correspondant à de l'eau savonneuse ou parfumée et/ou colorée en jaune par une substance chimique indéterminée). Il faut donc mettre en place une stricte réglementation. Malgré cela, il demeure le principal produit mis en avant par les différents organismes internationaux dont l'OMS. Il a de multiples usages, et est disponible dans la majorité des pays. C'est un microbicide très efficace permettant de disposer d'eau potable plus de 24 h (si le récipient propre), et dans le cas d'une eau turbide entre 15 et 18 h. Toutefois, fournir une eau potable ne suffit pas si le milieu ambiant est source de bactéries pathogènes et que la population ne perçoit pas l'intérêt. Il faut relier la mise en place de la chloration à l'éducation sanitaire et à la sensibilisation à l'hygiène afin de modifier les comportements. LO NJOUR souligne parfaitement cette idée « *l'eau de javel demeure le médicament de l'eau, mais la modification*

des habitudes socio-culturelles est indispensable pour faire régresser les diarrhées infectieuses mortelles, le plus grand drame de l'eau et du Tiers-Monde ». Ainsi, ces méthodes commencent à être enseignées dans les écoles de certaines provinces burkinabées. En effet, les opérations pour l'accès à une potable doivent être intégrées à des plans globaux et prendre en compte l'éducation afin d'apprendre les règles d'hygiène et les préoccupations d'emploi d'une eau prélevée au puits, ou dans le milieu « naturel ».

Les systèmes de décantation et de floculation chimique ne sont pas appliqués et applicables dans notre bassin d'étude. Ce sont des mécanismes onéreux pour un pays classé parmi les PMA. Néanmoins, en regard de l'accroissement des pollutions chimique et microbiologique, sans intervention politique et économique, le coût humain va également augmenter.

Cependant, la première étape afin de que la chloration soit une technique efficace est la réduction de la turbidité. Sans cela, les résultats de ce procédé seront limités, voire inefficaces pour certaines valeurs. Une meilleure protection des sols (résidus laissés sur place, association de culture, culture couvrante), un maintien de la végétation aux abords des cours d'eau, et une recolonisation de leurs berges et du lac doivent être mis en place

Par ailleurs, il ne faut pas oublier que la chloration ne concerne que la pollution microbiologique. Certes les gastro-entérites constituent la principale maladie de la région avec le paludisme, soit des maladies à court terme. Les pollutions chimiques, quant à elles, sont plutôt responsables de maladies de long terme, comme les cancers ou les maladies neuro-dégénératives (BELPOMME, 2007). Or, la réduction des pesticides, des nitrates, des phosphates nécessite des techniques et des produits très onéreux. A titre d'exemple, les techniques d'élimination des pesticides sont l'oxydation par l'ozone, l'adsorption mettant en œuvre du charbon actif en poudre ou en grains, et les procédés membranaires (microfiltration, ultrafiltration et nanofiltration). La mise en place d'une eau potable d'un point de vue bactérienne est déjà difficile à mettre en place, on peut donc s'interroger sur la lutte contre la pollution chimique. La seule voie qui s'ouvre aux pays pauvres, est alors de réduire leur emploi ou encore de développer des pesticides naturels tel que le neem (cf. 9.3.2). En effet, les produits extraits des graines de cet arbre agissent comme un insecticide. Il est moins nocif et moins coûteux. Le développement de son utilisation dans le bassin versant de la Doubégué pourrait être une bonne solution afin de réduire les impacts négatifs des pesticides et permettre à davantage d'agriculteurs de disposer d'un insecticide naturel.

L'eau potable en zone rurale demeure donc une question cruciale non résolue en Afrique de l'Ouest. Selon la Banque Mondiale en 2000, à peine 130 millions (60 %) des 245 millions d'habitants de la Communauté Economique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) avaient accès à une source d'eau potable et 120 millions (55 %) d'entre eux à des installations d'hygiène (Banque Mondiale, 2005). Comment donc relever le défi de l'atteinte des OMD (Objectifs du Millénaire pour le Développement) pour l'eau et l'assainissement dans un contexte socio-politique et économique particulièrement défavorable ? De plus, il ne s'agit là que de chiffres prenant en compte l'ensemble de cette région Ouest-Africaine, la distribution en eau est inégale selon les pays. Néanmoins, le Burkina Faso demeure mal placé dans ce groupe de pays.

En 2003, selon l'OMS¹⁰¹, 30 millions de personnes dans le monde mouraient des suites d'une épidémie ou d'une contagion due à la pollution des eaux, et 2 millions de personnes dont les trois-quarts sont des enfants mouraient de maladies diarrhéiques. La majorité de ces morts se situent dans les pays en de développement dont beaucoup en Afrique de l'Ouest, principale région mondiale des PMA. A titre d'exemple, en Guinée-Bissau, les maladies diarrhéiques sont la principale cause de mortalité et de morbidité infantile (1 enfant sur 5 meurt avant l'âge de 5 ans). En Guinée, les causes de la mortalité infanto-juvénile étaient dues pour 17 % aux maladies diarrhéiques. En 2008, en Afrique subsaharienne, le taux de mortalité des moins d'un an et des moins de 5 ans étaient respectivement de 102 ‰ (moyenne mondiale de 54) et de 157 ‰ (moyenne mondiale de 72). Et, en Afrique, le taux de décès d'origine diarrhéique est de 17 ‰.

Quelles sont alors les priorités des grands gouvernements. En effet, l'atteinte des OMD pour l'eau et l'assainissement en Afrique de l'Ouest ne saurait se faire sans une lutte constante contre la pauvreté, l'ignorance, la maladie en général, et la prise en compte de l'approche genre dans la conception, l'élaboration et la mise en œuvre des programmes et projets d'eau, d'hygiène et d'assainissement. De plus, il convient de prendre en compte la participation communautaire afin de mettre en place des mécanismes adaptés de recouvrement des coûts. C'est dans cette dynamique que le Burkina Faso a adopté un cadre national de lutte contre la pauvreté qui prend en considération les volets de développement durables et toutes ses composantes. Une phrase de Kofi ANNAN, Secrétaire général de l'ONU en 2005 résume bien cela « *nous ne vaincrons ni le SIDA, ni la tuberculose, ni le paludisme, ni aucune autre maladie infectieuse qui frappe les pays en développement, avant d'avoir gagné le combat de l'eau potable, de l'assainissement et des soins de santé de base.* »

Enfin, un nouveau coût tend à se mettre en place. Le mythe de l'eau potable gratuite disparaît peu à peu¹⁰². Lors de la mise en place d'un forage, un comité de gestion d'eau et d'assainissement est créé. Ses membres reçoivent des notions de gestion, de maintenance et d'entretien ainsi que d'hygiène et d'assainissement. Ils doivent également trouver les ressources nécessaires pour l'entretien du forage. La population doit donc cotiser selon une périodicité que le comité de gestion aura fixé, afin de pouvoir réparer la pompe en cas de panne. Par ailleurs, en l'absence de donateur, la participation des bénéficiaires est nécessaire lors de la construction des ouvrages. Toutefois, ce dernier fait est assez peu observé, car les populations rurales burkinabées sont particulièrement pauvres et ont rarement les moyens de se permettre un tel investissement. La privatisation concerne alors principalement l'équipement (distribution et assainissement) et non la ressource en tant que telle.

Ces pollutions, ces fonctionnements de plus en plus irréguliers du système hydrologique, la diminution temporelle de la stagnation de l'eau dans les cours d'eau, ou tout simplement et généralement la raréfaction de l'eau, conduisent à l'exacerbation des conflits et à l'apparition de nouveaux principalement entre les différents secteurs d'activité.

¹⁰¹ OMS : http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/facts2004/fr/

¹⁰² En ville, les coûts forfaitaires de branchement au réseau sont de 50 000 F CFA. Auparavant, ils étaient de 100 000 F CFA, et il existe aussi des coûts promotionnels à 30 000 F CFA.

7.3.2 Des conflits d'usage préexistants dorénavant exacerbés

A l'heure actuelle, la réduction (superficie, profondeur) du lac de Bagré est peu visible, même si elle est reconnue. En effet, sa superficie est tellement importante (25 500 ha) que la diminution de la capacité de stockage de la retenue paraît être une conséquence qui pourrait être qualifiée de secondaire. Néanmoins, en ayant une vision sur le long terme, il est essentiel d'en tenir en compte, car elle aura des répercussions au-delà de la région. En effet, le barrage fournit l'électricité à la capitale burkinabé. Or, si les quantités d'eau diminuent, le volume d'eau turbiné le sera également.

La pression démographique issue de la mise en place du lac de barrage a conduit à une pression foncière. Les terres ont été dégradées (perte de fertilité). Cette détérioration diminue leur productivité et pousse les cultivateurs à défricher de nouveaux espaces. Des conflits émergent pour l'accès à ces nouvelles terres.

Par ailleurs, la vase constitue un espace de refuge pour les poissons. Or, elle est en augmentation, ce qui peut amener une diminution des prises, et par là-même, des revenus des pêcheurs. Certaines personnes interrogées en 2006¹⁰³ mettaient déjà en avant ce problème. Elles avaient observé un développement de la vase et soulignaient les difficultés croissantes rencontrées. En effet, les poissons se cachent plus facilement dans la vase, là où les pêcheurs ne peuvent plus les voir. Face à cette réalité, ces derniers accusent les agriculteurs dont l'activité leur cause des dommages.

De plus la Doubégué ne s'écoule plus aussi « normalement » que par le passé, et cela pose également un certain nombre de problèmes. En effet, comme l'ont souligné les personnes interrogées, l'eau ne stagne plus, et lorsqu'elle « passe », elle peut parfois tout emporter sur son passage. Ainsi, des ponts sont détruits. Or, ces ouvrages, déjà en nombre limité, sont vitaux pour les habitants de ce bassin versant. Ils leur permettent de rallier l'autre rive sans avoir à faire un détournement de plusieurs dizaines de kilomètres par Tenkodogo. Il existe peu de CSPS dans la région, d'où l'importance de disposer d'un réseau routier bien développé et entretenu. La construction des ponts et leur persistance sont donc essentielles. La destruction par l'eau, en 2008, du pont de Zaba conduit même les habitants à détester ce cours d'eau devenu capricieux.

Le fait que l'eau stagne moins, qu'elle ravine beaucoup, a également des impacts quant aux rapports entre les différentes activités sylvo-agro-pastorales. Ainsi, les quelques points d'eau deviennent des lieux de convoitise dans un contexte d'accroissement démographique encore fort. Les principaux conflits se déroulent entre les agriculteurs et les éleveurs disposant des mêmes points d'eau sans réglementation, et dont l'accès est limité sur un temps plus court. En effet, la péjoration climatique des années 1970 et 1980 a aggravé la situation. A ce fait s'ajoute la dégradation de la qualité des eaux.

L'extension des superficies des cultivateurs Bissa, l'arrivée d'agriculteurs Mossi et d'éleveurs Peul provoquent peu à peu une sur-occupation des terres. Des tensions, puis des conflits apparaissent progressivement. Ils concernent l'accès aux terres entre agriculteurs (le plus souvent entre autochtones et allochtones (agriculteurs Bissas)), mais ils s'observent surtout entre cultivateurs et éleveurs. En effet, le décalage des aires d'élevage vers le sud a

¹⁰³ Recherche de Master 1, ROBERT, 2006.

provoqué une certaine saturation de l'espace et a fait de la terre un véritable enjeu entre agriculteurs et éleveurs aboutissant le plus souvent à de graves conflits. Ainsi, dès les années 1980, les Peul sont pris en défaut par les populations agricoles, d'où une augmentation des plaintes envers les pasteurs à la fin des années 1980. Ils doivent alors payer de lourdes amendes : 100 à 15 000 F CFA (FAURE, 1996) selon que le propriétaire du troupeau est Peul ou non. Parfois les conflits vont plus loin : coups de couteaux à Fougou et à Dassanga, morts de plusieurs bœufs à Yakala, assassinats d'éleveurs. Ces conflits se sont multipliés au cours des années 1990 et perdurent à l'heure actuelle.

Ainsi, au cours des années 1990, un double problème s'est instauré : l'extension des terres cultivées et à l'arrivée de nouvelles populations. Les terres de la zone sud et sud-est de la Doubégué sont alors occupées par des agriculteurs venus de Ounzéogo et de Bagré. Des concurrences se mettent en place : des troupeaux détruisent les récoltes, des voies de passages autrefois empruntées par les troupeaux sont envahies par les cultivateurs, etc. Certains Peul sont poussés au départ comme dans les secteurs de Zaba et Pata. Les inondations de vastes superficies lors de la mise en eau du lac de barrage de Bagré, ainsi que le manque de clarté du droit des acteurs amplifient également les tensions. La mise en place d'une solution pour répondre à ces conflits devient impérative.

Il semble que le problème réside principalement dans le manque d'intégration, et de relation des deux activités : absence de contrat de fumure, de gardiennage, défaut d'organisation de l'espace, etc. Cependant, il s'est mis en place l'idée de créer des zones pastorales permettant ainsi de séparer les terres des deux communautés (cf. 8.3). La mauvaise information a dans un premier temps conduit au déguerpissement de Peul par des agriculteurs. Ces derniers pensent que (comme eux-mêmes ont dû partir de la zone pastorale) les éleveurs doivent quitter leurs villages et se rendre dans ces régions délaissées. Ces conflits persistaient toujours fin 2008. Toutefois, la création de la zone pastorale a permis de les réduire, sans pour autant solutionner les rapports entre cultivateurs et éleveurs. Les principaux conflits perdurent au cours de l'hivernage lorsque les animaux divaguent sur les champs semés. Ils peuvent être réglés à l'amiable ou non. Il faut souvent l'intervention de la police pour régler les différends et évaluer les pertes. La gendarmerie basée à Bagré souligne que les trois-quarts des conflits s'observent pendant la saison des pluies : bœufs qui échappent à la vigilance, problèmes au niveau de certains points d'eau, vols de bœufs, installation d'agriculteurs juste à la limite de la zone pastorale, bœufs tués par des agriculteurs, etc.

Le rôle joué par les politiques et la Politique est alors essentiel. Ils doivent instaurer une lutte et une gestion efficace afin de garantir un accès à l'eau potable à leur population. Parallèlement, un plan de gestion de l'environnement prenant en compte l'importance des activités agro-pastorale doit être instauré. Il doit combiner un développement des formations végétales, une modernisation et un soutien aux secteurs d'activité afin d'augmenter la productivité et les revenus des habitants de la région de la Doubégué, et plus largement dans le bassin versant de Bagré. Des opérations se mettent peu à peu en place comme nous le présenterons au cours de la Partie 4. Il faut ainsi combiner le développement socio-économique et la protection environnementale. De plus, il convient de réintégrer les deux activités dominantes de la région que sont **l'élevage et l'agriculture. Leur coopération est à la base d'une amélioration de la productivité et d'une préservation de l'environnement.**

En conclusion, dans le bassin versant de la Doubégué, l'accroissement de la turbidité a de multiples impacts tant sur le milieu physique que sur l'environnement humain (Tab. 47).

Sur le milieu physique	Sur l'environnement humain
<ul style="list-style-type: none"> ● Diminution de la capacité de stockage et évaporation exacerbée : <ul style="list-style-type: none"> > exhaussement du niveau de base de la cuvette de 30-40 cm ; > modification de la morphologie de la cuvette. ● Modification des paramètres de température et d'oxygène dissous <ul style="list-style-type: none"> > les solides absorbent la chaleur, il s'opère une élévation de température. L'oxygène se dissout moins : situation d'hypoxie. Toutes les espèces ne peuvent pas s'adapter à ces modifications. Il existe un risque de mortalité pour certaines. ● Assèchement, eutrophisation et diminution de la minéralisation biologique : <ul style="list-style-type: none"> > irradiation par le rayonnement des secteurs peu profonds émergés en saison sèche avec installation d'une végétation aquatique hydrophile (<i>Ipomea aquatique</i> ou jacinthe d'eau) sur les dépôts sédimentaires ; > la minéralisation des composés organiques cesse, le fond devient alors le siège d'une fermentation putride. ● Dépôts, exhaussement des lits avec montée du niveau statique et divagation de leurs eaux : <ul style="list-style-type: none"> > actions érosives humaines qui amplifient la quantité et la taille des particules qui transitent par les versants puis les cours d'eau dont les débits ne sont pas toujours suffisants. ● Augmentation de la turbidité des cours d'eau et du lac : <ul style="list-style-type: none"> > nature des roches et des sols ; > forte pression anthropique du bassin versant du Nakambé. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Diminution de la capacité du lac avec risque sur le long terme d'une raréfaction de la ressource en eau et l'apparition de conflits d'usage. ● Augmentation des stocks pêchés dans un premier temps puis diminution des prises : <ul style="list-style-type: none"> > dépôts de vase dans le fond du lac. ● Recrudescence de maladies comme le paludisme, la bilharziose, l'onchocercose et la fièvre : <ul style="list-style-type: none"> > développement d'une végétation semi-hydrophile sur les dépôts alluviaux qui crée un refuge pour les vecteurs (insectes, fourmis) de ces maladies. ● Infections gastro-intestinales, urinaires, dermatoses, ophtalmies, fièvres et risques de maladies cancérigènes et de problèmes de stérilité : <ul style="list-style-type: none"> > utilisation d'engrais et de pesticides d'où la pollution des sédiments transportés. ● Développement de cyanobactéries toxiques : (<i>Microcystis aeruginosa</i>, <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>...) qui libèrent des endotoxines qui peuvent être dangereuses pour l'homme et les animaux, en affectant principalement la peau et les muqueuses (dermatotoxines), le foie (hépatotoxines (<i>Microcystis wesenbergii</i> présente dans le lac de Bagré) et le système nerveux (neurotoxines). A l'inverse certaines espèces non toxiques sont parfois causes d'un rendement exceptionnel en poissons. ● Pour d'obtenir une eau de consommation, il sera nécessaire d'effectuer davantage de traitements. ● Exacerbation des conflits et apparition de nouveaux : principalement entre éleveurs et agriculteurs.

Tab. 47 : Les conséquences de l'accroissement des taux de turbidité sur le milieu physique et humain du bassin versant de la Doubégué et plus largement du lac de barrage de Bagré



L'environnement naturel et humain est soumis à de multiples risques exacerbés par l'enchaînement et la combinaison d'éléments issus de différentes sphères telle que la péjoration climatique, mais surtout à la dégradation du couvert végétal, l'accroissement du processus érosif, donc l'amplification de l'action du ruissellement, et la présence d'une turbidité élevée.

Les risques sur le milieu « naturel » sont donc importants. Il serait même plus exact d'employer le terme de réalité, tant ils deviennent davantage concrets au fil des années : le creusement des cours d'eau, l'exhaussement de leur lit, le comblement du lac, la contamination des eaux et de sols par les engrais et les pesticides suite à l'extension des superficies cultivées dans le bassin versant de la Doubégué et de Bagré, l'eutrophisation, et la diminution de la biodiversité. La population piscicole est alors particulièrement menacée.

Les populations doivent également faire face à de nombreuses menaces dont la principale concerne leur santé. Les deux formes de pollutions microbiologique et chimique sont à l'œuvre dans le bassin versant de la Doubégué. Les quantités de MES naturelles et chimiques sur lesquels s'adsorbent plus facilement les bactéries, les parasites, les virus, mais également certains éléments chimiques, s'accroissent. Le lien turbidité/santé et érosion/santé est une réalité. Il est alors primordial de mettre en place un certain nombre d'actions afin de réduire le processus érosif et par là-même les taux de turbidité. Il faudrait donc maintenir un couvert végétal bien développé sur les versants, mais également aux abords des cours d'eau. Par ailleurs, il serait utile de tenir compte de l'importance de l'urgence sanitaire et sociale dans la réalisation de ces opérations. En omettant ces deux réalités les solutions préconisées risquent de ne pas être, ou peu, acceptées et respectées.

Le coût pour les populations est triple : sanitaire essentiellement, productif (baisse des productions suite aux maladies) et économique. En effet, l'accès à une eau potable réclame des ressources financières comme l'achat d'eau de javel pour la chloration. Cela a également un coût pour l'État burkinabé. Or, ce pays appartenant dispose de peu de ressources. Il est alors essentiel que des organismes participent à ce grand défi qu'est l'accès pour tous à l'eau potable. La sphère politique doit donc jouer un rôle par la mise en place de directives, de plans globaux prenant en compte l'assainissement et des opérations de sensibilisation à l'hygiène, à l'éducation sanitaire. Les ONG jouent également un rôle important, et la société civile doit être davantage prise en compte et devenir plus participative (cf. Partie 4).

Par ailleurs, l'accroissement des pertes en terre et donc l'augmentation des valeurs de turbidité ont conduit à l'amplification et à l'apparition de conflits entre pêcheurs et agriculteurs, entre pêcheurs (diminution du stock de poissons), ou entre agriculteurs pour l'accès à de nouvelles terres. Cependant, les plus nombreux concernent les cultivateurs et les éleveurs pour les points d'eau, à cause de la divagation des animaux, etc.

Face à ces multiples modifications relevant de la sphère environnementale et humaine, un certain nombre d'actions doit être mis en place. Des opérations ont déjà été menées puis abandonnées, d'autres perdurent ou ont été renforcées, de nouvelles apparaissent. Certaines ne sont pas encore appliquées ni évoquées et sont pourtant porteuses d'espoir. L'objectif est alors la mise en place de solutions pour atteindre une gestion intégrée.

Conclusion de la Partie 3

Suite à la régression du couvert végétal causée par l'extension de la mise en culture, l'amplification des phénomènes érosifs, mise en évidence au cours de la Partie 2, laissait supposer que les quantités de particules transportées jusqu'aux cours d'eau avaient dû augmenter parallèlement à ce processus érosif et **que la turbidité devait donc être importante**. En regard des quantités de turbides observées dans le bassin versant de la Doubégué, il ne s'agit plus d'une hypothèse mais d'un fait mesuré et analysé. Ainsi, la grande majorité des eaux de cette région peuvent être qualifiées d'Eaux Africaines. Les plus élevées s'observent lorsque les sols sont à nu, préparés et soumis à des pluies intenses de juin à la première décade d'août, et en novembre et décembre suite à l'abaissement des quantités d'eau présentes dans les cours d'eau (effet de concentration). Par ailleurs, les valeurs de turbidité les plus fortes se localisent dans le cours même de la Doubégué (excepté Douka), et une progression de l'amont vers l'aval du bassin est également mise en évidence.

Le facteur déterminant à prendre en compte dans l'étude de la turbidité est, une nouvelle fois, **la présence d'un couvert végétal bien développé**. Il joue un rôle d'autant plus important, en limitant les valeurs de turbidité, s'il se localise aux abords mêmes des cours d'eau. Le second facteur est la pauvreté des sols (lithosols et sols peu évolués), puis la position hydrographique. A l'inverse, un état gravillonnaire ou la présence de cailloux seront synonyme d'une turbidité plus modérée. Par ailleurs, un seuil déclencheur de 25 mm/j précipités a été mis en évidence. En effet, les plus fortes valeurs de turbidité sont mesurées lors du dépassement de cette valeur. Il existe donc un **lien important entre les événements pluviométriques intenses et une turbidité élevée**. Cette corrélation s'observe durant un jour (pour 25 à 30 mm/j), et peut atteindre deux jours lors de précipitations de 35 mm/j. Cette relation souligne à quel point les **temps de réponse sont très courts**.

Des valeurs élevées de **phosphates** ont également été observées dans le bassin versant de la Doubégué. Le lac de Bagré est aussi affecté par diverses **pollutions**. En effet, au cours des 25 dernières années, l'accroissement des superficies cultivées combiné à une augmentation de l'utilisation d'engrais et de produits phytosanitaires ont conduit à la contamination des sols et de l'hydrosphère. Les parcelles mises en culture sont lessivées par les fortes pluies et les ruissellements qui en découlent. De nombreuses particules, dont des molécules chimiques, sont alors transportées jusqu'aux cours d'eau. Par ailleurs, ces MES peuvent également servir de support à des virus, des bactéries, et des parasites. La dégradation de la qualité de l'eau et des sols laisse donc peser de **lourdes menaces sur l'environnement naturel et humain**.

Les risques pour l'environnement sont alors le creusement des cours, l'exhaussement de leurs lits, le comblement du lac, l'exacerbation de l'évaporation, la contamination des eaux et des sols par les engrais et les pesticides, l'eutrophisation, et la diminution de la biodiversité. Les populations du bassin versant de la Doubégué, et plus largement de Bagré, sont quant à elles menacées par une double **pollution microbiologique et chimique** faisant peser de lourds risques sur leur santé. Un lien fort entre **érosion/santé et turbidité/santé** a été mis en place. En regard des faits observés, il conviendrait mieux d'employer le terme de réalité, et non celui de risque, que ce soit pour la sphère environnementale ou humaine.

Par conséquent, la **présence d'un couvert végétal bien développé est donc l'élément clé pour freiner les pertes en terre et éviter une dégradation de la qualité des eaux**. La régression des formations « naturelles » joue également un rôle dans la perturbation des ruissellements de versants, et donc de l'écoulement dans les cours d'eau qui se retrouvent « cassés », élargis, approfondis. Il est alors primordial de maintenir, mais surtout en regard de la situation actuelle, de replanter pour le bien-être de l'environnement et surtout pour la santé humaine.

Toutefois, l'impact négatif de la régression du couvert végétal va au-delà. En effet, elle a conduit à **l'amplification et à l'apparition de conflits** entre pêcheurs et agriculteurs, entre personnes appartenant au même secteur d'activité, mais surtout entre les cultivateurs et les éleveurs, et entre les autochtones et les allochtones.

Face à ces multiples modifications relevant de la sphère environnementale et humaine, il convient de mettre en place un certain nombre d'actions. Des politiques, des plans globaux, des programmes coordonnant les différents échelons (du local au national et même au-delà) et faisant intervenir les différents acteurs (société civile, ONG, élus, représentants de ministères, scientifiques, etc.) doivent être mis en place. Il s'agit alors d'instaurer un développement intégré et participatif. Il faut également qu'il ait une démarche systémique prenant en compte l'ensemble des éléments (eau, sol, végétation) et des différents domaines (social, économique, sanitaire) en jeux. Des actions sont déjà à l'œuvre, certaines ont subi des évolutions, d'autres ont été abandonnées. Il existe également de nouvelles solutions porteuses d'espoir. Il est alors essentiel de combiner la protection de l'environnement et les progrès socio-économique. En l'absence de ce développement conjoint les résultats seront faibles. Il convient donc de prôner une gestion **intégrée** des ressources.

QUATRIÈME PARTIE

**POUR UNE GESTION INTÉGRÉE DANS LE
BASSIN DE LA DOUBÉGUÉ :
QUELLES SOLUTIONS ?**

Les risques de pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué sont une réalité pour les populations riveraines. Ils ont des impacts directs et indirects sur l'environnement mais également sur la santé des personnes résidentes dans cette région. Cependant, il ne s'agit pas là d'une fatalité. Cette dernière partie a pour objectif de présenter les solutions existantes ainsi que des nouvelles à instaurer, et certaines d'entre elles peuvent être développées dans une perspective de gestion intégrée.

Pendant longtemps, les solutions apportées ont été sectorielles. Elles datent des années 1970 et 1980 (CES/DRS : Conservation des Eaux et des Sols/Défense et Restauration des Sols). Puis, elles ont évolué au cours des années 1990 sous la forme des GCES (Gestion Conservatoire de l'Eau, de la biomasse et de la fertilité des sols). A présent, il est essentiel qu'elles soient « intégrées » faisant ainsi écho au développement de la GIRE (Gestion Intégrée des Ressources en Eau) à travers le monde¹⁰⁴. Ainsi, le Nakambé, le plus important des bassins pour le développement humain burkinabé, ne fait pas exception. Il s'agit d'un des bassins pilotes pour l'instauration de la gestion intégrée des ressources. Notre réflexion sur la mise en place de solutions se place alors totalement dans cette optique. Ainsi, ces dernières doivent porter sur différentes thématiques comme la protection des sols, et plus largement de l'environnement en général sans pour autant omettre l'amélioration des conditions de vie et l'accroissement des revenus des populations locales. En 1994, MAIRE *et al.*, résumant parfaitement l'importance de cette prise en compte globale sans omettre les faits locaux : « *ce sont des réalités dont il faut tenir compte, car toute conception du Développement plaquée, toute notion extra-territoriale non ancrée dans la réalité tropicale, est vouée à un rejet du monde paysan, à un échec cuisant et des rétroactions naturelles autant efficaces que pernicieuses (effet bien connu d'amplification et d'hystérésis)* ». En définitive, le défi du 21^{ème} siècle est bien de doubler la production vivrière tous les 20 ans tout en réduisant les risques de dégradation de l'environnement.

La mise en place d'une gestion optimale du bassin versant de la Doubégué nécessite alors de prendre en compte différentes disciplines relevant du domaine humain et « naturel ». La réflexion et le travail interdisciplinaire sont alors les meilleurs moyens d'y parvenir : sciences de l'environnement, de la santé, sociologie, anthropologie, hydrologie, etc.

Par ailleurs, les solutions doivent être mises en place à différentes échelles : de la parcelle, du village, du bassin versant de la Doubégué, de Bagré, du Nakambé. Cependant, l'échelle du bassin versant adaptée au fonctionnement « naturel », ne coïncide pas avec l'unité foncière gérée par une communauté rurale (le versant ou le terroir). C'est pourquoi il n'est pas aisé de mettre en place une gestion intégrée. C'est un mode de gestion qui intègre, dès la phase de conception, l'ensemble des facteurs écologiques, socio-économiques liés à la problématique et qui s'appuie sur la concertation entre les acteurs et sur une coordination des aménagements. Les termes anglo-saxons équivalents sont *comprehensive approach* ou *integrated management*.

Le chapitre 8 présentera les solutions déjà appliquées qui ont évolué au cours du temps. La protection stricte de la Nature a ainsi laissé la place à la préservation de l'Environnement associée au développement de l'Homme. Les acteurs des différents

¹⁰⁴ Il est vrai que la GIRE est davantage un modèle de gestion qu'une solution. Mais, son objectif est de pouvoir gérer au mieux l'eau par bassin versant. Elle repose alors sur des personnes, des organismes qui, eux, mettent en place des solutions.

organismes ont pris conscience qu'il était essentiel de prendre en compte l'amélioration de la production agro-sylvo-pastorale et des conditions de vie des sociétés paysannes. L'objectif actuel est d'encourager les actions humaines puis celles environnementales. Le développement humain a supplanté la lutte pour la protection de l'environnement. La combinaison des deux serait idéale ce que nous tenterons de mettre en évidence dans cette ultime partie. Par ailleurs, les modes de financements ou d'aides ont également changé ; ils prennent la forme de microprojets individuels, collectifs, parfois communautaires.

Ce chapitre 8 soulignera aussi les bonnes pratiques en matière de lutte contre la dégradation des terres. Elles varient selon l'échelon d'intervention. Au niveau des ménages, on peut pratiquer le labour, utiliser le fumier pour enrichir les sols en déchets organiques, réaliser des cordons pierreux, des diguettes enherbées ou non (rétention de l'eau coulant dans les champs dénudés) ou encore pratiquer le paillage avec les herbes sauvages (maintien de l'humidité des pluies), et planter des haies vives. Ces différentes solutions appliquées et/ou désirées par les populations du bassin versant de la Doubégué sont un autre axe des enquêtes menées dans ce travail de recherche dont les derniers résultats seront présentés ici. A l'échelle communale, il est possible de lutter collectivement contre les feux de brousse et la coupe de bois abusive. Des reboisements collectifs peuvent être également réalisés afin de restaurer la densité de la forêt, réaliser des diguettes, et introduire de nouvelles espèces de lutte contre l'érosion. Au niveau des structures d'encadrement et des ONG, un appui conseil doit être mis en place, ainsi que la planification de cordons pierreux et l'aménagement des bas-fonds.

Par ailleurs, face à ces solutions existantes, et dans le cadre d'une réflexion sur les risques de pertes en terre et en eau dans le bassin versant de la Doubégué, il convient de réfléchir sur les nouvelles voies à explorer (Chapitre 9). En effet, de nouvelles espèces peuvent être cultivées soit en remplacement d'anciennes, soit en association. Ainsi, les populations burkinabées doivent (re)découvrir des arbustes aux vertus multiples comme le *Moringa oleifera* et le *Jatropha curcas*. Ces deux végétaux pourraient être une véritable chance pour le développement et l'amélioration des revenus, du cadre de vie des populations tout en permettant une récupération des sols et une protection de l'environnement. Dans cette perspective, un arbre peut également jouer un rôle : le *neem*. Il serait alors intéressant de travailler sur la combinaison de ces trois végétaux.

Le chapitre 10 aura pour objectif la mise en place d'un cadre d'action plus vaste. Travaillant sur les risques liés à l'eau, nous ne pouvons omettre d'aborder la mise en place d'une politique de gestion de l'eau récente au Burkina Faso : la gestion intégrée de l'eau par bassin versant nommée GIRE lancée en 2003. Cependant, aux vues de ses limites, son application concrète et totale semble difficile. Par ailleurs, il convient de réfléchir à une gestion prenant également en compte les sols et le couvert végétal. Ainsi, dans le cadre de notre travail sur la mise en place de solutions de type intégré, il faut aller au-delà afin que le lien sol - eau - végétation - société soit au cœur d'une nouvelle gestion intégrée globale.

Enfin, l'essor régional de la zone de la Doubégué et plus largement de Bagré et de Tenkodogo repose d'une part sur le développement éco-touristique de Bagré et de ses périmètres irrigués, et d'autre part sur la croissance de Tenkodogo : emplacement stratégique (route reliant le Ghana à Ouagadougou) et appartenance au second bassin hydrologique.

Chapitre 8 :

Des solutions face à des acteurs multiples : un manque de cohésion et de planification

Dès les années 1970, il existait, dans la région, des missions catholiques aidant les paysans dans leurs activités agricoles, en particulier par la réalisation de cordons pierreux. A la fin des années 1980 et durant les années 1990, des associations se sont également installées dans cette région, et se sont principalement orientées dans la protection de l'environnement. En effet, à cette période, dans le Monde, l'accent était mis sur la préservation de la « Nature ». L'opinion publique était focalisée sur les problèmes environnementaux (images des sécheresses successives de la fin des années 1970 et des années 1980). L'environnement africain semblait menacé ; les objectifs étaient alors de soutenir de nombreux projets de restauration par des pépinières, des reboisements collectifs et individuels, des plantations d'arbres utilitaires, des réalisations de cordons pierreux, ou encore des formations. Il s'agit de la grande période des politiques de CES/DRS développées à partir des États-Unis. Mais, les résultats de cette méthode furent plus que mitigés. Bien souvent, après la réalisation des ouvrages de défense ou de protection des sols, les populations se sont senties abandonnées. Par la suite, à partir du milieu des années 1990, la GCES a été lancée, et elle a obtenu de meilleurs résultats.

Parallèlement, suite à la mise en eau du lac de barrage de Bagré, la protection des berges du plan d'eau, et plus largement de l'environnement du bassin versant de cet ouvrage est revenue à la MOB. A l'aube des années 2000, elle est également partie prenante dans la matérialisation de la zone de la Doubégué créée afin de réduire les conflits agriculteurs/éleveurs apparus principalement au milieu des années 1980.

En définitive, les programmes liés à l'État sont certes multiples mais ils souffrent bien souvent d'un manque de coopération entre les associations, et les ONG. A l'exception du faible lien entre le PROGEREF et le PADAB II, tous fonctionnent les uns à côtés des autres sans collaboration. Il paraît donc important de mettre en place un système d'informations, accessible dans l'ensemble de la zone, qui permettrait aux paysans de connaître les différentes possibilités offertes (domaines d'action des organismes, modalités pour faire une demande, etc.). Ces derniers se sentiraient alors moins isolés, mieux épaulés, et entreprendraient davantage.

Face à ces objectifs environnementaux, les associations ont peu à peu évolué : l'Homme est davantage au cœur de leurs préoccupations. A présent, dans la région étudiée, une structure paysanne dynamique et auto-gérée tend à émerger dans le cadre d'un développement endogène. Afin de responsabiliser les populations pour qu'elles participent et s'approprient ces réalisations, des concertations avec les pouvoirs publics et les partenaires au

développement sont mises en place. Parallèlement, les associations impliquées dans la protection environnementale ont évolué en développant la sphère humaine, et de nouvelles structures sont apparues combinant les deux domaines. Suite à une évolution des mentalités mondiales, principalement occidentales, le développement humain a donc clairement pris le pas sur la protection stricte de l'environnement. Ainsi, comme le souligne l'association Dakupa, les financements sont moins difficiles à obtenir dans les domaines de l'hydraulique villageoise, de la santé, de la sécurité alimentaire (semence améliorée, fosse fumière, aide matérielle) que par le passé. Ces actions se développent également dans le cadre des AGR (Activité Génératrice de Revenus).

Enfin, les enquêtes menées auprès des populations soulignent la prise de conscience de la dégradation de leur environnement. Face à cette réalité, les populations appliquent déjà un certain nombre de solutions et désirent le plus souvent aller au-delà ; mais fréquemment elles se retrouvent dans l'impossibilité faute de ressources financières suffisantes et/ou de manque de temps. L'implication des populations du bassin versant de la Doubégué est donc une réalité à prendre en compte.

8.1 L'approche protectrice des années 1970 et 1980

Depuis longtemps, la dégradation des sols et la baisse de la fertilité, du fait de la surexploitation des terres arables, sont deux phénomènes au centre des préoccupations des associations et des organisations de défense de l'environnement. Dans un premier temps, purement protectrices, les actions des organismes ont dans un second temps pris conscience de l'importance de l'association sol/eau/biomasse/homme.

8.1.1 Des CES/DRS purement protectrices

Faisant suite aux recherches démarrées dans les années 1950, les premières actions de grande envergure menées en matière de CES/DRS remontent aux années 1960 avec les interventions de l'ORSTOM. Puis, d'autres projets comme ceux de l'IFAD (*International Found for Agricultural Development*) avec un programme au Niger, du CIEH en collaboration avec l'Université agronomique de Wageningen (programme Sahel) sur le Plateau Central du Burkina Faso, du PSB/GTZ (Programme Sahel Burkinabé/Office de la Coopération Technique Allemande) sous la tutelle du Ministère de l'Environnement et du Tourisme en 1989 dans trois provinces du Sahel burkinabé leur ont emboîtés le pas. Dès le départ, les contraintes ont été une insécurité foncière, qui ne favorisait pas de tels investissements dont la portée était à long terme, des coûts relativement élevés, et le faible encadrement des paysans. Pourtant, des expériences ont montré qu'il était possible de doubler ou même de tripler les rendements grâce à de tels travaux. Comme le soulignaient ROOSE et DE NONI (1998), « *pour répondre aux crises économiques et sociales traduisant de fortes pressions foncières, se sont développées des techniques d'extension de l'agriculture à des zones fragiles et des stratégies modernes de lutte antiérosive tournées essentiellement vers l'équipement d'une petite hydraulique (RTM, CES, DRS,) par les agents du pouvoir central* ».

Ces techniques de CES trouvent leur origine aux États-Unis, suite à la prise de conscience d'une érosion éolienne catastrophique (le « *dust bowl* »), conséquence de

l'extension de cultures peu couvrantes telles que le coton, les arachides et certaines céréales dans la Grande Prairie semi-aride. 20 % des terres cultivables furent dégradées. Quant aux techniques de DRS, elles ont été mises en place par les forestiers autour de la Méditerranée durant la période de 1940 à 1980, afin de restaurer des sols affectés par l'érosion hydrique. L'objectif ultime des DRS était de faire face aux graves pénuries d'eau suite à l'envasement prévu des barrages (30 à 50 ans).

Ces techniques ont alors été testées en Afrique Subsaharienne. Cependant, face aux nombreuses critiques liées principalement aux démarches technocratiques menées trop rapidement sans l'avis des populations locales, elles ont été peu à peu abandonnées au cours de la seconde moitié des années 1970. On peut citer en exemple, l'échec de l'expérience Geres - Volta (Groupe Européen pour la Restauration du Sol de la Haute Volta) réalisée entre 1962 et 1965 dans la région de Ouahigouya. L'intervention a été imposée de l'extérieur sans sensibilisation des populations. Ainsi, en Afrique Subsaharienne, ces dernières ont souvent préféré abandonner leurs terres aménagées par l'État, plutôt que d'entretenir des banquettes antiérosives. Il faut rappeler que ces actions se sont mises en place dans un contexte où la terre appartenait à l'ordre coutumier et non à l'État (les paysans ont alors craint une « ruse » de ce dernier pour s'accaparer leurs terres). De plus, les agriculteurs n'observaient pas de gain de rendements mais une perte de superficie cultivable de 10 à 15 %. « *Pourquoi fournir tant d'effort pour si peu de bénéfice sur la production ?* »

Dans le bassin versant de la Doubégué, cette période correspond à l'arrivée de quelques missions catholiques et organismes qui ont voulu mettre en place des cordons pierreux et des bandes enherbées. Mais faute de suivi et d'encadrement sur le long terme, les populations ont abandonné ces actions.

Pour faire face à ces revers, une nouvelle stratégie a vu le jour. Il s'agit pour les anglophones de la « *land husbandry* », et pour les francophones de la « Gestion Conservatoire de l'Eau, de la biomasse et de la fertilité des sols ». Ces méthodes ont été élaborées, suite aux critiques (fin des années 1970) de nombreux chercheurs et experts (sociologues, économistes, agronomes...) envers les CES et les DRS instaurées bien souvent trop rapidement et sans prise en compte des populations locales (techniques mal adaptées, manque de suivi, de formation, etc.). C'est ROOSE, en 1987, qui a nommé cette nouvelle stratégie : la GCES (mise en place au Burkina Faso). Puis, en 1989 est apparu son équivalent anglo-saxon : la *land husbandry* créée par SHAXSON, HUDSON, SANDERS, ROOSE et MOLDENHAUER. Cette dernière a été appliquée dans plusieurs pays africains anglophones tels que le Kenya, la Tanzanie, l'Ouganda, l'Afrique du Sud...

8.1.2 La prise de conscience de l'importance de l'association sol / eau / biomasse / homme : les GCES

8.1.2.1 Le développement des GCES

Cette nouvelle stratégie a été développée suite aux travaux de Hudson, des années 1960, démontrant que dans les champs africains l'intensification de la culture pouvait réduire les risques d'érosion en augmentant la couverture végétale. Elle a été principalement lancée suite au séminaire de Porto Rico qui s'est déroulé du 20 au 30 mars 1987. Les conclusions de

cette réunion stipulent que seule une minorité des participants restent attachés à la technique des CES, alors que la majorité met en avant l'intérêt des méthodes biologiques. L'approche technocratique est aussi clairement mise en cause dans cet échec des CES. ROOSE (1987) propose alors « *une démarche de type « développement global du milieu rural » s'appuyant sur la perception et la prise en charge du problème par les paysans concernés et s'appuyant sur un choix de méthodes souples issues des techniques traditionnelles* ».

Cette démarche repose également sur une approche participative des populations. Son instauration nécessite plusieurs étapes. D'abord, une phase de mise en confiance et d'évaluation du risque (type d'érosion, causes, facteurs, carte d'aptitude et d'occupation des sols, points de vues des paysans, etc.), puis une phase d'expérimentation quantitative et une démonstration des méthodes de GCES et de lutte antiérosive (cordons pierreux, arbres, fertilité améliorée, travail du sol) sont lancées. Enfin une troisième phase de prévision des aménagements planifiés est mise en place. L'objectif est de rétablir les méthodes traditionnelles en intégrant des techniques modernes complémentaires (irrigation d'appoint, arbres fruitiers, soins phytosanitaires, culture attelée, etc.).

Cette nouvelle approche prend en compte **l'intensification de la productivité des terres, tout en réduisant les risques de ruissellement et d'érosion**. En effet, dans un contexte de défi alimentaire, l'objectif est de doubler la production en 20 ans. ROOSE et DE NONI, en 2004, résumaient l'intérêt de cette nouvelle approche, elle « *consiste justement à gérer au mieux les terres productives, l'eau, la biomasse et les nutriments essentiels au développement harmonieux des cultures. L'intensification de la production augmente la couverture végétale, la biomasse racinaire et les résidus de culture, l'activité de la faune perforatrice du sol et la rugosité de la surface des champs : elle réduit les risques de ruissellement et d'érosion.* » Depuis les années 1990, ces actions ont alors été menées dans les savanes soudaniennes du Burkina Faso. Elles devaient non seulement assurer la durabilité du système en garantissant la protection des ressources naturelles mais aussi permettre d'accroître les rendements par unité de surface cultivée.

8.1.2.2 Le PDR/B, principal acteur dans le bassin versant de la Doubégué

Au Burkina Faso, cette méthode a pris de plus en plus d'ampleur dans certaines régions. Ainsi, depuis des années, les signes de l'épuisement des sols sont devenus particulièrement importants dans la région du Nord, déjà pauvre, mais également du Centre. Dans les zones fortement dégradées, l'épuisement des sols, la pauvreté et l'insécurité alimentaire constituent un véritable cercle vicieux. Ils conduisent à la surexploitation non seulement du capital pédologique mais aussi d'autres ressources naturelles (forestière, faunique, halieutique). Dans ce contexte, les solutions préconisées ont été, en particulier, les technologies de GCES.

Dans la région de Bagré, ces actions ont été menées dans les années 1990 en particulier par le PDR/B (Programme de Développement Rural du Boulgou), remplacé en 2005 par le PADAB II (Programme d'Appui au Développement de l'Agriculture du Burkina Faso). Le PDR/B a été instauré en 1996 à Tenkodogo. Il s'est déroulé en trois phases : d'avril 1996 à juillet 1997, d'août 1997 à décembre 2002, et de janvier 2003 à décembre 2004. Dans le cadre d'étude du bassin versant de la Doubégué, il s'applique essentiellement au secteur amont. Le PDR/B a privilégié une approche « gestion des terroirs » afin de combiner une

gestion durable des ressources naturelles et une implication des populations par des actions participatives. Les trois principaux objectifs étaient l'amélioration de la gestion des ressources naturelles par les ruraux (implication, organisation, capacités endogènes accrues), le perfectionnement des systèmes de production agro-pastoraux et sylvicoles (accroissement de la production et l'amélioration des paquets technologiques), et le renforcement des capacités opérationnelles des structures d'appui (ONG, services d'État, associations, privés). Le PDR/B s'est appuyé sur la mise en place de forums villageois initiés dans le cadre de la décentralisation pour que les habitants deviennent des acteurs clés de ces opérations. La réussite de ces projets repose aussi sur le soutien et la création de groupements (organisation des communautés), la formation des producteurs, des agents du projet et ceux des structures partenaires, l'amélioration des systèmes de production, des ressources financières des populations, la recherche/action, et le suivi - évaluation. Ce type d'action existe également en rive droite du lac de Bagré : ces actions sont menées par le PDI/Z (Programme de Développement Intégré du Zoundwéogo), devenu par la suite le PADL/Z (Programme d'Appui au Développement Local du Zoundwéogo).

8.1.2.3 Les principales techniques

Il convient à présent d'exposer les différents types de conservation de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols. Il s'agit le plus souvent de méthodes traditionnelles, très bien adaptées aux conditions écologiques locales, qui peuvent être « actualisées » par l'introduction de techniques modernes complémentaires (fertilisation minérale, irrigation d'appoint, complément fourrager pour les animaux, réalisation de véritables fumiers, culture attelée, etc.), et servir de bases durables utilisables par les paysans. On peut alors présenter plusieurs techniques appliquées au Burkina Faso.

- Les techniques mécaniques de conservation des eaux et des sols :

- le *zai* (« *se lever tôt et se hâter de travailler la terre en saison sèche fraîche* » en mooré) originaire du Yatenga s'étend vers le sud. Il correspond à la concentration des éléments minéraux du sol et à l'accumulation des matières transportées par le vent dans des trous creusés dans le sol (10 à 15 cm de profondeur, 40 à 80 cm ou 20 à 40 cm de diamètre). Après les premières pluies du mois d'avril, le paysan y dépose la matière organique (une poignée) apportée sous forme de fumier ou de compost avant la période de semis. Cette technique permet la rétention des eaux de ruissellement, le maintien de l'humidité dans le sol, la préservation des semences et de la matière organique, et la concentration de la fertilité. La croissance des végétaux est plus rapide et les rendements meilleurs. C'est une technique souvent employée pour « récupérer » des sols dégradés de type *zipellés*. Elle est principalement utilisée dans la région Nord du Burkina Faso (**photo a** de la **Planche photos 20**) ;
- les demi-lunes sont des cuvettes en demi-cercle creusées et ceinturées avec les déblais disposés en arc de cercle ouvert à l'amont (rayon de 2 à 3 m et profondeur de 30 à 40 cm). Comme pour la technique du *zai*, elles permettent la concentration des éléments minéraux du sol, l'accumulation

des matières transportées par le vent, la rétention des eaux de ruissellement, et le maintien de l'humidité dans le sol ;

- les cordons pierreux, placés le long des courbes de niveau, ralentissent le ruissellement et permettent la rétention de particules terreuses transportées (**photos b et c de la Planche photos 20**). Ils diminuent l'érosion des sols et ont des effets bénéfiques sur les cultures (croissance des végétaux plus rapide, développement foliaire plus précoce, augmentation de la production de matières sèches et de grains) (HAUCHART, 2007). Souvent, ils ne suivent pas précisément les courbes de niveau mais sont placés perpendiculairement à la pente. Il s'agit surtout de cordons à une rangée.
- Les techniques culturales de conservation des eaux et des sols :
 - le labour qui, par l'ameublissement des croûtes formées ou en formation à la surface du sol, favorise la diminution de la vitesse de ruissellement des eaux et l'accroissement des infiltrations ;
 - le buttage et le billonnage permettent de concentrer l'eau dans les sillons et de s'y infiltrer.
- Les techniques biologiques de conservation des eaux et des sols :
 - le paillage consiste à recouvrir le sol d'une couche d'herbes, de résidus de culture (tiges de maïs, mil, sorgho), ou encore de branchages. Il permet l'accroissement de la fertilité du sol et du taux de matière organique, l'accentuation de l'activité de la microfaune (ameublissant le sol et améliorant alors sa structure par l'accroissement de la porosité), la diminution de la vitesse de ruissellement des eaux, de l'action du vent en saison sèche, et la limitation de l'évaporation en faveur des processus biochimiques du sol (**photo d de la Planche photos 20**). Cette technique favorise la hausse des rendements ;
 - les bandes enherbées luttent contre l'érosion des sols. Ce sont des bandes de végétation permanente d'herbes et d'arbustes mises en place dans les champs parallèlement aux courbes de niveau. Etablies perpendiculairement au sens de l'écoulement diffus, elles suivent des critères liés aux sols, aux pentes, et à l'occupation des sols. Ces bandes enherbées favorisent le ralentissement du ruissellement diffus de surface par la rugosité de surface de la végétation ou encore par l'infiltration accrue due à la présence d'une végétation dense. Elles permettent le dépôt de sédiments (lié au deux processus précédents). L'*Andropogon gayanus* (**photo e de la Planche photos 20**) est souvent utilisé pour confectionner ces bandes ;
 - les haies vives jouent le rôle de brise-vent et ralentissent le ruissellement des eaux de pluie. Elles peuvent être réalisées à base d'essences épineuses comme l'*Acacia nilotica*, ou avec d'autres espèces telles que le *Jatropha curcas* agissant comme un répulsif pour les animaux ou le *Moringa oleifera*.

Les principales techniques rencontrées dans le bassin versant de la Doubégué sont les cordons pierreux, les bandes enherbées, le paillage, le labour, et le billonnage (cf. 8.6).



a : Technique du zaï avec compost

Système employé principalement dans le nord du Burkina, qui tend à se développer vers le sud



c : Cordons pierreux

Technique employée à Ounzéogo



d : Technique du paillage

Résidus laissés après la récolte sur parcelle à Gouni



b : Cordons pierreux

Suivant les courbes de niveaux (région de Ouahigouya)



e : *Andropogon gayanus*

Principal végétal utilisé dans la confection des bandes enherbées

Cliché : E. Robert, 2006

Clichés : E. Robert, 2009

Planche photos 20 : Les principales techniques de conservation de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols

L'arbre doit également prendre une place importante dans ces aménagements. Nos enquêtes ont souligné que le reboisement est déjà la principale solution utilisée par la population du bassin versant de la Doubégué (cf. 8.6), et qu'elle fait également partie des actions que les habitants souhaiteraient mettre en place afin de protéger l'environnement (**photo 95**). Ce végétal peut être intégré dans le bloc de cultures dont il va diversifier la production (bois, fourrage, litière, fruit). Il peut également permettre de dégager un revenu et de maintenir le stock organique et minéral du sol (remontées biologiques par les racines profondes et dépôt de litière). Les haies vives doivent être aussi instaurées afin de réduire la divagation du bétail. Ces thématiques seront davantage développées lorsque nous aborderons les questions relatives à l'implantation du *Moringa oleifera* et du *Jatropha curcas* (8.2).



Photo 95 : Plantation d'eucalyptus (secteur aval du bassin versant de la Doubégué)

Clichés. E. Robert, 2009

8.1.2.4 L'importance du développement des associations

La mise en place de cordons pierreux ou de bandes enherbées associée à du compost permettrait une amélioration de la productivité agricole, apportant une motivation supplémentaire aux exploitants. Dans la région Nord, par exemple, l'application du compost et de l'urée a augmenté les rendements respectivement de 107 % et de 92 % par rapport à un champ sans application. La confection seule des cordons pierreux a entraîné une augmentation de 12 %, et si elle est associée au compost de 106 % (ZOUGMORE *et al.*, 2004). Le système le plus efficace serait alors **l'association du compost et de bandes enherbées** (à base d'*Andropogon gayanus* fortement présent à l'état naturel).

Les apports organiques améliorent la structure et la porosité du sol (nombreux pores et agrégats bien développés), favorisant ainsi l'infiltration en augmentant la capacité de rétention de l'eau du sol. Ce meilleur état structural du sol, observé sur les parcelles avec fumure organique, est à l'origine de **l'amélioration de l'infiltration des eaux de pluies**. Les agriculteurs de la région ont totalement conscience de cet impact positif de la fumure. En effet, dès qu'ils le peuvent, la plupart l'applique sur leurs champs afin de maintenir le peu de fertilité du sol et de réduire le ruissellement (**photos a et b** de la **Planche photos 21**). Il est par conséquent impératif de développer les fosses fumières (**photo 15**) (**photo c** de la **Planche photos 21**) dans l'ensemble du bassin versant de la Doubégué. Pour cela, il faut aider les exploitants à acquérir du ciment afin qu'elles perdurent, et que les agriculteurs ne soient pas obligés de les reconstruire chaque année. La majorité des personnes interrogées lors de notre

enquête a souligné cette difficulté : le creusement chaque année, ou tous les deux ans, d'une nouvelle fosse fumière (résultats d'enquêtes, Robert, 2008 et 2009).

Les **barrières semi-perméables de conservation de l'eau et des sols, combinées à l'apport de compost ou de fumier**, permettent donc une **réduction significative du ruissellement et des pertes en terre**. Les cordons pierreux et les bandes enherbées augmentent l'humidité du sol particulièrement en amont des diguettes, et jouent un rôle majeur dans la collecte des eaux de ruissellement. Cependant, la conservation de l'eau sans addition de nutriments ne donne pas lieu à une augmentation significative de la production de la culture. Il est essentiel de combiner les deux.

Enfin, les cultures associées, bien acceptées par les populations, sont également un bon moyen de réduire le ruissellement tout en permettant une bonne productivité. Ainsi, l'association sorgho - niébé permet, 75 jours après le semis, une couverture de 50 % du sol ; sans cette combinaison, elle est de 30 % (MIETTON, 1988). On peut également citer l'association des arachides et du haricot, des arachides et du pois de terre (**photos e et f de la Planche photos 21**) ou encore les trois (**photo d de la Planche photos 21**). Le sol est bien protégé 40 jours après le semis, et les légumineuses ne sont pas gênées par les céréales pendant leur montaison. L'association mil - niébé permet une augmentation des rendements du haricot et une diminution de l'évaporation sous les céréales. De plus, il n'y a pas de compétition d'enracinement (mil plus profond), le niébé est un bon fixateur d'azote, et une plante rampante protégeant bien le sol. Le ruissellement est diminué et les particules transportées piégées. Néanmoins, si l'espacement lors du semis n'est pas assez rapproché, le sol ne sera que partiellement protégé, et de nombreux espaces laissés à nu.

Finalement, il serait intéressant de vulgariser au mieux ce savoir-faire paysan (personnes originaires des Provinces du Passoré, du Sanmatenga venues s'installer dans le bassin versant de la Doubégué). De plus, les agriculteurs interrogés sont demandeurs de formation : ils souhaiteraient mettre en place des techniques freinant les pertes en terre. Cependant, ils craignent souvent de ne pas être assez encadrés et aidés comme cela s'est déroulé par le passé (résultats d'enquêtes, Robert, 2008 et 2009). Ces techniques constituent un espoir certain pour l'agriculture au Burkina Faso, pour peu qu'elles soient améliorées et affectées à des espaces bien définis afin d'avoir les meilleurs effets. Il est essentiel, que les projets se basent sur les méthodes traditionnelles et prennent en compte l'avis des populations. Cependant, il est à noter que des actions purement protectrices demeurent, comme dans le cadre des actions environnementales de la MOB, telles que la mise en défens des berges, l'aménagement des forêts naturelles, les plantations à grandes échelles, etc.

8.2 Un type d'actions poursuivi à l'heure actuelle par la MOB

Le bassin versant de la Doubégué appartient à celui de Bagré géré par la MOB à qui revient la résolution des problèmes de dégradation du couvert végétal, de l'érosion des sols, et de la qualité des eaux. Il faut garder à l'esprit qu'il s'agit de solutions menées à l'échelle du bassin versant du lac de Bagré. Ainsi, leur présentation permet de mieux comprendre les dynamiques et les logiques de préservation de l'environnement en cours dans la région.



a et b : Apport de fumure sur les parcelles cultivées

Fumure introduite dans un champ (rive droite)

Fumure sur parcelle le long de la RN 16



c : Fosse fumièr

construite sans apport de ciment, rebâtie régulièrement



d : Champ cultivé en arachide, pois et haricot



e : Champ cultivé en association de pois de terre et arachides (le 13/07/2009)



f : Zoom sur le champ cultivé en pois et en arachides soumis à l'agressivité des pluies de juillet

Clichés : E. Robert, 2009

Planche Photos 21 : Usage de la fosse fumièr et association de cultures

8.2.1 La mise en défens des berges

À l'heure actuelle, les berges demeurent le siège d'une exploitation importante. Avant, la mise en place du barrage, les populations utilisaient les berges du Nakambé uniquement durant l'hivernage, à quelques exceptions près (Niaogho et Béguédo). Or, depuis la mise en eau de l'ouvrage, dans chaque village, les populations s'adonnent à des exploitations peu contrôlées sur les berges. Chaque exploitant désire s'approprier le maximum d'espace pour ses activités ; des champs agricoles et des sites maraîchers se succèdent alors.

Ainsi, en rive gauche du lac (côté Doubégué), près de 70 % des superficies des berges sont occupées par des unités de production, et 30 % par des formations forestières (**Fig. 39**). La protection est donc infime. Toutefois, la mise en défens des berges est une des mesures préconisées dans les différents rapports rédigés par la MOB. Il s'agit de reboiser sur une bande de 500 m à 1 km (à partir du lac) à l'exception des zones identifiées, limitées, et réservées au maraîchage, en particulier au niveau de Béguédo et Niaogho. La bande doit être enrichie par un reboisement et un enherbement dans la zone de marnage (**Fig. 47**). Ce secteur de mise en défens sera alors soustrait à toute activité agricole, mais ouverte au pâturage contrôlé. Les familles végétales dominantes sur les berges sont entre autres : *Mimosaceae*, *Cesalponiaceae* et *Combretaceae* (GOUEM, 2007). Cette action se met peu à peu en place au niveau du centre éco-touristique avec l'aide des villageois de Bagré. Durant l'été 2009, une plantation de 4 000 plants (dons du PROGEREF) a été effectuée avec l'aide de la population afin de l'impliquer dans cette démarche. Mais ce mode d'action est encore peu réalisé sur l'ensemble des rives du lac de barrage. Face aux rares actions de la MOB (notamment son manque de moyens financiers), le PROGEREF s'est lancé dans de vastes campagnes de protection des berges depuis 2005 : « le projet berge » (cf. 8.4.1). En définitive, la MOB et le PROGEREF se sont partagés la gestion de cette région : respectivement entre la Doubégué et Bagré et entre Boussouma et Loanga. Certes, ce partage permet la mise en place de solutions, sur des superficies plus petites, plus rapidement. Cependant, il manque une concertation et une vision plus large qui permettrait une gestion plus globale.

8.2.2 L'aménagement des forêts naturelles

Le second axe mis en œuvre par la MOB est l'aménagement de forêts naturelles. Selon la FAO (1991), cette activité recouvre « *tous les aspects administratifs, juridiques, sociaux, techniques et scientifiques de la conservation et de l'utilisation des forêts. Elle implique divers degrés d'intervention humaine délibérée, allant de la sauvegarde et de l'entretien de l'écosystème forestier et de ses fonctions à un intérêt particulier pour certaines espèces ou groupes d'espèces précieuses sur le plan social ou économique, visant à améliorer la production de biens et de services liés à l'environnement* ».

Dans le bassin versant de la Doubégué, et plus largement dans celui de Bagré, la pression démographique a entraîné une importante dégradation du couvert végétal. De nombreux prélèvements sont ainsi effectués pour les activités agricoles et le bois de chauffe. Les forêts de Sablogo et de Boussouma (province du Boulgou) sont actuellement exploitées, ainsi que quelques massifs épars situés entre Gogo et Gombousougou, et la zone périphérique du parc national de Kabore-Tambi (province du Zounwéogo).

Le but est d'aménager la forêt de Boussouma où existent de fortes pressions des populations sur les ressources forestières. Il n'y a donc pas d'exploitation rationnelle. Un plan d'aménagement est nécessaire afin de sensibiliser les habitants sur les thèmes de la protection environnementale, de former des agents forestiers et agroforestiers, et de mettre en place des activités de coupes permettant la régénération et la gestion de la forêt par les populations (**Fig. 47**).

Par ailleurs, la forêt de Sablogo, située à une vingtaine de kilomètre à l'est de la ville de Tenkodogo, qui s'étend sur 30 830 ha constitue une des réserves forestières les plus importantes de la région : elle approvisionne Tenkodogo en bois de feu à hauteur de 80 % de sa demande (OUEDRAOGO, 1998). Il a fallu mettre en place des mesures afin de rationaliser et pérenniser l'exploitation des ressources naturelles en impliquant les populations : création de cahiers des charges afin de régler la gestion, les droits et les devoirs des utilisateurs des ressources ; mise en place de groupements de gestion forestière organisés et veillant à la mise en œuvre des termes du cahier des charges ; mise en exploitation des parcelles renfermant au moins 10 m³ de bois/ha ; pratique d'une sylviculture (restauration par rejets de souches et par semis directs, assainissement par l'extraction du bois mort) ; mise en place d'une limite entre la zone agricole et la zone sylvo-pastorale, etc.

Enfin, dans le cadre du programme de gestion des ressources naturelles du Sud-Ouest et de l'Est, un processus de reboisement de 27 ha a été lancé dans un premier temps au niveau de cinq villages. Puis, il a été étendu à dix villages en rive gauche (Bagré, Yakala, Lenga, Goyiga, Koumboré, Zangola, Djerma, Niaogho, Béguédo et Zougoula) et à sept sites en rive droite (Foungou, Gomboussougou, Gogo, Bonsongo, Monboya, Nagrigré, Dassangan et Fingla). Ainsi, des reboisements s'effectuent aussi au niveau des principaux villages du lac de Bagré.

8.2.3 Les plantations à grande échelle

Des plantations à grandes échelles sont entreprises afin de mettre en place une gestion nationale. Les actions menées se feront au rythme de 200 ha/an sur 5 ans. Elles comprennent la production de plants, des plantations, l'entretien et le gardiennage. Cinq zones ont été identifiées : Boussouma en bordure de la forêt naturelle, Gomboussougou vers Gogo (zone actuelle de prélèvement), la lisère du refuge des hippopotames (pour limiter les incursions éventuelles), la zone pastorale de la Doubégué, et la zone pastorale de Niassa (**Fig. 47**).

Pour les actions de reboisement et de plantation, la MOB a mis l'accent sur le choix d'espèces arboricoles utiles (nééré, karité, manguier, etc.) pour les populations, afin que ces dernières se sentent impliquées dans le projet et qu'elles participent davantage à la protection des berges.

Par ailleurs, il existe, au sud de Loanga, deux plantations de neem, qu'il conviendrait de dupliquer et de développer.

La présentation de ces trois premières solutions souligne à quel point l'intérêt de la MOB porte sur la protection de l'environnement principalement dans l'objectif de la réalisation de son projet éco-touristique. On peut déplorer qu'elle ne prenne que peu en compte les populations et leurs aspirations. En effet, le choix de secteurs de plantations et

d'aménagements des forêts naturelles s'est fait sans concertation. On peut craindre que le succès de la mise en place de ces actions soit mitigé, voire nul. La MOB devrait également intégrer les habitants de la zone dans la commercialisation du bois et l'agroforesterie.

8.2.4 L'appui à la commercialisation du bois et à l'agroforesterie

Les actions menées pour l'appui à la commercialisation du bois sont l'aménagement d'aires de dépôt, l'amélioration des pistes d'accès aux zones de coupe de bois, et le rapprochement des exploitants et des transformateurs, afin d'établir un commerce au niveau local.

Les mesures agroforestières¹⁰⁵ prévues, dans la province du Boulgou, consistent en la mise en place d'une régénération assistée par la protection de jeunes pousses (karité, *Acacia albida*), la réalisation de plantation dans les zones cultivées (nééré, *Acacia albida*), et la construction de haies vives (jujube et *Acacia nilotica*). L'agroforesterie est une approche intégrée et intégrante. Il s'agit d'un des moyens les plus économiques et écologiques pour restaurer des sols, améliorer l'économie de l'exploitation (petite ou grande), et permettre le développement d'une agriculture durable. Cependant, elle est encore peu développée dans les bassins versants de Bagré et de la Doubégué.

En rive droite, la province du Zoundwéogo envisagerait également une régénération naturelle assistée, la mise en place de haies vives, ainsi que des cultures en couloir, des brises-vent, des parcs verts (parcs à bétail entourés de haies vives) et des fermes écologiques (1 ha entouré de haies vives et planté d'arbres).

Au Burkina Faso, les espèces ligneuses utilisables et qui pourraient être plantées dans le bassin versant de la Doubégué sont :

- l'*Acacia nilotica* : facile à reproduire, à croissance initiale rapide, recommandé pour créer des haies vives défensives, mais peu apprécié par les paysans ;
- l'*Azadirachta indica* ou neem : très facile à produire, ses feuilles peuvent être utilisées en paillis comme engrais vert ;
- le *Balanites aegyptiaca* : buisson à brouter retenant bien les particules ;
- le *Commophora africana* : facilement utilisable pour faire des boutures ;
- le *Faidherbia albida* : « chouchou » de l'agroforesterie ;
- le *Guiera senegalensis* : crée des micros buttes sableuses fertiles ;
- le *Lannae microcarpa* ou raisinier : très rustique, demandé par les paysans, il est intéressant de lui adjoindre le prunier (*Sclerocarya birrea*)), le *Parkia biglobosa* ou nééré, le *Piliostigma reticulatum*, le *Ptérocarpus erinaceus* (grand intérêt fourrager), etc.

Rappelons que les espèces ligneuses sont très variées dans la région de Tenkodogo. L'eucalyptus est le genre dominant suivi du neem. Le premier se rencontre sous forme de

¹⁰⁵ Selon l'ICRAF (Centre International pour la Recherche en Agroforesterie), l'agroforesterie est le « terme collectif pour des systèmes et des technologies d'utilisation des terres où des ligneux pérennes (arbres, arbustes, arbrisseaux, sous-arbrisseaux et par assimilation palmiers et bambous) qui sont cultivés délibérément sur des terrains utilisés par ailleurs pour la culture et/ou l'élevage dans un arrangement spatial ou temporel, et où existent des interactions écologiques et/ou économiques entre les ligneux et les autres composantes du système. Ces interactions peuvent revêtir bien des formes, positives de préférence ou négatives, et ne restent pas nécessairement stables dans le temps ».

lignes isolées entre les champs, le long des routes ou encore sur des parcelles entièrement dédiées au reboisement collectif. Actuellement, les eucalyptus sont remplacés par les filaos. Les autres espèces (*Lannea*, baobab, néré, *Acacia albida*, anacarde, manguier, karité) sont dispersées dans toute l'exploitation agricole. Les paysans protègent particulièrement les pieds de manguier et d'anacarde (branches épineuses, tiges de mil et briques). Cet arbre a été introduit dès la période coloniale ; et dans les années 1990, le gouvernement burkinabé a lancé « en grande pompe » la plantation de l'anacardier (noix de cajou) parfois qualifié « d'arbre du pauvre et de fruit du riche ».

Il faut noter que chaque arbre est planté ou conservé dans un but spécifique : bois de service, propriétés pharmaceutiques, fruits, feuilles pour l'alimentation. On assiste également depuis 10 - 15 ans à une réelle prise de conscience des populations (souvent âgées de 30 - 40 ans) du rôle de l'arbre et de l'importance de replanter, reboiser la zone de la Doubégué, afin de protéger les sols et leur environnement immédiat, comme nos enquêtes le souligneront (cf. 8.6), en particulier dans la zone de Loanga.

Le fait que la MOB s'implique dans un certain nombre de solutions relatives à la question du bois n'est pas un hasard. En effet, au Burkina Faso, où la déforestation annuelle est de 15 000 hectares (FAO, 2000) (principalement pour la mise en place de champs agricoles), c'est une problématique centrale. Le bois représente 9 % de la consommation totale d'énergie. Le bois de feux correspond à 85 % du total du PIB de tous les produits ligneux commercialisés dans le pays, suivi par le bois de service, 12 %, et le bois d'œuvre, 3 %. Enfin, 93 % du bois consommé au Burkina Faso est importé.

8.2.5 La création d'un sanctuaire animalier

Le dernier domaine d'intervention de la MOB est le projet de création d'un sanctuaire ou d'un refuge s'intégrant dans le volet touristique du lac. Il se nomme Woosi et se localise dans la zone amont du barrage (**Fig. 47**). Il vise à augmenter la quiétude des hippopotames et à étendre la conservation des zones humides et de la biodiversité du barrage. Il s'agit également de promouvoir l'utilisation durable de ces ressources au profit des populations riveraines. Le projet couvre une superficie de 6 000 ha et se situe sur chaque rive à hauteur des villages de Fougou et Yakala. Avant la mise en eau du lac de barrage de Bagré, ces deux contrées avaient de nombreux contacts entre elles. La mise en place de ce sanctuaire/refuge pourrait alors permettre le maintien d'un lien entre ces deux espaces. De plus, cette création a permis le désenclavement de Yakala grâce à l'aide apportée par le PDR/B.

Le sanctuaire, ou refuge de Woosi, sera une réalisation concrète du plan d'action national en matière de conservation des zones humides et de la diversité biologique. Au plan local, ce sanctuaire ou refuge fera partie intégrante du schéma directeur d'aménagement du bassin versant du barrage de Bagré, en cours d'élaboration.

Les populations de la zone ont été à l'initiative de ce projet. La région à préserver a été délimitée et matérialisée. L'inventaire de la faune a été réalisé et les personnes déplacées presque en totalité. Néanmoins, le statut fait toujours l'objet de nombreuses discussions sur le choix entre deux possibilités : celui de sanctuaire ou de refuge. Actuellement, le second semble mieux accepté par les communautés et leur serait plus bénéfique. Mais la nécessité de

protection simultanée des deux rives implique une forte autorité que seule l'État semble être en mesure d'exercer par le biais de la création d'un sanctuaire.

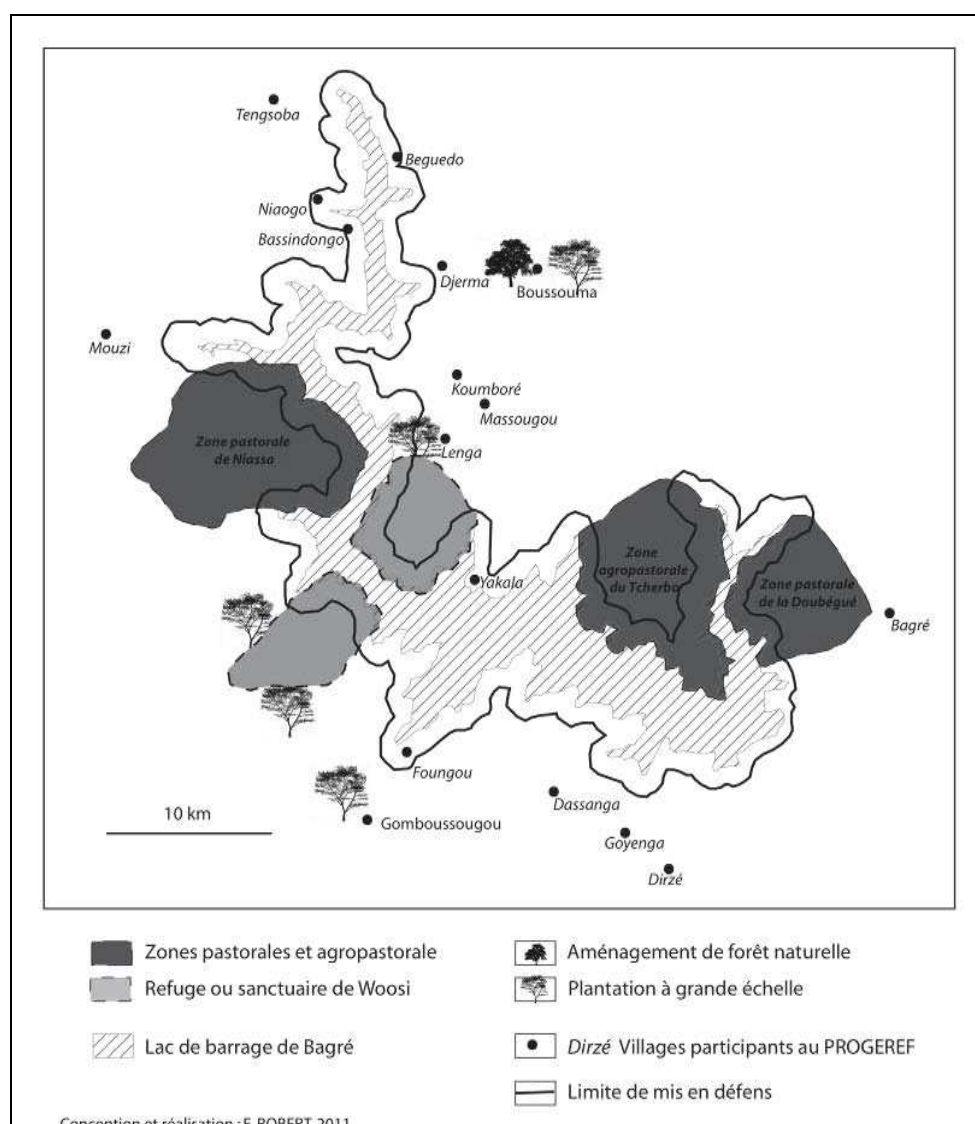


Fig. 47 : Les solutions envisagées et appliquées par la MOB

Sources : BDOT, BDNT, MOB

En définitive, en regard de ces actions (protection de forêts naturelles, création de sanctuaire/refuge, mise en place de plantations à grandes échelles), L'environnement semble au cœur des solutions envisagées par la MOB. Or, faute de moyens, une partie de ces actions est entreprise quand d'autres attendent leur financement. Le regard des dirigeants burkinabés et des membres de la MOB paraît axé sur le projet éco-touristique au sens strict, sans prendre en compte l'environnement social et naturel de cet ouvrage. Il suffit pour cela d'observer la couverture médiatique lors de son inauguration le 6 juin 2009. Il semble que, peu à peu, la composante touristique prenne le pas sur les autres domaines.

Dans le cadre de la protection de l'environnement et du développement socio-économique de la région, une question est au cœur des débats : comment allier l'essor des activités pastorales et agricoles ? De tout temps, elles ont connu des différends. Or, depuis les années 1980, ils se sont aggravés, affectant les communautés mais également l'espace

« naturel ». Il a donc fallu remédier à ces conflits, ce qui a été fait partiellement en créant des zones pastorales localisées dans la zone d'intervention de la MOB. C'est à cette dernière, en partie, que revient également le rôle de l'installation et du développement de ces lieux.

8.3 La création de la zone pastorale de la Doubégué

Dès la fin des années 1970, et principalement pendant les années 1980, s'est instaurée une réflexion sur la mise en place des zones pastorales de la Doubégué et du Tcherbo. La réalisation s'est déroulée en trois étapes. Les années 1980 ont été caractérisées par la matérialisation théorique des zones. Pendant les années 1990, la prise de conscience de la dégradation de ces espaces s'est opérée officiellement. Néanmoins, il a fallu attendre l'aube du XXI^{ème} siècle pour que se mettent peu à peu en place les objectifs initiaux dévolus aux zones pastorales.

8.3.1 La mise en place du cadre théorique

Face aux migrations Peul et à l'extension des zones cultivées, des études ont été lancées dès la fin des années 1970 afin de réorganiser cet espace. La volonté d'édification du barrage hydroélectrique de Bagré, a également expliqué l'intérêt porté sur ces questions de la dégradation, de la protection du couvert végétal, et par conséquent de l'accès des différents acteurs à la ressource en terre et en eau. Dans un premier temps, suite à la nouvelle installation de Peul, dès 1973, et à sa proximité avec le cours d'eau Nakambé, la région de Zangola a été rapidement retenue pour la mise en place de la zone pastorale.

Dans un second temps, en 1985, la zone de la Doubégué, associée à celle du Tcherbo ont toutes deux été identifiées par le Département chargé de l'Élevage comme des zones à vocation pastorale pouvant participer à la valorisation des terres libérées de l'onchocercose. L'objectif originel n'était donc pas de lutter directement contre les conflits agro-pastoraux mais de trouver une finalité à ces terres nouvelles assainies, suite aux travaux de l'AVV.

1988 a été l'année de l'inscription des deux zones, s'étendant sur 15 000 ha, comme zones pastorales. Cependant, en 1990, suite à une étude de la SOGREAH, leur superficie a été ramenée à 11 500 ha. Ces aires sont devenues une réponse aux problèmes d'accès à la terre, et aux tensions entre les communautés. Néanmoins, nonobstant cette affirmation, les zones n'étaient toujours pas matérialisées et demeuraient au stade de projet, alors que les conflits, bien présents, ne cessaient d'augmenter. Un agriculteur Bissa résumait bien la situation « *il faut que les Peul aient leur terre à part et nous notre terre, sinon les problèmes ne finiront jamais* » (FAURE, 1996). L'origine de l'augmentation des litiges est à lier à la pression foncière et l'importance des troupeaux : « *il n'y a plus de terres libres pour les bêtes* » (FAURE, 1996). Ces deux activités sont donc davantage en concurrence : voies de passages réservées aux animaux occupées par les cultures, et amplification du phénomène par l'ennoiement de 15 000 ha de pâturage (mise en eau du barrage).

Il a fallu attendre 1997, pour que la MOB fasse appel à un groupement de bureaux d'études, Jules Van Lancker/Sahel Consult. Cette expertise a été réalisée afin d'organiser l'activité d'élevage tout en contribuant au développement agro-socio-économique de la région du lac de barrage Bagré. Au terme du rapport, la zone de la Doubégué s'étendait sur 4 500 ha, dont 500 ha occupés par des champs, et celle du Tcherbo se trouvait réduite à 1 500 ha.

L'étude soulignait également l'importance et l'urgence de la création de ces zones en les justifiant par une triste réalité : sur les 11 500 ha prévus initialement dans l'étude de la SOGREAH, seuls 6000 ha demeuraient intacts, **soit une dégradation de 48 % en 7 ans**. Par conséquent, il était impératif de matérialiser concrètement les deux zones afin de freiner l'évolution de ces atteintes. Les objectifs étaient alors la planification, l'organisation et la gestion de cet espace.

8.3.2 La matérialisation

En 1998 et 1999 le programme d'élevage à Bagré a reçu une aide financière de la FED (Fonds Européen de Développement). Ainsi la DAPF (Direction des Aménagements Pastoraux et du Foncier) en collaboration avec la DRA (Direction Générale de l'Agriculture) a amélioré la connaissance du système pastoral : dénombrement, typologie des systèmes d'exploitation. Ce projet prévoyait également la réalisation d'infrastructures : parcs de vaccination, forages, postes d'élevage, magasins de stockage de sous-produits agro-industriels. Or, en réalité ces aménagements ont été peu nombreux.

Suite à ces avancées, à la fin de l'année 1999, la MOB, consciente que les réalisations techniques ne suffisaient pas, fit appel aux autorités provinciales du Boulgou afin de mettre en place une commission chargée de la conduite de missions d'information et de sensibilisation pour l'occupation et l'exploitation de la zone pastorale de la Doubégué. Cette démarche s'insérait dans un contexte de développement des démarches participatives.

En conséquence, au début du mois de mars 2000, une rencontre fut organisée sous la présidence du Secrétaire Général du Boulgou, abordant et réaffirmant les objectifs de la création des zones pastorales. Il ne s'agissait plus seulement de gérer la pression foncière, mais de répondre à un ensemble de problèmes : le relogement des pasteurs, suite à la submersion des zones pâturées, la sécurisation des activités agricoles, la fin des conflits éleveurs/agriculteurs, le développement intégré des activités agricoles et zootechniques, la sauvegarde environnementale, et la complémentarité amont/aval. Afin d'atteindre ces objectifs, il était alors essentiel de délimiter physiquement la zone par un pare-feu circulaire, de réaliser les infrastructures, et d'améliorer la couverture sanitaire du cheptel. Toute une série de réflexions portait également sur les conditions d'occupation des terres, leur exploitation, l'organisation de la gestion, l'aménagement des infrastructures, le paiement des redevances, les sanctions. Suite à cette réunion, une mission d'information et de sensibilisation a été réalisée à l'aide d'auditions publiques départementales (23 et 24 mars 2000 à Bagré, Tenkodogo et Garango) et villageoises (le 30 et 31 mai, et le 8 et 9 juin à Bagré, Sasséré, Kwila, Séla, Ounzéogo, marché de Sanogho, Lergho, de Ziglakoulpélé).

Une délimitation des zones s'est alors opérée en avril 2000. La zone pastorale de la Doubégué a conservé une étendue de 4 500 ha, celle du Tcherbo en a « gagné » 1 125 ha pour une superficie totale de 2 625 ha (**Fig. 47**). Néanmoins, des conflits ont perduré et l'on peut déplorer que des agriculteurs sous-informés sur l'occupation de la zone pastorale aient chassés *ipso facto* certains éleveurs. En 2001, l'importance de l'aménagement de la zone pastorale a été de nouveau soulignée dans le « Plan intégré de développement et de gestion de la zone du projet Bagré, horizon 2010 ». Une nouvelle concertation avec les acteurs sociaux, autour des conflits éleveurs/agriculteurs, a alors été organisée en avril 2003. Elle a concerné le

départ forcé d'agriculteurs, frauduleusement installés dans la zone pastorale, et leur relogement.

En 2005, la zone pastorale de la Doubégué comprenait 110 chefs d'exploitation pastorale, 1 030 habitants, 3 097 bovins, 1 661 ovins, 1 322 caprins et 82 asins. En mai 2007, elle réunissait trois campements Bagré Peulh, Zangoula Simba et Zangoula I.

En théorie, il semble donc que l'ensemble des problèmes ait été pris en compte : tant sur le plan de la protection environnementale que sur le plan social (conflit, importance de planifier la gestion foncière). Or, en pratique ce n'est pas encore le cas. Les conflits persistent dans la zone pastorale où des agriculteurs étaient toujours présents en décembre 2008, et hors de la zone pastorale, les problèmes relatifs à la divagation sont toujours présents. Ce fait s'explique par une absence de réglementation au niveau local du mode d'accès aux pâturages, en particulier pendant la saison sèche durant laquelle les animaux sont autorisés à manger les fanes, les tiges et les pailles de mil, de sorgho, d'arachide, de niébé et de riz, laissés sur place après les récoltes. Enfin, il semble que les charbonniers venant des villages riverains de la zone pastorale soient responsables de la coupe et de la carbonification des espèces de première catégorie (MAHRH et MOB, 2007).

8.3.3 Un manque de moyens financiers et techniques

La mise en place de la zone pastorale de la Doubégué devait résoudre les problèmes de sur-occupation des terres, de conflits pasteurs/agriculteurs, et permettre de développer l'activité d'élevage. Elle a, alors, attiré la majorité des nouveaux Peul (arrivés dans les années 1980) du bassin versant de la Doubégué et des éleveurs venant de régions plus éloignées.

Ainsi, suite à l'extension des superficies cultivées par les agriculteurs de Pata, les pasteurs de ce secteur ont été obligés de chercher des pâturages plus loin et de s'installer dans cette zone. Seuls demeurent les plus anciens Peul désirant finir leur vie dans ce village où ils ont toujours vécu.

Les éleveurs se sont alors sentis abandonnés. Dans un contexte de décentralisation rurale trop rapidement initié, la MOB, manquant de budget, a dû lancer en 2004 et 2005 des dossiers d'appel d'offres pour l'aménagement de la zone pastorale : création des pare-feu, parcellement de la zone, étude agrostologique (étude botanique des plantes herbacées) afin d'évaluer la capacité de charge. Il semble que l'État se soit détourné de la gestion de ces espaces, les laissant aux mains d'organismes locaux, régionaux, sans leur donner les moyens nécessaires pour être efficaces. La zone pastorale a rencontré par la suite des problèmes financiers. L'appui - accompagnement est inexistant et le nombre de réalisations techniques est faible. L'encadrement est déficient. Il existe deux forages équipés de pompes manuelles et d'abreuvoir, un parc de vaccination (**photo 96**), un magasin, un point de vente de produits vétérinaires, et un logement pour le technicien de l'élevage¹⁰⁶ (non encore recruté). De plus, peu de ces établissements sont opérationnels. Or, selon l'Article 60 de la RAF chapitre II, « *la mise en exploitation effective d'une zone pastorale est subordonnée à l'existence d'au moins*

¹⁰⁶ L'Article 55 du chapitre II des aménagements pastoraux de la RAF stipule que « *l'aménagement d'une zone pastorale comporte le parcellement, la délimitation des pistes à bétail, la création de points d'eau, la construction de parcs à vaccination et de marché à bétail* ».

un parc de vaccination préalablement constaté par les services de l'Elevage ». Enfin, il faut dissuader les contrevenants et donner un statut juridique à la zone pastorale.

Par ailleurs, il est essentiel que cette zone déjà dégradée (SOGREAH, 1997) soit enrichie en espèces locales fourragères ligneuses ou herbacées pérennes : *Pterocarpus erinaceus* (pour ses feuilles), *Piliostigma thonningi* (pour ses gousses), *Sclerocaria birrea* (pour ses fruits), *Balanites aegyptiaca*, *Andropogon gayanus*, etc. On peut également préconiser, comme pour l'ensemble de la région du lac de Bagré, une mise en place de plantations d'enrichissement, de cultures fourragères, de sites antiérosifs, une formation des populations et des comités de surveillance de la zone. En effet, les zones pastorales de la Doubégué et du Tcherbo sont composées de 494 ha de forêts galerie et de bas-fonds (6,9 %), de 199,5 ha de savane arborée (2,8 %), de 4 371 ha de savane arbustive (66,4 %) et de 1 700,5 ha de jachères (23,9 %) (MAHRH et MOB, 2007). A ces aménagements, il faudra ajouter des pistes à bétail d'au moins 50 m de large afin d'accéder au lac et aux différents points d'eau. Cette action permettrait de réduire les effets du piétinement et donc d'ensablement du lac. La MOB a envisagé la mise en place de 112 km de pare-feu (désherbage, brûlis, système de feu provoqué) ou la plantation d'arbres (*Eucalyptus camaldulensis* ou *alba*), en particulier dans les zones pastorales de la Doubégué (42 km) et de Niassa (70 km).



Photo 96 : Parc à vaccination fermé de la zone pastorale de la Doubégué, secteur Zangola

Cliché : E. Robert, 2008

Ce manque de moyens est également observable à l'échelle de la région de Bagré. Il n'existe qu'un marché de bétail, deux aires d'abattage, deux pharmacies vétérinaires et deux parcs qui ne fonctionnent pas ou partiellement. Il n'y a ni pistes aménagées pour le bétail ni abattoirs fonctionnels (MAHRH 2002, *in* Hourizadeh 59p, pp13).

Enfin, aux vues de la superficie de ces deux zones, on peut s'interroger sur la durabilité et la viabilité de ces zones pastorales sur le long terme, mais également sur le moyen terme. En effet, il est à craindre, dans un avenir proche, que ces espaces ne deviennent insuffisants.

8.3.4 Le risque de la séparation de l'agriculture et de l'élevage

L'un des objectifs est le développement des activités zootechniques et agricoles, or le manque de moyens limite leurs mises en place. De plus, l'instauration de cette zone pastorale

est vécue, de part et d'autre, comme une séparation (par les agriculteurs et par les éleveurs). Ainsi, chacun pratique son activité indépendamment de l'autre.

Les agriculteurs, dans leur ensemble, ont semblé satisfaits de cette création, espérant ne plus avoir à subir la divagation des animaux. Pendant une période, certains s'étaient autorisés à chasser les éleveurs vivant en dehors cette zone, sous prétexte que ces derniers occupaient soi-disant leurs terres. De plus, bien qu'une interdiction ait été mise en place, des agriculteurs réfractaires continuent de cultiver des champs dans la zone pastorale. Les conflits perdurent alors principalement aux alentours de cette dernière (Zabatorla, Zaba, Pata) mais aussi à Gouni Peul, à Kabri, et à Knoknoghin. Logiquement, les problèmes entre les pasteurs et agriculteurs sont plus faibles dans les secteurs où l'élevage est peu présent comme à Kou, Ouléoguen, Sassemma, Loanga, Nama, Dazé, Vagavaga, Séla, Boura, Kalakoudi, Sébrétenga, et Zano. Ils sont inexistantes dans les zones portant peu de marques de l'activité pastorale et/ou de passage de bétail (Soné, Ouréma, Tenkodogo, Pésséré, Zabo, Bado, Vagvague, Ouangaou, Bassaré, Belcé, Kibolina, Guella) (résultats d'enquêtes, Robert, 2008 et 2009).

Les Peul, dans un premier temps, ont aussi été plutôt favorables à la réalisation de cette zone pastorale. Ils ont quitté les villages de Bassaré, Zano, Ounzéogo, Koama et Zaka Peul (résultats d'enquêtes, Robert, 2008 et 2009). En leur octroyant légalement des terres, cette zone pastorale allait leur permettre de structurer leur activité, et les protéger des conflits avec les agriculteurs. Ce sont pour ces raisons que les éleveurs de la zone de Pata se sont installés dans ce nouvel espace. Néanmoins, l'encadrement technique étant faible, les éleveurs sont aujourd'hui déçus. De plus, ils ont constaté la mort d'un certain nombre d'animaux, dont les causes seraient selon eux l'herbe, l'eau ou encore Dieu. Des éleveurs ont d'ores et déjà quitté cet espace.

Cependant, la création de cette zone pastorale a permis de réduire certains des conflits agro-pastoraux et de mieux prendre en compte les aspirations des éleveurs. Toutefois, il demeure une impression de vouloir cloisonner les éleveurs en les regroupant dans des espaces rigides, et en les séparant des cultivateurs par crainte de champs dévastés et de conflits. Or, il est nécessaire d'aller au-delà de cette démarche.

Ainsi, deux systèmes se développent en parallèle. D'un côté, les pasteurs diversifient leurs ressources par la mise en culture ; de l'autre, les agriculteurs pratiquent de plus en plus l'élevage. Or, logiquement, la pratique de la culture est interdite dans la zone pastorale. La solution développée par certains pasteurs est de s'installer à la lisière de cette dernière où ils cultivent quelques parcelles pendant que les enfants et les adolescents font paître le bétail dans la zone pastorale. L'instauration de cet espace a donc entraîné la mise en place d'un nouveau fonctionnement des concessions Peul, alors que l'un des objectifs de la création de ce secteur était que les populations Peul vivent à l'intérieur.

Il est à craindre que ce processus de séparation renforce l'idée des agriculteurs que les éleveurs ont de moins en moins d'importance dans la gestion des terroirs. En définitive, on peut déplorer que l'axe central de la création de la zone pastorale ne soit pas à terme un développement associant l'élevage et l'agriculture, chacun désirant rester séparé de l'autre. L'intégration des deux activités, pourtant essentielle, n'est par conséquent ni commencée ni même envisagée.

8.3.5 L'importance d'une rectification et de la mise en place d'un développement intégré

Pendant de nombreuses années, le système pastoral a été perçu par les autorités comme « autodestructeur ». Les différents gouvernements (de l'époque coloniale, puis après l'Indépendance) ont cherché à écarter les éleveurs de la gestion des ressources, et/ou à les sédentariser. Ils ont été mis à l'écart et ne disposent que de peu de droits.

Or, afin de limiter les conflits, il est essentiel de clarifier le droit aux ressources et d'établir une sorte de cadastre où chaque parcelle est répertoriée avec le nom de son propriétaire. Il faudrait également, régler au niveau local le mode d'accès aux pâturages, qui demeure imprécis. Ainsi, les conflits entre utilisateurs pour les ressources devraient diminuer et cette sécurité territoriale favoriserait l'investissement.

Par ailleurs, un long processus doit se mettre en place par des campagnes de sensibilisation d'une part, et de formations d'autre part. Les réunions qui se sont déroulées en 2000 et 2003 sont un bon point de départ. Néanmoins, elles demeurent insuffisantes dans une région qui n'a que très peu connu une intégration entre les activités d'élevage et agricoles. Il semblerait opportun de s'inspirer de l'exemple de l'AVV qui a vulgarisé la culture attelée, et ainsi facilité l'intégration de ces deux activités. Dans ce système, les éleveurs ont pu maintenir la fonction d'épargne de leur bétail (troupeaux confiés aux Peul) et les agriculteurs se sont servis de l'animal comme d'un moyen d'investissement et de soutien à la production.

Le principal problème de la dégradation des sols réside dans leur pauvreté originelle (faible stabilité structurale et faible taux de matière organique), et leur manque de protection. Il est alors essentiel de restaurer leur fertilité. L'élaboration de production intensive de matière organique en s'appuyant sur un système intégré agriculteur - éleveur semble intéressant. Il faudrait peu à peu développer les parcs d'hivernage, et instaurer des cultures fourragères protectrices des sols pour le bétail. En contrepartie, les éleveurs, suite au développement de l'embouche bovine et ovine, céderaient une partie de leur fumier afin d'enrichir les champs des agriculteurs. Cet apport viendrait en addition à la fumure organique produite par les fosses à fumier des cultivateurs. Ces dernières sont en effet faiblement productives en raison des sols et du manque de moyens techniques (ciment). L'association du paillage, du dépôt de fèces, de fumure organique et d'urines riches en azote et en potassium permettrait un accroissement du taux de phosphore disponible dans le sol, une augmentation du pH et réduirait ainsi l'acidification des sols. Des relations de coopération, d'entraide, pourraient se développer et permettre un développement durable de la zone parallèlement à une modernisation et à une intensification de ces deux activités.

Par ailleurs, la mise en place d'une agriculture intensive, en s'appuyant sur une structure d'encadrement, est primordiale. Elle doit également combiner des connexions avec le monde pastoral. Conjointement, il est essentiel de moderniser l'activité d'élevage par l'exploitation par exemple de vaches laitières : 60 sont prévues dans la zone pastorale de la Doubégué. L'amélioration de ce secteur dispenserait les enfants Peul du gardiennage des animaux ; activité à laquelle ils sont le plus souvent les seuls dévolus. Ces derniers pourraient être alors scolarisés. Adultes, ils seront plus informés de leurs droits, et prendront davantage part à la vie politique de la région. Enfin, il est aussi primordial de renforcer la capacité des pasteurs à s'engager dans des débats politiques affectant directement leurs vies.

Afin de réaliser ces actions de formation et de sensibilisation, il semble essentiel que l'État prenne en charge la transmission du savoir technique en s'appuyant sur les groupements existants qui seraient de bons relais (enquêtes, Robert, 2009). Le développement du microcrédit (PADAB II, association de Dakupa, crédit à court terme, ligne de crédit à moyen terme) pourrait également renforcer ces actions par l'acquisition d'outils, et l'aide à la mise en place d'embouche. L'encadrement, pendant quelques années, serait une première étape ; puis une aide logistique pourrait perdurer seule. Ainsi, ces techniques seraient transmises de génération en génération.

8.3.6 Pour une gestion efficace de l'environnement

On peut s'interroger sur la pertinence de laisser les animaux venir se nourrir des résidus en période sèche. D'une part, le piétinement important, en particulier des ovins et des caprins, a des conséquences néfastes. D'autre part, les résidus sont dévorés, laissant peu à peu les champs à nu soumis à l'action érosive des premières pluies au début de la saison pluvieuse. Ce fait tout à fait légal, mais nuisible pour le maintien de la stabilité structurale des sols, devrait être modifié au niveau national tout en obligeant, en échange, les agriculteurs à pratiquer des cultures fourragères.

Suite à des enquêtes réalisées dans cette zone, nous pouvons mettre en évidence la prise de conscience par les populations de la dégradation de leur environnement que ce soit des sols ou du couvert végétal (Robert, 2008 et 2009).

Il faudrait s'appuyer dans un premier temps sur une démarche exogène réalisée par la MOB, les associations et les organismes sous tutelle des ministères, afin d'apporter l'appui technique et surtout de définir les règles de jouissance et d'accès à la propriété ; pour que, dans un second temps, une stratégie endogène de protection des ressources sur le long terme puisse se mettre en place. Cette dernière ne se réalisera pas sans une approche intégrée des activités. Ensemble, ces associations et organismes pourraient ainsi définir d'un commun accord les secteurs à protéger, à reboiser (pépinières, plantations) dans le cadre d'une coopération. Par exemple, des plantations de *Jatropha curcas* pourraient être développées afin de protéger les sols, d'exclure les animaux (feuilles), et de mettre en place une gestion collective de sa graine (pour ces vertus) (cf. 9.1.2).

Face au recul du pouvoir traditionnel, il semble que les groupements soient les plus à même de mener ces opérations. Le rôle de ces derniers, souvent cantonné au domaine agro-pastoral, pourrait être élargi à celui de la santé et de l'éducation par le montage de projets soumis à des organismes (comme le PADAB II) qui permettraient leur financement conjoint.

Elaborées dans une vision de séparation des activités, mais dans l'objectif de réduire les impacts environnementaux, il faut à présent que les zones pastorales se développent de manière intégrée aux fonctions agricoles. Comme nous l'avons déjà dit, le pâturage, s'il demeure modéré, est un élément favorable au maintien de l'équilibre général et au progrès économique. La finalité étant l'essor de l'ensemble du bassin versant de la Doubégué par la complémentarité des activités agro-sylvo-pastorales, il conviendrait d'instaurer un système intégré durable par la mise en place de réactions de complémentarités permanentes (*feed*

back) entre les divers sous-systèmes : les produits de l'un servant d'intrants à l'autre. Cette intégration permettrait :

- une diversification dans l'utilisation des ressources ;
- une réduction des risques ;
- une utilisation plus complète du facteur travail pour une productivité élevée, une augmentation des revenus, et un meilleur accès aux biens et aux services ;
- une intégration des composantes pour une meilleure interaction et complémentarité ;
- une utilisation plus efficace de l'énergie biologique et chimique du système, et donc une moindre dépendance vis à vis de l'extérieur ;
- une durabilité des écosystèmes peu dépendants des intrants extérieurs et moins pollués, une augmentation de la rentabilité ;
- une stabilité des exploitations agricoles et donc une diminution de l'exode rural.

Il serait alors possible d'associer l'agriculture et l'élevage : la culture profiterait de la fumure et le bétail des résidus de récoltes. La gestion de la fumure animale peut être réalisée par trois moyens : le parage de nuit au piquet sur parcelle, les parcs de nuits mobiles, et les parcs de nuit fixes. Un autre système a été testé par l'INERA, au Burkina Faso. Le fumier a été épandu sur des parcelles dans le cadre de rotation triennale (**Tab. 48**). Ce n'est pas la seule voie : complémentarité entre l'élevage et la pisciculture (lac de Bagré), ou encore entre la foresterie et l'élevage comme les espaces de bourgou (prairies semi-aquatiques dominées par des graminées fourragères (*Echinochloa stagnina*)).

Année 1	Saison des pluies	Sorgho	
	Saison sèche		Parcage des animaux sur résidus de sorgho
Année 2	Saison des pluies	Coton	Humification par plus de fumier sur le parc
Année 3	Saison des pluies		
	Saison sèche	Maïs	Epandage et enfouissement du fumier avant semis

Tab. 48 : Gestion de la fumure animale dans un système cultural triennal

Source : d'après l'INERA

Ces tentatives d'association se développent peu à peu. Pour illustrer ce fait, nous allons nous éloigner du référentiel qu'est le bassin versant de la Doubégué pour nous pencher sur deux exemples implantés au niveau de la province : le PROGEREF et le PADAB II.

8.4 Essais d'intégration de différents types de solutions

La MOB n'est pas le seul organisme à intervenir dans le secteur de Bagré. On compte également le PROGEREF et le PADAB II. Leur zone d'action est plus vaste et concerne la Province du Boulgou et la région Centre-Est. Ils tentent d'intégrer la protection de l'environnement et le développement humain.

8.4.1 Le PROGEREF ou le début de la mise en place de solutions intégrées associant la promotion des populations et la protection de l'environnement

L'étude de la mise en place du PROGEREF, de ses actions actuelles et futures, est essentielle pour comprendre les mutations s'opérant dans la gestion des problèmes humains et environnementaux, qui sont interdépendants. Il est, selon nous, vital de souligner leur relation.

8.4.1.1 L'essor du PROGEREF

Ce programme est le résultat d'un long processus d'évaluations et de consultations (des populations, des ONG, des services techniques et des bailleurs de fonds) débuté en décembre 1999 avec l'appui technique et financier du Fond Africain de Développement (FAD). Le PROGEREF est officiellement lancé le 09 juillet 2005. Il a été prolongé jusqu'en décembre 2010. Sa zone d'intervention est principalement comprise entre Boussouma et Loanga, alors que la MOB gère l'espace entre la Doubégué et Bagré.

Regroupant 40 agents, il est en partenariat avec la DGE (Direction Générale de l'Environnement) et sous tutelle administrative du Ministère de l'Environnement et du Cadre de Vie. Il tire ses fondements de la Politique Nationale Forestière et de la Lettre de Politique de Développement Rural Décentralisé (LPDRD) en matière de protection et de restauration des ressources naturelles.

Dans le cadre de ce programme, trois régions ont été retenues : le Sud-Ouest, l'Est et le Centre-Est comprenant 10 provinces dont 180 villages d'intervention directe. Cette sélection régionale a été guidée par trois critères : l'existence d'un potentiel forestier insuffisamment valorisé, l'état d'une dégradation accélérée des ressources forestières sous la pression anthropique essentiellement, et le constat d'une forte incidence de la pauvreté couplée à une faible couverture géographique des infrastructures socio-économiques de base.

Les objectifs sont d'améliorer la gestion des ressources forestières et fauniques par l'atténuation de la pression anthropique et la reconstitution de la diversité biologique tout en permettant de générer des emplois et d'ainsi contribuer à l'accroissement des revenus ménagers. Le but est également de maintenir les potentialités hydroélectriques, agricoles, pastorales et piscicoles de cet espace, en freinant le comblement du lac lié à l'érosion des sols. Afin de réaliser ces actions, un comité de pilotage a été constitué. Il existe également une unité de Gestion du Projet au niveau de la coordination nationale (basée à Ouagadougou) et six antennes PROGEREF, divisées en trois régionales (Fada N'Gourma, Tenkodogo et Gaoua) et trois provinciales (Gayéri, Dano et Batié).

Pour comprendre l'intérêt considérable du PROGEREF, il est essentiel de présenter ces trois composantes. La première, qui est aussi la principale, porte sur la gestion durable des ressources forestières par l'atténuation de la pression anthropique, le soutien aux projets forestiers, la reconstitution de la diversité biologique et la création d'emplois source d'élévation du niveau de vie. Le projet prévoit l'aménagement de forêts, de berges, de ranch de gibier, la création et l'aménagement des ZOVIC (Zones Villageoises de Chasse). La seconde concerne directement les populations par le renforcement des capacités et l'amélioration des conditions de vie de celles-ci. Elle a mis en place un Fond de développement Communautaire pour le financement des actions, l'appui au crédit agricole, la promotion des AGR pour les femmes, le renforcement des capacités organisationnelles et

techniques des acteurs, et l'appui à la recherche d'accompagnement. Enfin, la dernière composante porte sur la gestion du projet en lui-même.

8.4.1.2 Une approche participative pour une meilleure gestion des ressources forestières

Les étapes de l'avancée du programme ont été annuelles. Des ateliers régionaux ont été effectués en 2005. Puis, en 2006, des ateliers départementaux ont été mis en place et des animations amorcées avec les 16 villages riverains sélectionnés : neuf en rive gauche (Lenga, Koumboré, Djerma, Yakala, Niaogho, Béguédo, Bagré, Massougou, Tsengoba) et sept en rive droite (Fougou, Bassidingo, Goyenga, Dassanga, Dirzé, Mouzi). 14 des 16 localités ont marqué leur adhésion au processus d'aménagement. Dans chaque village, il existe un comité de gestion des berges composé de cinq personnes en moyenne. Chargé de la surveillance, il observe la situation et peut faire appel à la population lorsque cela est nécessaire.

2006 et 2007 ont donc été les années de l'information et de la sensibilisation pendant lesquelles les différentes animations et les ateliers de concertation se sont déroulés. Les interventions portaient surtout sur l'état de dégradation des berges, leur protection, leur aménagement, et les mesures d'accompagnement (aménagement des bas-fonds avec des puits à grands diamètres ou de forages, et financement de micro-projets permettant à l'exploitant de s'équiper en matériel agricole). Un an de concertation, avec les populations, a été nécessaire pour délimiter les bandes qui devraient être enrichies, libérer la bande occupée, et accepter la réalisation des différentes actions, en particulier l'enrichissement.

Ces différentes activités ont conduit à formuler un diagnostic participatif. Les propositions des différents groupes d'acteurs ont été nombreuses :

- l'enrichissement des berges (dans les zones de protection totale de 100 m et de protection rapprochée) (**Fig. 48**) ;
- le semis direct et l'enherbement dans la zone de marnage (espèces hydrophiles) ;
- la création, l'enrichissement et la protection des forêts ripicoles ;
- la gestion intégrée de la fertilité des sols (cordons pierreux, diguettes et terres végétalisées, fosses fumières pour l'amendement des champs) ;
- l'aménagement des zones de pâtures.

L'ensemble des questions foncières a été également résolu par la signature de procès-verbaux de palabre, par des concertations entre les différents responsables de l'accès à la terre et par des négociations pour récupérer les terres et signaler les bandes négociées.

L'année 2007 est aussi celle des premières réalisations : 30 000 plants plantés sur 100 ha. Il est essentiel de souligner que les espèces retenues sont celles se développant de manière naturelle dans cette région : *Acacia seyal*, *Acacia nilotica*, *Acacia senegal*, *Balanites aegyptiaca*, des *Prosopis*, *Khaya*, *Jatropha curcas*.

Les espèces peuvent être réintroduites aisément par semis de grain, éclat de souches ou boutures selon l'espèce. Nous pouvons regretter que ce soit le semis direct qui ait été retenu pour la réhabilitation des berges. Il nous semble que la technique de la plantation des arbres aurait été plus appropriée (probable meilleur taux de réussite et meilleure réceptivité de la population). La régénération naturelle est dominée par les espèces de la famille des

Mimosaceae, *Cesalpiniaceae*, *Combretaceae* et *Balanitaceae*. Quant à la strate herbacée, elle est principalement composée d'*Andropogon gayanus*, de *Vetiveria nigritana* suivi de *Sporobolus pyramidalis* et de *Panicum anabaptistum* (GOUEM, 2007).

Ainsi, pour résumer, la zone de 100 m au-dessus de la zone de marnage (zone de protection totale) comprend des espèces disposant d'un système racinaire développé pouvant retenir un maximum de terre. Pour le périmètre de protection rapprochée, le choix s'est porté sur des essences utilitaires pour les populations (fruits, charbon, biocarburants, etc.). Il comprendra aussi des aménagements de stabilisation et de protection du sol (cordons pierreux, diguettes enherbées, etc.) (HOURIZADEH, 2008).

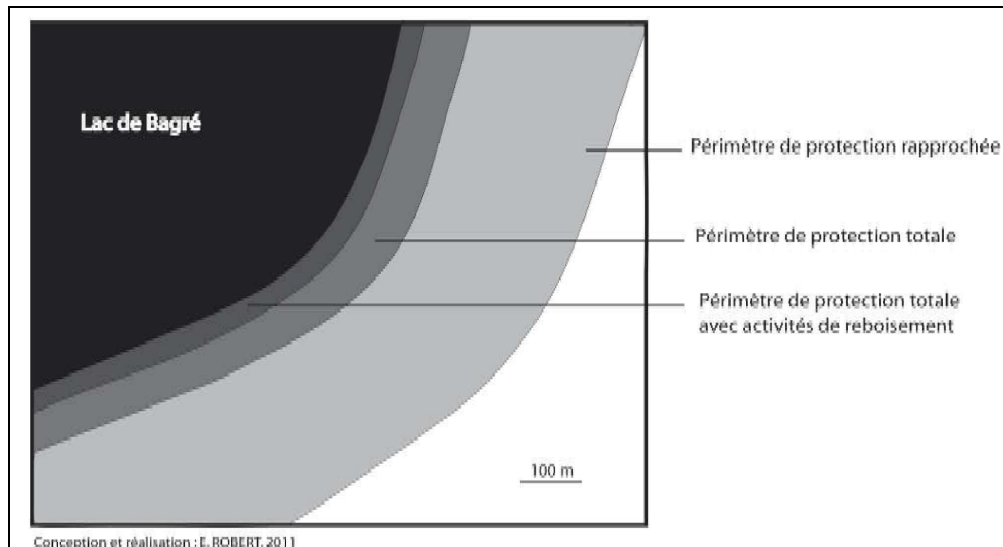


Fig. 48 : Périmètres définis pour protéger les berges du lac de Bagré

Source : Schéma extrait du plan d'action du PROGEREF 2007

En 2008, le nombre de villages a été porté à 19 et 785 ha ont été enrichis avec 70 515 plants. En 2009, de nouvelles bandes ont été délimitées afin de poursuivre le projet sur plus de 2 000 ha (22 villages). Par ailleurs, des ravines ont été identifiées afin d'être traitées.

Néanmoins, quelques faiblesses existent dans ce projet et elles ont été soulignées par ZIGA (2006). Tout d'abord, le plan ne quantifie pas annuellement les activités à exécuter. Elles sont exposées de manière globale. De plus, les acteurs ne se sentent pas assez informés du contenu du projet. Des mesures d'interdiction ne sont pas non plus prévues à l'encontre des nouvelles défriches des berges. De plus, ce programme utilise le *Jatropha curcas* sans une optique d'utilisation de ses graines. Or, ces dernières, si elles ne sont pas utilisées, peuvent constituer un risque pour la pollution des eaux. Cet arbre peut également servir à la fabrication de biocarburants. Cette espèce, plantée ici par défaut, pourrait être génératrice de nouveaux revenus. Il serait alors possible de combiner le reboisement et la protection des berges, à l'accroissement des revenus des exploitants. Ainsi, il conviendrait de planter cet arbuste sur les berges (en faisant attention à son utilisation) et en bordure des champs, et il faudrait disséminer les variétés d'*Acacia* sur les sites à vocation agricole (retour à un système plus intensif).

Afin de comprendre le succès et la bonne participation des villageois, il est important de prendre en compte la seconde composante du PROGEREF.

8.4.1.3 Des micro-projets et des infrastructures : pour une participation effective

La mise en place de l'aide au microprojet est très importante et bien reçue par les villageois. De même, le fond communautaire a été créé afin d'aider le financement d'actions communautaires. Le projet doit être inférieur à 6 millions de F CFA, soutenu par le Comité Villageois de Développement (CVD) et correspondre à certains critères : infrastructures sociales et équipements (éducation, santé, hydraulique et stockage), promotion de l'apiculture, moustiquaire imprégnée, kits de dépistage du VIH, de MST, sensibilisation, aménagement et gestion des bas-fonds (site antiérosif, traitement des ravines, fosse fumièrre, reboisement). En 2008, 28 millions de F CFA ont été accordés (coût total de 46 millions de F CFA).

Il est également important de développer le crédit pour les habitants afin de permettre l'achat d'outils de travail ou encore de créer d'autres activités comme le commerce, l'artisanat, etc. Ainsi, il est possible pour les femmes de faire une demande pour un projet d'AGR.

Chaque village a des préoccupations propres qui doivent être prises en compte à travers ces mesures d'accompagnement. Le projet général devrait également financer des projets communautaires non coûteux afin d'encourager les habitants des villages riverains déterminés dans la réalisation d'activités (plantations, protection de berges dans le cadre d'un développement socio-économique). La prise en compte également des aspects socio-culturels serait un facteur favorable au succès de l'ensemble des réalisations.

Le programme PROGEREF est également à replacer dans un cadre plus large qui est celui de la mise en défens de l'ensemble des berges du lac de barrage de Bagré sur une bande de 500 à 1000 m de large. Il s'agit d'une très vaste tâche pour laquelle la MOB a apporté son aide lors de la délimitation et de la sensibilisation des populations riveraines. Néanmoins, il ne s'est rien passé en termes d'aménagement, bien que la MOB ait pris l'engagement de s'impliquer dans le reboisement. Cependant, depuis 2008, des réunions pour la préparation de campagnes de reboisement se sont déroulées (ainsi que des échanges téléphoniques), mais les actions concrètes sont toujours manquantes.

En responsabilisant les comités villageois de gestion des terroirs, le PROGEREF montre sa volonté de réunir l'homme et son milieu pour un développement commun. Il n'est pas le seul à travailler sur les questions environnementales participatives. Bien que se déroulant au niveau provincial et dépendant en parti de l'État, le programme PADAB II aborde également ces interrogations, mais avec un autre angle d'attaque.

8.4.2 Le PADAB II, remplaçant éclairé du PDR/B

Le PADAB-II, remplaçant du PDR/B, a connu des évolutions dans ces orientations.

8.4.2.1 Le cadre de mise en œuvre et les objectifs du PADAB II

Le PDR/B a été mis en place en 1997. Les principaux domaines d'actions du PDR/B ou PADAB I étaient la confection de cordons pierreux, de diguettes, de fosses fumières, l'enherbement, le reboisement, et l'aménagement des bas-fonds. Le PDR/B prévoyait la réalisation de reboisements à petite échelle sur des plantations privées, la promotion de foyers

améliorés, de séchoirs solaires afin de diminuer la consommation de ligneux, et des projets de type CES/DRS. Il a pris fin en 2005, et a été remplacé en 2007 par le PADAB II. Le PDR/B était un projet autonome, alors que le PADAB II est un programme géré par un service de l'État d'une durée de deux ans renouvelable. Il est financé par l'État et le Danida¹⁰⁷. Ce projet prend jour au sein d'un cadre politique qui a fortement évolué : en 2000 par la mise en place du Programme d'Actions Prioritaires du Cadre Stratégique de Lutte contre la Pauvreté (CSLP), en 2002 par la LPDRD, et en 2004 par la Stratégie de Développement Rural. Ce projet s'insère dans un processus de décentralisation et de déconcentration des services de l'État.

Les objectifs principaux du PADAB II sont la croissance économique, l'amélioration des revenus dans le secteur rural, et la sécurité alimentaire (**Tab. 49**). Les buts spécifiques sont au nombre de cinq : préserver le capital sol, augmenter la productivité par activité, développer les coopérations, intégrer la fumure et les cordons, former aux techniques d'entretien, de confection sur la demande des promoteurs et des acteurs, et mener des actions communautaires sur 5 ha.

D'un point de vue environnemental, le PADAB II a mis l'accent sur la filière bois. En effet, dans la région Centre-Est, comme dans l'ensemble du Burkina Faso, les formations forestières diminuent face à l'accroissement continu des superficies mises en culture. Elles sont également soumises à l'exploitation du bois, comme source d'énergie, à la pratique des feux de brousse (bien que cette dernière devienne de plus en plus rare). **Les ressources forestières représentent 95,5 à 97,7 % (DRECV/VE, 2008) du bilan énergétique de la région Centre-Est.** La consommation en bois - énergie augmente avec l'accroissement de la population. Les besoins sont devenus supérieurs à la disponibilité. Ainsi, le déficit en bois de feu s'aggrave. Les prélèvements s'effectuent au-delà des possibilités des milieux forestiers et semis - naturels aux dépend de la fertilité des terres (pailles et résidus de récolte ramassés, émondage, abattage d'arbres d'ombrage, etc.). Il s'agit d'une exploitation minière des ressources ligneuses combinée aux défrichements anarchiques entraînant la dégradation du couvert végétal et une déforestation croissante. Dans la région du Centre-Est, le bilan de l'utilisation du bois de feu est même négatif, et la production de bois et charbon contrôlée par la Direction Régionale de l'Environnement et du Cadre de Vie (DRECV) ne représente qu'une faible part de l'économie réelle de la filière de la région Centre-Est

Dans le bassin versant de la Doubégué, les chiffres présentés au cours du chapitre 4 sont particulièrement explicites : réduction des superficies de 68,7 % à 27,1 % pour les formations dites « naturelles ». Il existe des Groupements de Gestion Forestières (GGF) qui gèrent en particulier les plantations périurbaines de Tenkodogo.

Afin de remédier aux problèmes observés dans la région Centre-Est, et plus précisément dans celle de la Doubégué, le PADAB II a 5 objectifs (**Tab. 49**).

¹⁰⁷ L'Agence danoise pour le développement international est l'organisme officiel danois d'aide au développement, rattaché au Ministère des affaires étrangères du Danemark.

PADAB II	
Objectifs globaux	<ul style="list-style-type: none"> - renforcer les capacités des acteurs privés et publics : promotion d'initiatives en amont et à l'aval de la production dans une logique entrepreneuriale ; - développer des liens entre le secteur privé et la gestion décentralisée de certains équipements : complémentarité avec les autres partenaires gouvernementaux, techniques et financiers, cofinancement des projets présentés ; - améliorer les revenus et les systèmes de productions : surtout Agrosylvo-pastoraux (ASP) ; - promouvoir les filières à fortes potentialités, renforcer les capacités de planification, de gestion, de suivi, d'évaluation au niveau des DRAHRH et de ses services partenaires ; - promouvoir un alignement sur des principes et des normes d'intervention régionale, intégrer et être cohérent avec les politiques nationales (lien avec les politiques régionales) ; - développer un tissu d'offres de service au niveau régional.
Objectifs Régionaux	<ul style="list-style-type: none"> - augmenter la production : plantations à buts énergétiques, maintien de l'arbre dans les champs, transfert de la gestion des petits massifs à des collectivités locales ou à des exploitants organisés, formés, bénéficiant de crédits ; - améliorer la réglementation : arrêt de la délivrance de permis de coupe aux acteurs non membre d'une coopérative de bûcherons ; - impliquer davantage les collectivités locales dans la gestion forestière : travail d'accompagnement des communes pour créer et mettre en valeur des espaces de conservation ; - restructurer la filière : identification et définition des métiers, professionnalisation des agents, concertation interprofessionnelle, réduction des concurrences ; - faire des économies d'énergie : vulgarisation des foyers améliorés.

Tab. 49 : Objectifs globaux et régionaux du PADAB II

8.4.2.2 L'élaboration d'un microprojet

Afin de connaître les attentes des populations concernant le PADAB II, des ateliers d'information ont été organisés dans 30 communes. Ils ont permis de retenir les filières clés, de créer les fiches de micro-projets (communautaires ou privés) et de les faire évoluer.

Les filières retenues sont principalement l'agriculture (arachide, niébé, maïs, paprika, fosse fumièr, bande enherbée, cordon pierreux), le maraîchage, l'activité halieutique (pêche, pisciculture), l'élevage (bovin, petits ruminants, porc, aviculture (œufs, dindons)), l'environnement (produits forestiers non ligneux (karité, néré) et le bois/énergie, *Jatropha curcas* (bioénergie)). Il est important de souligner que cette dernière filière est déficitaire en regard des autres projets (proportions). Néanmoins, la sélection du *Jatropha* souligne l'intérêt porté à cette espèce au niveau national. Toutefois, il n'existe pas encore d'infrastructure pour sa transformation en biodiesel. Mais, Antoine Bambara (planificateur pour le Ministère de

l'Environnement) ne cache pas son intérêt pour son développement (entretien du 02 décembre 2008). Le *soumbala*, issu de la transformation du néré, est également très porteur. Dans la région du Centre-Est, les filières prioritaires sont alors surtout le poisson, le niébé, l'aviculture, et le bois/énergie.

Le processus d'élaboration d'un projet se déroule en 6 étapes. Les acteurs doivent remplir une fiche de microprojet. Une demande d'appui est alors soumise à l'approbation d'un comité d'octroi. Pour qu'il soit accepté, celui-ci doit correspondre à une des filières clés. Puis, s'opère une session de présélection au niveau provincial, avant qu'il soit soumis à un comité doctoral régional présidé par la chambre régionale d'agriculture qui donne son accord avec l'appui des techniciens. Le projet est alors soumis au financement du PADAB II. Le promoteur doit faire preuve de mobilité et verser sa contribution financière sur un compte bancaire (l'apport financier varie entre 0 et 5 %). Le protocole de cofinancement est alors lancé ainsi que le décaissement de fonds pour les Promoteurs. Le montant des microprojets collectifs doit être compris entre 20 000 F CFA et 12 millions de F CFA, et ceux individuels sont de 6 millions F CFA maximum. Lors de la première session, 109 microprojets ont été accordés. Chaque nouvelle session a été le témoin de l'acceptation de davantage de projets (Tab. 50).

L'exemple concret de protocole de co-financement entre un particulier et le FDR/PADAB II pour la réalisation de fosses fumières et de bandes enherbées peut être présenté. Le montant total était de 563 000 F CFA, dont 342 500 F CFA apportés par le promoteur. Il est important de souligner que le montant total englobe le coût de la main d'œuvre, les matériaux et d'autres dépenses. Le PADAB II participe aussi à la formation du promoteur pour la tenue de la comptabilité, il donne un appui technique, et supervise le microprojet.

Date	Session	Projets élaborés	Projets acceptés
Décembre 2007	2 ^{ème}	5 575	716
Juillet 2008	3 ^{ème}	4 061	1 236

Tab. 50 : Projets acceptés et financés dans le cadre du PADAB II (année 2007-2008)

L'étude du PADAB II permet également de souligner les limites actuelles de la décentralisation. En effet, la cohabitation des deux modes de fonctionnement n'est pas sans poser problèmes. Ainsi, le bureau d'étude dont le travail porte sur deux ans n'a pas les mêmes impératifs que les fonctionnaires de l'État prenant part au projet. Les temps de réactions et d'actions ne sont pas les mêmes. Le personnel du bureau d'étude se déplace sur le terrain, suit les microprojets, et prend connaissance des changements, des demandes effectuées par les populations. Il suit la réalisation de projets. Les fonctionnaires sont, quant à eux, éloignés du terrain et n'ont pas cet impératif du résultat. A l'intérieur même du PADAB, il existe donc un système fonctionnant à deux vitesses qui est dommageable pour le bon déroulement du programme.

La coopération entre la protection de l'environnement et le développement mise en place par ces deux exemples (PROGEREF et PADAB II), appuyés par l'aide public, semble être une bonne voie. En effet, cette planification, sur quelques années, avec un financement plus important que celui des associations, paraît bien fonctionner. Néanmoins, les actions

lancées de manière sporadique (exception faite de la mise en défens des berges) entraîne un manque de coordination. Il est alors nécessaire que ce problème soit résolu afin que s'opère un développement global de la région. Ne faudrait-il pas mieux travailler village par village en fonction des réceptivités de chacun, ou sélectionner deux ou trois zones comprenant 3 - 4 villages (action à l'échelle de bassin versant à taille humaine) et œuvrer avec eux pendant 4 ans puis se déplacer ? Cela peut sembler dans un premier temps sélectif et non équitable, mais sur le long terme, cette solution serait davantage porteuse, plus pérenne et engloberait l'ensemble du bassin versant de la Doubégué.

Par ailleurs, ces deux projets soulignent à quel point, il est important de responsabiliser et de faire participer la population. Le rôle de l'aménageur est alors essentiel. Il doit comprendre que ce milieu rural fonctionne comme un « système géodynamique » (PRINCIPE, 1992)¹⁰⁸.

Après avoir présenté les programmes et projets existants dans la région d'étude, il est intéressant d'aborder le monde associatif à travers l'exemple de l'association Dakupa représentative de l'évolution dans les domaines d'intervention (purement environnemental puis davantage axée sur le développement humain), puis de l'exemple de l'ATTRABA, pour qui le développement passe par l'amélioration des semences, et plus largement l'instauration des AGR.

8.5 Une volonté de création de richesses

8.5.1 L'association Dakupa : le recul de la protection environnementale « au profit » de l'humain

Le PADAB II et l'association Dakupa œuvrent dans le même but visant la croissance et le développement d'une agriculture durable. Tous les deux luttent contre la pauvreté en créant des conditions favorables pour une augmentation des revenus des producteurs et des opérateurs régionaux de la production agro-sylvo-pastorale.

L'association Dakupa est une ONG créée en 1993 dont le bureau exécutif comporte 12 membres. Elle comprend 35 animateurs ou agents de développement communautaires salariés, travaillant dans les domaines de l'environnement et de la sécurité alimentaire, de l'hydraulique villageoise, de la santé, de la promotion des AGR, et des droits humains. Dans le Boulgou, elle rassemble 42 groupements ou associations affiliées (GVF, GVH, associations socio-professionnelles). Depuis 2006, suite aux demandes grandissantes, elle s'est étendue à une nouvelle province : le Koulpéogo. L'association regroupe 5 000 personnes. Ses partenaires sont essentiellement les collectivités locales, les services techniques, et des ONG internationales comme *Water Aid*, *Intermon Oxfam*, LWR Frères des hommes Europe, Danida, Cuso, FAED, FAO, etc.

À sa création, les demandes concernaient principalement du matériel agricole (charrue, charrette, etc.). La charge du bénéficiaire variait entre 5 et 25 %, le reste étant subventionné. Au milieu des années 1990, suite à la Conférence de 1992 de Rio et à la dégradation avancée

¹⁰⁸ Le milieu rural peut être comparé à la planète terre. Il est sous la dépendance de forces internes et externes agissant les unes sur les autres qui doivent être pris en compte dans leur globalité.

des terres, l'autre cheval de bataille était logiquement l'environnement. L'association a alors soutenu de nombreux projets de restauration par l'instauration de pépinières, des reboisements collectifs et individuels, des plantations d'arbres utilitaires, et des formations. Elle a également participé à la promotion de fosses fumières et à la réalisation de cordons pierreux avec l'aide et l'appui du PDR/B.

Néanmoins, suite au manque de partenaires et aux nouvelles orientations prônées, Dakupa s'est détournée de son domaine de prédilection pour s'orienter, comme le PADAB II, vers les AGR (embouche bovine, ovine, caprine, filière porcine, etc.) et les domaines de la santé, de l'hydraulique, de l'eau potable. Ainsi, une des fiertés de l'association a été la mise en place de deux unités de production de beurre de karité s'élevant à 15 t/an. Malgré ces réussites, ce choix d'écarter les actions purement environnementales est regrettable. Les membres de l'association soulignent cette réalité, et désirent poursuivre des actions dans ce domaine. Mais les formes et les orientations des aides ont évolué (subventions mondiales conditionnées par l'existence d'un volet humain). Par ailleurs, les techniciens avaient espéré que, suite à leur première formation, les villageois s'approprieraient les techniques et donc les renouvelleraient, les entretiendraient, et répareraient les cordons et les bandes enherbées. Or, les villageois, se sentant délaissés, ont abandonné ces réalisations qui ont donc peu à peu perdu leur efficacité.

En définitive, il semble que le système associatif, non dépendant du « rythme » de l'État, soit efficace. Cependant, il dispose de financement moindre que le PADAB II. Il doit alors prendre en compte ses soutiens financiers au risque de mettre en retrait les actions de protection environnementale.

Dans ces deux derniers exemples (Dakupa, PADAB II), le but à atteindre est le développement des activités ASP et leur renforcement, mais la place de l'environnement a reculé. En privilégiant le développement économique au détriment de la protection de ce dernier, l'État et les associations risquent de ne pas pouvoir résoudre les problèmes essentiels comme le maintien de la fertilité des sols et la diminution de la dégradation végétale. Sans la mise en place de solutions de protection et d'évolution dans les systèmes afin de mieux gérer le capital sol, les finalités de ces organismes ne seront que partiellement atteintes.

Une autre association a également pour objectif le développement humain, mais cette fois-ci par l'accroissement de la productivité. Elle tend à se développer dans le bassin versant de la Doubégué. Elle concerne directement la production agricole, premier échelon pour l'augmentation des revenus des paysans et l'amélioration de leur situation alimentaire. Il s'agit des semences améliorées mises en place par l'ATTRA/B.

8.5.2 Les semences améliorées dans la région de la Doubégué : l'ATTRA/B

Dans la région de Tenkodogo, il existe un centre de production de semences améliorées et certifiées géré par l'ATTRA/B déjà très professionnalisée (**Photos 97, 98 et 99**).

Cette association existe depuis 15 ans, mais le projet n'a été lancé qu'en juillet 2007 avec l'aide de *Lutherian World Relief* et de la caisse populaire de crédits pour les intrants. Elle s'intègre aussi au PADAB II dans le cadre de micro-projets pour la production de soja.

L'objectif est que les producteurs produisent en grande quantité des semences, regroupées ensuite dans les magasins des villages afin d'être vendues.



Photo 97 : Pousses de maïs et niébé **Photo 98 : Sacs de récoltes de maïs** **Photo 99 : Grenier pour cultures**
L'ensemble des photos a été pris au centre de Gourgou (association ATTRA/B)
Clichés : E. Robert, 2009

Les semences sont produites avec l'aide de l'INERA. L'association a ainsi été inscrite sur la liste des producteurs semenciers, et peut donc recevoir de cet institut les semences de base¹⁰⁹ permettant de produire la semence certifiée. Les cultures du niébé et du maïs ont été retenues afin d'éviter toute perte totale suite à une maladie ou à une invasion d'insectes. Les producteurs individuels sont sensibilisés à la production de semences et à l'utilisation des intrants (**Tab. 51**). Le rendement (maïs et niébé) est alors de 400 kg/ha.

Culture	Semence	Décis	Systoate	NPK	Urée
0,5 ha de niébé	8 kg	1 l	0,5 l	½ sac	½ sac
0,5 ha de maïs	10 kg	1 l	0,5 l	½ sac	1 sac

Tab. 51 : Quantité de semence et d'intrants recommandés par l'ATTRA/B pour le maïs et le niébé

L'association voudrait passer de 205 à 410 producteurs disposant chacun de 0,5 ha de maïs (principalement de type KEJ, mais aussi KEB et KPB) et de 0,5 ha de niébé (K VX496452D, K VX6011IT91D-994). Cette augmentation concernerait essentiellement la production de niébé. Le choix s'est porté sur ces deux types de cultures facilement maîtrisables et fortement consommés au Burkina Faso. Depuis 2008, le soja est aussi peu à peu intégré afin de répondre à la forte demande de *soumbala*. Une usine de Ouagadougou est particulièrement intéressée pour le griller afin de nourrir les animaux. L'association réfléchit également sur la mise en place du sésame (enquêtes de terrain, Robert, 2008 et 2009).

Les semences sont conditionnées en avril, et regroupées dans les magasins à Gourgou et Tenkodogo. Elles sont achetées au producteur au tarif de 250 F CFA/kg pour le niébé et de 150 F CFA/kg pour le maïs, et seront revendues 750 F CFA, le vendeur conservant 50 F CFA, la différence revenant à l'association pour son fonctionnement. Afin de vendre des semences,

¹⁰⁹ Il s'agit de la semence créée et suivie par le chercheur jusqu'à ce que l'on accepte de la vulgariser. Du fait, de sa pureté génétique elle ne peut être donnée à beaucoup de personnes. Elle permet de produire pendant 3 ans des semences certifiées.

des villages ont reçu une formation et un comité villageois de recherche action a été créé. Il se compose d'un représentant religieux assisté par deux ou trois paysans. Ce choix s'est opéré pour informer plus largement lors des différents prêches. Le but est de vulgariser et de familiariser les populations à l'achat de semences. Dans un premier temps, 20 villages ont été concernés et ont reçu une quantité identique de semences afin de tester la demande. L'objectif final sera d'atteindre 70 localités et que leurs comités gèrent indépendamment leur demande de semence auprès de l'association. Les populations sont réceptives et l'impact grandit.

Par ailleurs, de nombreux agriculteurs mettent en avant le désir d'acheter des variétés dont les cycles de croissance sont plus courts permettant une récolte en 3 mois. Elles sont mieux adaptées aux nouvelles conditions climatiques.

Une autre option, les AGR (Activités Génératrices de Revenus), trouve également un écho favorable auprès des populations. Elles sont mises en œuvre par les différents organismes du bassin versant de la Doubégué (PROGEREF, PADAB II, Dakupa). Il s'agit d'une nouvelle solution pour répondre au développement socioéconomique.

8.5.3 Les AGR : nouveau cheval bataille du développement

Les Activités Génératrices de Revenus sont une émulation du microcrédit, né en 1974 au Bangladesh à partir de l'expérience de la *Grameen Bank* fondée par l'économiste Muhammad Yunus. Puis, cette pratique s'est répandue progressivement avec le support des Agences de coopération bilatérale et multilatérale. Il s'agit de prêts accordés à des demandeurs ou à des projets ne pouvant offrir des garanties adéquates pour être pris en compte par le système bancaire officiel. En 2005, un bilan de la Banque mondiale estimait le nombre de bénéficiaire à 500 millions (sur 3 milliards de pauvres). Le microcrédit est perçu comme l'élément nodal du développement local. Sa diffusion a connu une croissance forte de l'ordre de 30 %.

Au Burkina Faso, cet essor a été plus important : 42 000 clients en 1987, 72 000 en 2000, 675 000 en 2005, avec un pourcentage d'autosuffisance financière des institutions de crédit de 90 à 100 %. Ce mode de financement repose sur les Coopératives d'épargne et de crédit. La finalité est donc le **développement local** afin de créer un maillage économique dans le pays, et avoir ainsi un effet de levier. Il concerne des secteurs divers : l'agriculture (groupement villageois, coopérative paysanne, organisation professionnelle agricole), l'artisanat (groupement d'artisans, association artisanale féminine), le financement de l'économie sociale (mutuelle d'épargne et de crédit, banque villageoise), la protection sociale (mutuelle de santé, caisse de santé primaire). Il s'opère alors une amélioration de l'accès aux services sociaux de base, aux soins de santé, à l'eau potable. De plus, il est souvent un levier revalorisant la femme, améliorant directement son statut. Par le rééquilibrage qu'il induit entre les sexes, il agit comme un facteur d'évolution profonde des sociétés.

Les AGR portées par les microcrédits concernent essentiellement les femmes et représentent une source importante de leurs revenus. Les burkinabés, et plus largement les femmes de l'Afrique de l'Ouest, contribuent pour beaucoup à la sécurité alimentaire de leurs

familles par la production et la commercialisation des produits transformés et de stockage. C'est alors principalement dans ce cadre qu'interviennent les AGR. Au Burkina Faso, elles rassemblent l'embouche, le commerce en détail, les cuisines ambulantes, la production d'épices, de la bière locale (le *dolo*), du beurre de karité, de l'huile et des tourteaux frites d'arachides. En décembre 2006, le Fonds d'Appui aux Activités Rémunératrices des Femmes comptait 688 199 clientes.

Ces revenus supplémentaires ont des effets indirects au niveau social, environnemental et commercial. C'est pourquoi, ces activités sont de plus en plus au cœur des solutions préconisées par les diverses associations, ONG, et les ministères de l'Agriculture et des Ressources Animales. Les AGR peuvent être classées en deux catégories. La première, la plus rentable, regroupe les activités de cycle court de production, souvent hebdomadaire, à demande élevée en main d'œuvre (transformation des arachides, production du *dolo*, cuisines ambulantes). La seconde nécessite moins de main d'œuvre, mais sur une période plus longue (embouche bovine, commerce de produits agricoles). L'adoption de cette dernière s'explique en partie par des facteurs déterminants : capacités de disponibilité, conditions environnementales. Le choix entre les différentes AGR dépend donc des contraintes de leurs systèmes socio-économiques (nombre de personnes pouvant travailler, distance au marché).

Dans la majorité des cas, les AGR sont rentables, excepté dans le domaine de l'embouche bovine. En cas d'échec, les dites activités peuvent engendrer la perte des capacités financières. Ainsi, suite à un accident, une agricultrice de Pesséré a dû abandonner son commerce et s'est retrouvée endettée (résultats d'enquêtes, Robert, 2008).

Dans la région du bassin versant de la Doubégué, les AGR, seconde composante du PROGEREF, sont encouragées par celui-ci. Elles se développent également dans les projets acceptés par le PADAB II, liés à l'amélioration des systèmes de production ASP et à la promotion des filières. Les AGR regroupent dans ces projets le maraîchage, l'embouche, l'aviculture, l'apiculture, la pisciculture, la production de semence, la chasse et les Produits forestiers non ligneux (PFNL).

L'association Dakupa a aussi mis en place des études de faisabilité dans le domaine des AGR (individuelle ou collective). Les aides attribuées concernent les secteurs du petit commerce, de la transformation de production, de la filière porcine, de l'embouche (bovine, ovine), etc. Deux unités de production de beurre de karité¹¹⁰ semi-modernes à Sigou-Voussé et Kominatenga en sont un parfait exemple. Cette transformation contribue à l'amélioration des conditions de vie des femmes rurales. Ainsi, à Kominatenga, 252 femmes ont été formées : 20 à la collecte, stockage, triage et lavage ; 58 à la torréfaction, mouture, barattage et extraction du beurre ; 58 à la vie associative ; 58 à la gestion des unités de production ; et 58 aux stratégies de marketing.

En définitive, par l'apport des revenus de ces AGR, les femmes contribuent à l'achat des vivres (souvent à hauteur de 40 à 50 %) et aux dépenses (équipement, santé, éducation,

¹¹⁰ Au Burkina Faso, le karité est la troisième ressource pourvoyeuse de devises. Il est fortement prisé, tant au niveau national qu'international, pour ses vertus thérapeutiques, cosmétiques et nutritionnelles. La production de beurre de karité est de 80 000 t/an (Ministère de l'Agriculture). Il est appelé « l'or des femmes » et occupe environ 400 000 femmes organisées en groupements féminins, associations ou petites entreprises familiales.

vêtement, bois). Néanmoins, il ne faut pas omettre les effets indirects, en l'occurrence les externalités. En effet, ces activités réclament souvent davantage de bois de chauffe pour : la transformation de produits agricoles et les cuisines ambulantes. Parallèlement, il faut donc promouvoir des programmes d'afforestation et l'introduction des foyers améliorés.

8.5.4 La promotion des foyers améliorés, l'exemple de l'association Sauler

Sauler (Sauvons le Reste) est une association basée à Ouahigouya, dans la région Nord. Le président est Adama OUEDRAOGO. Il n'en existe pas d'équivalente dans la région de Tenkodogo, ce qui est à déplorer. C'est pourquoi il est intéressant de présenter le fonctionnement de cette association dans le cadre d'une réflexion sur les solutions à apporter dans la province du Boulgou face à la dégradation des sols et de la végétation.

Il s'agit d'une association à vocation humanitaire basée dans la Province du Yatenga travaillant à l'échelle villageoise. Elle œuvre pour le développement du milieu rural à travers des activités liées à la préservation de l'environnement et des terres cultivables, à l'éducation sociale, et à l'alphabétisation des femmes. Elle a été créée le 10 février 2004, suite à plusieurs années de travail avec la population dans différentes activités inhérentes au développement et à l'aménagement participatif des ressources naturelles.

L'objectif est alors de sensibiliser les femmes sur l'urgente nécessité d'adopter les foyers améliorés afin d'économiser le bois de feu, et ainsi préserver les ressources naturelles. La promotion, la formation et la construction de ces derniers se déroulent en 3 étapes. Il y a tout d'abord un échange avec l'ensemble des villageois, la parole est, davantage et de préférence, laissée aux femmes. Plusieurs questions relatives à l'évolution de l'environnement sont posées. Dans l'ensemble, les réponses sont les suivantes : « *l'environnement est en train de partir* », la population augmente, les pluies diminuent, et les coupe de bois abusives (entretien, Robert, 2008). Les villageois soulignent qu'il y a 20 ans, le riz dominait, qu'ils trouvaient du bois facilement, et utilisaient les arbres pour se soigner. À l'heure actuelle, ces derniers ont disparu, le riz est cultivé uniquement dans les quelques bas-fonds environnants, et la principale culture est dorénavant le mil difficilement réalisable sans la pratique du *zai* ou de cordons pierreux. Cette première phase permet de s'assurer que les populations ont conscience de la dégradation de leur environnement et de ses causes, et qu'elles sont prêtes à y remédier. Au cours de cette étape, afin d'arriver à l'objectif des foyers améliorés, deux séries de dessins sont utilisées. La première fait état de la situation passée lorsque les femmes trouvaient facilement du bois dans l'environnement immédiat. Actuellement, il faut aller de plus en plus loin, ou l'acheter, et disposer d'un moyen de locomotion (**photo a de la Planche photos 22**). Puis, les solutions à mettre en place sont abordées, et certaines femmes proposent les foyers améliorés. Avant de passer à la pratique, une dernière série de dessins est utilisée afin de souligner les différences entre les foyers traditionnels et ceux améliorés : la taille de la flamme est moins grande, et l'ouverture plus petite est à l'origine d'une importante économie en bois (**photo b de la Planche photos 22**).

La seconde étape est la réalisation d'un foyer amélioré par le formateur. Il s'agit de la technique des « 3 pierres » (**photos c et d de la Planche photos 22**). Il faut une journée de

repos avant d'utiliser le foyer (**photo e** de la **Planche photos 22**). Selon la réalisation et l'entretien, il pourra servir durant 2 à 4 ans.

L'ultime étape correspond à la construction d'un foyer par les populations (**photo f** de la **Planche photos 22**). Les femmes sont divisées en groupes afin de s'assurer que l'information est passée. Dans la majorité des cas, une bonne réceptivité, compréhension et exécution sont observées. La pratique permet aux personnes de prendre conscience qu'elles peuvent réaliser ces foyers.

Le développement de ces foyers est essentiel en milieu rural afin de répondre à la problématique de l'utilisation du bois de chauffe pour la cuisine et de la raréfaction de cette ressource, suite aux prélèvements multiples. Ce domaine dépasse les questions purement environnementales. Il est à replacer dans un contexte plus vaste : le poids des tâches ménagères dans la vie des femmes africaines. Si elles ont besoin de moins de bois, elles passeront un temps moindre pour s'approvisionner. Les femmes auront un gain de temps (moins de bois à ramasser, temps de préparation plus court) et d'argent (moins d'achat). Elles économiseront donc un temps important, ce qui a valeur d'or en Afrique, principalement dans le monde rural. Ainsi, il serait intéressant de développer des formations au niveau des villages ou des écoles car ces dernières regroupent les enfants de plusieurs localités. Par une planification dans chaque province, à l'échelle de chaque commune, les prélèvements en bois pourraient être fortement réduits et le quotidien des femmes allégé (enquêtes, Robert, 2008).

Après avoir présenté les différents organismes à l'œuvre dans le bassin versant de la Doubégué et plus largement dans celui de Bagré, il convient d'aborder les solutions concrètes mises en place par les populations riveraines ainsi que celles souhaitées.

8.6 Les solutions appliquées et souhaitées par la population de la Doubégué

Suite à la prise de conscience de l'impact des différentes activités sur cette modification d'ordre hydrologique et agropédologique, il faut s'interroger sur les opérations menées par les différents acteurs afin de réduire, de ralentir cette évolution (baisse de la fertilité des champs, changements du réseau hydrographique). Les résultats présentés ci-dessous sont issus des enquêtes menées au cours de nos campagnes de terrains (2008 et 2009) auprès de 270 personnes. Les populations ont d'abord été questionnées sur les solutions qu'elles appliquent, puis sur celles qu'elles désireraient mettre en place.



a et b : 2 séries de dessins employés pour sensibiliser les populations à l'emploi des foyers améliorés

1^{ère} série de dessins récapitulant l'accès passé et présent aux ressources en bois

2^{ème} série de dessins présentant l'intérêt des foyers améliorés en regard des autres systèmes



c et d : Réalisation d'un foyer amélioré

Première étape : dimensions pour la base à l'aide de 3 pierres

Recouvrement de la marmite surélevée utilisée pour connaître le diamètre et la hauteur du foyer



e : Foyer amélioré

Foyer juste achevé devant être laissé sécher



f : Femmes ayant fabriquées un foyer amélioré

Dernière étape de la formation : la réalisation de foyers par plusieurs groupes de femmes pour s'approprier la technique de fabrication

Clichés : E. Robert, 2009

Planche photos 22 : Formation pour la mise en place des foyers améliorés au village de Konyinkin

8.6.1 Les solutions choisies pour faire face aux pertes en terre et aux modifications hydrographiques

Avant de présenter les solutions appliquées et voulues par les populations du bassin versant de la Doubégué, il est intéressant, à titre de comparaison, d'exposer les taux nationaux de modes d'action pour l'amélioration des sols, des eaux et du couvert végétal : 15 % des exploitants ont adopté des techniques de lutte contre l'érosion, 9 % utilisent des engrais organiques, et 8 % pratiquent l'agroforesterie. Dans notre région d'étude, la mise en place d'une ou de plusieurs fosses fumières est la première réponse, suivie du reboisement puis la réalisation de cordons pierreux et de bandes enherbées. Les solutions envisagées concernent, quant à elles, davantage l'exploitation à proprement parlée : acquisition de matériel, de bœufs, démarrage de l'élevage, achat d'engrais, lancement de petits commerces, etc.

8.6.1.1 Fosse fumière et reboisement

Dans le bassin versant de la Doubégué, l'activité prédominante est l'agriculture, et plus largement l'agropastoralisme. Il semble alors assez logique que le fait de réaliser une **fosse fumière** soit vue comme une **première lutte contre les pertes en terre observées par plus de 95 % des interrogés**. Elle est principalement pratiquée par les agriculteurs, les éleveurs préférant l'enrichissement sur place ou l'embouche bovine.

Les introductions de **compost et/ou de fumure** organique induisent un **meilleur état structural** du sol (nombreux pores et agrégats bien développés), améliorant ainsi l'infiltration des précipitations en augmentant sa capacité de rétention en eau. De plus, les cultivateurs ont pleinement conscience que seule l'application de fumure permet d'éviter une réduction importante de la fertilité. Elle limite la baisse de la teneur en calcium échangeable, ralentit la diminution du taux de carbone organique, et facilite l'absorption des engrais minéraux apportés (HAUCHART, 2007).

La **seconde** solution mise en place dans le bassin versant de la Doubégué est le **reboisement**, effectué par 28,9 % des interrogés (40,6 % des éleveurs et 27,8 % des agriculteurs). Il est, le plus souvent, réalisé à l'aide de **filao, de neem, d'eucalyptus ou de manguier**. Les arguments justifiant le choix d'une espèce sont surtout l'apport de fruit et son intérêt financier pour le manguier, le bois et son besoin faible en eau pour le filao et le neem, auquel s'ajoute parfois pour ce dernier la production d'engrais. Il est important de noter que l'expérience de l'emploi de l'eucalyptus a été peu probante¹¹¹. Le coût du pied est également à prendre en compte : 400 F CFA (neem ou karité), 600 F CFA (manguier), et 250 F CFA (filao ou eucalyptus).

Le **neem** semble moins attractif du fait de son utilisation plus limitée. Il est alors important de présenter le rôle joué par les fruits de cet arbre comme **engrais naturel**. Son emploi serait particulièrement intéressant dans cette région, et plus largement au Burkina Faso, où les agriculteurs ont un accès difficile aux intrants. La récolte d'un arbre produit 30 à 50 kg de fruits. 30 kg de fruits fournissent 13,60 kg d'amandes, puis 3,75 l d'huile. La plantation de cette espèce a donc une grande potentialité. Cette solution a d'ailleurs été mise

¹¹¹ Les habitants du bassin versant, et plus largement du Burkina Faso, se sont rendus compte des nuisances que pouvaient occasionner l'usage de l'eucalyptus, en particulier en acidifiant les sols. Par ailleurs, l'usage de son bois est modéré dans ce secteur, bien différent du type de bois recherché pour les constructions, le chauffage, etc.

en avant lors de notre entretien avec Patrice Diako (chef de la promotion de coton biologique dans la zone de Tenkodogo).

Les campagnes de **plantation de *Jatropha curcas*** seraient également à développer. Des pieds ont été donnés dans les secteurs de Douka, Zaba et Pata sans explication sur la façon de les planter et les finalités de cette espèce. Introduits ponctuellement et sans encadrement, beaucoup n'ont alors pas survécu. Cependant, cet arbuste dispose de nombreuses qualités : **action répulsive** pour les animaux (en particulier les petits ruminants), **restauration des sols à l'aide de ses feuilles**, fabrication de **savon thérapeutique**, et possibilité de **vendre ses graines**. De plus, il s'agit d'un **excellent pesticide**. Ainsi, des agriculteurs de Nama (depuis 20 ans) et de Sasséma utilisent déjà le *Jatropha curcas* pour réaliser des clôtures, et d'autres cultivateurs (Séla) seraient prêts à le planter afin de commercialiser sa graine (enquêtes, Robert, 2008 et 2009).

L'utilisation du *Moringa oleifera* doit être aussi encouragée comme à Bassaré car cette plante dispose de multiples avantages. Tout d'abord dans le domaine nutritif, ses **cosses** ainsi que ses feuilles peuvent être préparées et consommées. Ces dernières sont **riches en vitamine A et C, mais aussi B1, B2, B3, en magnésium, phosphore et manganèse**. Ainsi, les **feuilles** peuvent être soit préparées fraîches comme n'importe quel autre **légume vert** à feuilles, soit séchées et réduites en **poudre** (qui ne doit pas être cuite) incorporées à différents plats ou boissons pour les enrichir. Ses vertus thérapeutiques doivent être présentées aux populations. Par ailleurs, **sa graine** peut agir comme **purificateur et permettre de réduire la turbidité**, domaine qui nous intéresse tout particulièrement. Cet arbuste est actuellement développé sur le Tcherbo (bassin versant voisin de la Doubégué) par Lassané Placide Sekone¹¹². Comme le *Jatropha curcas*, le *Moringa oleifera* peut être utilisé en tant que **clôture vivante, engrais vert riche en protéine** (à partir du gâteau de graines obtenu suite à l'extraction de l'huile). Les rôles de ces deux végétaux dans la protection environnementale et le développement humain seront davantage expliqués au cours du chapitre 9.

Le **coût des plants** et le **manque d'informations** sur les plantations de *Moringa oleifera* et de *Jatropha curcas* demeurent les **points faibles** de l'action. Cependant, **La population**, dans son ensemble, semble particulièrement **réceptive au reboisement**. Il est donc intéressant de connaître les régions où la mise en place de cette solution est importante. Il s'agit tout d'abord de celles fortement impliquées dans le reboisement : Ouéloguen, Zaka, Zaba en rive droite, et Douka, Koama, berges du lac (impact de la MOB et du PROGEREF) en rive gauche. Il existe aussi cinq villages où cette action est plus modérée : Nama, Loanga, Sasséma (rive droite), et Kalakoudi, Vagvagué (rive gauche) (**Fig. 49**). Ces villageois utilisent principalement le neem, le manguier et le filao, et exceptionnellement le néré à Zaka et le *Jatropha curcas* à Nama.

8.6.1.2 Les cordons pierreux une action ancienne, toujours à l'ordre du jour

La confection de **cordons** est menée principalement par les **agriculteurs (15,5 %)**. Cette solution est mise en place en proportion variable selon les régions du bassin versant de la Doubégué.

¹¹² Placide Sekone a été notre premier guide.

À **Zaba**, comme à **Gouni Peulh** et **Loanga**, l'implication est mitigée, néanmoins il existe plusieurs cordons pierreux (**Fig. 49**). Par ailleurs, un certain nombre de villages pratique peu ces actions comme à : Séla, Pata, Soné, Zabo, Belcé, Ouanagou, Koama, Boura, Zabatorla, Kalakoudi, Bado, Dazé, Boulsa, Niambo, Yargo, Kokonogo, et dans la zone écotouristique. Ainsi, bien que disposant des pierres, les habitants de Douka n'en réalisent pas, malgré une formation reçue, en 2003. À l'inverse à Pesséré et à Vagvagué, les villageois aimeraient en réaliser (manque de pierres sur place et de matériel pour les transporter).

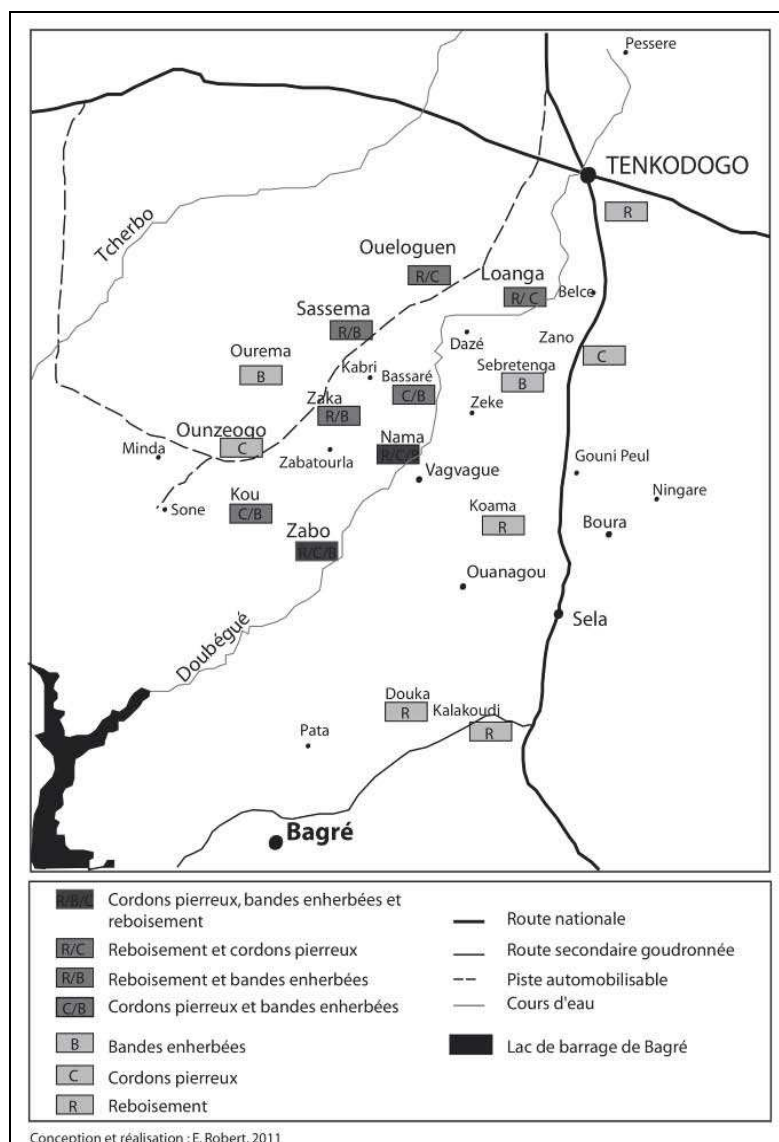


Fig. 49 : Solutions mises en place par les populations dans le bassin versant de la Doubégue

D'autres villages sont davantage impliqués dans la confection de cordons pierreux et de bandes enherbées (**Tab. 52**) (**Fig. 49**). Il est intéressant de noter que les villages de Oueloguen et de Ouréma ont récemment lancé des actions de ce type. On peut alors espérer que ces secteurs, fortement dégradés actuellement, voient leur situation s'améliorer dans le futur. Toutefois, bien que certains villages comme Sasséma, Kabri et Sébrétenga pratiquent depuis longtemps ces actions, la proportion des sols dégradés n'a fait que croître. Ses actions se développent donc bien souvent à un rythme inférieur à celui de la progression des sols dégradés. En effet, la plupart des terres mises en culture ne porte pas de cordons pierreux, ni

de bandes enherbées. Une seule exception semble avoir perduré pendant une trentaine d'années : le village de Zaka où des initiatives collectives sur de plus grandes superficies (30 ha) et en plus grand nombre se sont développées. Il apparaît que ce village est un exemple à suivre. Toutefois, les mésententes laissent craindre que cette région devienne également dégradée. Par conséquent, seule la présence sur la majorité des champs de cordons pierreux et de bandes enherbées associée à la fumure pourra contrecarrer cette avancée. Cependant, il faut continuer à encourager ces initiatives villageoises et surtout poursuivre l'encadrement afin d'éviter l'abandon de ces activités, se produisant dans la plupart des villages.

Village	Origine	Type d'action
Zaka	40 ans	<ul style="list-style-type: none"> - Cordons pierreux. - Groupement de diguette depuis 20 ans : 30 ha aménagés d'un côté en bande enherbée et de l'autre en diguette avec l'aide d'un agent venu de Tenkodogo. Mais il n'y a plus d'entretien.
Kabri	20 ans	<ul style="list-style-type: none"> - Cordons pierreux. - Formation des agriculteurs à la confection de cordons pierreux à Tenkodogo (sélectionnés par le chef village). - Groupement <i>Songtaada</i> depuis 6 ans composé de 12 personnes : cordons pierreux et production de maïs.
Sébrétenga	20 ans	<ul style="list-style-type: none"> - Cordons pierreux mais abandon. - Bandes enherbées (depuis 10 ans) mais cassées faute d'entretien.
Sasséma	20 ans	<ul style="list-style-type: none"> - Bandes enherbées dont la confection a augmenté depuis 10 ans malgré le manque de pierre. - Groupement <i>Woka koma</i>.
Guella	15 ans	<ul style="list-style-type: none"> - Cordons pierreux. - Matériel fourni par un technicien de Tenkodogo mais abandon faute d'encadrement.
Bassaré	10 ans	<ul style="list-style-type: none"> - 10 cordons en 10 ans mais manque d'entretien. - En 2001, 20 rangées réalisées par un groupement de femmes. - Quelques bandes enherbées
Kou		<ul style="list-style-type: none"> - Cordons pierreux réalisés et entretenus jusqu'en 2006 (photo 100). - Bandes enherbées
Ouéloguen	7-8 ans	- Bandes enherbées et cordons pierreux : réelle prise de conscience et reconnaissance de l'importance de ces actions.
Ounzéogo	2006	- diguettes : groupement de 200 personnes.
Ouréma	2002-2003	- Cordons pierreux et bandes enherbées (photo 101).

Tab. 52 : Actions entreprises par les différents villages du bassin versant de la Doubégué

Les deux principaux facteurs qui limitent ces pratiques sont un **faible encadrement** et un **manque de pierres** (quantité insuffisante et/ou trop éloignées). De plus, il faudrait **combiner les cordons pierreux ou les bandes enherbées avec un apport organique** ce qui **améliorerait les rendements agricoles** et motiverait davantage les exploitants (cf. 8.1.2). **Le**

système le plus efficace est l'association des secondes (formées entre autre d'*Andropogon gayanus*) et du **compost : augmentation de plus de 160 % des rendements** (OUATTARA *et al.*, 2004). De nombreux agriculteurs disposent déjà de cette fumure dans leur fosse fumièr. Il faut donc les encourager à augmenter leur nombre, leur taille ; et surtout soutenir l'apport de ciment pour leur construction afin qu'elles perdurent. Ainsi, ces réalisations combinées à l'apport de compost ou de fumier **permettront une réduction significative du ruissellement** (33 % pour le compost et 44 % lors de l'apport d'azote minéral) **et des pertes en terre. En définitive, il est essentiel d'associer un encadrement sur le long terme** (confection et entretien) et **ces techniques à celles du reboisement, des plantations, et au développement d'essences végétales**, augmentant les revenus et améliorant les conditions de vies des populations (Chapitre 9), **afin de réduire durablement et sur un vaste espace la dégradation de l'environnement du bassin versant de la Doubégué**. Il s'agit là de la priorité que doit mener le gouvernement burkinabé. Les actions entreprises doivent être lancées par l'intermédiaire de programmes et de projets et être menées sur le long terme par des associations locales, et non par des organismes extérieurs ne restant que quelques années. Ces expériences sur le court terme ont déjà montré leur limite.



Photo 100 : Cordons pierreux à Kou
Cliché : E. Robert, 2008



Photo 101 : Bandes enherbées à Ouréma
Cliché : E. Robert, 2009

Les éleveurs, moins liés et affectés par les pertes en terre, pratiquent uniquement le reboisement à la différence des agriculteurs effectuant diverses d'actions. Par ailleurs, alors que **71,5 % des agriculteurs effectuent une lutte active** ; seuls **40,4 % des pasteurs sont impliqués**, bien qu'ils dépendent et vivent également des ressources environnementales. Cette réalité s'explique par le fait qu'ils sont dans une « phase de transition », à savoir devenir totalement sédentaires. Ils vont peu à peu s'installer définitivement, s'approprier cette région, et se sentir de plus en plus concernés par son évolution. Afin que s'opère une lutte plus efficace dans l'ensemble du bassin versant, il faut souhaiter que les éleveurs soient davantage intégrés aux pratiques de protection des sols et plus largement du couvert végétal. Leur installation dans la zone pastorale devrait permettre une protection plus active dans ce secteur.

La fosse fumièr étant la première solution réalisée (importance du maintien de la fertilité restante sur les champs), il n'est pas surprenant que l'amélioration de l'exploitation soit la principale action souhaitée par les populations du bassin versant de la Doubégué.

8.6.2 La volonté d'accroître les rendements au détriment d'une protection environnementale

Suite à cette étude sur les luttes pratiquées par les différents acteurs, il était intéressant de les questionner sur les actions qu'ils désireraient mettre en place s'ils avaient davantage de moyens financiers, principal **facteur limitant**. Ainsi, pour 37,5 % des personnes (38,9 % des agriculteurs et 29 % des éleveurs), **la solution** énoncée concerne **directement leur exploitation** afin d'augmenter leurs revenus et d'améliorer leurs conditions de vie, et non les pratiques de GCES ni, plus largement, la protection de **l'environnement**. Les demandes concernent l'acquisition de **matériel** (37,2 %) (Douka, Loanga, Pésséré, Zaka, Nama, Ouéloguen) et de **bœufs** (18,9 %) (Koama, Zaka, Gouni Peul, Douka), le **démarrage de l'élevage** (14,9 %), l'achat **d'engrais** (9,2 %) (Zano, Pésséré), et le lancement de petits **commerces** de denrées alimentaires, d'huiles, de savons (8,8 %) (Ouéloguen). En perfectionnant leur outil de travail et en diversifiant leurs activités, ils espèrent ainsi sortir de la pauvreté quotidienne qu'ils connaissent, pour la majorité d'entre eux, depuis leur naissance.

Pour les agriculteurs, **l'amélioration de leur niveau de vie est synonyme d'une augmentation de leurs rendements**. La question de l'accès à l'engrais et plus largement aux intrants se pose alors. Depuis que le gouvernement a cessé de commercialiser ces derniers, notamment les engrais minéraux, la situation est incertaine. Il laisse cette activité au secteur privé. Pour les producteurs de céréales, le coût est plus élevé. En revanche, les exploitants spécialisés dans la culture de coton peuvent les acheter auprès d'organismes, comme Faso Coton. Il conviendrait alors de mettre en place une centrale d'achat afin de réaliser des économies d'échelles et de réduire les coûts. Par ailleurs, la libéralisation a entraîné la prolifération de pratiques frauduleuses. Des produits de mauvaise qualité, et dangereux pour la santé, sont ainsi vendus à bas prix, conduisant à la baisse de la production. En définitive, il manque un accès aux engrais et des informations afin de mieux les utiliser. Toutefois, la meilleure solution ne se situe peut être pas au niveau des engrais minéraux, mais plutôt dans une diffusion plus large des techniques de régénération. C'est pourquoi la Direction de la vulgarisation agricole travaille avec diverses ONG encourageant l'épandage du compost, la culture des plantes fourragères pour le bétail, etc. L'utilisation du neem comme engrais vert naturel est également une voie à suivre (cf. 9.3).

Une autre solution concernant essentiellement les cultivateurs est souvent énoncée : la **fabrication de fosse fumière (19,5 % de l'ensemble des personnes interrogées)**. La majorité d'entre eux a conscience de l'importance de **leur utilisation dans l'enrichissement des sols, le maintien du peu de fertilité restante, et l'assurance d'une production acceptable**. En effet, certains (38,6 %) soulignent la baisse de productivité. 46,7 % mettent en avant l'importance du déroulement de la saison pluvieuse (répartition pluviométrique mensuelle) comme facteur du bon ou du mauvais résultat de la production. Les agriculteurs de ce bassin versant sont donc toujours sous la dépendance d'un bon hivernage. Dans le cas contraire, les rendements sont catastrophiques : lors d'une année excédentaire, les champs de riz et modérément de maïs, sont touchés principalement (engorgement, pourrissement), et, au cours d'une année déficitaire, ce sont les cultures céréalières vivrières.

Par ailleurs, **32,3 %** des interrogés préconisent la réalisation ou l'augmentation des actions de **reboisements** soulignant ainsi la volonté de s'impliquer dans la protection de

l'environnement. Des habitants de certains secteurs semblent particulièrement investis : la zone de **Tenkodogo**, de **Loanga**, de **Ouléoguen** et de **Vagvagué** où des reboisements s'effectuent **depuis plus de 10 ans**. En effet, les jeunes agriculteurs ont pris conscience du peu de plantations réalisé par les générations précédentes, à l'origine d'une raréfaction de la ressource en bois et d'une moindre protection des sols. Il peut alors être intéressant de s'appuyer sur cette nouvelle **prise de conscience**. Percevant l'enjeu actuel de la préservation des eaux, des sols et du couvert végétal, la jeune génération est motivée pour mener ces opérations.

Le fait que des personnes aient tenté l'aventure à l'étranger (Côte d'Ivoire, Ghana, Togo et Bénin) a également un impact positif, en particulier par l'apprentissage de techniques nouvelles. De retour dans la région, ils souhaitent souvent développer une agriculture davantage planifiée à l'aide de modes de protection des sols, d'amélioration des fosses fumières, d'essor de l'embouche bovine, etc.

Il faut également souligner que **14,2 %** des interrogés pensent que nous¹¹³ sommes les plus à même de leur proposer les bonnes solutions ou tout du moins les plus efficaces. Cette réponse est davantage citée par les éleveurs. Par ailleurs, **4 %** des questionnés « **ne savent pas ce qu'il faut faire** ». Certains se sentent tellement démunis et abandonnés, qu'ils n'ont plus guère d'espoir de connaître une amélioration de leurs conditions de vie et/ou de leur environnement (enquêtes, Robert, 2008 et 2009).



Dans le bassin versant de la Doubégué, les associations se sont précocement impliquées dans la préservation des sols. Dès les années 1970 et surtout à partir des années 1980, de multiples actions ont été menées, notamment aux abords de la piste reliant Loanga et Ounzéogo. Les principaux villages concernés et ayant acquis un savoir-faire sont Zaka, Kabri, Sébrétenga, Sasséma, Guella, et depuis les années 1990, Bassaré. La réalisation de cordons pierreux, de bandes enherbées, de diguettes était alors le principal mode d'action des associations afin de combattre la dégradation des sols et du couvert végétal (Dakupa associée au PDR/B). Cependant, ces dernières ont souvent cru que la confection de ces ouvrages était acquise, et après la formation, le suivi était rare. Les villageois se sentant abandonnés, ont délaissé ces ouvrages qui ont alors perdu leur efficacité. Ce manque de vision sur le long terme peut être regretté. Les agriculteurs sont toujours demandeurs de formations et de matériels afin de réaliser les cordons. Il faudrait relancer ces actions, en les remplaçant dans une vision sur le long terme intégrant l'entretien et la réparation. Ainsi, jusqu'à la fin des années 1990, la priorité des différents organismes portait sur la protection de l'environnement. Au cœur de la période de prise de conscience de la dégradation du couvert végétal, sous les impacts combinés des sécheresses, de la progression des activités anthropiques et de la croissance démographique, et face à la dégradation avancée des terres, il fallait trouver une solution pour récupérer les sols afin de maintenir, voire d'augmenter les rendements.

¹¹³ Lorsque les enquêtés parlent de « nous », il s'agit des associations, des représentants du gouvernement, des chercheurs.

Actuellement, les priorités sont la santé, les aménagements hydrauliques, et la promotion des AGR. **Les organismes luttent contre la pauvreté en créant des conditions favorables pour un accroissement des revenus des producteurs et des opérateurs régionaux en amont et en aval de la production ASP sur les bases d'un développement de filières porteuses.** La protection environnementale stricto sensu a été reléguée au second plan, bien qu'il demeure **quelques objectifs spécifiques comme la préservation du capital sol et l'intégration de la fumure et des cordons.** Peut-on pour autant regretter cette évolution ? La réponse est oui. Plutôt que de placer l'un avant l'autre, il conviendrait de **les développer conjointement** : associer écologie et essor socio-économique. Cependant, une évolution intéressante est apparue : de plus en plus d'organismes fonctionnent selon le système **bottom top** et repose sur **une approche participative** (PROGEREF, PADAB II).

La SONABEL, la MOB, le PROGEREF, le PADAB II doivent travailler de concert, relayer les actions menées au niveau local et régional, et servir de tête de proue afin de mettre en place et de coordonner les grandes actions, les programmes et l'encadrement de l'information et de la sensibilisation des populations. Il est également essentiel d'instaurer un **système de formation et d'information** qui soit continu dans les différents villages. Sans leur implication et leur participation il n'y aura pas de durabilité.

Ainsi, la mise en place de ce **dialogue avec les populations** du bassin versant de la Doubégué par l'intermédiaire de nos enquêtes était nécessaire afin de connaître les actions réalisées et les orientations souhaitées. Les populations ayant conscience de cette dégradation et de leur implication dans cette évolution, il faut aussi de travailler à l'échelle locale, du terroir, et du village. Ces enquêtes ont enrichi notre réflexion sur les solutions à entreprendre quant à la préservation de l'environnement, tout en permettant un développement économique et social. **Le reboisement et les fosses fumières** semblent être **les deux leviers par lesquels cette protection peut être actionnée.** Dans l'optique d'un **développement durable**, le *Jatropha curcas* et le *Moringa oleifera* apparaissent également être deux bonnes alternatives. En effet, le Burkina Faso regorge de « **pierres précieuses** » végétales qu'il serait temps de (re)découvrir et de développer afin de répondre à l'ensemble des problématiques tant environnementales que sociales.

Chapitre 9 :

Des « pierres précieuses », en prospection, pour un développement global

La première urgence pour les populations burkinabées est l'accès à des denrées et non la protection de leur environnement. Ainsi, pleinement consciente de la dégradation de leur environnement (cf. Partie 2), et désirant, pour la majorité, remédier à cette détérioration, elles ne le peuvent pas faute de moyens ou tout simplement de temps : chaque instant de leur journée est consacré à préparer, produire, ou vendre. Les AGR, associées à des programmes de reboisement, de mise en défens et GCES, peuvent être une première voie et permettre un début de préservation des sols et des eaux. Néanmoins, elles ne sont pas suffisantes et l'expérience passée nous le confirme.

La mise en place de certaines espèces végétales rendrait possible une augmentation des revenus et/ou une amélioration du niveau vie et des conditions alimentaires de la région de la Doubégué. Mais leurs plantations ne sont pas suffisamment développées. L'arbuste le plus prometteur est le *Moringa oleifera*, nommé au Burkina Faso **l'arbre de la vie**, qui semble être la solution miracle. Cet arbre dispose de multiples vertus répondant aux problématiques vitales des populations (nutrition, pharmacopée), mais aussi agricoles (engrais vert, hormone de croissance, haies, etc.), pastorales (fourrages) et environnementales (purification d'eau turbide, protection des sols). Il est alors temps de prendre davantage en compte ce végétal dans les solutions à appliquer et à développer auprès des populations, et de réfléchir sur des types d'implantations, d'intégrations efficaces.

Toujours dans cette optique de protection du « milieu naturel » et de développement socio-économique, une autre essence doit être plantée : le *Jatropha curcas*. Depuis environ 10 ans, il est au cœur d'un nouvel enjeu financier : la production d'un agrocarburant. Il serait également intéressant à développer dans la région de la Doubégué pour protéger les sols, éviter l'intrusion des animaux sur les champs, et dégager un revenu supplémentaire pour les habitants de la région, ou, tout du moins, faire l'économie de carburants. Les populations s'engageraient alors dans un cercle vertueux : l'apport d'argent permettant la mécanisation des exploitations, la scolarisation plus longue des enfants, la réduction de la malnutrition, l'accès plus important aux services de santé, l'émancipation de la femme.

Le neem peut être également un véritable outil à mettre en œuvre dans cette perspective de développement global. C'est un arbre aux usages multiples : insecticide naturel, engrais vert, paillage, reboisement, brise-vent, récupérateur de sols dégradés, industrie pharmaceutique et cosmétique, etc. Cependant, il ne faut pas s'arrêter à une étude séparée de ces trois végétaux, mais aller au-delà et réfléchir à la combinaison des principales solutions apportées au bassin versant de la Doubégué. Il s'agit d'associer la mise en place du *Jatropha curcas*, du *Moringa oleifera* et du neem (*Azadirachta indica*).

9.1 L'arbre de la vie, le *Moringa oleifera* : futur diamant du Burkina Faso

Le *Moringa oleifera* a de nombreuses utilisations écologiques, économiques et surtout alimentaires ; il suscite un intérêt croissant sur la scène internationale, en particulier depuis les années 1990 (**photo 102**). De nombreux programmes, des ONG, des chercheurs, utilisent ses feuilles pour lutter contre la malnutrition et ses maladies associées, et pour produire du fourrage. Ses graines sont aussi employées comme floculant, pressées pour extraire de l'huile alimentaire et utilisées dans le domaine cosmétique. Il s'agit d'une plante que l'on peut qualifier de complète et qu'il serait intéressant de développer dans le bassin versant de la Doubégué. Ainsi, « *bien que peu de gens en aient entendu parler aujourd'hui, le Moringa pourrait bientôt devenir l'une des plantes les plus précieuses du monde, au moins en terme humanitaires.* » (N. VIETMEYER, *Us National Academy of Sciences*, Washington D.C).

De plus, cet arbre tropical aux usages multiples résiste à la sécheresse et dispose d'une croissance rapide. « *Le Moringa est un outil très prometteur pour aider à surmonter certains des plus sévères problèmes du monde en développement : **malnutrition, déforestation, eau contaminée et pauvreté*** » (A. YOUNG, Ambassadeur des États-Unis aux Nations Unies in *Church World Service*, 2000-2002).

Dans le cadre de notre problématique : l'érosion des sols, la perte de qualité de l'eau, la protection de l'environnement et le développement humain, le Moringa fait donc figure d'arbre « miracle » : purificateur, protecteur et enrichisseur des sols, améliorant l'alimentation et les revenus. Chaque élément de ce végétal (feuille, fruit, graine, fleur, écorce, racine) dispose de diverses vertus et est porteur d'espoir. Par conséquent, **il doit jouer un rôle important dans la mise en place d'un développement global, durable et intégrant.**



Photo 102 : Le *Moringa oleifera*

Cliché : E. Robert, 2008

9.1.1 Une plante venue de l'Inde aux applications diverses et multiples

Le Moringa est une plante originaire du sous-continent indien existant dans de nombreux pays tropicaux aussi bien en Asie, en Afrique, qu'aux Amériques. « *Moringa* »

vient du malayalam *muringa*. Il est appelé indifféremment *drumstick* rappelant la forme de son fruit (baguette de tambour) ou encore *radish tree*.

En Afrique de l'Ouest, l'espèce la plus utilisée est le *Moringa oleifera* (famille des Moringacées). Originaire du nord-est de l'Inde (régions de Agra et de Oudh), sa culture remonte à plusieurs millénaires où ses valeurs pharmacologiques, alimentaires, étaient reconnues. La tradition indienne de l'*ayurveda* indiquait que les feuilles du *Moringa* guérissaient plus de 300 maladies (antibiotique naturel, aide pour l'accouchement, traitement des problèmes de foie, etc.). La science moderne, en ajoutant une valeur nutritive importante, a confirmé cette croyance.

Pendant l'Antiquité, les Romains, les Grecs et les Egyptiens en extrayaient l'huile pour fixer les parfums et l'utilisaient comme soins cutanés. Cette plante était également utilisée au Nicaragua (migraines, infections cutanées, plaies), à Porto Rico et au Venezuela (vers intestinaux). Au XIX^{ème} siècle, il existait aussi des plantations de *Moringa* aux Antilles (huile pour l'industrie de la parfumerie et comme lubrifiant mécanique).

Les populations d'Afrique de l'Ouest consomment ses feuilles comme légumes en particulier au Sénégal (le « *Cerey mboumou nebedaay* » en wolof est une sauce à base de feuilles de *nebedaay* consommée avec le couscous). Tandis que dans la Vallée du Nil, il est appelé l'arbre purificateur pour ses vertus purifiantes de l'eau. « *Les femmes soudanaises enfermaient cette poudre dans un linge qu'elles agitaient dans le récipient d'eau puisé à la rivière* » (<http://www.moringa.com/>). Cette action était déjà utilisée en Indonésie. Au Burkina Faso, l'usage spontané du *Moringa oleifera* reste circonscrit aux régions humides (FUGLIE et MANE, 1999). Seules, les feuilles sont vendues sur les marchés des grandes villes. Ses vertus sont mal connues, voire ignorées dans certaines régions où il ne pousse pas naturellement.

Présent dans de nombreux pays, il dispose de multiples appellations : *Cedro* (Brésil), *Angela* (Colombie), *Marango* (Nicaragua), *Perlas* (Guatemala) ; *Marum* (Thaïlande), *Murunga* (Sri Lanka) ; *bèn ailé*, *moringa ailé*, *benzolive* (Haïti), *neverdaye* (Sénégal). Au Burkina Faso, il est nommé *Guilgandani*, *Gigandjah* (Fulfuldé) ; *Argentiga*, *Alsam tiga* (« *the tree of paradise* »), *Arzam tigha*, *Alsantiüga*, *arzantiüga* (Mooré) ; *Ardjina yiri* (Dioula) ; *Muurô kar*, *arzana gô* (Bissa). Sa traduction en mooré et en dioula comme « l'arbre du paradis » serait-il alors un doux présage ?

Le *Moringa oleifera* se rencontre à l'état naturel jusqu'à 1000 m d'altitude, et prolifère à une altitude inférieure à 600 m. Il pousse relativement bien sur les versants, mais il est davantage répandu dans les zones de pâturages et les bassins des rivières. Sa croissance est rapide jusqu'à six ou sept mètres en un an. Il se développe même dans des zones recevant moins de 400 mm de précipitations annuelles. La température idéale pour sa croissance est comprise entre 25°C et 35°C. Les sols sablonneux (majoritaires dans le bassin versant de la Doubégué) ou limoneux bien drainés lui conviennent davantage. Il tolère également les sols argileux sans engorgement du sol, ainsi qu'une grande plage de pH de 5 à 9. Il répond bien au paillage, à l'eau et aux engrais et pousse rapidement à partir de graines en semis (en repiquage ou plein champ) ou de boutures, même dans les sols pauvres et marginaux.

Cet arbre demande peu d'attention en horticulture et s'adapte aux effets de sécheresse prolongée grâce à ces profondes racines (racine tubéreuse). Afin d'illustrer ce propos, il suffit

d'évoquer un de ses noms en Afrique francophone « *Névréides* » qui dériverait de l'anglais « *never die* ». Ainsi, lorsqu'il est coupé ou que ses jeunes pousses sont brûlées par le soleil, il repousse dès les premières pluies. Il peut être cultivé de façon extensive pour une production de graines (semence, production d'huile), ou intensive (irrigation) pour une production optimale de feuilles avec une récolte toutes les 2 à 3 semaines. Autre avantage, ses feuilles poussent en fin de saison sèche, période pendant laquelle les légumes à feuilles sont rares. Les rendements en saison pluvieuse représentent souvent plus du tiers de la production (pour 25 % de la durée annuelle) (GAMATIE, 2001). Enfin, cette espèce facilement contrôlable ne risque pas de devenir envahissante et d'éliminer la flore indigène.

Au nom de tous ces avantages, le *Moringa oleifera* semble particulièrement adapté au bassin versant de la Doubégué et plus largement à celui du Nakambé. Pour sa richesse nutritive, ses valeurs médicinales et pharmacologiques son développement est essentiel en milieu rural, tout particulièrement dans notre secteur d'étude. Déjà mis en place depuis quelques années à Garango, cette expérimentation fait l'objet d'un test en conditions réelles afin de connaître son acceptation par les populations et son développement dans cette zone du Burkina Faso (cf. 9.1.6).

9.1.2 La graine du Moringa, purificatrice et productrice d'huile

L'accès à une eau potable est l'un des problèmes les plus préoccupants du monde rural burkinabé. D'une part, l'eau puisée dans les rivières est souvent chargée de MES. D'autre part, les grandes stations de traitement des eaux utilisent des coagulants chimiques onéreux pour les PED. Or, de plus en plus de chercheurs (FOLKARD et SUTHERLAND, 1990, 1994 ; MUYIBI, 2009 ; OLUDRO, 2010 ; RENNIE, 2010) mettent en avant que les graines du Moringa (**Fig. 50**) peuvent aider à fournir une eau potable moins onéreuse. Ainsi, des scientifiques de l'Université de Uppsala (Suède), en collaboration avec l'Université du Botswana, ont décrit la purification l'eau par des extraits aqueux de graines de *Moringa oleifera*. En effet, une fraction protéique extraite de ces dernières, en suspension dans l'eau, peut permettre son épuration presque totale (Université d'Uppsala, 2010).

Notre étude réalisée dans le bassin versant de la Doubégué est un parfait exemple des dangers relatifs à l'eau (cf. Chapitre 7). L'analyse de la turbidité a mis en évidence la forte présence de MES. De plus, la qualité (en terme chimique), suite à l'utilisation de pesticides pour la culture en particulier du coton, laisse craindre que cette eau ne soit pas potable. L'accès à une eau « saine » se limite alors aux puits construits (nombre insuffisant) dont certains se sont asséchées au fil du temps. Il est donc essentiel de résoudre ce problème, et l'emploi du *Moringa oleifera* pourrait jouer un rôle décisif.

Ainsi, afin de présenter l'intérêt de cette graine comme purificateur d'eau, nous nous appuyons sur deux études réalisées dans les deux cas en laboratoire puis en stations : au Burkina Faso (station de Poura, Province de Balé) en 1993 par Jean Antoine FABY et Alfred ELELI du CIEH, et au Malawi en 1995 par Geoff FOLKARD de l'Université de Leicester (Angleterre). L'idée principale est que, réduites en poudre, les graines de Moringa rendraient l'eau potable. Ces deux études sont complétées par les résultats d'un programme réalisé entre les Université de Uppsala et du Botswana (2010).

9.1.2.1 L'élaboration du purificateur et son domaine d'action

Le processus, jusqu'à l'obtention de la poudre, puis son dosage dans l'eau impropre à la consommation, se déroule en six étapes. Les gousses (**Fig. 50**) arrivent à maturité en mars - avril et sont prêtes à la cueillette. Les cosses (fibre des gousses) (**Fig. 50**) des graines sont d'abord laissées à sécher sur l'arbre avant la récolte. Le décorticage consiste à enlever les trois ailettes et le tégument des graines. Après séchage, les graines (amandes) sont écrasées et tamisées en utilisant les techniques traditionnelles de la production de farine de maïs (pilon domestique) (**Fig. 50**). Il existe deux autres méthodes selon que l'on travaille au niveau local (moulin électrique), ou en station (broyeur : 90 % de particules de taille inférieure à 0,1 mm). Enfin, la solution mère est obtenue en mélangeant la poudre à de l'eau en agitant afin d'éviter que cette dernière ne décante. 50 à 150 mg de graines moulues sont nécessaires pour 1 litre de rivière, selon la quantité de MES (FOLKARD *et al.*, 1994). Au Malawi, le dosage correspond à une solution mère de 1 à 3 %. Au Burkina Faso la concentration est de 20 g/l pour une solution mère de 2 % (FABY et ELELI, 1993). Cependant, il est important de souligner que l'application de cette dernière n'est pas indispensable : il est également possible de faire tourner dans l'eau trouble un petit sac de tissu rempli de poudre de graines. Une autre solution consiste à traiter 20 l d'eau turbide à l'aide de 4 à 6 graines concassées, et à attendre 1 à 2 h (SEKONE, 2008).

Par ailleurs, lorsque l'eau est très turbide, l'action du Moringa est aussi rapide que celle de l'alun. Cependant, pour une turbidité moyenne ou plus faible, son action est plus lente. De plus, les graines sont plus efficaces lorsqu'elles sont récoltées en saison sèche car le niveau de polyélectrolytes est alors plus élevé. L'étude réalisée au Burkina Faso a montré que les graines de plus d'un an ont une action de décantation moins rapide ; mais, qu'elles ont un pouvoir clarifiant 23 fois plus important que les solutions de graines récentes sur une eau turbide (154 NTU). Enfin, leur efficacité dépend beaucoup des éléments (principalement de la nature des argiles) à flocculer.

L'étude effectuée au Burkina Faso démontre que le temps de décantation est de l'ordre de 2 h à 3 h pour obtenir un abaissement de 70 à 75 % de la turbidité d'eau. Dans le cas d'un premier échantillon de 75 NTU et d'un second de 154 NTU, le résultat final est respectivement de 18,75 à 22,5 NTU, et de 38,5 à 46,2 NTU. Cette étude a montré « *que le Moringa serait un coagulant efficace pour des eaux dont la turbidité est comprise entre 5 et 200 NTU* » (FABY et ELELI, 1993). Son action est réduite au-delà de 200 NTU car son pouvoir adsorption est limité sur sa surface extérieure. Toutefois, au Malawi, l'effet purificateur des graines, hors station de traitement, s'étend jusqu'à 270 - 380 NTU. Et certaines études ont montré que les graines étaient efficaces pour des turbidités moyennes à fortes de 15 à 10 000 NTU (JAHN, 1998) et que leur impact était limité pour de faibles valeurs (inférieures à 50 NTU) (DOREA, 2006).

Cette vertu de traitement des eaux s'explique par la présence dans la graine d'un polyélectrolyte cationique que l'on peut qualifier de naturel (FOLKARD *et al.*, 1990) remplaçant le sulfate d'alumine ou d'autres flocculants. Ainsi, la poudre de graines écrasées libère des protéines solubles dans l'eau possédant une charge positive « *qui attirent les particules et les bactéries chargées négativement. L'action de mélanger les fait entrer en*

collision et se coller les unes aux autres » (FOLKARD *et al.*, 1990). Elle permet de faire précipiter les impuretés et d'obtenir une « eau pure ». La turbidité colloïdale ($< 10 \mu\text{m}$) se transforme en turbidité particulaire (plus facilement éliminable). Les propriétés physico-chimiques ne sont pas modifiées. De plus, d'un point de vue bactériologique, la poudre de Moringa a également un rôle bénéfique. Ainsi, le pourcentage de bactéries diminue fortement, notamment les coliformes (entérobactéries) totaux (comprenant ceux fécaux), ainsi que les streptocoques fécaux.

Le programme réalisé entre les Universités de Uppsala et du Botswana a permis de mieux comprendre le processus en cours. Les chercheurs ont étudié par réflectivité de neutrons les fines couches à l'interface entre particules solides et eau liquide, et analysé les rayons réfractés par les neutrons. L'indice de réfraction obtenu est fonction de la composition et de la structure de la matière. A partir de cet indice, il est possible de déduire la nature de la matière au niveau des interfaces. Cette analyse a révélé que les protéines se lient fortement aux surfaces solides, mais aussi entre elles. C'est donc davantage par un mécanisme de coopération moléculaire que par l'action de molécules isolées que ces protéines provoquent l'agrégation des particules en suspension (KWAAMBWA *et al.*, 2010). Adrian RENNIE (Université Uppsala) souligne « *qu'il est agréable de voir comment les interactions basiques des molécules peuvent jouer un rôle dans la résolution de problèmes pratiques* ». « *La compréhension du processus pourrait permettre de plus amples développements dans la purification des eaux avec des produits qui sont locaux et respectueux de l'environnement.* »

Notre région d'étude ne présentant pas de station de traitement de l'eau, nous ne développerons pas les résultats des tests effectués à grande échelle en flux continu. Au Burkina Faso (station de Poura $600 \text{ m}^3/\text{j}$) l'association des deux coagulants est la plus efficace : $\frac{3}{4}$ de Moringa (60 mg/l) pour $\frac{1}{4}$ de sulfate d'alumine (15 mg/l). La turbidité se réduit alors de 16,5 à 3,8 NTU. Au Malawi, FOLKARD estime que son utilisation peut permettre de réduire l'emploi des éléments chimiques et donc d'effectuer une économie importante de devises (coût des produits chimiques importés de 400 000 \$). De plus, ce floculant est biodégradable.

9.1.2.2 Son application dans le bassin versant de la Doubégué

Ainsi, hors station de traitement, le Moringa peut être utilisé pour une turbidité comprise entre 50 et 200 NTU au Burkina Faso, et jusqu'à 270 - 380 NTU au Malawi. Au regard des relevés de turbidité effectués dans le bassin versant de la Doubégué, la majorité des traitements pourraient être réalisés durant la saison sèche : 7 à 9 points sur 11 relevés selon que l'on retienne comme limite 200 NTU ou 380 NTU (cf. Chapitre 6). Au cours de la saison des pluies cela semble plus difficile si l'on retient 200 NTU, mais pour 380 NTU, 6 lieux de prélèvements seraient traitables (cf. Chapitre 6).

Sur l'ensemble de l'année, les graines pourraient être utilisées de mi-septembre à janvier, ainsi qu'au cours du mois de juin (soit un minimum de 5,5 mois¹¹⁴). Cette utilisation

¹¹⁴ Juillet et août sont les mois pendant lesquels les taux de turbidité sont trop importants pour être traités. Quant aux mois de février à mai, les cours sont pour la majorité à sec.

pourrait donc être une solution applicable et réalisable. Reste à déterminer la possibilité et l'organisation de son introduction dans le bassin versant de la Doubégué, et plus largement de Bagré (cf. 9.4). Enfin, si l'on prend comme référence, l'étude de JAHN alors l'ensemble des eaux de la Doubégué pourrait être traité de juin à janvier. **L'emploi des graines du *Moringa oleifera* pourrait donc bien être une solution applicable et réalisable dans le bassin versant de la Doubégué.**

Sur le terrain, les deux études (Burkina Faso, Malawi) ont clairement montré l'intérêt des graines de cet arbre, facilement utilisables par les populations locales après une formation. Le dosage de la poudre varie en fonction du niveau de turbidité (**Tab. 53**). « *Deux grammes de poudre (...) (deux cuillères à café de 5 ml rases ou deux capsules de bouteilles de soda avec le dos rond)* » sont nécessaires pour traiter 20 litres d'eau (un grand seau) (FOLKARD *et al.*, 1990). Il faut ajouter un peu d'eau propre à la poudre pour en faire une pâte. Cette dernière doit être mise dans une bouteille nettoyée (bouteille de soda) à laquelle on ajoute une tasse d'eau propre (200 ml). On secoue pendant 5 minutes afin d'activer les « produits chimiques » contenus dans les graines écrasées. Puis, à l'aide d'un tissu de coton blanc, on filtre la solution au-dessus du seau de 20 litres rempli d'eau turbide. On mélange énergiquement l'ensemble durant 2 minutes, puis plus lentement de 10 à 15 minutes. « *Pendant que vous remuez lentement, les graines de Moringa lient ensemble (ou coagulent) les fines particules et bactéries pour en former de plus grosses qui ensuite coulent et se déposent au fond du seau* » (FOLKARD *et al.*, 1990). Le temps de repos est de 40 min à 1 h. C'est donc une méthode qui pourrait être adoptée pour le traitement de l'eau turbide en milieu rural. Cependant, quel que soit l'action des coagulants, des micro-organismes nocifs demeurent ; ils doivent être éliminés soit par la chlorination, les simples filtres, ou l'ébullition.

Niveau de turbidité	Dosage (graine/litre)	Dosage (mg/l)
< 50	1 graine pour 4 litres	50 mg/l
50 -150 NTU	1 graine pour 2 litres	100 mg/l
150 -250 NTU	1 graine pour 1 litre	200 mg/l
> 250 NTU	2 graines pour 1 litre	400 mg/l

Tab. 53 : Doses recommandées de *Moringa oleifera* (graines et poudre) pour purifier une eau
 Source : d'après Lea, 2010

9.1.2.3 Une utilisation complémentaire, la production d'huile

Pour l'alimentation humaine, il est possible d'extraire de l'huile des graines de Moringa. De plus, le gâteau restant après la presse contient les ingrédients actifs pour la coagulation naturelle. Il n'y a donc pas à choisir entre l'emploi des graines comme flocculant ou pour la production d'huile ; une utilisation mixte est réalisable.

Les graines contenant 40 % d'huile en poids, l'arbre fournit un rendement par hectare plus élevé que le tournesol ou les arachides (FOLKARD et SUTHERLAND, 1996). L'huile de Moringa peut être obtenue en quatre étapes : dorer les graines dans une poêle, les écraser afin d'obtenir une purée, les placer dans de l'eau bouillante, et récupérer l'huile remontée à la surface. De plus, cette dernière a une haute valeur marchande.

Ces graines ont également d'autres utilisations : en pharmacologie (pommade pour le traitement des infections bactériennes), dans le domaine alimentaire (graines extraites des gousses pouvant être mangées comme des pois (bouillies ou frites) lorsqu'elles sont vertes), ou encore dans l'industrie cosmétique (savon, parfum). Notons qu'au Malawi 17 usines ont été installées et sont appropriées à la production rurale à petite échelle. En moyenne 51 % de l'investissement est rentabilisé avec des profits de 21 % sur les ventes. On peut également citer l'association des Producteurs d'Huile de Plantes du Zimbabwe et les recherches réalisées au Kenya, au Brésil, en Tanzanie, etc.

Les graines ne présentent qu'une infime partie utilisable de cet arbre. Dans de nombreux pays où les problèmes alimentaires sont récurrents, ses feuilles et leurs vertus nutritionnelles sont connues depuis longtemps. Or, au Burkina Faso, les dernières enquêtes nationales tendent à montrer une dégradation progressive de la situation nutritionnelle, en particulier chez les enfants, contrastant avec l'amélioration de certains indicateurs de santé. Il existe une endémie sévère de malnutrition. Les taux des enfants souffrant de malnutrition aiguë et chronique sont passés respectivement de 13,3 à 18,3 % et de 29,4 à 38,7 %¹¹⁵ (auteur inconnu, Sidwaya, 24/08/2005).

9.1.3 Les feuilles et les cosses du *Moringa* comme compléments nutritionnels

Le régime alimentaire d'un grand nombre de sociétés est composé principalement d'un plat riche en amidon fait de moulée (grains) de maïs, de manioc, de millet ou d'une autre céréale. Les plats ou « sauces » qui les accompagnent, souvent seule source de protéines, de vitamines et de minéraux supplémentaires, sont donc très importants sur le plan nutritif. De plus, les légumes - feuilles traditionnels (**Fig. 50**) sont plus riches que la plupart des légumes dits européens (WESTPHAL *et al.*, 1987). Le *Moringa oleifera* peut alors être une solution tout à fait appropriée : en poudre extraites des feuilles séchées ou consommées fraîches dans les sauces accompagnant les plats.

Le temps de séchage des feuilles est de quatre jours pendant la saison des pluies et de deux jours en période sèche. Il est essentiel que cette opération se fasse rapidement et à l'abri du soleil (pour éviter la dégradation des vitamines par les rayons ultra-violet) et des poussières (pour empêcher les contaminations). Cette étape peut s'effectuer dans un lieu de séchage réalisé avec des matériaux simples et disposant de quelques ouvertures près du sol et sous le toit. A l'intérieur, des étagères sont aménagées sur lesquelles sont déposées des nattes où seront disposées les feuilles étalées en couches minces. Cette opération peut également se réaliser dans une case non habitée aux fenêtres fermées où les feuilles sont déposées sur des nattes et retournées fréquemment. Le séchage peut aussi se faire sur un fil dans une case, où des nattes seront déposées au sol pour recueillir les feuilles sèches.

Une fois cette opération effectuée, il est important d'examiner les feuilles afin d'écarter celles portant des taches grises qui ne devront pas être consommées, mais qui pourront toutefois être utilisées comme compost. Dans le cas de feuilles intactes, les folioles

¹¹⁵ Cet écart entre les résultats s'explique par les différentes périodes pendant lesquelles les enquêtes ont été réalisées : après récolte et soudure

des pétioles sont séparées, puis broyées au mortier ou au moulin. Le produit final est une poudre fine bien verte (**photo 103**). Elle peut être conservée, mais elle doit être stockée à l'ombre dans un récipient fermé. Toutefois, si la poudre est brune, elle est inconsommable.



Photo 103 : Poudre issue de feuilles de *Moringa oleifera* comestible ajoutée à un plat traditionnel
Cliché : D. Strong

Les feuilles fraîches et la poudre du *Moringa oleifera* sont comestibles et évitent des maladies liées à la sous-nutrition ou à la malnutrition. En effet, au Burkina Faso, on assiste à une prévalence élevée de certaines carences nutritionnelles spécifiques principalement en fer, en iode et en vitamine A ; or, la feuille de Moringa riche en nutriments pourrait y remédier.

Le *Moringa oleifera* est nettement plus riche en vitamines, minéraux et protéines que la plupart des légumes. Cette richesse nutritive a été mise en évidence par les analyses de l'Institut de Recherche en Science de la Santé (IRSS) à Ouagadougou. Ces feuilles fraîches peuvent donc constituer un aliment complet (GOPALAN *et al.*, 1971 révisé en 1989). Elles contiennent des protéines digestives, du calcium, du potassium, de la vitamine A, du fer, de la vitamine C, en quantité supérieure en regard d'autres aliments riches, ainsi que des vitamines B1, B2, B3, du magnésium, du phosphore, du manganèse, du cuivre, etc. (**Tab. 54**). Sa poudre comparée aux épinards dispose de : 9 fois plus de protéines, 15 fois plus de potassium, 10 fois plus de vitamine A, et 25 fois plus de fer.

Nutriments	Feuilles de Moringa	Autres aliments
Protéine digestive	6,7 g	Lait : 3,2 g
calcium	440 mg	Lait : 120 mg
potassium	259 mg	Banane 88 mg
Vitamine A	6,78 mg	Carotte : 1,89 mg
Fer	6,8 mg	Viande de bœuf : 2 mg et Lentilles : 8 mg
Vitamine C	220 mg	Orange : 30 mg

Tab. 54 : Comparaison entre les valeurs nutritives des feuilles du *Moringa oleifera* et des aliments de base
Source : d'après Gopalan, 1971

Les feuilles fraîches et vertes sont les plus nutritives. Il faut enlever les tiges et les cuisiner comme n'importe quel légume vert à feuilles. Une demi-tasse de feuilles cuites répond aux besoins journaliers en vitamines A et C. Dennis REMPEL souligne qu'au Burkina Faso « les gens ont adoré les feuilles (...) Ils affirment qu'elle est rare mais très prisée comme ingrédient ajouté aux sauces. Tout le monde en veut plus ». Ainsi, les femmes du groupement

pré-coopératif féminin Dakupa de Karpogo/Garango sont intéressées par le développement du *Moringa oleifera*. Leur objectif est alors de d'introduire 1 600 plants. Une partie sera utilisée pour récolter les feuilles, et une autre pour produire des arbres de haute tige.

La poudre peut être mélangée aisément à toutes sortes de plats (bouillies, sauces du *tô*, au riz, au couscous) et aux boissons (*bissap*, tisane, café, thé). Il est essentiel de ne pas cuire la poudre mais de l'ajouter après la cuisson afin d'éviter la dénaturation des vitamines. Elle peut être un complément particulièrement efficace pour certaines populations (programme du CWS « *Moringa oleifera* : nutrition naturelle dans les tropiques » (Sénégal)). Ainsi la consommation par enfant (de 1 an à 3 ans) de 8 g de poudre (une cuillère à soupe) correspond à ses besoins : 14 % en protéines, 23 % en fer, 40 % en calcium, et à tous ceux en vitamine A (DIOUF *et al.*, 2004). Elle est également recommandée aux femmes enceintes (acide folique contenu dans les feuilles) et à celles qui allaitent (3 cuillères à soupe de poudre/j) couvrant 78 % de leurs besoins en vitamine A, 40 % en calcium et 45 % en fer. Et, cette poudre est conseillée aux personnes âgées malades et/ou fatiguées.

Enfin, d'un point de vue nutritionnel, ses cosse sont également consommables. Une demi-tasse de cosse crues correspond à l'apport journalier en vitamines (**Tab. 55**). Mais, au Burkina Faso et plus largement en Afrique de l'Ouest, elles sont peu utilisées comme aliment.

	Gousse	Feuilles	Poudre de feuille
Protéines	2,5 g	6,7 g	27,1 g
Vitamine A Carotène	0,11 mg	6,8 mg	18,9 mg
Matières grasses	0,1 g	1,7 g	2,3 g
Minéraux	2,0 g	2,4 g	-
Fibres	4,8 g	0,9 g	19,2 g
Sucres	3,7 g	13,4 g	38,2 g
Calories	26	92	205
Calcium	30 mg	440 mg	2 003 mg
Phosphore	110 mg	70 mg	204 mg
Fer	5,3 mg	7 mg	28,2 mg
Magnésium	24 mg	24 mg	368 mg
Sodium	0		
Potassium	259 mg	259 mg	1 324 mg
Cuivre	3,1 mg	1,1 mg	0,57 mg
Manganèse	0,05		
Zinc	0,16		
Chrome	0,003		
Chlore	423		
Vitamine B1 Thiamine	0,05 mg	0,21 mg	2,64 mg
Vitamine B2 Riboflavine	0,07 mg	0,05 mg	20,5 mg
Vitamine B3 Niacine	0,2 mg	0,8 mg	8,2 mg
Vitamine C	120 mg	220 mg	17,3 mg

Tableau 55. Valeurs pour 100 g des principaux éléments nécessaires à une bonne nutrition

Source : d'après de The Miracle Tree de Lowell FUGLIE

Le sujet central de notre étude n'est pas la malnutrition, mais nous ne pouvions passer sous silence ce fait en regard de son importance observée dans le bassin de la Doubégué. L'apport du Moringa dans le domaine de l'alimentation renforce la priorité de son utilisation déjà mise en évidence par l'usage de ses graines. Nous situant dans une démarche globale, durable et intégrante, l'implantation d'un arbre aux usages multiples tant dans les domaines purificateur, nutritionnel qu'environnemental peut jouer un rôle important et être d'autant mieux reçu par les populations de la région. De plus, c'est une source de bois de chauffage, de fourrage, et il peut être utilisé en agroforesterie, comme pare-feu, ou encore pour la préservation de l'environnement.

9.1.4 L'arbre comme protecteur de l'environnement et enrichisseur des sols

Dans l'optique d'une protection de l'environnement et des sols, le *Moringa oleifera* peut être planté comme clôture vivante (en particulier autour des jardins) et intégré à des systèmes de culture en allées. En effet, il dispose d'une croissance rapide, de profondes racines, de peu de racines latérales, d'un ombrage faible, et d'une production importante de biomasse avec beaucoup de protéines.

À partir du gâteau de graines obtenu suite à l'extraction de l'huile, il peut également être utilisé comme un engrais vert riche en protéine. Le procédé consiste à semer des graines de Moringa à 1-2 cm de profondeur espacé de 10 cm dans un sol labouré. 25 jours plus tard, il faut travailler ce dernier à une profondeur de 15 cm et le préparer pour la culture désirée (FUGLIE, 1999).

L'incorporation des feuilles de Moringa dans le sol peut aussi prévenir contre la maladie de la fonte des semis (*Pythium* spp.) chez les jeunes plants.

Les qualités nutritives du Moringa sont utiles également pour les animaux, en particulier pour les bovins. En effet, il s'agit d'une excellente essence fourragère. Les feuilles sont riches en protéines, en carotène, en fer et en acide ascorbique, et les gousses ont une teneur élevée en lysine (acide aminé). Il produit également une plus grande quantité de matière fraîche à l'unité de surface que les autres plantes fourragères.

Enfin, l'extrait de feuilles de Moringa contient une hormone de croissance végétale (BIOMASA), et peut être utilisé en aspersion sur les feuilles pour accélérer la croissance des jeunes plants. La zéatine est une substance active du Moringa, une hormone végétale du type cytokine. L'augmentation des rendements est alors de 20 à 35 % (meilleurs pour des concentrations de l'extrait d'éthanol de 0,08 à 0,16 %) (Bendona BOSE, département de Botanique, Université de Gorakhpur). Il accroît aussi la robustesse des plants (tiges et feuilles) et leur résistance aux maladies. Quant aux fruits, ils sont plus gros et plus nombreux avec une teneur plus élevée en sucre (Tab. 56). Cet extrait s'obtient par pressage ou à l'aide d'un ultraperformant avec filtration de 20 g de feuilles tendres dans un volume total de 675 ml d'éthanol aq. à 80 % (MAKKAR et BECKER, 1996). Cette pulvérisation foliaire doit être utilisée avec d'autres engrais, des arrosages et des pratiques agricoles adéquates.

Culture	Effet de l'hormone du Moringa	Rendement avec hormone (kg/manzana ¹¹⁶)	Rendement sans hormone (kg/manzana)
Arachide	Fleurs plus grandes MS plus élevée Rendement amélioré Fruits de meilleure qualité	3 750	2 954
Soja CEA-CH 86	Fleurs plus grandes Biomasse plus élevée Rendement amélioré	2 182	1 591
Maïs NB-6	Rendement amélioré	6 045	4 454
Sorgho H887-V2	Rendement amélioré	3 234	2 787
Oignon (Sondeo) Granex	Poids moyen plus important	2 954	2 591
Tomate (Sondeo) Santa Clara	Floraison améliorée	-	-
Haricot noir Dor – 364	Rendement amélioré	1 125	945
Haricot noir Esteli 150	Rendement amélioré	841	886

Tableau 56. Impacts de l'hormone végétale extraite du Moringa sur différents types de culture

Source : d'après les données du projet Biomasa, 1999

Le *Moringa oleifera* est synonyme d'apport nutritionnel, de purificateur. Il peut également tenir une place importante dans le secteur agricole (engrais vert) et pastoral (fourrage) permettant ainsi le développement de ces activités agro-pastorales. De plus, sa production agroforestière, ou intercalée avec les cultures, protège et enrichit le sol. Cependant, ses atouts ne se limitent pas à ces domaines et s'étendent à celui de la pharmacologie.

9.1.5 Les autres applications actuelles et à court terme

D'un point de vue pharmacologique, les différentes parties du Moringa jouent un rôle précieux. Les feuilles vont être utilisées pour le traitement des bronchites, des infections des oreilles, des yeux, et pour la stabilisation de la tension artérielle, du taux de sucre dans le cas de diabète (infusion au Sénégal), et du taux de cholestérol (GHASI *et al.*, 2000). Associées au miel, elles soignent la diarrhée, la dysenterie, etc. Et le suc des feuilles de jeunes pousses est utilisé comme antiseptique pour la peau et contre la colique.

Les fleurs de Moringa (**Fig. 50**) sont, quant à elles, employées comme tonique, diurétique, et abortif. Les gousses sont également utilisées pour le traitement du foie et des douleurs articulaires.

Les graines ont une action contre la fièvre. Leur infusion inhibe les spasmes intestinaux. L'huile, riche en vitamine C et en fer, aide à soigner la prostate, les troubles de la vessie, et est aussi considérée comme tonique et purgative.

¹¹⁶ 1 manzana vaut 0,705 hectares ou 7 050 m².

Enfin, les racines et l'écorce du Moringa sont les deux dernières parties utilisables. Les premières sont riches en antibiotiques à spectre large et contiennent un cardiotonique (spirochine) et des alcaloïdes (moringine), mais demeurent sans application pharmaceutique actuellement. Elles ont des propriétés anti-inflammatoires, purgatives, et sont un condiment alimentaire. La seconde, l'écorce, sécrète une résine antidiarrhéique, diurétique et fébrifuge (FOLKARD et SUTHERLAND, 1996) et abaisse la tension artérielle.

Outre ces utilisations, de nombreuses recherches sont en cours sur les applications potentielles du Moringa telles que l'emploi des feuilles dans l'alimentation animale (bétail, moutons, chèvres, cochons, lapins, mais aussi carpes et autres poissons). BIOMASA (programme au Nicaragua) a ainsi montré que l'utilisation de ces feuilles entraînait un accroissement de la production laitière et le gain quotidien de poids des bovins à boucherie (plus de 30 %). Néanmoins, il faut prendre soin d'éviter une ingestion excessive de protéine (programme ECHO).

Quant à la gomme de Moringa, elle peut servir à l'impression sur calicot et à la fabrication de médicament. Son écorce peut être employée en corderie, et associée à la gomme, être utilisée au tannage des peaux. Son bois donne une teinture bleue. Cependant, il est trop pauvre comme bois de chauffage (tendre, spongieux). Mais, sa pâte convient à la fabrication du papier à lettre ou du papier journal. Ce végétal peut être également utilisé dans le domaine de l'apiculture car ses fleurs sont une bonne source de nectar pour les abeilles (FUGLIE, 1999).






	RACINE	COSSSES	GRAINES	ÉCORCE	FLEUR	GOUSSES	FEUILLES fraîches	FEUILLES séchées	
									
		© Forest & Kim Starr CC BY	amandes écrasées huile poudre tourteaux pressage gateau de graine		© T. Motis		Cliché: B. Robert, 2008		
									
		© M. Schneider	Traitement de l'eau	engrais					
PHARMACOPÉE ENVIRONNEMENT	Maladies anti-inflammatoire, purgatif		Soins cutanés, prostate, troubles de la vessie, tonique et purgatif	Fièvre, spasmes intestinaux	Résine antidiarrhéique, diurétique et fébrifuge tension artérielle	Tonique diurétique et abortif	Foie et douleur	Stabilisation de la tension artérielle bronchites, infections des yeux, oreilles, cholestérol	Poudre prévention de maladies
COSMÉTIQUE			Savon, parfum						
NUTRITION	Condiment alimentaire	Apport nutritionnel	Huile alimentaire	Pois bouillis ou frits			légume vert à feuille à cuire	Poudre non cuite : dans plat ou dans boisson locale	
ÉLEVAGE				Aliment animal			Fourrage et accroissement production		
AGRICULTURE AUTRES ACTIVITÉS				Teintures, tannins	Apiculture		Incorporation dans le sol pour prévenir la fonte de semis Extrait utilisé comme une hormone de croissance	Compost	

Fig. 50 : Le *Moringa oleifera*, l'arbre de la vie : un végétal aux multiples vertus

Aux vues des différentes utilisations du Moringa et de son apport dans la protection des eaux et des sols (de l'environnement au sens large), il peut être qualifié de diamant du Burkina Faso. De plus, son implantation y est de plus en plus demandée. C'est pourquoi, il nous semble particulièrement intéressant de le développer dans le bassin de la Doubégué, et plus largement dans celui de Bagré. Pour se faire, nous nous appuierons sur l'expérience menée par Lassané Placide SEKONE dans la région de Garango (bassin versant du Tcherbo), située à quelques dizaines de kilomètres au nord-ouest de notre bassin versant d'étude.

9.1.6 L'implantation locale du Moringa, l'exemple encourageant de Garango

D'une part, *« le Moringa Oleifera offre aux populations la possibilité d'équilibrer leur alimentation pour une meilleure santé, pour lutter contre la malnutrition et toutes sortes de maladies à peu de frais »* (SEKONE, 2008). D'autre part, *« il constitue une ressource locale. Ceci contraste avec beaucoup de programmes de lutte contre la malnutrition qui dépendent de produits importés et de soutiens extérieurs... Le Moringa est une solution très simple et facilement accessible aux problèmes de malnutrition »* (FUGLIE, 1999). Nous ajouterons également qu'il est une solution aux problèmes de protection de l'environnement (eau, sol et végétation). L'exemple de plantations menées par SEKONE dans la région de Garango est particulièrement intéressant et pourrait servir de modèle à une mise en place dans le bassin versant de la Doubégué.

Avant d'effectuer l'implantation du Moringa, il est essentiel que soient réalisées des formations (par exemple dans une salle de cours) au minimum d'un jour. Cette première étape est primordiale, car elle permet de faire prendre conscience aux populations de la richesse de cet arbre. Il est nécessaire qu'elles s'approprient cet arbre, et comprennent qu'il doit, à présent, faire partie de leur environnement et de leur quotidien : apport nutritionnel, amélioration de la santé, enrichissement des parcelles, alimentation du bétail, et protection environnementale. Dans un second temps, des équipes sont formées afin de réaliser les plantations et leur surveillance. Les lieux choisis pour ces opérations ont été retenus auparavant par Lassané Placide SEKONE en fonction du sol, de l'emplacement, de la disponibilité et de la bonne volonté du village de laisser ces terres. Ces formations s'effectuent chaque année, principalement en juillet et août. En effet, la majorité des (re)boisements, des enherbements, des plantations de Moringa se déroule lors de la saison humide afin que les plants disposent de conditions idéales pour croître.

Trois modes de plantations peuvent être réalisés : la mise en place des jeunes plants, des semis directs, et des boutures.

Dans le premier cas, les semences (1 700 plants/kg valant 18 000 F CFA/kg) sont trempées pendant 24 h, le terreau est composé de sols sableux et de sols meubles, auxquels est ajouté du compost. Deux graines sont déposées par pot (semis en pots plastiques de 7 cm de rayon et 10 cm de hauteur), puis un traitement phytosanitaire et un démariage (éclaircissage) sont réalisés. La transplantation s'opère dans des trous de 30 cm de diamètre espacés de 2 m, qui sont par la suite fertilisés avant d'effectuer le repiquage. Cette méthode présente un taux de production élevé mais est onéreuse.

Le second mode est le semis direct. Les graines sont plongées dans l'eau pendant 12 h, avant d'être semées (2-3 graines par trou espacé de 2 m). Un mois auparavant, des labours de 30 cm de profondeur ont été réalisés ainsi qu'une pulvérisation (1 ou 2 semaines avant la plantation). L'investissement est moindre mais la plantation n'entrera en production que la 2^{ème} année.

Enfin la dernière technique peut être effectuée à l'aide d'une bouture de 30 cm, comportant au moins 4 nœuds. Il est préférable de repiquer tout de suite, dans les mêmes conditions que le semis direct. L'investissement est toujours moindre, mais cette technique est plus rarement mise en place dans le cas d'une plantation à grande échelle.

Ces plantations entrent dans le cadre de l'aide apportée par le PROGEREF sous forme de microcrédits. Cependant, ces formations sont encore trop peu présentes dans la région de Tenkodogo comme dans l'ensemble du Burkina Faso. Pourtant, cette plante peut répondre à de nombreuses difficultés liées à la problématique des pertes en terre et en eau, à la malnutrition, et à l'essor socio-économique de la région.

Un développement doit donc s'opérer au niveau des parcelles, par l'appropriation personnelle, mais également des villages (parcs et jardins communautaires). Il faudrait que chaque localité dispose dans un premier temps de quelques hectares plantés en Moringa et d'une formation sur la purification et l'ensemble des vertus de cet arbre. Le microcrédit et les opérations de grande ampleur menées par des associations ou les services des ministères ont et auront pour but de faire prendre conscience aux populations de l'intérêt immense de cet arbre pour leur alimentation, leur santé et surtout pour l'accroissement de leur niveau de vie. D'un point de vue individuel, les agriculteurs ont tout intérêt à effectuer des cultures en intercalaires, de le planter comme haies autour de leurs champs, sur les parcelles les plus à nu, ou encore pour les moins pauvres de dédier une parcelle entière à cet arbre.

Il serait également important d'utiliser les médias afin de promouvoir les vertus du Moringa. Des petites fiches explicatives pourraient être aussi distribuées, affichées dans les villages, ou encore fournies lors des dons de pieds de Moringa. Par l'intermédiaire de l'école, les jeunes pourraient relayer l'information apprise dans chaque famille ou concession villageoise. L'exemple présenté ci-dessous (**Fig. 51**) a été réalisé à destination d'une population indienne. Sa transposition peut être imaginée au Burkina Faso en changeant les personnages et les noms et en la traduisant en Bissa, en Mooré et en Fulfulde selon les régions et la population ciblée. Cette illustration met en avant l'importance nutritive du Moringa, il serait également possible de réaliser une bande dessinée présentant ses autres vertus : protecteur de l'environnement, engrais vert, purificateur, etc.

Le *Moringa oleifera* est une essence locale répondant à de multiples problématiques centrales au Burkina Faso : malnutrition, problèmes de santé, dégradation de l'environnement, pollution des eaux (**Fig. 50**). Et, c'est là toute sa force. Ainsi, il peut participer au développement humain tout en permettant une meilleure préservation de l'environnement et le maintien, voire même l'accroissement du couvert végétal, point de départ des risques de pertes en terre et en eau. Dans le cadre de la protection de ces derniers, le *Moringa oleifera* n'est pas le seul végétal intéressant à développer au Burkina Faso ; le *Jatropha curcas* peut être également d'une très grande aide. Son usage se développe peu à peu dans ce pays. Il

pourrait lui aussi participer à l'essor économique tout en préservant le « milieu naturel ». Il serait alors une sorte de partenaire du développement durable.

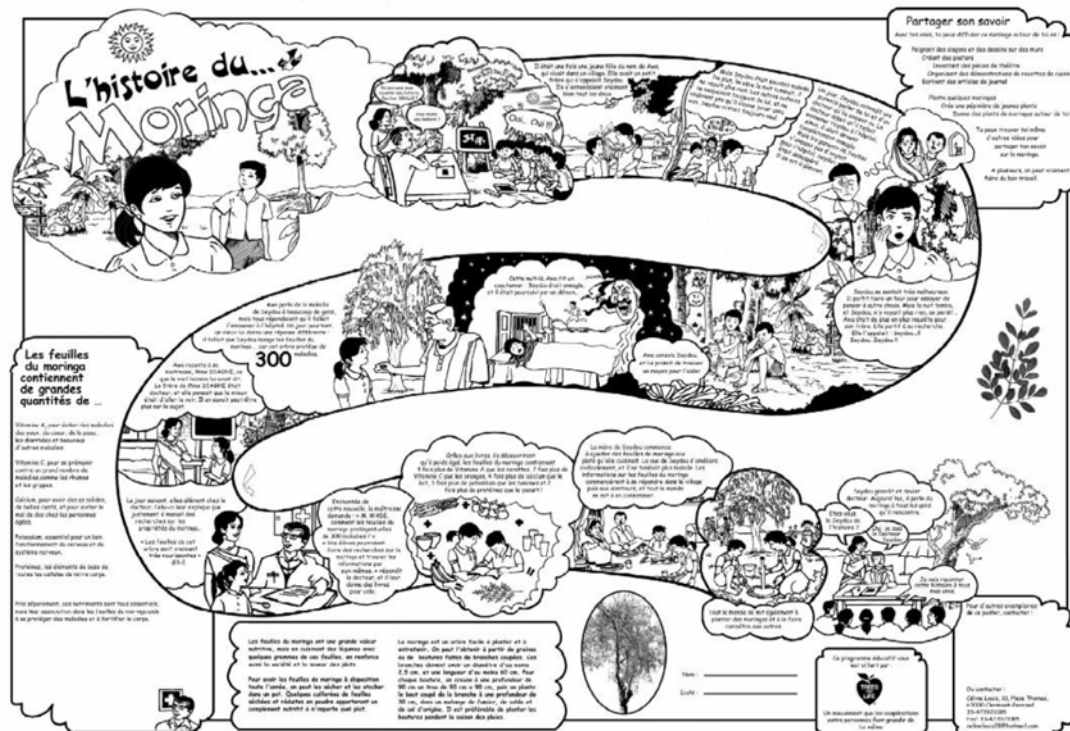


Fig. 51 : Fiche pédagogique expliquant les vertus nutritives du *Moringa oleifera*
Source : trees for life

9.2 Le *Jatropha curcas*... l'émeraude du Burkina Faso ?

Le *Jatropha curcas* est un arbuste, haut de 3 à 4 m pouvant atteindre 8 m, d'une durée de vie de 40 à 50 ans, de la famille des *Euphorbiaceae* originaire d'Amérique centrale (**photo 104**). En Afrique, il est traditionnellement utilisé pour la réalisation des clôtures vives, et appelé pourghère. Sa culture a été introduite par des navigateurs portugais (Cap Vert et Guinée Bissau) au XVIème siècle. Au Burkina Faso, elle a été encouragée sous l'ère coloniale. De nombreux chercheurs ont travaillé sur l'intérêt de ce végétal en particulier sur : son huile (AUGUSTUS *et al.* 2002), ses fruits (SIRISOMBOON *et al.* 2007), son développement et sa productivité (HELLER, 1996), et son influence sur les propriétés du sol (SANOU, 2010). Ses graines contiennent une amande oléagineuse qui ouvre actuellement un nouveau champ d'intérêt économique. Nommé l'or vert suite à son développement en Inde comme agrocarburant, pourrait-il devenir l'émeraude du Burkina Faso ?

9.2.1 Le rêve de la production d'un agrocarburant

Depuis une décennie, l'amande de cet arbuste est devenue l'intérêt d'enjeux financiers. L'huile de pourghère pressée peut être utilisée comme carburant dans un moteur : en la mélangeant au gasoil, ou en la transformant en ester pour obtenir un biodiesel. En 2009, l'huile de *Jatropha* a été utilisée en milieu rural. Ainsi, dans un premier temps, elle peut être employée localement pour permettre le fonctionnement de plusieurs machines.

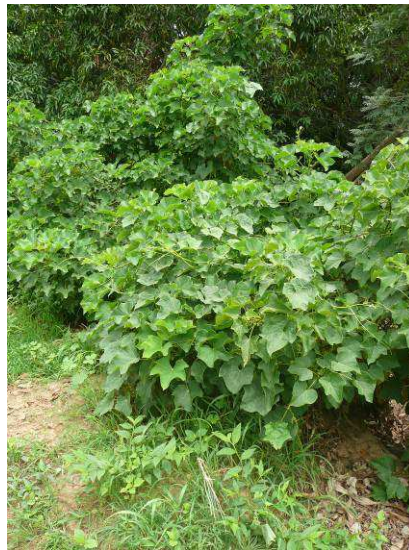


Photo 104 : Le *Jatropha curcas*

Cliché : E. Robert, 2009

9.2.1.1 La mise en place du *Jatropha curcas* au Burkina Faso

Dès 1985, Makido OUEDRAOGO a réalisé un premier essai démonstratif de combustion de l'huile de pourghère dans un moteur diesel. Ainsi, bien que connu depuis plusieurs décennies, elle a pendant longtemps été considérée comme une solution non applicable car non rentable. Or, aujourd'hui avec un baril de brut supérieur à 100 \$, cette culture devient une réponse pour produire localement du carburant. En 2008, le Burkina Faso importait 500 000 m³ d'hydrocarbures pour un coût de 250 milliards de F CFA (380 millions d'euros). De plus, des subventions étatiques existent pour rendre le prix abordable au consommateur. Le kWh vaut alors 131 F CFA sans ces dernières et 82 F CFA après (LAUDE, 2009). Le domaine énergétique pèse lourd dans la balance commerciale burkinabée, déjà déficitaire. Le gouvernement a donc décidé de se lancer dans la recherche de solutions afin d'atténuer cette dépendance énergétique. Le choix s'est porté sur le *Jatropha* poussant sur des sols pauvres et dont le taux d'huile est élevé : 40 %.

Ainsi, pour 1 milliard de F CFA d'hydrocarbures substitués par des biocarburants, 1 à 1,2 milliards de F CFA de valeur ajoutée seront générés, dont 250 à 600 millions de F CFA reviendront au monde rural (LAUDE, 2009). Cette voie semble alors très intéressante.

Les années 2000 constituent la période des avancées technologiques. Le 28 novembre 2007, le Ministre d'État Salif DIALLO (Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques) et Charles MILLON (membre du Conseil de surveillance d'AgroEd (Agro Energie Développement)) ont signé une convention cadre prévoyant l'implantation d'une usine de production de biocarburants¹¹⁷. Le but est de mettre sur le marché des biocarburants compatibles avec les normes internationales reconnues, notamment l'EMHV (l'Ester méthylique d'huile végétale) et la norme européenne EN14-214. Le handicap majeur réside dans le fait que peu de structures disposent des compétences requises pour se lancer

¹¹⁷ Cette signature intervient après deux ans d'expérimentation au Mali.

dans l'exploitation efficiente du Jatropha : usine de Ouagadougou fait exception mais sa capacité demeure limitée.

Ce projet pilote a montré qu'un hectare de Jatropha produit jusqu'à 2000 l de diester et 2 t de tourteaux. Un litre d'huile correspond à 1 litre de gasoil, et 15 000 t de tourteaux permettent de produire 2,7 millions de kWh, correspondant aux besoins quotidiens en électricité de 6 000 personnes. A titre d'exemple, au Mali, une usine de production de biocarburant dispose pour l'instant d'une capacité de transformation faible (750 000 l/an), mais est porteuse d'espoir.

L'accord entre AgroEd et le gouvernement burkinabé prévoit alors une production sur 200 000 ha encadrant 500 producteurs dans quatre provinces du pays (surtout à l'ouest où le climat est plus « clément »). A terme, la firme désire installer des unités de transformation de graines de Jatropha pour produire du biocarburant dans l'ensemble du Burkina Faso. Elle souhaite induire un « *cercle vertueux du développement local tout en répondant aux impératifs énergétiques des pays africains* » (AgroEd, 2007). Elle s'appuie sur un partenariat public - privé entre la compagnie, les États, les communautés villageoises et cette nouvelle filière.

Dans un premier temps, l'objectif est l'autosuffisance énergétique en milieu rural. Dans ce cas précis, la production ne nécessite pas une quelconque transformation en biodiesel. La graine est pressée afin d'obtenir l'huile puis des tourteaux. Dans un second temps, par raffinage, l'huile est transformée en biodiesel grâce à un procédé appelé transestérification. Par l'ajout d'alcool, le biodiesel et la glycérine sont alors obtenus. Cette seconde étape sera donc réalisée dans le but de minimiser la dépendance énergétique du pays.

Par ailleurs, une autre entreprise veut également jouer un rôle dans la production de biocarburant : AGRITECH-FASO (partenariat avec une équipe de chercheurs Américains, Australiens, Philippins, Chinois et Burkinabés). En 2008, dans la commune de Boni, une plantation à grande échelle de Jatropha a été mise en place. La pépinière a produit 500 000 pieds mis à la disposition des populations qui vont gérer 200 ha de plants. AGRITECH-FASO a également un projet de culture de 200 000 ha dans plusieurs communes du Burkina Faso.

Ainsi entre 2007 et 2009, 70 000 ha ont été cultivés. À partir de 2011 - 2012, ces superficies commenceront à produire de façon effective. En effet, la filière du biodiesel demande une période de maturation de 3 à 5 ans. A l'heure actuelle, on estime au Burkina Faso qu'un hectare produit jusqu'à 1,2 tonnes de graines soit une production de 300 l d'HVB/ha (Huile Végétale Brute). Selon LAUDE (2009), ces chiffres seraient sous-évalués et les résultats seraient plutôt de 2 à 3 t/ha de graines soit une production de 500 à 1 000 l/ha. En réalité, les valeurs varient en fonction des différents climats présents au Burkina Faso : 300 l pour une production paysanne en domaine sahélo-soudanien et 1 000 l dans le cas d'une monoculture intensive (JANIN, 2009). Par conséquent, nous retiendrons les chiffres de LAUDE et de JANIN qui nous semblent plus réalistes que ceux du projet pilote de AgroED.

Dans un premier temps, ce biodiesel serait utilisé au niveau de la Sonabel (carburant de moteur stationnaire au régime constant équipé d'un système de biocarburant) et en mélange avec du gasoil dans une proportion de 30 - 40 % pour des moteurs de petites

puissances (motopompes, tracteurs, pompes pour l'adduction de l'eau, etc.). La qualité biodiesel destinée aux énergies de transport devrait entrer en vigueur en 2015.

9.2.1.2 Les types de filières de production à partir du *Jatropha curcas*

Il existe trois filières : villageoise, semi-industrielle et industrielle répondant chacune à une problématique donnée.

Le choix de cet arbuste est particulièrement intéressant car la technologie utilisée afin de produire une HVB peut être modulable à l'échelle **villageoise** (Tab. 57). Au Burkina Faso, des presses ont déjà été fabriquées produisant 20 000 l/an pour 2 000 heures d'utilisation. La technique se fait par trituration, pressage et filtrage ou décantation. Ainsi, l'agriculteur récoltera les graines (à la fin de la saison des pluies après le travail sur les champs) et les vendra à la structure associative ou privée qui sera chargée de les traiter. L'HVB sera alors utilisée localement (batteries, motopompe...). Il n'existe pas de concurrence entre le ramassage des graines et les autres travaux agricoles. La « *filière villageoise doit bien être comprise comme une nouvelle option d'approvisionnement énergétique du monde paysan et non pas comme une option de substitution à celle des hydrocarbures* » (LAUDE, 2009).

Dans un premier temps, dans le bassin versant de la Doubégué, les unités de production traiteront 20 à 60 t de graines pour produire 5 000 à 15 000 l d'HVB destinés à la consommation locale. Dans un second temps, les infrastructures seraient agrandies afin de regrouper la production de graines de plusieurs villages (500 à 1 000 t).

Cette solution pourrait être appliquée aux principaux villages de notre bassin versant : Loanga, Zabo, Ounzéogo, Ouéloguen, Sasséma. D'une part, ce secteur comprend le plus de villages. D'autre part, les associations y opèrent depuis longtemps et ces villages sont très réceptifs et déjà participatifs (cf. Chapitres 4 et 8). En raison de la taille de ces localités, les unités de production pourront traiter plusieurs centaines de tonnes de graines. Un premier développement sur ces cinq sites permettrait à leurs villageois d'y participer pour, dans un second temps, avoir un effet d'impulsion sur les villages de plus de 1 000 habitants (Zaka, Ouréma) avec des unités de 60 à 100 t de graines. La rive droite serait ainsi bien pourvue et sur celle de gauche : on pourrait envisager leur mise en place au niveau de Boura et Ouanagou qui inciteraient à leur création dans de nouveaux villages comme Séla.

En effet, dans un souci d'équité, il est essentiel que le développement de ces structures se fasse sur chaque rive de la Doubégué. Les graines récoltées viendront des parcelles collectivement mises en plantation, ainsi que de chaque agriculteur (parcelle individuelle, clôture, etc.). Le mode d'installation du *Jatropha* sera développé, ci-après, conjointement avec le neem et le Moringa (cf. 9.4). Par l'instauration de ces unités, l'augmentation de la ressource ligneuse sera également observée et le développement local facilité. Les producteurs d'oléagineux, approvisionnant l'unité de production villageoise, paieront l'énergie au prix de 200 F CFA/l. Pour les autres utilisateurs du villageois (moulin, décortiqueuse, broyeur, adduction d'eau, tracteur, petite électricité, etc.) le coût sera de 473 F CFA/l. Il existerait donc une réelle économie face au prix du gasoil à la pompe qui s'élève aux alentours de 560 F CFA/l (fin 2010, il a même atteint 590 F CFA/l). Il s'agit une nouvelle fois d'impulser un cercle vertueux dans le monde paysan.

Pour convaincre les utilisateurs potentiels, il faut leur démontrer que l'HVB est compatible avec leurs moteurs. On peut alors imaginer, la création à Tenkodogo d'une unité

de transformation et d'application utilisant les outils du monde rural de la Doubégué et accueillant des habitants des différents villages pour leur montrer le fonctionnement (relais de l'information). Le conseil du village déciderait dans un dernier temps de la volonté ou non de mettre en place une unité de production et de monter une demande de microprojet auprès du PADAB II, du PROGEREF, ou encore en lien avec une association.

La filière **semi-industrielle** s'adresse à des localités dont la production est destinée à la consommation locale et à l'utilisation pour la production d'électricité. Cette fois-ci, le *Jatropha* s'intègre davantage dans une logique de substitution des hydrocarbures. L'huile brute est alors acheminée vers un centre de traitement et de conditionnement qui la rendra conformes aux normes (**Tab. 57**).

Dans le cas du bassin versant de la Doubégué, cette réalisation serait possible à Bagré qui pourrait fournir de l'énergie à la Sonabel ainsi qu'aux différents riziculteurs. Tenkodogo serait aussi un site favorable au traitement des graines issues de la région (secteur amont du bassin versant de la Doubégué, du Tcherbo), distribuées ensuite à des promoteurs et des industriels. À Bagré, une entreprise italienne cherche d'ailleurs à produire ce biocarburant, en contrôlant l'ensemble de la production de la culture à la vente de l'huile. Cependant, l'implantation et le développement de cette espèce ne sera durable que si les populations se sentent concernées et prennent part au projet. La création de coopératives produisant et distribuant sans passer par des entreprises étrangères semble être la meilleure solution.

Enfin, il convient de présenter la filière **industrielle** qui constitue l'option majeure de réduction des importations des hydrocarbures au Burkina Faso (**Tab. 57**). Dans ce processus, seule la production de graines serait effectuée au niveau villageois. Le système ressemblerait alors à celui du coton : une organisation faîtière encadrerait la paysannerie locale pour une production d'oléagineux.

Il est important de souligner que dans le cadre des filières semi-industrielle et industrielle, les unités de production devraient traiter 120 000 t dès 2015 (LAUDE, 2009).

En définitive, l'huile de *Jatropha* aurait deux principaux modes de distribution : l'une dans le monde agricole participant ainsi au développement rural, et l'autre dans les stations essence venant en complément du diesel existant. Le Ghana, le Mali ont également lancé des projets afin de produire ce biocarburant. Des stations-services existent déjà en Inde et à Madagascar (4 000 Ar soit 1,43 € le litre d'huile, le prix diminuera dès que le marché sera développé : 1 900 Ar soit 0,68 € le litre). En 2009, au Burkina Faso, 200 plates-formes (presse à huile, moteur, décortiqueuse et moulin) ont été installées, 100 étaient en cours d'installation, et 500 villages ont déposé une demande d'équipement. Le gouvernement burkinabé a reçu l'appui de nombreux bailleurs de fonds. Il s'est engagé dans un nouveau projet pour équiper 200 villages sur la période 2009 - 2012, et travaille en collaboration avec le programme Plate-forme multifonctionnelle du PNUD. Des Cellules d'Appui Conseil (CAC) ont été instaurées. L'exploitation de cette essence est bien en plein essor au Burkina Faso.

Néanmoins, il faut être prudent et éviter que cette culture ne se transforme en un nécro-carburant. Elle doit devenir une culture de rente sans pour autant nuire aux autres activités agricoles. L'atout majeur du *Jatropha curcas* est qu'il peut être utilisé pour restaurer

les sols et reverdir les régions : reboisements prioritairement sur les terres inaptes aux cultures. Il peut être aussi planté comme haies vives ou entre les rangées d'arachides (SABIN, président du conseil de surveillance d'AgroEd), de sorgho, etc. L'espacement le plus recommandé est alors de 6 m * 4 m avec le vivrier et de 10 m entre chaque bande de *Jatropha* (JANIN, 2009). Se développant sans beaucoup d'exigence, le risque de compétition avec les autres cultures est réduit. L'emploi de ce végétal peut permettre le maintien, voire l'amélioration, des productions alimentaires (instauration et développement d'un système agroforestier), et aider les paysans à dégager des revenus (production de graines) tout en préservant leur environnement (brise-vent, haies vives, compost). Le *Jatropha curcas* peut être planté afin de restaurer les sols et reverdir les régions. **Les exigences économique et environnementale peuvent donc être associées.** Cependant, des exemples montrent qu'il faut être prudent afin d'éviter une déforestation comme au Ghana, ou encore le déguerpissement de petits paysans tel qu'en Inde (ULLENBERG, 2008). Le *Jatropha curcas* risque peut-être également d'accélérer « certaines formes privatives d'appropriation du foncier communautaire et d'accroître les inégalités monétaires de genre » (JANIN, 2009). Ainsi, AgroEd et Agritech pourraient être tentés d'acheter des terres pour pérenniser leur implantation.

	Acteurs de la filière villageoise = Filière courte	Acteurs de la filière semi-industrielle = Filière communale, provinciale	Acteurs de la filière industrielle = Filière régionale, nationale
Production de graines	Paysans	Paysans, Promoteurs	Pays, Promoteurs (Agro-industries)
Collecte de la graine et logistique			Promoteurs (Agro- industries)
Trituration	ONG, association, coopérative paysanne	Association Coopérative paysanne Promoteurs	
Traitement (filtrage, dégommage, homogénéisation)		Promoteurs Industriels Marketeurs	Industriels, Marketeurs
Stockage / distribution		Promoteurs Industriels Marketeurs	Marketeurs
Utilisation	Paysans, utilisateurs locaux (PTM, PTR, eau potable, tracteurs, etc.)	Paysans, utilisateurs locaux (PTM, PTR, eau potable, tracteurs, etc.) ERD-Sonabel	ERD-sonabel

Tab. 57 : Les différents acteurs selon les filières de production de biocarburant à partir du *Jatropha curcas*

Source : LAUDE, 2009

9.2.2 Le *Jatropha curcas* : protecteur et régénérateur de l'environnement

Dans le cadre de notre problématique des risques de pertes en terre et en eau, la mise en place du *Jatropha* peut être aussi une réponse adéquate à la protection de l'environnement.

Cette plante cultivable sur des terres semi-arides ne nécessite pas des sols riches. Par ses racines fortes et profondes, ainsi que par son tronc à caudex constituant un réservoir d'eau, le *Jatropha* est capable de résister à des périodes de sécheresse prolongée (MARTIN et MAYEUX, 1984 in OUEDRAOGO, 2000) comme dans la région de Bagré (de janvier à mai). Ce végétal a besoin d'un minimum de 400 à 600 mm de précipitations et ne supporte pas des totaux supérieurs à 2 000 mm. Un an suffit pour obtenir une plante adulte (1,2 m) à partir de graines, ou neuf mois à partir d'une bouture. Sa culture requiert une préparation du sol uniquement lorsque l'horizon superficiel est induré, et ne nécessite l'emploi d'aucun pesticide ni d'autres intrants. Toutefois, ce végétal peut être soumis à plusieurs espèces pathogènes : *Phytophthora* spp, *Pythium* spp, *Fusarium* spp, *Helminthosporium tetramera*, *Pestalotiopsis paraguarensis*, *Pestalotiopsis versicolor*, *Cercospora jatrophae-curcas*, *Julus* spp, *Lepidopterae larvae*, etc. (SANOU, 2010).

Le *Jatropha curcas* peut être planté en quinconce ou en ligne. Pour les plants provenant d'Afrique (Burkina Faso, Togo et Madagascar), la plantation en ligne donne de meilleurs résultats pour la croissance du végétal. Ce dernier mode présente également, le plus souvent, le plus grand nombre de branches (pour l'essence burkinabée pas de distinction entre les deux modes). Et, plus ces dernières sont nombreuses, plus la production est élevée. En réalité, le choix de tel ou tel mode de plantation dépend de la finalité retenue : en quinconce (plus serrés) pour une haie vive, en ligne pour une production grainière. La litière produite est de 30 g/semaine. Au pied du *Jatropha curcas*, la teneur en azote est de 0,058 - 0,064 %, celles de carbone organique sont de 0,64 - 0,65 % et de 1,85-3,86 P/kg pour le phosphore assimilable du sol (SANOU, 2010). Elles augmentent au fur et à mesure que l'on s'éloigne du pied.

Le *Jatropha curcas* pourrait être utilisé sur des terres devenues inaptes à la production suite à une baisse trop importante de la fertilité. Dans notre secteur d'étude, dans un premier temps, il pourrait être planté sur les sols à nu et fortement dégradés, principalement dans les zones de Douka, de Pesséré. De plus, son utilisation lutterait contre l'érosion par la mise en place de haies vives en courbes de niveau, et les sols seraient restaurés à l'aide de ses feuilles.

Il s'agit également d'un excellent pesticide obtenu à partir de l'extrait de ses graines. Toutefois, il convient de faire attention lors de l'emploi de ses tourteaux comme engrais, car ils sont très riches en produits azotés. Il existe alors des risques de contamination du sol et des productions alimentaires associées par leurs toxines. Au Mali, l'emploi de 5 t/ha de tourteau (engrais) a permis un accroissement de 45 % (HENNING *et al.*, in OUEDRAOGO, 2000).

Enfin, il peut aussi servir dans la fabrication de savon thérapeutique et a de multiples usages dans la médecine traditionnelle : vertus purgatives, expulsion des parasites intestinaux (contre la filariose) (OUEDRAOGO, 2000), lutte contre les infections dermatologiques et les rhumatismes (huile), traitement des plaies, de l'eczéma (VAN DER VOSSSEN et MKAMILO, 2007), de l'hypertension, etc.

Le *Jatropha curcas* existe déjà dans la zone d'étude. Il est planté tout autour de certains puits afin de repousser les animaux porteurs de contamination des points d'eau

(photo 105). Ses feuilles contiennent une toxine, la curcine, qui a un effet répulsif (odeur et goût) sur les animaux.

Des graines ont, également, été données par des personnes venues de Ouagadougou à des agriculteurs de Pata, Zaba, Douka, Bassaré, Séla, et Nama **(photo 105)**. Mais, aucune explication n'a été donnée sur son mode de plantation, sur son intérêt comme répulsif des animaux, et sur la production de biocarburant. Les agriculteurs ont donc jeté les graines sans mode opératoire. Or, sans explication et formation, la culture du *Jatropha* est vouée à l'échec. Une organisation planifiée dans chaque village doit être mise en place. Comme pour le Moringa, le développement des plantations de *Jatropha* par le microcrédit doit être vivement encouragé.



Photo 105 : Borne fontaine protégée des animaux par des *Jatropha curcas* (vers Bassaré)



Photo 106 : Graine de *Jatropha curcas*

Clichés : E. Robert, 2009

Il s'agit aussi d'une plante idéale pour réaliser des clôtures sous forme de haies vives autour des champs (le long de la route reliant la RN 16 à Bagré et dans certains secteurs en rive droite) **(photo 107)**. Dans cette optique, le modèle de plantation en quinconce est alors le meilleur choix car les arbustes seront plus serrés et leur croissance rapide, permettant une protection contre l'érosion et une restauration de la fertilité. Ces haies peuvent également éviter les dégâts causés par les animaux en divagation, permettre au bétail de séjourner la nuit dans les champs après les récoltes, afin qu'il apporte du fumier pour fertiliser les sols, et lutter contre l'érosion. Son utilisation comme clôture vive doit donc être encouragée afin de limiter l'intrusion des animaux dans les champs et diminuer ainsi les conflits éleveurs/agriculteurs¹¹⁸. En effet, les tensions entre les acteurs de ces deux activités sont importantes particulièrement lors de la préparation des champs et des récoltes. De plus, les familles disposant de plusieurs dizaines de mètres de haies vives de *Jatropha* pourraient dégager des revenus supplémentaires (vente des graines). La coque séchée des graines peut également servir de combustible, ce qui permettrait de réduire les prélèvements de bois et constituerait une des solutions à la déforestation en milieu rural.

¹¹⁸ Toutefois, des espaces fourragers et des terres de parcours doivent être maintenus.



Photo 107 : Haie vive de *Jatropha curcas* au site de Kabri proche du village de Bassaré

Cliché : E. Robert, 2009

En définitive, il s'agit de mettre en place un développement synergique sur le plan agricole et industriel. Néanmoins, dans un premier temps, il est nécessaire de réaliser dans chaque région des plantations importantes afin de multiplier les boutures et produire des graines consacrées uniquement au semis et non à la production d'huile.

Suite à la présentation de ces deux « pierres précieuses » possibles et futures, il convient d'exposer un troisième végétal à enjeu : le neem.

9.3 Le neem, un engrais et un insecticide naturel : le péri-dot du Burkina

Les avantages des deux végétaux précédents, que sont le *Jatropha curcas* et le *Moringa oleifera*, peuvent être complétés par le développement du neem dans le bassin versant de la Doubégué. Cet arbre possède de nombreux atouts : exigences faibles de croissance, feuilles pouvant servir pour le paillage, engrais naturel, reboisement, etc. Il semble alors particulièrement intéressant dans le cadre de la reconquête de sols laissés à nu, dans la perspective de l'accroissement des rendements agricoles, et de la reprise du couvert végétal.

9.3.1 Le margousier ou *Azadirachta indica*

Le neem (**photo a** de la **Planche photos 23**), également appelé margousier, est originaire d'Inde Orientale et a été introduit en Afrique depuis une soixantaine d'années. C'est un arbre à croissance rapide pouvant atteindre 20 m de hauteur (en général 5 à 10 m). Son feuillage est persistant. Il s'adapte parfaitement aux sols pauvres, tolère des températures élevées ainsi qu'une faible pluviométrie (300 - 500 mm). Le neem semble particulièrement adapté aux conditions climatiques et pédologiques du Burkina Faso. L'intérêt de cet arbre est surtout l'usage de ses graines, mais aussi de ses feuilles (**photo b** de la **Planche photos 23**).

Les graines de neem sont utilisées depuis de nombreux siècles en Inde. Les recherches occidentales, débutées dans les années 1970-1980, ont mis en évidence son impact sur plus de 400 espèces d'arthropodes nuisibles et de nématodes (vers ronds) des cultures et sur certaines maladies des plantes dans plusieurs pays d'Asie, d'Afrique et aux États-Unis (MEHTA, 1997 ; MUSABYIAMANA *et al.*, 2000). En effet, ses graines disposant d'une innocuité sur l'environnement auraient des effets comparables à ceux des pesticides chimiques.

Au Burkina Faso, Bioterroir et le Centre de Recherche pour le Développement International (CRDI) ont lancé un projet de développement et de commercialisation d'un pesticide à base de produits naturels (moins nocifs et moins coûteux) dérivés du neem, afin de remplacer les insecticides de synthèse. Cette volonté de mettre en place un procédé d'extraction élaboré et préparé localement par l'Institut de Recherche des Sciences Appliquées et Technologiques du Burkina Faso (IRSAT) est particulièrement intéressante. Il s'agit d'un produit standardisé de haute qualité. Ses propriétés ont été testées en plein champ sur les haricots verts contre la mouche du haricot et le criquet, sur les pastèques contre la mouche des cucurbitacées, ou encore contre la noctuelle de la tomate, les pucerons et les mouches blanches. Il est essentiel de traiter régulièrement les plants afin maintenir une couverture constante des produits à base de neem, sur l'ensemble des parties de la plante. Cette expérience montre à quel point, le Burkina Faso désire se lancer dans cette « nouvelle voie ». De plus, son application, ne nécessitant pas une grande technique, est porteuse d'espoir. Enfin, le neem pousse parfaitement dans ce pays, tout particulièrement dans la zone étudiée, comme nous avons pu le constater lors de notre terrain.

9.3.2 Un insecticide naturel à expérimenter dans le bassin de la Doubégué

Les graines du neem permettent de fabriquer un insecticide redoutable, l'azadirachtine, totalement inoffensif pour les hommes et les animaux à sang chaud.

Les fruits sont récoltés une fois par an (juillet - août), puis sont rassemblés pour en extraire l'huile de l'amande du fruit par première pression à froid. De préférence, il faut réaliser cette opération dans l'obscurité afin d'éviter la dégradation de la matière active. Ainsi, un arbre à maturité (dizaine d'année) fournit 13,60 kg d'amandes permettant l'extraction de 3,75 l d'huile, donc la fabrication de 187,5 l de produits prêts à être pulvérisés. Il faut 500 litres pour traiter 1 hectare, ce qui représente 2 à 3 arbres matures, ou encore 6 à 7 arbres de 4 - 5 ans (VALLET, 2006).

Ainsi, l'huile de neem est extraite par pression à froid¹¹⁹. Elle est hydrosoluble, ce qui rend son utilisation très simple (1 l de neem permet d'obtenir 50 l de mélange à pulvériser). Elle s'emploie en pulvérisation foliaire pour une meilleure protection des végétaux. Elle est riche en oligoéléments, et tire son efficacité du grand nombre de composés naturels (azadirac, nimbin, salanin) lui permettant, en plus de son action fertilisante, d'agir en tant que régulateur de croissance et phagodissuasif sur un large spectre d'insectes et ravageurs de culture. De plus, contrairement à la majorité des insecticides, son utilisation n'entraîne pas un risque de développement de résistance de l'insecte. L'huile de neem est donc à la fois un biostimulant améliorant la santé des plantes (apport foliaire d'azote et d'oligo-éléments), un stimulateur des défenses naturelles, et un produit 100 % naturel et 100 % biodégradable.

Les graines de neem peuvent être également utilisées sous forme de poudre (**photo c** de la **Planche photos 23**). Pour cela, il est nécessaire de ramasser les graines, de bien les faire sécher, de les piler dans un mortier afin d'enlever la coque et de ne pas casser l'amande, puis de les écraser pour obtenir la poudre. Cette dernière se modifiant à la chaleur et au soleil, il

¹¹⁹ Il s'agit d'un procédé mécanique basique consistant à extraire l'huile des fruits à l'aide d'une presse à vis sans fin ou d'une presse hydraulique sans chauffer. Il n'y a pas de traitement chimique ou de raffinage mais juste une centrifugation et une filtration. La teneur en substance active est élevée.

faut donc la préparer, au fur à mesure, selon la demande. La poudre empêche les ravageurs d'attaquer la plante, et stoppe leur croissance et/ou leur reproduction. Elle doit être mélangée à de l'eau savonneuse car le savon permet une meilleure fixation des produits actifs sur les plantes : il faut 3 doubles poignées ou 500 g pour 10 l d'eau savonneuse, et laisser la préparation reposer au minimum une nuit. Le traitement se réalise, le soir de préférence, à l'aide d'un pulvérisateur.

On peut également travailler avec l'extrait de feuilles de neem. 80 kg de feuilles fraîches sont nécessaires afin de traiter 1 ha. Il faut 1 kg de feuilles pour 5 l d'eau. Elles doivent être hachées et laissées à macérer dans l'eau pendant une nuit, puis filtrées. La dose recommandée est alors de 1 ml/l d'eau savonneuse.

Dans les zones les plus infestées, deux applications par semaine sont nécessaires. En temps normal, il est recommandé un traitement tous les 7 à 10 jours, le dernier ayant lieu 3 à 4 jours avant la récolte.

Pour les cultivateurs ne disposant pas assez (voire pas du tout) de neem, 1 kilo d'amande coûte 275 F CFA (INERA, 2006). 35 sacs sont nécessaires pour 1 hectare (9 625 F CFA). La majorité des personnes interrogées disposent de moins de 6 ha, et 50 % entre 2 et 4 ha (enquêtes, Robert, 2008, 2009). Il faut donc 26 neems en croissance, ou 10 à 11 arbres matures pour la moitié de la population du bassin versant (jusqu'à 4 ha), ou encore respectivement une quarantaine de neems de 4 - 5 ans ou 16 margousiers arrivés à maturité pour 80 % des habitants (Tab. 58).

	Quantité pour pulvérisation (l)	Quantité de feuilles (kg)	Arbres matures	Arbres en croissance (4-5 ans)
1 ha	500	80	2-3	6-7
2 à 4 ha	1000 à 2 000	160 à 320	4 à 12	12 à 28 (plutôt une 20 ^{aine})
Moins de 6 ha	Moins de 3 000	Moins de 480	10 à 18	30 à 42 (plutôt 35)

Tab. 58 : Quantité de neem nécessaire selon la superficie pour produire l'insecticide naturel

Sources : Inera, 2006 et Robert, 2008 et 2009

Enfin, le neem est un arbre aux usages multiples. Il peut être également employé comme paillage. En effet, conservant l'humidité plus longtemps, il augmente les rendements comme par exemple ceux du sorgho : 259 kg/ha pour le témoin, 518 kg/ha pour 25 kg N/ha, et 698,7 kg/ha pour 50 kg N/ha (taux de variation de 169,8 %) (YUGMA, 1994). Le paillage joue, une nouvelle fois, un rôle positif sur les propriétés physiques, chimiques, et biologiques du sol, et minimise l'érosion.

Son huile est également utilisée dans l'industrie pharmaceutique et en cosmétique. Elle peut être incorporée sous forme d'huile ou saponifiée (crème pour les mains, le visage, huiles corporelles et de massages, shampooing).

De plus, comme le Moringa et le Jatropha, le neem peut être employé lors de reboisements (photos d et e de la Planche photos 23). Il faut développer sa plantation dans les champs de cases, l'utiliser comme brise-vent ainsi que pour récupérer les sols dégradés ; et ses feuilles, récoltées lors de la taille en début de saison des pluies, peuvent être déposées sur les sols encroutés.



a : Jeune Neem

Neem planté dans une parcelle, principale essence utilisée par les habitants du bassin versant de la Doubégué

Cliché : E. Robert, 2009



b: Graines et feuilles de neem

Graine employée comme insecticide naturel

Cliché : www.ethnoplants.com/catalog/images/neem.jpg



c : Poudre de neem

Technique naturelle employée dans la lutte contre les ravageurs

Cliché : <http://picasaweb.google.com/navimpex/ProductionDeLaPoudreDeNeem>



d et e : plantation de Neem

Neem utilisé pour le reboisement dans le secteur de Dazé-Loanga

Clichés : E. Robert, 2009

Planche photos 23 : Le neem

Le Moringa, le Jatropha, ou le Neem disposent de potentialités répondant aux problématiques de risques de pertes en terre et en eau, mais également à celle plus globale du développement socio-économique du bassin versant de la Doubégué, et plus largement de Bagré. Une mise en œuvre d'une implantation complémentaire des trois espèces est-elle alors possible ? L'objectif final est de proposer ici l'instauration d'un système intégré permettant le développement humain (social et économique) et la protection environnementale.

9.4 La combinaison Jatropha - Moringa - Neem : une solution intégrée autour du lien eau - sol - végétation - société

L'idéal serait de combiner ces trois essences végétales. A cette fin, il est nécessaire de distinguer les différents types d'espaces à prendre en compte : champs de case, champs de brousse, sols dégradés. Il convient aussi de réfléchir à leur mode d'implantation : haies vives, plantations, en alternance avec des cultures alimentaires, etc. Les différents usages selon les parties (feuilles, graines, etc.) doivent être examinés afin de garantir une efficacité optimale et le meilleur résultat d'un point de vue nutritionnel (feuilles du Moringa), économique (accroissement des rendements et des revenus par l'usage d'engrais (neem), cultures alternées, biocarburant (Jatropha)), environnemental (paillage, haies vives, récupération des sols dégradés, augmentation du couvert végétal), et sanitaire (Moringa).

9.4.1 Retour sur les principales vertus de ces trois « pierres précieuses »

L'utilisation du neem permet d'accroître les rendements, et c'est un insecticide qui ne pollue pas les sols ni les eaux. Il se situe donc au cœur de notre problématique qu'est la perte de qualité de ces deux ressources. Son atout ne s'arrête pas là. Le neem joue également un rôle par le paillage en réduisant l'érosion et en « récupérant des sols ». En d'autres termes, il a un impact sur la question de la quantité et de la qualité. Il est au cœur du lien unissant l'eau, les sols, la végétation et l'Homme, fil conducteur de notre écrit, tout comme le *Jatropha curcas* (produisant un revenu supplémentaire et/ou un gain d'énergie pour les populations, protecteur des sols, et brise-vent) et le *Moringa oleifera* (répondant aux problématiques de qualité de l'eau, de récupération des sols, et de déficits nutritionnels) (Tab. 59). Toutefois, l'utilisation des feuilles de Moringa à des fins autres que nutritionnelles pour les hommes et/ou les animaux (accroissement de la production du lait, donc intérêt économique pour les éleveurs) sera à éviter. Et, l'usage comme engrais pourra être dévolu principalement au neem et secondairement au Jatropha.

	Engrais	Brise-vent	Paillage	Récupération des sols	Nutrition	Pharma-copée	Répulsif	Alimentation animale
<i>Jatropha curcas</i>	×	×	×	×			×	
<i>Moringa oleifera</i>		×			×	×		×
Neem	×		×	×				

Tab. 59 : Utilisations à privilégier pour le Moringa, le Jatropha et le neem dans le bassin de la Doubégué

En définitive, notre démarche intègre une logique globale : protection et enrichissement des sols, et par conséquent réduction de la turbidité, lutte pour la qualité de l'eau, accroissement du couvert végétal, augmentation des rendements et des revenus, et hausse des apports nutritionnels. Ces différentes opérations doivent alors s'effectuer avec des végétaux poussant dans cette région et à l'aide de techniques transposables dans ce milieu.

9.4.2 Un nouveau mode d'organisation et de répartition pour un rendement socio-économico-environnemental optimum

Connaissant, les différents atouts de ces espèces végétales, il convient à présent de les répartir dans le bassin versant de la Doubégué, individuellement mais également collectivement. La mise en place de haies vives, de plantations, et la récupération de sols peuvent être un nouveau mode d'organisation et de répartition à l'origine d'un rendement socio-économico-environnemental optimum.

Les haies vives des champs de case seraient plantées en alternance de *Jatropha curcas* et de *Moringa oleifera* (Tab. 60). Il ne devrait pas exister de compétition : les racines du *Jatropha* pénétrant jusqu'à 5 m et celles du *Moringa* à une profondeur inférieure à 2 m. Elles associeraient plusieurs actions : répulsive, de brise-vent, de récolte de graines pour la production de biocarburant et pour la purification de l'eau. Les feuilles de *Moringa* seront uniquement prélevées pour leur apport nutritionnel enrichissant les sauces, favorisant la croissance des enfants et améliorant le régime alimentaire du bétail ; alors que celles du *Jatropha* pourront être laissées sur place afin de nourrir les sols. Les graines de *Jatropha* seront également ramassées pour produire de l'huile et des tourteaux au village, ou pour être vendues à une usine. Les agriculteurs dégageront ainsi un revenu.

Dans le cadre d'une **monoculture** de *Jatropha*, le système de plantation en ligne est la meilleure option. Il est alors possible de planter tous les 2 m un *Jatropha* et les lignes devront être espacées de 4 m (SANOU, 2010), soit un nombre total de 1250 arbres/ha. Cependant, il serait plus intéressant d'associer le *Jatropha* au *Moringa*. L'espacement des plants de *Jatropha* sera alors de 10 m soit 40 arbres/ha. Chacun produit 2 kg de graines (au bout de 7 ans, moins entre 2 et 7 ans) soit un total de 80 kg (5 600 à 6 400 F CFA, en cas de récolte optimum). La plantation pourra également être conduite avec le *Moringa*, produisant dès la première année, afin de purifier l'eau. Ses plants peuvent être espacés de 2 m. Ainsi, on pourrait intercaler deux *Moringa* entre chaque *Jatropha*. Le potentiel serait alors de 240 m³/ha d'eau traitée (quantité nécessaire : 20 l/j/personne selon l'OMS) : 7 300 l/an/personne équivalent à une soixantaine de personnes. En définitive, l'exploitant n'a pas besoin de récolter toutes les graines des *Moringa oleifera*. Il peut, s'il le désire, planter seulement une vingtaine d'arbres (pour une famille de 10 personnes). De plus, la purification de l'eau n'est possible qu'environ 6 mois par an. L'exploitant pourrait donc réduire **la plantation à une dizaine de Moringa** si l'unique finalité est la consommation d'eau, toutefois elle peut être aussi alimentaire et environnementale : la mise en place de deux lignes de *Moringa* au cœur d'une plantation de *Jatropha* peut être une bonne solution.

Dans un second temps, le *Moringa* et le *Jatropha* peuvent également être plantés comme **haies vives autour des champs de brousse** à l'aide des graines récoltées sur les

champs de case. En effet, ce mode est préférable à celui de la bouture, afin que les arbres contribuent à la stabilisation du sol et qu'ils accèdent à l'eau localisée dans la zone hypodermique. Ces espaces cultivés seront alors peu à peu protégés des animaux et de l'agent éolien (érosif). De plus, par cette culture sur ses champs de brousse, l'agriculteur disposera de davantage de feuilles (une partie laissée sur les arbres et une autre prise pour le paillage) afin d'enrichir les sols, et surtout d'engrais issus du tourteau de *Jatropha curcas* (**Tab. 60**). En définitive, par ce procédé, les gains de rendements devraient rapidement être perceptibles.

Au cours de notre terrain, nous avons pu nous rendre compte que de nombreux espaces étaient délaissés. Les habitants les ont abandonnés à cause de leur pauvreté pédologique, suite à leur épuisement, à la présence de ravines grandissantes et de plus en plus nombreuses. Face à cette problématique, il semble que le *Jatropha curcas* et le neem puissent être la solution (**Tab. 60**). Tous deux supportent de faibles précipitations et n'ont pas d'exigence pédologique. Ainsi, le *Jatropha* poussant très facilement, les villageois pourraient uniquement utiliser ses graines et récupérer ces espaces délaissés. La transformation de ces dernières et leur vente apporteraient un revenu pouvant être investi dans les écoles, les centres de santé, etc.

De même, les graines du neem seraient récoltées afin de produire un engrais, partagé dans un second temps entre les ramasseurs, et utilisé, de préférence, sur l'ensemble des cultures protégées par les brises-vent. Le développement de champs avec alternance de sorgho et de neem, dont une partie de ses feuilles serait utilisée sous forme de paillage ou déposée dans la fosse fumière, peut également être envisagé (**Tab. 60**).

	Champs de case	Champs de brousse	Sols dégradés
<i>Jatropha curcas</i>	Brise vent, production de biocarburant (graine), protection des sols (feuille), action répulsive pour les animaux (graine)	Stabilisation du sol, paillage, production de biocarburant (graine), action répulsive pour les animaux, engrais (tourteau)	Récupération des sols (feuille), transformation des graines
<i>Moringa oleifera</i>	Brise-vent, purification de l'eau (graine), nutrition (feuille et gousse), engrais (graine), hormone de croissance (feuille)	Stabilisation du sol, paillage, nutrition (feuille), engrais vert (graine)	Plantation pour protéger les sols
Neem	Insecticide naturel	Alternance avec le sorgho, feuilles pour le paillage et/ou la fosse fumière	Récupération du sol, transformation des graines en engrais

Tab. 60 : Répartition et utilisations des combinaisons de *Jatropha*, de *Moringa* et de Neem

Par ailleurs, dans chaque village, une plantation de l'un ou de deux de ces végétaux doit être mise en place. Dans les localités les plus importantes (Loanga, Séla, Bagré, Ouéloguen, Zabo), un boisement séparé de chacun de ces végétaux devra être réalisé.

Une plantation d'un hectare de *Jatropha* à maturité (7 ans) produit 2 t de graines soit 500 l d'HVB (1 arbre produit 2 kg de graines soit 0,5 l d'huile). Un village de taille moyenne a besoin de 2 500 à 3 000 l. Pour être autosuffisant (production de carburant actionnant la plate-forme de transformation), il faudrait alors 5 000 plants **soit 5 ha**. Au-delà de cette

superficie, le village devient excédentaire, et peut donc utiliser le carburant pour d'autres activités. L'inverse est aussi possible : vendre les graines, puis mettre en place une plateforme. Le tourteau issu du pressage fournit également un engrais (utilisation mixte).

Pour les plantations de neem, il est préconisé un espacement de 10 m (100 plants/ha). Il serait possible de produire de l'engrais pour 16 ha au bout de 4 à 5 ans et pour 37,5 ha au bout de 10 ans (augmentation de sa productivité au cours du temps). Dans le bassin de la Doubégué, le nombre d'habitants par village (hors campement de Peul) varie de 285 à Sone à 1 967 à Séla. En moyenne la taille est de 840 habitants (sur 18 villages). Et la taille moyenne des ménages est de 6 à 7 personnes pour une exploitation de 2 à 4 ha. Ainsi, une plantation de 5 ha couvrira largement les besoins en engrais d'un village, respectivement selon l'âge de croissance 80 ha et 187,5 ha (**Tab 61**). Il est à noter qu'au cours de notre terrain, nous avons observé une plantation de neem entre Daze et Loanga (**photo d et e de la Planche photos 23**). Ce secteur présente des nemis plantés au milieu ou en bordure des parcelles cultivées proches des concessions villageoises.

Il existe également 9 villes : Zeno, Zab, Sassera, Ounzéogo, Ouéloguen, Loanga, Séla (moyenne de 3 400 habitants) (**Tab. 61**) ; Bagré (16 771 habitants) ; Tenkodogo (88 557 habitants dont 40 277 pour le centre et 48 280 dans les différents secteurs autour) (**Tab. 62**).

Villages et villes	Habitants (2006)	Hectare	Plantations (4-5 ans) (ha)	Plantation (10 ans) (ha)
Bado	923	426	27	11
Bassaré	885	408	25	11
Boura	1967	908	57	24
Dazé	553	255	16	7
Guella	827	382	24	10
Kabri	949	438	27	12
Koama	783	361	22,5	10
Kou	719	332	21	9
Loanga	4569	2109	132	56
Minda	721	333	21	9
Nama	858	396	25	11
Ouanagou	1171	540	34	14
Ouéloguen	2520	1163	73	31
Ounzéogo	3026	1397	87	37
Ouréma	1357	626	39	17
Sasséma	2212	1021	64	27
Sébrétenga	739	341	21	9
Séla	4971	2294	143	61
Séla de Loanga	553	255	14	7
Soné	285	132	8	3,5
Vagvagué	1272	587	37	16
Zabo	4250	1962	122	52
Zaka	1207	557	35	15
Zéké	890	411	26	11

Tab. 61 : Superficies des plantations par village dans le bassin de la Doubégué selon le nombre d'habitants et de l'âge envisagé de la plantation

Source : recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) de 1996/ INSD

Chaque village devra conserver un espace voué à la plantation de neem compris entre 3,5 ha pour Sone jusqu'à 61 ha pour Séla. Aux vues de ces chiffres, il serait intéressant de réaliser deux plantations de 5 ha par village, sachant que chaque cultivateur peut également planter quelques arbres sur ces parcelles. Lorsque les superficies dépassent 15 hectares, il est préférable de penser sur le long terme, et de mettre en place, dans un premier temps, des plantations plus modestes (de 2 à 5 ha) qui seront exploitées au fur et à mesure. En effet, en raison du nombre d'habitants, les zones de plantation seraient trop étendues (Boura, Loanga, Ouéloguen, Ouréma, Ounzéogo, Sasséma, Sébrétenga, Séla, Zabo).

La ville de Bagré (16 771 habitants) et l'agglomération de Tenkodogo doivent être traitées différemment. La zone de Bagré pourrait être divisée en secteurs : réalisation de 10 plantations s'étendant chacune sur une dizaine d'hectares. De plus, le secteur de Bagré compte de nombreux espaces uniquement voués à la riziculture, où ce type d'engrais n'est pas utilisé, et les riziculteurs disposent de moins de champs dédiés aux autres cultures. Quant à Tenkodogo, il est important de dissocier le centre et les secteurs alentours. En effet, de nombreux habitants ne pratiquent pas une activité agricole (commerçants, fonctionnaires, etc.). Il faut alors davantage prendre en compte les espaces environnants Tenkodogo, dont la population est agricole et où une partie des terres sont vouées aux cultures. Ainsi, seuls les habitants des 6 secteurs (48 280 habitants) seront retenus (**Tab. 62**)¹²⁰.

Secteurs de Tenkodogo	Habitants	Hectares	Plantations 4-5 ans (ha)	Plantation 10 ans (ha)
Secteur 1	8 129	4 875 3752	34 235	14,5 100
Secteur 2	6 594	3 955 3043	27,5 190	12 1 81
Secteur 3	5 333	3 200 2461	22,5 154	9,5 66
Secteur 4	4 092	2 455 1133	17 71	7,5 30
Secteur 5	7 291	4 375 3365	30,5 210	13 90
Secteur 6	8 847	5 310 4083	37 255	16 109

Tab. 62 : Superficies des plantations pour chaque secteur de Tenkodogo, en fonction du nombre d'habitants et de l'âge envisagé de la plantation

Source : recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) de 1996/ INSD

Par ailleurs, chaque secteur comprenant entre 8 et 18 villages, il faut alors diviser le nombre d'hectares par le nombre de localités. Suite à cette opération, nous pouvons alors envisager des plantations de 5 ha dans chaque village (**Tab. 63**).

Enfin, à l'inverse, il semble que le *Moringa oleifera* devrait de préférence être planté individuellement : autour des champs de case et quelques plants aux alentours des habitations. Il conviendrait également de l'implanter sur les berges du lac et des rivières.

La mise en place de cette organisation de plantations serait possible avec l'appui d'une association, du PROGEREF et du gouvernement burkinabé. Chaque année (juillet - août), ce

¹²⁰ Une dizaine de ces villages ne dépend pas de la limite du bassin versant de la Doubégué. Néanmoins, il est possible que certains de ces habitants cultivent leurs champs dans ces limites physiques. Face à cette réalité nous avons conservé l'ensemble des villages. De plus, dans notre démarche de protection des eaux et des sols, tout en permettant un accroissement des revenus et des rendements des populations, il serait peu logique « d'exclure » ces localités

dernier pratique une campagne de reboisement très médiatisée, de courte durée, et sans formation. L'unique communication véhiculée est qu'il faut reboiser les berges sans mettre en avant les bénéfices que pourraient en tirer les populations. Or, la mise en place de plantations et leur perpétuation ne se fera qu'avec une formation et une information sur leurs effets positifs tant pour l'environnement que pour le niveau de vie des habitants. Il est donc important de s'appuyer sur les structures déjà présentes dans le bassin versant de la Doubégué. Et c'est bien là, l'un de nos principaux objectifs et mode d'application : s'appuyer sur ce qui est déjà existant pour mettre en place de nouvelles solutions innovantes permettant la réduction de la dégradation du couvert végétal (gain en termes de superficie) et l'amélioration des conditions de vie et des revenus des populations.

Secteurs de Tenkodogo	Plantations 4-5 ans (ha)	Plantation 10 ans (ha)
Village secteur 1	2 14	1 6
Village secteur 2	3 21	1 9
Village secteur 3	1,5 10	0,5 4
Village secteur 4	2 8	1 3,5
Village secteur 5	2,5 17	1 7
Village secteur 6	3,5 24	1,5 10

Tab. 63 : Superficies des plantations nécessaires rapportées au nombre de villages par secteur de Tenkodogo, en fonction du nombre d'habitants et de l'âge envisagé de la plantation
Source : recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) de 1996/ INSD

○○○○○

Le Moringa oleifera et le Jatropha curca doivent être tous deux employés. L'objectif est une production de graines et une protection des sols face à l'érosion pluviale et hydrique. Ils doivent aussi être utilisés en association dans la formation de haies vives (réduction des risques nutritif et maladi), et comme barrière au vent, à l'eau, et aux animaux. Ces deux végétaux seront un apport en graines (dans les deux cas) et en feuilles (principalement pour le Moringa oleifera) pour les populations. De plus, il serait intéressant de coupler à ces actions individuelles, des plantations collectives par village. Chacun pourrait mettre à disposition une ou deux parcelles de plusieurs hectares destinées à l'une et/ou l'autre espèce. Outre ces projets, le Jatropha curcas doit être planté de préférence sur les sols dépourvus de culture car devenus trop pauvres ; et le Moringa oleifera au niveau des berges (des rivières et du lac). Dans un premier temps, des graines seront données afin de former ces haies vives, et les populations informées sur l'utilité de ces arbustes. Dans un second temps, dans le cadre du PADAB/ II et du PROGEREF, les plantations villageoises pourront être financées afin de produire des graines récoltées pour être transférées dans une usine de traitement tel qu'à Tenkodogo. De même le PROGEREF dans le cadre de son programme de protection des berges, des ravines et des sols doit utiliser respectivement le Moringa et le Jatropha. Enfin la dernière étape doit être réalisée par les paysans, en coopération avec des associations afin d'obtenir les graines pour se lancer dans les cultures intercalaires.

Par ailleurs, un troisième végétal déjà en place doit être développé : le neem. Comme pour le Moringa et le Jatropha, il répond à la double problématique de réduction de la

dégradation du couvert végétal et du développement socio-économique de la population du bassin versant de la Doubégué, et plus largement de Bagré. **L'objectif est donc de mettre en place une implantation de ces trois espèces en fonction de leurs potentialités et des différents secteurs du bassin versant.** D'une part, il est essentiel d'instaurer par village une plantation monospécifique ou à base de deux essences. D'autre part, il faut distinguer les choix d'application selon les champs de case, de brousse ou encore les sols dégradés, car ces trois végétaux ne jouent le même rôle et sont complémentaires.

Après avoir présenté les solutions appliquées dans le bassin versant de la Doubégué et ces trois nouvelles voies (combinatoires) pour diminuer la dégradation du couvert végétal et permettre l'amélioration des conditions de vie, notre cadre de recherche doit être élargi. Nous nous plaçons dans l'optique d'une gestion intégrée : la problématique locale doit être située dans un contexte régional, mais aussi dans un bassin versant plus vaste. Qu'est-ce que la GIRE au Burkina Faso ? Il serait intéressant de réfléchir également aux rôles que peuvent jouer le complexe éco-touristique de Bagré et Tenkodogo. Il est alors essentiel que cette ville devienne un pôle attractif, moteur du développement du bassin de Bagré.

Chapitre 10 :

La GIRE comme cadre d'action et l'importance d'un développement économique régional

Notre étude porte sur le bassin versant de la Doubégué. Cependant, il est essentiel et il convient à présent d'élargir notre échelle de réflexion. Deux voies s'ouvrent à nous.

D'une part, du point de vue de la protection des eaux et des sols (tout en prenant en compte le développement de la région), il est nécessaire de s'intéresser à un concept développé depuis les années 1990 : la gestion de l'eau par bassin versant. Au Burkina Faso, il prend la forme de la **GIRE**. En 2003, cette voie a été lancée sous la forme du **PAGIRE** (Plan d'Action pour la Gestion Intégrée des Ressources en Eau). Émanant du monde occidental, il est essentiel qu'il soit appliqué en tenant compte du contexte local burkinabé. Il pourrait être un bon outil dans le cadre de la décentralisation et dans l'optique d'un développement durable. Les différentes propositions que nous avons abordées et/ou présentées pourraient être intégrées dans cette gestion à l'échelle du bassin versant de Bagré, puis plus largement du Nakambé. En effet, l'application de la GIRE nécessite un territoire plus vaste que celui de notre étude (la Doubégué).

D'autre part, si l'on raisonne en prenant uniquement en compte la sphère environnementale, l'essor socio-économique de la région semble difficile. C'est pourquoi, il est impératif que s'opère, en parallèle, **un développement de la région**, s'appuyant sur le pôle que devient Tenkodogo et son hinterland. La position stratégique de la ville (liaison avec le Ghana, le Togo), la création du complexe éco-touristique de Bagré (volonté de promotion au niveau national du tourisme) doivent avoir un « effet levier » sur l'ensemble de la zone. Cet essor comprend l'apport et l'accès à davantage de techniques, un plus vaste marché économique, une diversification des activités, un accroissement des axes de communications et des infrastructures sociales et sanitaires, et un développement de l'esprit d'entreprise et des innovations. L'ensemble doit avoir pour objectif, la recherche d'une complémentarité et d'une approche participative. Ainsi, dans le cadre de l'évolution nationale, pour le développement du pays, il est essentiel que se mette en place un échelon régional reposant sur un pôle. Ici, il s'agit de Tenkodogo, dans l'ouest de Bobo-Dioulasso, dans le sud-ouest de Gaoua et de Banfora, dans le nord de Ouahigouya et de Dori, et dans l'est de Fada N'Gourma.

En définitive, il faut associer la protection du milieu au développement socio-économique. La difficulté réside dans le fait que l'une prend pour appui le bassin versant (plus ou moins grand) et l'autre une échelle régionale. Il faut donc travailler, simultanément, sur ces deux niveaux spatiaux et tendre à leur interconnexion.

10.1 La question de la mise en place d'une gestion intégrée de l'eau et des sols par bassin versant

Dans le cadre de notre thématique, il convient d'aborder et de présenter la notion de **gestion intégrée des ressources en eau (GIRE)** au Burkina Faso. Cette dernière concilie d'une part **la gestion des terres et des ressources en eau**, d'autre part **les besoins liés aux activités humaines et à la protection de l'environnement**. La GIRE est alors au cœur de nos questionnements et de leur résolution. Ainsi, elle peut être définie comme « *...un processus qui encourage la mise en valeur et la gestion coordonnée de l'eau, des terres et des ressources associées afin de porter à son maximum, avec équité, le bien-être économique et social qui en résulte sans compromettre la pérennité d'écosystèmes vitaux* » (Partenariat mondial de l'eau). L'objectif est donc de concilier le développement et la protection environnementale. Il s'agit d'un cadre concerté pour une gestion et une négociation des ressources et de l'environnement. Elle comprend également l'idée que le **bassin versant n'est pas uniquement un cadre hydrologique mais bien un cadre de gestion et de négociations concertées**.

Ce concept est apparu afin de répondre aux besoins de gestion des ressources naturelles et humaines de pays confrontés à des problématiques d'approvisionnement et de gestion de l'eau, comme le Burkina Faso. De plus, dans un contexte de décentralisation, l'État désire que les communautés locales prennent de plus en plus d'importance dans la gestion des différentes ressources. En 2003, ce pays s'est alors lancé dans l'application de la GIRE. Le Nakambé¹²¹, auquel appartient le lac de barrage de Bagré, est devenu un bassin pilote pour la mise en place des CLE (Comité Locaux de L'eau) dont l'objectif est de définir, puis de garantir la vocation des ouvrages hydro-agricoles en association avec l'ensemble des acteurs impliqués. Il comprend ainsi 56 espaces de gestion (CLE) dont la région du barrage de Bagré.

Cette approche nécessite alors une participation permanente des intervenants et des partenaires. Cette notion nous intéresse particulièrement car elle constitue également un outil de développement.

Actuellement, la gestion intégrée de l'eau par bassin versant, et sa variante la GIRE, sont l'approche reconnue au plan international comme la solution durable la plus efficace afin de répondre à la question de l'eau. Bien sûr, il ne s'agit que d'une partie de notre sujet d'étude. La prise en compte des sols et de leur érosion est également essentielle. C'est pourquoi, nous aborderons cette notion de GIRE en y associant une réflexion plus large sur la gestion des pertes en terre et en eau dans les bassins versants de la Doubégué et de Bagré.

10.1.1 La gestion intégrée de l'eau par bassin versant

La gestion intégrée de l'eau par bassin versant est « *un processus qui favorise la gestion coordonnée de l'eau et des ressources connexes à l'intérieur des limites d'un bassin versant en vue d'optimiser, de manière équitable, le bien-être socio-économique qui en résulte, sans pour autant omettre la pérennité des écosystèmes vitaux* » (Ministère de l'Environnement du Québec, 2004). Les buts sont de maintenir ou de récupérer les usages de

¹²¹ Regroupant la majorité des ouvrages hydrauliques (56 %) et étant le bassin le plus peuplé, il semble assez logique que le Nakambé ait été retenu.

l'eau ; de conserver ou de restaurer l'intégrité physique, chimique et biologique des écosystèmes aquatiques ; de protéger la santé humaine ; et d'assurer un climat socio-économique durable. Ces derniers semblent particulièrement bien répondre à notre objectif : la protection du bassin de la Doubégué et plus largement de Bagré. Néanmoins, il faut leur adjoindre la protection de la biodiversité et des sols. En d'autres termes, il serait intéressant de supprimer l'adjectif « aquatique » et de tenir compte des écosystèmes dans leur ensemble. A l'inverse, l'application des notions d'**intégration** (et non sectorielle), d'une **approche écosystémique** et de la mise en place d'une **démarche ascendante** (et non descendante) est particulièrement intéressante.

L'ensemble des composantes du cycle de l'eau, ainsi que leurs **interactions** sont à prendre en compte. Cette ressource doit être abordée, sur le court terme en tant que besoin vital, comme un moyen de subsistance, et sur le long terme dans l'optique de sa conservation. Il faut également porter notre attention sur les menaces pesant sur l'eau. Il est donc essentiel **d'intégrer** :

- le système humain
 - intersectoriel (alimentation, agriculture, pêche, industrie),
 - dimensions politiques, administratives, économiques, sociales et environnementales ;
- le système « naturel »
 - gestion des eaux douces et côtières, des eaux de surface et souterraines, de l'eau potable et des eaux usées, et des terres et de l'eau,
 - prise en compte des notions de qualité et de quantité,
 - intégration des processus et des intérêts amont - aval.

Toutefois, il semble que la gestion intégrée de l'eau par bassin versant puisse inclure d'autres problématiques telles que les risques de pertes en terre. Ces derniers sont souvent omis alors que les sols agissent sur l'intégrité physique des rivières. Cette démarche doit donc être élargie à ces derniers, ainsi qu'au couvert végétal (filtre écologique, stabilité des sols).

L'approche écosystémique est l'outil le plus efficace pour l'instauration de cette intégration. L'intégrité des écosystèmes est assurée lorsque les considérations **socio-économiques et environnementales sont équilibrées**, et ce sur le **long terme**. Les éléments d'un écosystème étant interdépendants, les ressources doivent être gérées comme des systèmes dynamiques et intégrés. Il faut tenir compte des **questions scientifiques, sociales et économiques** pour comprendre le fonctionnement du bassin versant et mettre en place une bonne planification. La gestion intégrée de l'eau par bassin versant permet de prendre en compte **l'ensemble des éléments et leurs interactions**. Dans une démarche sur le long terme, le rôle de la culture, des valeurs et des systèmes socio-économiques, qui sont au cœur de la question de la gestion de l'environnement et des ressources, est reconnu.

Selon BROWNER, en 1996, les facteurs de succès de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant sont l'institution du **bassin versant** comme l'élément central des efforts de gestion, l'adoption d'une **approche participative**, une place importante aux **connaissances scientifiques** et à l'utilisation de données fiables, la création d'un plan de **communication efficace**, et l'élaboration d'un bon programme de **formation** et de **sensibilisation**. Cette gestion nécessite alors des connaissances **pluridisciplinaires** (géographie, histoire, écologie, sciences de l'environnement, ethnologie, etc.).

L'**approche participative** est donc essentielle permettant d'intégrer puis d'harmoniser les objectifs environnementaux, économiques, sociaux et culturels. Ainsi, les problèmes relatifs à l'environnement sont cernés, et le passage de la planification à l'action est faisable. Sans l'adhésion de la population, rien n'est possible ni réalisable. Cependant, il existe, bien souvent, des conflits d'intérêts qui ne sont pas toujours facile à résoudre. Les divers groupes d'intérêt doivent être alors impliqués sans aucune différence.

La **mise en place** de la gestion intégrée par bassin versant nécessite 6 étapes (GANGBAZO, 2004) :

- l'**analyse** du bassin versant afin de connaître les potentiels et les menaces. Deux phases sont obligatoires : le portrait (description du bassin versant) et le diagnostic (étude des problématiques de l'eau et des écosystèmes associés) ;
- la détermination des **enjeux** et des **orientations** : le *quoi* (les enjeux) et le *comment* (les orientations) permettent de dégager un plan stratégique ;
- la détermination des **objectifs** et le choix des **indicateurs** : la distinction des objectifs généraux et spécifiques (traitement de l'état des ressources en eau et des usages de l'eau), et la différenciation des indicateurs environnementaux (évaluation de la « santé » des écosystèmes) et administratifs (respect des échéanciers, des règlements) ;
- l'**élaboration** d'un **plan d'action** : il faut déterminer les solutions, les projets qui permettront de résoudre les différents enjeux : conservation pour le maintien des milieux naturels ou peu altérés ; restauration pour les milieux altérés qui offrent un potentiel de récupération ; réhabilitation de fonctions spécifiques ;
- la **mise en œuvre du plan d'action** par les différents acteurs engagés : programmes gouvernementaux portant sur l'utilisation de la ressource hydrique, la lutte contre la pollution de l'eau, la protection des écosystèmes, etc. ;
- le **suivi et l'évaluation du plan d'action** : environnemental (suivi de la qualité de l'eau) et administratif (efficacité des programmes, des activités).

Les acteurs de l'eau sont impliqués dès la seconde étape. Par ailleurs, la mise en œuvre de cette gestion nécessite trois échelles de planification : l'État, les bassins versants, et le projet.

La gestion intégrée de l'eau par bassin versant constitue un processus à longue échéance qui demande une adaptation dans plusieurs secteurs (gouvernement, population civile, etc.). C'est une approche incontournable afin d'assurer une meilleure gouvernance de l'eau. Les fonctions remplies dans le cadre de ce concept varient selon les conditions environnementales, socio-économiques et culturelles propres à une région. Il convient donc de l'adapter en fonction de chaque cas. La GIRE mise en place au Burkina Faso s'inspire de ce concept. Elle comporte, cependant, des variantes.

10.1.2 Une variante, la GIRE au Burkina Faso

10.1.2.1 Origines et définitions de la GIRE

Dans les années 1930, une expérience a été lancée dans la Vallée du Tennessee. Il s'agissait du premier test grandeur nature de gestion de l'eau par bassin versant. Pour le

continent africain, le test s'est opéré en Afrique du Sud au début des années 1990. En 1992, lors de la Conférence sur l'eau et l'environnement de Dublin, la Communauté Internationale s'est positionnée en faveur de l'implantation à l'échelle mondiale des principes phares de la GIRE. Le concept a été précisé lors du Sommet de la Terre à Rio de Janeiro (1992), et réaffirmé à Johannesburg en 2002. Lors de la 16^{ème} Commission du Développement Durable de 2008, les Nations Unies ont confirmé l'intérêt de la gestion des eaux par bassin versant.

Les auteurs clés sont MARGERUM (1999), BORN (1995), et SLOCOMBE (1993 in MARGERUM, 1999). Il s'agit de mettre en place une **approche durable pour la gestion de l'eau** qui serait incarnée par le principe de la GIRE. Il existe une multitude de définitions, telle que « *a framework for the coordinated planning and management of land, water and other environmental resources for their equitable, efficient and sustainable use (CARTER, 1998) according to the balanced views and goals of relevant stakeholders (GRIGG, 1999) in order to maximize the resultant social and economic welfare in an equitable manner without compromising the sustainability of vital ecosystems (GWP, 2000)* »¹²² (SCHULZE, 2007)

Comme la gestion intégrée par bassin versant, la GIRE englobe des principes clés : l'échelle du **bassin versant** ; l'**approche systémique** ; l'**approche participative** ; la disponibilité des informations **scientifiques** ; la capacité des acteurs à les utiliser ; la dimension **sociale** ; l'utilisation des meilleures technologies et infrastructures disponibles ; l'idée d'une **allocation équitable** des ressources entre usagers ; **l'eau comme bien économique** (FOURNEAUX, 2009). Sa mise en place nécessite de s'appuyer sur des **systèmes intégrés** d'information (la connaissance des écosystèmes, des ressources, de leurs différents usages, des pollutions, l'évaluation des risques, et le suivi des évolutions) ; d'établir comme base de gestion des **plans d'aménagement et de gestion**, ou des schémas directeurs (élaboration concertée, fixant les objectifs à atteindre à **moyen et long terme**) ; de définir et mettre en œuvre des programmes d'actions et d'investissements prioritaires ; d'assurer la **participation** à la prise des décisions des représentants des différentes catégories d'usagers et d'associations aux côtés des administrations gouvernementales et des autorités locales concernées ; et de mobiliser des financements spécifiques.

Sa mise en œuvre comprend 9 étapes (**Fig. 52**) : prise de conscience et volonté politique, définition du territoire par la mise en place d'une structure participative, états des lieux (état de référence), diagnostic (connaissance des problématiques), planification (enjeux, objectifs, progrès d'activités, priorités), adoption du plan d'action, renforcement des capacités, mise en application, et suivi et évaluation.

L'objectif est de tenir compte de **l'interdépendance de l'eau avec les autres ressources** ainsi qu'avec **l'ensemble des secteurs sociaux et économiques**. Il s'agit d'une approche **écosystémique** tenant « *compte des différents usages de l'eau en fonction des ressources disponibles et des impératifs de protection de celles-ci* » (FOURNEAUX, 2009). Ce concept propose une intégration verticale et horizontale entre les différentes échelles décisionnelles (internationale, nationale, communale et du bassin versant) et les secteurs (législatif, économique, géographique, environnemental). Il restructure les relations traditionnelles entre le gouvernement et les autres acteurs de l'eau (citoyens, secteur privé,

¹²² « une structure pour la planification coordonnée et la gestion des terres, de l'eau et d'autres ressources environnementales pour leur utilisation équitable, efficace et durable selon les objectifs appropriés des parties prenantes afin de maximiser le bien-être social et économique résultant, de manière équitable sans mettre en péril la durabilité des écosystèmes essentiels ».

expert). Il est nécessaire de disposer de moyens afin de faciliter la participation de tous. En résumé, cette gestion propose une nouvelle forme de **gouvernance**¹²³.

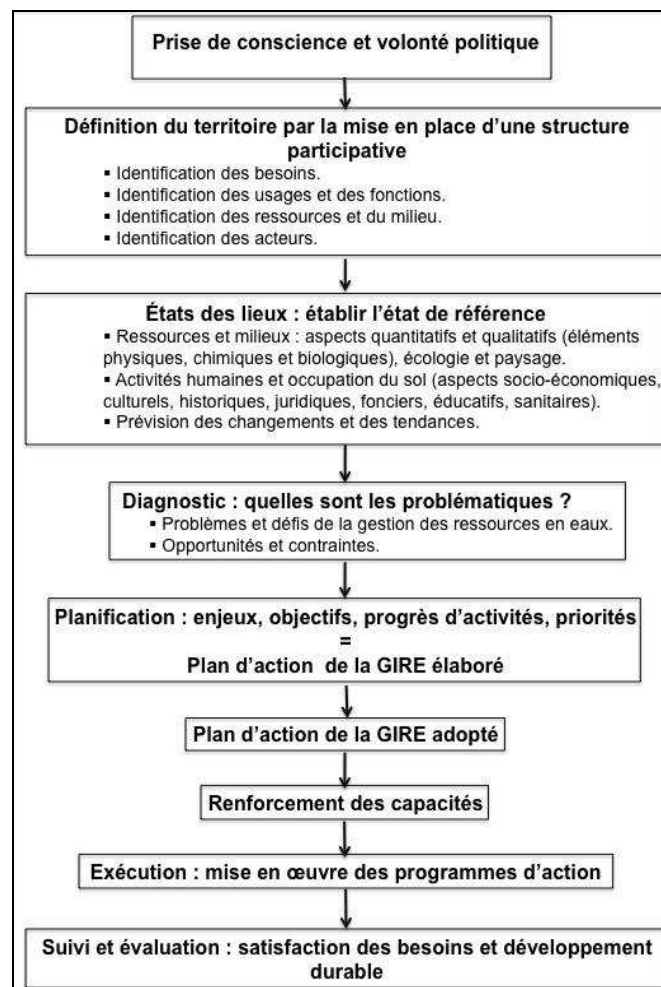


Fig. 52 : La mise en place de la GIRE

L'avantage de la GIRE réside dans le fait de ne pas imposer un programme définitif, mais de mettre en place un ensemble d'outils décisionnels adaptable et évolutif selon respectivement les différents contextes et les systèmes naturels et sociaux. **La flexibilité de la GIRE est un élément clé.**

Cependant, la mise en place de la GIRE soulève également des critiques : potentielle complexité de la GIRE, rareté d'expertise disponible, déficit d'informations et de connaissances adéquates, manque d'espace et d'attention accordés au dynamisme des stratégies de gestion et à l'innovation pour accomplir les objectifs de la GIRE, absence de projets de référence, passage du cadre théorique à celui de la pratique, application de certains concepts (équité, bien-être, durabilité,...), etc. Ainsi, au Burkina Faso, la mise en place de la GIRE rencontre des problèmes de financements (fonctionnement de certaines structures non effective), de ressources humaines et matérielles (insuffisance), de lenteur des procédures de marchés, de multiplicité des textes (manque de cohérence, d'adoption des textes législatifs,

¹²³ C'est un phénomène de transformation des modes de régulations sociales reposant d'avantage sur une vision horizontale que verticale et sur des acteurs indépendants de l'État. « La gouvernance s'entend comme un processus de coordination d'acteurs, de groupes sociaux, d'institutions pour atteindre des buts discutés et définis collectivement » (LASCOUSMES et LE GALÈS, 2007).

d'application effective), de suivi et de connaissance des ressources en eau (contraintes humaines, financières, et matérielles), d'absence d'un plan de développement des ressources humaines pour l'ensemble du secteur de l'eau (manque de l'aspect Genre), de mobilité des ressources humaines (dysfonctionnement dans la mise en œuvre des activités), de mise en place de la Contribution Financière en matière d'Eau (adopté en fin 2009), d'insuffisance de coordination des actions de protection des ressources en Eau, etc.

Il semble alors difficile d'abolir les frontières institutionnelles, et la différence d'échelle spatiale et temporelle entre les secteurs n'est pas facile à intégrer. De plus, la GIRE s'insère dans le processus de décentralisation lancé en 1993, et achevé par la mise en place des communes rurales en 2006¹²⁴ (gouverneurs ordonnés en 2004 et maires élus en 2006). Actuellement, il relève davantage de l'idéal que de la réalité. La GIRE crée également une **nouvelle division territoriale** (le bassin versant), alors que les considérations à ce niveau sont autres (nationale, régionale ou communale). En définitive, les lacunes institutionnelles, techniques et législatives rendent complexe l'application des politiques de la GIRE, particulièrement dans les PED, dont le Burkina Faso est un excellent exemple.

10.1.2.2 L'instauration de la GIRE au Burkina Faso

En 1998, le Burkina Faso a signé la déclaration de Ouagadougou au cours de la Conférence Ouest Africaine sur la GIRE. Suite à cet accord, le gouvernement a adopté, **en février 2001, la Loi d'orientation relative à la gestion de l'eau (Loi n°002-2001/an)**.

Un programme, le Projet pilote du bassin du Nakambé¹²⁵, a alors été testé. Depuis 2003, suite aux résultats positifs de cette initiative, il existe le **PAGIRE** s'échelonnant sur 13 ans (2003-2015). Il s'agit d'un plan directeur de la gestion de l'eau du Burkina Faso. Le Danemark est l'un des principaux partenaires et supporte activement sa mise en place¹²⁶. C'est un travail interdisciplinaire comprenant des scientifiques, des gestionnaires, des spécialistes du droit et des politiques. L'objectif est de renforcer l'hydrologie expérimentale sur des bassins versants de l'échelle macroscopique à l'échelle microscopique (10 km², dimension proche du bassin versant de la Doubégué) en passant par la méso-échelle (10 000 km²). Les thèmes étudiés sont l'hydrologie, la climatologie, l'écologie, la sociologie, l'économie, l'administration, et le droit. Le programme tient à la participation active de la population et veut que les résultats scientifiques participent et soient bénéfiques aux besoins de la société à travers la mise en place des politiques et des pratiques de gestion. Il a pour objectifs :

- de définir les interactions entre les paramètres hydro-météorologiques (pluie, écoulement, infiltration), le couvert végétal, et leur impact sur le cycle hydrologique ;
- d'effectuer davantage de mesures, de spatialisation à l'aide des SIG (amélioration des connaissances pour la mise en place d'une régionalisation efficace de l'eau et l'identification des événements de la dégradation des sols) ;

¹²⁴ Au Burkina Faso, il s'agit de la communisation intégrale.

¹²⁵ Le bassin du Nakambé est également inscrit dans les bassins de référence du programme HELP (*Hydrology, Environment and Life Policy*) de l'Unesco.

¹²⁶ Le domaine de l'eau et de l'assainissement est un secteur de concentration de l'aide au développement au Danemark (depuis 1973 pour l'hydraulique urbaine et 1993 pour la rurale et l'assainissement). Dans le cadre du PAGIRE le budget de contribution de la coopération danoise est de 16 millions sur 28 millions F CFA au total. La composante Appui au PAGIRE sera cofinancée avec la coopération suédoise.

- d'améliorer la compréhension et l'évaluation du changement d'impact du climat sur les ressources naturelles, particulièrement l'eau ;
- de développer des modèles intégrés d'écoulements superficiels, d'évolution du couvert végétal, afin de concevoir une gestion et des outils de planification ;
- de fonder un style de gestion tenant compte des facteurs appropriés et impliquant tous les acteurs locaux pour une utilisation équitablement partagée et équilibrée des ressources en eau et écologiquement raisonnable et durable.

La GIRE semble alors « idéale sur le papier ». Mais qu'en est-il de **sa mise en œuvre concrète au Burkina Faso** ? Le Burkina Faso, comme de nombreux PED, doit résoudre des problèmes vitaux (l'accès et la gestion de l'eau) et des questions relatives à l'alimentation, à l'énergie, etc. L'État ayant des moyens limités a fait appel à « l'extérieur », et l'on peut donc s'interroger sur l'indépendance politique dans le choix de cette stratégie : existe-t-il les bases nécessaires à l'application du PAGIRE ? Les financements, les aides sont-ils disponibles et utilisables ? Les organes sont-ils opérationnels ? Les populations se sentiront-elles impliquées ?

10.1.2.3 La décentralisation burkinabée, élément essentiel à la mise en place de la GIRE

La mise en place de la GIRE s'opère dans un contexte de décentralisation dans lequel l'État n'est plus le seul responsable de la gestion des ressources en eau. Il faut intégrer les acteurs traditionnels (autorités coutumières), mais également les différents comités, groupements, organismes non gouvernementaux, et le secteur privé.

Par ailleurs, on peut également s'interroger sur la liberté de choix pour la mise en place de cette politique. Entre 1996 et 2000, au Burkina Faso, le secteur de l'eau a été financé à plus de 90 % par des « aides » extérieures. Une possible influence de la part des bailleurs de fonds sur l'orientation des politiques nationales ne peut être omise. En effet, les prêts accordés par les institutions financières internationales sont soumis à des engagements de la part des pays receveurs. De plus, il semble que la **décentralisation** s'inscrive dans une logique de déploiement du libéralisme. La phrase issue de la Loi sur l'eau illustre cette nouvelle orientation : « *la gestion de l'eau doit être accompagnée de la mise en place d'une économie de l'eau, où la production de biens et services liés à l'eau doivent répondre à la logique de marché* » (Ministère de l'environnement et de l'eau du Burkina Faso, 2001). En définitive, il s'agit d'une **décentralisation essentiellement économique** (allocation de biens et de services par le jeu du marché), et **peu politique** (transfert de responsabilités vers d'autres unités de gestion que le gouvernement central).

10.1.2.4 Les organes mis en place au Burkina Faso

Il existe déjà des **organismes de bassins versants**, élaborés lors de la mise en place de la Politique Nationale de l'Eau (PNE) en 1999. Ils ont la responsabilité d'assurer un meilleur contrôle démocratique sur les orientations privilégiées par le Ministère. Leur financement devrait s'effectuer à l'aide des principes préleveur - payeur et pollueur - payeur. Le **comité de gestion du bassin** est défini comme un lieu de consultations et de décisions. Il doit examiner et approuver les SDAGE (Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'eau) et les

SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau). Il est aussi responsable de la planification financière et de l'encadrement des contributions versées par les usagers et les pollueurs. Il est consulté sur les ouvrages de mobilisation, sur les constructions réalisées sur son bassin et sur les solutions pour la résolution de conflits entre les usagers de l'eau. Il est composé de trois collèges à part égale : les usagers, les communautés locales et les représentants de l'État. Il existe des **Associations d'Usagers de l'Eau** (AUE). L'organisme de bassin versant doit identifier les acteurs de l'eau, structurer un cadre organisationnel efficace (procédures de prise de décision), et sensibiliser le public (compréhension des enjeux relatifs à la protection, à la restauration et à la mise en valeur de l'eau et des écosystèmes du bassin versant).

Les **comités locaux** et les **agences de bassins** ont été mis en place pour permettre la négociation du territoire entre tous les acteurs. Les agences de bassin sont des organes exécutifs qui jouent un rôle d'intervention technique et économique en matière d'eau pour le bassin. Les **comités locaux de l'eau** (CLE) sont définis à l'échelle des sous-bassins et sont responsables des SAGE. Grâce à l'appui financier danois, au minimum cinq Comités Locaux de l'Eau ont été instaurés chaque année dans le bassin du Nakambé. L'Agence du Nakambé a été mise en place en 2007 (siège à Ziniaré). Fin 2008, 50 % des frais de fonctionnement de l'agence étaient assurés par les usagers. Il est à noter qu'une vingtaine de CLE existe dans le bassin du Nakambé, dont celui de Bagré créé le 16 février 2007. Son bureau comprend 7 membres. Des services déconcentrés du département chargé de l'eau ont également été mis en place. À présent, différents échelons territoriaux reconnus par le PAGIRE existent à l'échelle locale, régionale/provinciale et nationale. Quant à l'échelle du bassin, elle est privilégiée comme lieu pour la mise en place des SAGE et des SDAGE.

De nombreux bassins étant **transfrontaliers**, l'échelle régionale regroupant plusieurs pays doit être prise en compte. Ainsi dans le cadre du Nakambé, le PAGEV (Projet d'Amélioration de la Gouvernance en Eau dans le Bassin de la Volta) a été mis en place. Des grands organismes participent également comme le CILSS, le CREPA (Centre Régional pour l'eau potable et l'assainissement à faible coût), le centre ETSHER (Ecole des techniciens supérieurs de l'hydraulique et de l'équipement rural), ainsi que des ONG et des associations.

Enfin, d'un point de vue strictement humain, on peut s'interroger sur la pertinence du choix de ce niveau d'étude : le bassin versant. La division par bassin versant repose essentiellement sur des considérations hydrologiques et écosystémiques à la différence des communautés humaines dont l'implantation (et les divisions territoriales privilégiées) est plus complexe (culturelle, physique, économique, politique).

10.1.2.5 Une nouvelle gestion : de nouvelles interrogations pour son application

Au Burkina Faso, l'eau a une haute valeur **symbolique**. Son accès est régi par des règles relevant de la coutume. Ainsi, un puits correspond à une appropriation symbolique et politique d'un espace. Des nouvelles modalités de gestion reposant sur d'autres qualifications de la ressource se sont substituées ou coexistent avec cette gouvernance traditionnelle. Depuis les années 1990 (loi de décentralisation de 1993 et les textes d'orientation de 1998), tout le système mis en place à partir des années 1970 (infrastructures hydrauliques modernes, services d'État et accès gratuit) est en mutation.

Dans le contexte de **décentralisation** engendrant une augmentation du nombre d'institutions et d'instances de décision, quelle est alors **l'efficacité finale**, notamment dans la **prise de décision** ? La mise en place de la décentralisation et l'octroi de compétences aux acteurs locaux exacerbent le manque d'articulation entre les dispositifs existants. La question de la coordination entre ces nouveaux organes et les comités antérieurs de gestion de l'eau doit être au centre d'une gouvernance pérenne de l'eau. Il semble que la décentralisation se soit opérée trop rapidement. Il manque une phase de transition : *« le niveau pertinent pour analyser le pouvoir des acteurs clés, échelle intermédiaire à l'interface du local et du global, n'apparaît pas clairement dans la configuration actuelle »* (BARON et BONNASSIEUX, 2009). Une asymétrie est aussi observée entre les lieux et les niveaux de gestion. Face à ces modifications et à la mise en place de cette nouvelle gestion, il existe, au Burkina Faso, un certain nombre de contraintes : **faiblesse structurelle de l'ensemble de l'administration publique**, manque de cohésion, de ressources humaines et financières, mauvais systèmes de communication et de coordination.

Par ailleurs, il existe un fort décalage entre le **principe participatif** et la réalité de sa mise en œuvre dans le domaine de l'accès à l'eau. En effet, de **nombreux conflits** ont été mis en évidence dans des environnements sociaux où les rapports sont hiérarchiques. La thèse de TRAORE (2010) souligne la difficulté de mettre en place des CLE dans un contexte où les conflits autour de l'eau sont récurrents. Lors de nos études de terrain, nous avons pu voir à quel point ce phénomène est vérifiable dans le bassin versant de la Doubégué. Cette rivalité s'observe, d'une part, pour l'usage de la ressource eau à des fins agricoles, et d'autre part, pour les éleveurs de bétail souhaitant bénéficier d'un accès au point d'eau dans un processus de sédentarisation. Certains acteurs sont également exclus des modes de décision, d'où l'ambiguïté de « l'injonction à la participation » préconisée par la GIRE. Face à la mise en place de nouvelles normes et de nouveaux dispositifs institutionnels, la question de **l'acceptabilité sociale** des populations locales se pose.

On peut également s'interroger sur la place des femmes. Dans ce nouveau cadre, elles occupent principalement les postes « d'hygiénistes » (entretien et nettoyage des bornes fontaines), ou de trésorière (capacité de gestion plus fiable) ; mais elles ont rarement une fonction stratégique (présidente d'AUE). En effet, la capacité des AUE à réguler les usages de l'eau au niveau local dépend aussi de l'autorité dont dispose les personnes les plus influentes en leur sein. La problématique de la hiérarchie dans la société est une nouvelle fois présente.

Ainsi, les causes identifiées par le GEF (*Global Environment Facility*), en 2001, pourraient être parfaitement appliquées au Burkina Faso : le manque d'éducation, et de coordination ; la défaillance dans la gestion de l'information et le manque de suivi ; la faible synchronisation des politiques et des cadres législatifs et réglementaires ; le chevauchement de mandats institutionnels ; les lacunes dans la mobilisation de la science et de la technologie ; l'utilisation inefficace des individus ; l'entrave de l'efficacité institutionnelle.

10.1.2.6 L'importance d'une mise en place progressive

Le nouveau cadre de gestion de l'eau au Burkina Faso reflète les nouvelles tendances internationales en matière de gouvernance : **participation, décentralisation et libéralisation**. Il existe une volonté de protection accrue des ressources en eau, un meilleur reflet des intérêts

des acteurs hétérogènes, une approche holistique des problèmes d'eau, et un financement plus adéquat. Mais il faut se rappeler les critiques précédemment citées.

Il est donc essentiel de traduire les principes de la GIRE en démarche tangible et réalisable pour un pays comme le Burkina Faso. La GIRE est un **concept mouvant et un processus à long terme**. Vouloir adapter l'ensemble de ces pratiques institutionnelles serait trop exigeant pour le pays dans son état actuel. Il faut donc aller graduellement, et chaque mesure doit être viable à court et à long terme. Les administrations décentralisées doivent s'approprier leurs nouveaux rôles et une cohésion doit s'établir entre tous ces acteurs, les programmes, les lieux de décisions, et les bailleurs de fonds.

Le Burkina Faso a mis en place les principes de la GIRE par l'intermédiaire du PAGIRE. Est-il la bonne réponse durable aux problèmes d'eau du Burkina Faso ? Y répondre est difficile. Il est pourtant essentiel de procurer à la population une eau potable, de réagir aux changements climatiques en s'adaptant aux impacts prévus, et d'assurer une protection adéquate des ressources (dont le sol). En effet, l'un des principaux facteurs de réussite d'instauration du PAGIRE réside dans l'adaptation selon, la nature et l'intensité des problèmes liés à l'eau, les ressources humaines, les capacités institutionnelles, les forces et les caractéristiques relatives des acteurs de l'eau, le paysage culturel, et les conditions naturelles. Par ailleurs, il convient de s'interroger sur la place laissée à **la protection des sols et de la biodiversité** dans le cadre de la GIRE.

La GIRE est un bon point de départ, mais il est nécessaire de la moduler en lui ajoutant de nouveaux domaines de compétences essentiels au bon fonctionnement global de la gestion de l'eau. Ainsi, elle doit comprendre la surveillance de la qualité de l'eau, la gestion des risques associés aux aspects quantitatifs de l'eau, le contrôle des sédiments, et la préservation de la biodiversité, tout en respectant les populations. Les objectifs dépendent de l'environnement physique et socio-économique. Sa mise en place nécessite **trois** types de **planification à trois échelles** différentes. Celle de l'**État** doit élaborer le cadre de gestion et de financement, adapter les politiques et les programmes au cadre de la GIRE, et former le personnel. Celle des **bassins versants** doit être assurée par les **organismes de bassins** (déterminer les solutions, concevoir les projets, coordonner les actions entreprises). Il faut donc circonscrire le bassin versant, définir les enjeux et les orientations, déterminer les objectifs et le choix des indicateurs, élaborer un plan d'action, le mettre en œuvre, le suivre et l'évaluer. Il est essentiel, afin que les informations soient bien transmises, de mettre en place un plan de communication (la radio peut avoir un grand rôle), un programme de sensibilisation, de formation et de développement d'outils de gestion et de techniques. Enfin, la planification à **l'échelle du projet** doit être assurée par les acteurs de l'eau (organismes privés, publics, individus). Il faut alors créer un environnement adéquat et un consensus.

La GIRE, variante de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant, semble être une bonne réponse à la gestion de la ressource en eau dans les différents pays. Cependant, au Burkina Faso, son application n'est pas aisée pour de multiples raisons et sa mise en place n'est que partielle. Des limites existent, en particulier sur les questions relatives aux pertes en terre et à la couverture végétale.

10.1.3 Pour une gestion intégrée globale : le lien sol - eau - végétation - société

Il est regrettable que la qualité des sols et leur préservation ne fassent pas également parties des priorités du gouvernement burkinabé, et plus largement de la Communauté Internationale. Dans le cas des pays fortement touchés par les phénomènes d'érosion comme le Burkina Faso, il conviendrait de mettre l'accent sur la protection des sols, et d'y associer la GIRE par bassin versant.

Les différents principes et approches de la GIRE, ainsi que l'échelle du bassin versant, sont totalement appropriés à notre thématique. Lors de la planification, il faut ajouter des espaces de restauration des sols (encore peu affectés), traiter certaines ravines, réhabiliter des zones afin de ralentir et de stopper la détérioration de la qualité des sols (forêts aménagées, forêts communautaires, etc.). Les enjeux doivent tenir compte de la réduction de la pollution, de la protection des champs (mise en place de cultures couvrantes et d'association d'espèces, développement de haies protectrices), de l'intensification des productions (meilleur apport technique et encadrement efficace), de l'aide à l'essor des AGR, de la protection des berges, du développement en symbiose de l'agriculture et de l'élevage.

Une démarche ascendante devrait être instaurée au niveau des bassins versants à partir des petits jusqu'au grands (transnationaux) en passant par les moyens.

Ainsi, comme ce que nous avons tenté de réaliser dans le bassin versant de la Doubégué, il faudrait mettre en œuvre les éléments suivants :

- étudier les caractéristiques **physiques** du bassin versant (climatologique, géologique, géomorphologique, biogéographique, hydrologique) ;
- connaître les caractéristiques **humaines** du bassin versant telles que l'histoire, les différentes « ethnies », le type d'activité, le mode de production et de gestion des activités, les liens avec les villes et les pays environnants, les taux d'accroissement naturel et migratoire, les rapports entre les différents acteurs (agriculteurs, pasteurs, commerçants, associations), l'état sanitaire, les possibilités d'essor économique, les valeurs touristiques ;
- établir un diagnostic de l'état des différentes ressources (sol, végétation, eau) ;
- réaliser des enquêtes auprès des populations sur la dégradation de l'environnement afin de savoir si elles ont conscience ou non de ce phénomène, s'il existe des différences selon les types d'activité, les secteurs de l'amont à l'aval, les rives, ou encore si cette prise de conscience est récente, et si elle concerne toutes les générations. Toutes ces informations sont essentielles afin de savoir sur quels types d'acteurs il sera possible de s'appuyer et afin de déterminer quel niveau d'information, de communication, de sensibilisation il sera nécessaire de développer ;
- identifier les autres acteurs comme les comités villageois, les groupements, les organismes, les structures et les programmes dépendants de l'état, les ONG et les associations travaillant dans la région. Grâce à leur connaissance du terrain, ils seront des partenaires primordiaux lors de la préparation et de la mise en œuvre du plan d'action. Ce sont les interlocuteurs privilégiés des populations (vecteurs d'information). Ainsi, ils pourront aider et participer à la mise en place des nouveaux objectifs pour la préservation, la restauration de la qualité des eaux, des sols et de la végétation dans le cadre d'un développement humain de la région ;

- répertorier les solutions déjà appliquées, celles prévues, et les évaluer afin de savoir si elles seront à réutiliser, à modifier, à associer à de nouvelles, ou à abandonner ;
- présenter les objectifs et les solutions à opérer dans le bassin versant par secteur d'activité, mais aussi en interrelation, et en fonction des priorités des espaces :
 - perdus et/ou presque à abandonner ;
 - d'importance socio-écologique (à réhabiliter ou restaurer) ;
 - peu affectés sur lesquels les opérations doivent être rapidement menées ;
 - protégés (à poursuivre) ;
 - non encore affectés (non touchés ou bien développés) à préserver et/ou à prendre en modèle.

Il est donc essentiel de préserver l'environnement du bassin versant de la Doubégué et plus largement de Bagré, mais également de « l'améliorer » par l'enrichissement des sols, la protection des berges, la réalisation de plantations, de forêts « naturelles ». Par ailleurs, la participation à l'élaboration d'espaces protégés est pertinente dans une logique territoriale d'ensemble. Elle s'adapte, plus particulièrement, aux stratégies de **développement local**. De plus, la combinaison de ce dernier et de cette **protection environnementale** participeront et seront à la base de **l'essor d'une économie locale**.

Ainsi « le développement local » est « *compris comme la participation des populations locales à la protection par une adaptation de leurs activités aux objectifs écologiques* » (DEPRAZ, 2008). Cependant, il n'existe pas, comme nous l'avons souligné, de modèle unique. Le développement local dépend donc de l'organisation sociale et de l'environnement de la zone concernée. « *La convergence entre paradigmes n'est donc ni instantanée ni évidente dans la pratique* » (DEPRAZ, 2008).

Cette mise en place est possible et elle est déjà effective. Le PAGEV est un parfait exemple de la possibilité d'intégrer la GIRE à des thématiques liées à l'érosion des sols, au maintien d'un couvert végétal, à l'augmentation de la productivité. Créé en 2004 par l'UICN, il doit permettre au Burkina Faso et au Ghana de définir les principes fondamentaux de cette gestion de l'eau et d'instaurer un cadre de collaboration. Ce projet est sous l'autorité des différents ministères nationaux (respectivement pour le Burkina et le Ghana : MAHRH et MWRWH) et sous l'Autorité du Bassin de la Volta (**Fig. 53**). Ce bassin de 400 000 km² regroupe 19 millions de personnes (FNUAP, 2007) et connaît un taux de croissance de 2,5 % par an. Il est confronté aux mêmes défis que le bassin versant de la Doubégué (dégradation des sols et des terres, prolifération des mauvaises herbes), mais à des échelles différentes.

Ce programme doit gérer la ressource en eau, améliorer le niveau de vie des populations, et mettre en place un cadre institutionnel (niveau transfrontalier, national et local). Des interventions pilotes se sont mises en place au niveau de la zone frontalière comprenant 4 villages burkinabés et 4 villages ghanéens. Les objectifs relèvent de la sphère environnementale et humaine (**Tab. 64**). Suite à de nombreuses rencontres, les populations ont souligné l'importance de la mise en place d'une lutte contre l'ensablement du fleuve Nakambé. Elles attribuent ce processus à la pratique de l'agriculture sur ses berges et aux feux de brousse entraînant une déforestation massive. De multiples actions ont alors été entreprises (**Tab. 64**).

Objectifs	Réalisations
- Restauration des berges et réhabilitation de petits réservoirs	<ul style="list-style-type: none"> - Création de communautés de protection des berges (5 membres dont au moins une femme) et d'associations d'usagers de l'eau ; - Création de zones tampons sur les berges du fleuve : larges de 50 à 70 m et divisées en trois bandes de 10 m, de 50 m, de 10 m ; - Reboisements à l'aide de manguiers, goyaviers, papayers, anacardiens et acacias.
- Appui aux communautés pour gérer la ressource en eau	<ul style="list-style-type: none"> - Réhabilitation des puits (Béyerla, Zékézé, Sampéma, Mogr-Nooré au Burkina Faso) ; - Installations de pompes à eau ; - Réhabilitation de petits barrages ; - Lancement d'une étude de faisabilité pour le barrage de Bittou (438 millions de F CFA).
- Lutte contre l'érosion du sol et réduction de l'ensablement du lit du fleuve	<ul style="list-style-type: none"> - Suivi par l'amélioration de la fertilité des sols ; - Restauration des sols et maintien d'un couvert végétal.
- Amélioration de la production agricole dans les plaines irriguées tout en assurant un fonctionnement durable de l'écosystème	<ul style="list-style-type: none"> - Suivi pour la préparation du compost ; - Mise en place de pompes à eau ; - Dons d'arrosoirs et de fournitures de semence pour la culture en saison sèche (oignon, tomate, piment, laitue).
- Soutien aux AGR pour garantir une sécurité alimentaire et réduire la pauvreté	
- Protection des forêts existantes	<ul style="list-style-type: none"> - gestion de pépinières et entretien après la plantation - Mise en place de pépinières communautaires (décembre 2005 et janvier 2006). Formation de 55 pépiniéristes ; - Plantation (été 2006) de 27 000 plants d'acacia et d'albizia et de 7 000 arbres fruitiers ; - Soins (2007) pour lutter contre les infections : produits issus du neem et phytosanitaires, cendres. 57 % des plants ont survécu. 7 000 plants replantés et les autres remplacés ; - Formations en greffages et plantation d'arbres à croissance rapide pour permettre un approvisionnement en bois de chauffe (vendu par les femmes).
- Amélioration de la collecte et du partage des données transfrontalières	<ul style="list-style-type: none"> - Stations de jaugeage ; - Contrôle de la qualité de l'eau.

Tab. 64 : Les objectifs et les actions réalisées par le PAGEV

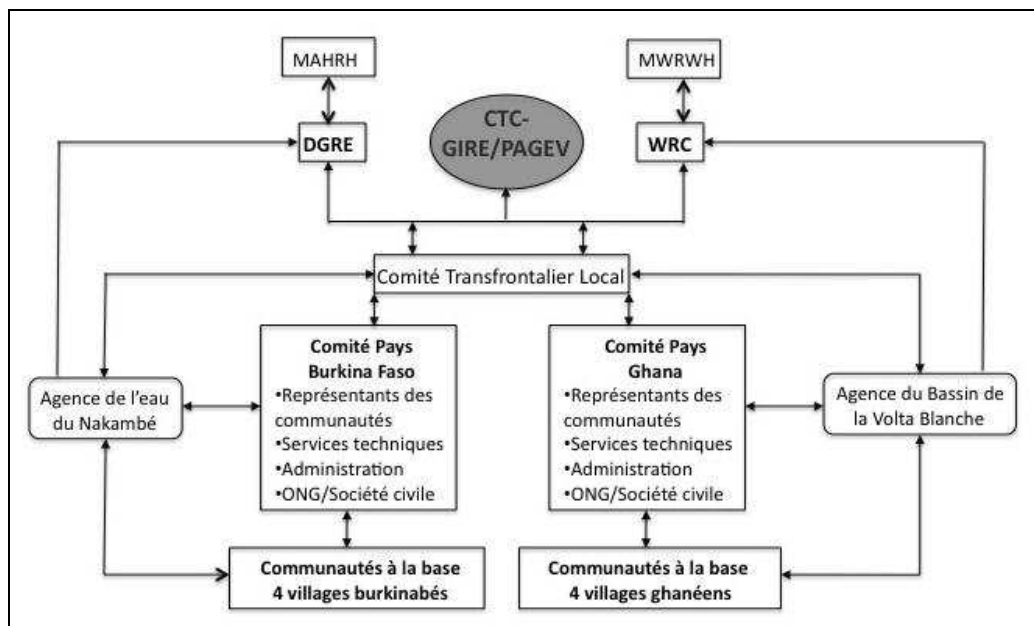


Fig. 53 : Fonctionnement et échelons présents dans le PAGEV

Cet exemple du PAGEV souligne que l'on est bien **au cœur du lien vital unissant le sol, l'eau, la végétation et la société**. Ce trait d'union est essentiel en particulier pour ces communautés dont la subsistance dépend directement de l'environnement « naturel ». Ce rapport est, hélas, bien souvent rompu dans nos sociétés dites développées.

En définitive, les solutions présentées au cours des chapitres 8, 9 et de cette sous-partie sont essentielles, néanmoins sans un développement économique régional le résultat ne sera que partiel. Il est donc nécessaire que soient créés des pôles dynamisant la région, encourageant les innovations et les initiatives locales, afin d'améliorer l'esprit d'entreprise. Le complexe éco-touristique de Bagré et la ville de Tenkodogo peuvent y participer. La croissance économique de cette dernière pourra impulser l'essor de son hinterland¹²⁷, et par la même le bassin versant de la Doubégué et celui de Bagré.

10.2 L'essor économique de la région de Tenkodogo

Outre ces réponses à la protection des eaux et des sols, une réflexion sur la réduction de la pauvreté de la région, et sur le développement économique et durable de cette province s'impose. Le **développement durable** doit « répondre aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs » (Rapport Brundtland, 1987). Pour atteindre cet objectif, il faut que les populations accèdent à un certain niveau de développement humain. Dans la région de la Doubégué, et plus largement de Tenkodogo, il comprend l'essor des activités agro-pastorales : mettre en place une filière commerciale et de transformation des cultures non vivrières, et accroître ces dernières sont autant de solutions. Les leviers sont d'une part une paysannerie désirent augmenter ses

¹²⁷ Classiquement en géographie, l'hinterland désigne la zone d'influence et d'attraction économique d'un port. C'est un terme emprunté à l'allemand signifiant « arrière-pays ». On peut le transposer ici : Tenkodogo serait ce « port » et son hinterland engloberait la Doubégué, Bagré, le secteur jusqu'à Koupéla au nord, et Bawku et Cinkansé au sud. On pourrait également parlé de zone ou d'aire d'influence définie par Denise PUMAIN.

productions afin de couvrir ses besoins de subsistances et ses revenus, et, d'autre part, un marché potentiel représenté par la population de Tenkodogo, les villes entre Tenkodogo et Ouagadougou et les pays limitrophes.

Les citoyens burkinabés se sont peu à peu tournés vers des produits importés moins onéreux. Cette modification des habitudes alimentaires a d'importantes retombées sur le marché des produits agricoles locaux. De plus, les subventions sur les intrants agricoles ont été supprimées et les taxes d'importation des denrées alimentaires diminuées. Les cultures maraîchères, quant à elles, rencontrent des difficultés d'écoulement sur le marché intérieur qui est rapidement saturé. Comme il n'existe pas de moyens de régulation (conservation, transformation), les producteurs sont obligés de vendre à perte, et les produits sont également souvent jetés.

En définitive, d'une année à l'autre, l'inefficacité des politiques macro-économiques (DUFUMIER, 1996), l'incompétence des promoteurs et des études de marché, la promotion de techniques inappropriées et le gigantisme des infrastructures et des équipements (BETHEMONT *et al.*, 2003) entraînent une instabilité de la production. Par ailleurs, la hausse de la production agricole correspond rarement à une augmentation des revenus des producteurs, mais davantage à une diminution de leur pouvoir d'achat. Lorsque les quantités de produits agricoles sont suffisantes sur les marchés, le prix d'achat est faible et les cultivateurs ne couvrent pas leur frais. Les campagnes subissent et supportent donc la facture nationale.

L'implantation du projet éco-touristique peut être porteuse de développement pour la région de Bagré. Ce projet pourrait provoquer un effet *dumping* et sortir la zone de l'enclavement en attirant des promoteurs à Tenkodogo, en utilisant les productions locales et en permettant le développement des infrastructures routières (faciliter les exportations vers Ouagadougou et/ou le Ghana). Par ailleurs, les périmètres irrigués et les activités piscicoles peuvent être un relais et participer à un développement plus global du secteur de Bagré. Enfin, la ville de Tenkodogo est en voie de devenir un pôle régional, ce qui en fait un levier pour le développement de la zone de Bagré et par là même de la Doubégué.

10.2.1 Le développement éco-touristique de Bagré

La mise en place du centre-écotouristique peut permettre un développement des activités de la région par l'apport de devises suite à la mise en place d'une activité touristique. La couverture sanitaire peut également s'améliorer ainsi que le nombre d'écoles. Des partenariats doivent aussi se mettre en place avec la zone pastorale et la production agricole locale (à destination du restaurant du centre).

Le centre éco-touristique concerne l'ensemble du bassin versant de Bagré, et plus particulièrement sa rive gauche (**photo a** de la **Planche photos 24**). Il a été inauguré le 6 juin 2009 et est déjà qualifié de « Côte d'Azur » à la burkinabée (ILBOULO, 2009). Il comprend 30 villas (**photo b** de la **Planche photos 24**), une plage continentale (**photo c** de la **Planche photos 24**), une piscine (**photo d** de la **Planche photos 24**), un bar-restaurant, une salle de conférence, des boutiques d'art, une plage continentale, un kiosque, et un centre médical. Il est envisagé d'y ajouter la construction de campements touristiques de type rural, ainsi que le balisage de chemins de randonnées et de VTT (NANA, 2008). Un parc animalier et un jardin botanique sont associés à cette réalisation. En définitive, il s'agit de « valoriser toutes les

potentialités touristiques générées par la présence du lac à travers un renforcement de l'offre touristique en accueil et en hébergement, la création d'attrayantes infrastructures sportives, de rencontres et de loisir, la promotion de l'éducation environnementale et la protection de la nature » (NANA, 2008). Il est à noter que tous les termes en vogue sont bien intégrés et bien pensés afin de le promouvoir au mieux.

L'objectif est la création d'une **unité économiquement rentable et écologiquement viable**. Les atouts pour les recettes seront les frais d'entrée, la pêche, la pisciculture, l'agro-tourisme, l'élevage rationnel et sous forme intensive, l'ethno-tourisme (Bissa, Mossi, Peul), le site des hippopotames de Woosi, et la proximité du Ghana et du Togo.

Le centre éco-touristique de Bagré devrait être concédé pour 10 ans pour une exploitation commerciale contre le paiement d'un loyer. La personne physique ou morale devra respecter deux cahiers des charges : commercial et environnemental. Cependant, en juillet 2010 il n'était toujours pas fonctionnel. Le gouvernement cherche alors à rétrocéder la gestion du centre à une structure privée d'envergure internationale, afin qu'il devienne un levier effectif et concret pour le développement de la région Centre-Est.

La création du parc animalier d'une superficie de 593,3 ha (**Tab. 65**) est un complément aux infrastructures du complexe éco-touristique afin d'attirer les touristes. Il se situe à la limite sud avec la zone pastorale de la Doubégué. Cette dernière jouera également un rôle par la rencontre des touristes, des chercheurs, des étudiants avec les pasteurs. Cette idée sera poursuivie avec les pêcheurs et les agriculteurs. La localisation du parc animalier a été choisie en fonction de la diversité des habitats, de la non fragmentation des entités écologiques, et de la prise en compte des exploitations avoisinantes. En s'appuyant sur le lac, on peut disposer d'une juxtaposition spatiale des communautés végétales. Les principaux paysages seront alors des prairies aquatiques et des jachères à des stades divers de reconstitution. La flore sera composée de 46 espèces ligneuses appartenant à 21 familles, essentiellement dominées par la strate inférieure (54 %) : *Combretum glutinosum*, *Piliostigma thonningii*, *Ziziphus mauritania*. La faune comprendra des hippotragues, des Cobes défassa, des Cobes de Buffon, des Rédunca, des Ourébis, des Phacochères, des Guib harnachés, des Céphalophes de Grimm, des Céphalophes à flancs roux, des cynocéphales, des lièvres à oreille de lapin, des lièvres du Cap, des écureuils fouisseurs, des porcs-épics, des tortues terrestres, des autruches, des rats de Gambie. Afin « d'accueillir » les premiers animaux, une partie sera clôturée. Sa superficie devait être de 317,1 ha (**Tab. 66**), mais elle a été ramenée à 187,7 ha comprenant moins de savanes arbustives et de jachères (NANA, 2008). Les quelques hectares de cultures pluviales (une cinquantaine d'hectares), présents dans le parc animalier, sont exempts de la zone clôturée (**Fig. 54**). Pour implanter ce centre, les agriculteurs ont alors été « déguerpis » en un mois ; nombreux sont ceux qui n'ont pas été relogés et qui ne disposent plus de terres cultivables.

Le secteur touristique peut également donner une impulsion aux activités agricoles, artisanales et permettre à cette région de sortir de « l'anonymat ». Actuellement, le lac de Bagré est déjà mentionné dans différents guides touristiques¹²⁸.

¹²⁸ Le Petit Futé stipule que l'on peut y passer une demi-journée afin d'effectuer une « plaisante excursion ». Il est également répertorié dans le guide Olizane.

Type d'occupation des terres	Superficie en ha	Pourcentage
Cultures pluviales	55,1	10
Centre éco-touristique	20	4
Jachères	97,3	18
Savanes arbustives	103,4	19
Prairies inondables	254,3	47
Terrain omnisport	6	1
Enclos à bétail 3,2 ha	3,2	1
Superficie totale	539,3	100

Tableau 65. Types d'occupation et superficies dans le parc animalier

Source : Nana, 2008

Types d'occupation	Superficie en ha	Pourcentage
Centre éco-touristique	20	6
Centre omnisport	6	2
Jachères	89,7	28
Savanes arbustives	44,9	14
Prairies inondables	156,5	50
Total	317,1	100

Tableau 66. Types d'occupation des terres et premières superficies envisagées dans le domaine clôturé

Source : Nana, 2008

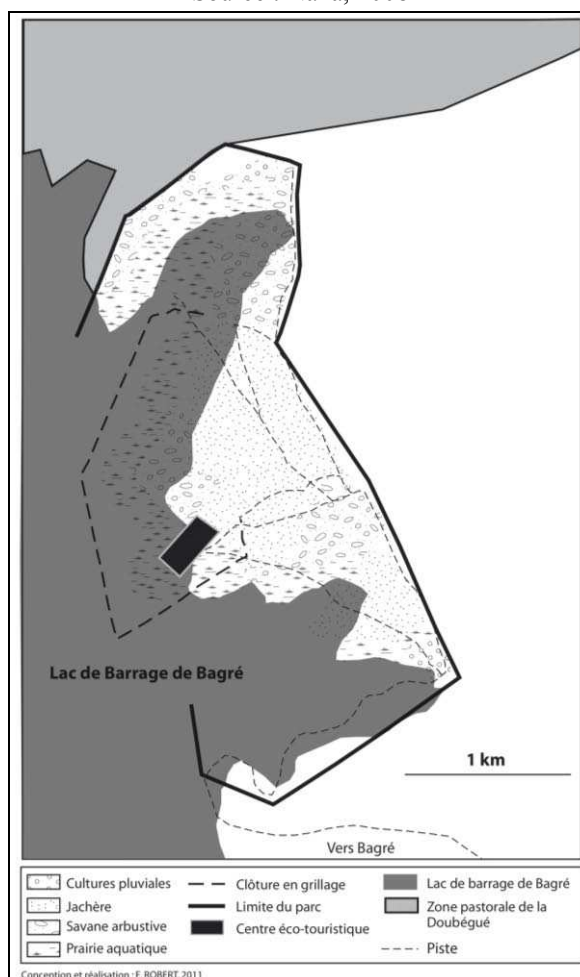


Fig. 54 : Le parc animalier du centre éco-touristique de Bagré

Une coopération pourrait se mettre en place entre des cultivateurs et le restaurant de l'hôtel, ainsi qu'avec les autres établissements susceptibles d'ouvrir suite à l'arrivée de touristes. Plutôt que de s'appuyer sur des importations extérieures, il conviendrait de promouvoir les productions locales : poissons, viandes ovines, porcines, bovines, caprines, fruits, légumes, céréales, piments. Selon SEDOGO (Ministre de l'AHRH), le projet semble intégré et contribuerait à une production annuelle pour le Burkina Faso de plus de 200 000 t de céréales, 15 000 t de légumes, 1 000 t de semences améliorées, 5 000 têtes de bovins et de petits ruminants, 400 000 l de lait, 1 600 t de poissons frais, et 44 GW/h d'énergie électrique. Il est important de conserver une diversité des systèmes de production, et maintenir le *livelihood system* en maximisant la sécurité en recourant à de multiples options. Les agriculteurs savent que l'intensification d'une seule option, dans ce milieu (variabilité des prix, du climat), est un risque trop élevé.

En définitive, l'objectif est « *que le centre éco-touristique de Bagré soit un point focal pour le rayonnement de la région* » (SAWADOGO, 2009). Il convient également de dépasser cet espace qu'est le complexe éco-touristique, et prendre en compte l'ensemble de la zone de Bagré qui dispose de potentialités pour l'agro-business (OUEDRAOGO I., 2006).

10.2.2 Une région agro-piscico-pastorale aux ambitions multiples

Cet espace dispose d'eau en quantité suffisante et permanente (lac de Bagré). Les sols proches des berges du lac seraient aptes à la riziculture, aux cultures maraîchères et à l'arboriculture (80 à 90 % ont une profondeur utile de 80 cm) (MOB, 2003). La présence de 30 000 ha de plaines agricoles aménageables (21 000 ha en aval et 9 000 ha en amont du barrage), de 16 ha de périmètres pour la pisciculture moderne et du centre éco-touristique justifie pour certains l'emploi de l'expression : « poumon économique de la région Centre-Est » (Sidawa, 4/08/2010).

Deux canaux primaires périphériques en rive droite et gauche permettent l'irrigation. Le potentiel irrigable est de 21 000 ha en aval du barrage, dont 7 400 par gravité et 13 600 ha par pompage. L'aménagement de la zone aval, débuté en 1996, est progressif. Actuellement, la superficie irriguée est de 2 380 ha (1 200 ha en rive droite aménagés et 2 180 ha en rive gauche uniquement en irrigation gravitaire). En rive droite, les périmètres sont principalement exploités par des personnes issues de l'agriculture traditionnelle. A l'inverse, en rive gauche l'État a décidé de réserver 1 500 ha à l'entrepreneuriat agricole (agro-business). Par ailleurs, 1 880 ha ont été divisés entre 1 662 familles appartenant à 16 villages qualifiés de colons : 6 en rive gauche (V1A, V1B, V2, V3, V4 et V5) exploitant 680 ha, et 10 en rive droite (de V1 à V10) disposant de 1 200 ha (**Fig. 55**). Ils sont regroupés en 16 groupements (encadrement, fourniture en intrants, organisation du crédit rural, commercialisation, aide à l'autogestion) et pratiquent la riziculture en double campagne (deux cycles/an). Les rendements sont de 4,5 à 5 t/ha (UICN, 2010). Le cycle de saison sèche commence par le repiquage en janvier, et le riz est récolté en mai ; le cycle de saison pluvieuse se déroule de juillet à fin novembre. La consommation d'eau est respectivement de 13 000 m³/ha et de 6 000 m³/ha. 25 000 t/an de riz paddy sont produites, représentant 22 % de la production nationale de riz, ce qui confère à Bagré un poids relativement important dans l'économie nationale. De plus, la demande en riz de Bagré s'accroît. Ce riz dispose de surcroît de bonnes qualités organoleptiques.

Les difficultés d'exploitation, liées en partie à l'approvisionnement en intrants et au non-paiement des redevances, ont conduit la MOB à baisser ses tarifs et à subventionner des intrants. Cependant, la mise en place des périmètres irrigués a permis de mettre à disposition des paquets technologiques développés par la recherche.

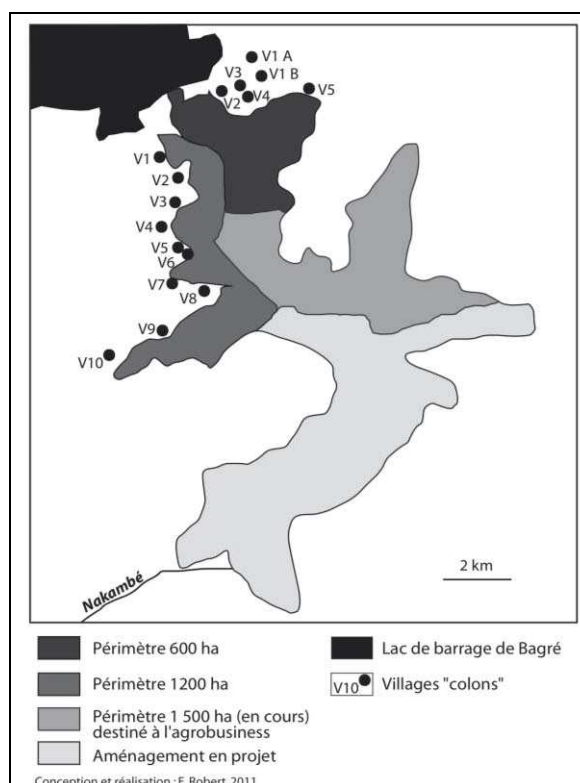


Fig. 55 : Les périmètres rizicoles aménagés et en cours d'aménagement en aval du barrage de Bagré

Néanmoins, suite à l'échec de l'exploitation du type paysannat des grands périmètres irrigués, les nouvelles orientations nationales sont la diversification des bénéficiaires en faisant appel à des promoteurs privés (opérateurs économiques, diplômés, retraités, entreprises privées) qui prendront en charge les investissements des aménagements terminaux, tandis que l'État réalisera les infrastructures communes (amenée d'eau, d'assainissement et de désenclavement). Ce dernier espère ainsi réduire ses coûts. Il s'agit de poursuivre la voie mise en place et d'aller au-delà notamment en instaurant une agriculture plus mécanisée avec 3 cycles annuels et un élevage de bovins. Ce projet répond à une nouvelle politique d'intensification de la production agricole en y intégrant « l'industrie ». L'acquisition des parcelles aménagées devra être soumise au respect des dispositions d'un cahier spécifique de charges pour la gestion de type agro-business des aménagements hydro-agricoles de Bagré (site ARID, 2005). Par ailleurs, la présence des zones pastorales de la Doubégué et du Tcherbo devrait permettre la mise en place d'un élevage semi-intensif ou intensif. Cette zone commence à bénéficier d'infrastructures administratives, socio-éducatives et socio-sanitaires, même si cela demeure à l'état embryonnaire. L'électricité dans la région est disponible (mais aucun aménagement n'est encore réalisé, excepté à la cité Sonabel). La position transfrontalière avec le Togo et le Ghana confère un avantage pour l'écoulement des produits agropastoraux.

Le crédit (la Banque Agricole et Commerciale du Burkina et les autres institutions financières du pays) devrait jouer un rôle pour ces nouveaux exploitants et éleveurs lors de l'acquisition d'animaux d'élevage, de la construction de bâtiments d'élevage, de l'installation de petites unités de transformation, de la pratique de l'embouche bovine ou ovine sur des parcelles de 2,5 ha, de l'achat d'équipements agricoles, de la mise en place des plantations fruitières, et de la mise à disposition d'une ligne électrique moyenne tension. Il faudrait également créer un parc d'équipement agricole afin de permettre le libre choix des spéculations et de la gestion de l'exploitation, les locations et l'acquisition de titre de propriétés avec un bail de 25 à 99 ans pouvant se transformer en permis d'exploitation.

Ainsi, dans la zone de Bagré, une sélection des promoteurs privés aura lieu. Des spots publicitaires ont été lancés pour les 1 500 ha (agro-business), et déjà 200 candidats y ont répondu. Les critères de sélection devront prendre en compte les capacités financières et professionnelles, et l'aptitude à inscrire son projet dans le cadre d'une vision prospective envisageant des innovations. La superficie minimale devrait être de 10 ha. Il est également important de les sensibiliser aux problèmes environnementaux et aux interactions possibles entre agriculture et élevage. Six grandes catégories socioprofessionnelles ont alors été établies (site ARID, 2005) (**Tab.67**).

Catégories socioprofessionnelles	Compétences et limites
Les professionnels ayant une activité connexe à l'agriculture : 19,5 %	- Connaissance des filières agricoles, et capacité d'autofinancement, création d'emploi
Les professionnels de l'agriculture autre que paysans (ingénieurs, agronomes, forestiers, zootechniciens..) : 10,2 %	- Capacité d'autofinancement faible, mais revenus, sensibilisés aux problèmes environnementaux et à l'agriculture durable, promotion d'innovations et intégration de l'agriculture et de l'élevage
Les fonctionnaires et autres cadres salariés : 32 %	- Capacité d'autofinancement mais pas de revenus (6 à 12 ha)
Les agriculteurs : 10,2 %	- Large expérience, bonne connaissance du terrain, capacité financière faible
Les grands commerçants, opérateurs, économiques, cadres supérieurs à hauts revenus : 16,5 %	- Disponibilité financière, pas de compétence agricole, grande mise en valeur (20 à 100 ha), aide financière à l'État pour les travaux de finition
Les travailleurs indépendants : 12,5 %	- Originaires de la région, pas de connaissance agricole, revenus irréguliers, trésorerie faible - Migrants pour pérenniser leur appartenance à la région

Tab. 67 : Les catégories socioprofessionnelles retenues pour les nouveaux aménagements de Bagré

L'agriculture irriguée dans la région de Bagré est alors amenée à jouer un rôle grandissant. Ses bases doivent donc évoluer : ouverture vers le privé, diversification de production, intégration agriculture/élevage. D'ici 2015, il est prévu l'aménagement de

3 830 ha (1 130 ha en rive gauche aval et 700 ha en rive gauche amont, et 2 000 ha en rive droite) (UICN, 2010).

Enfin, il existe un site dédié à l'élevage piscicole comprenant 35 bassins. Il s'agit d'une zone de Projet d'Elevage Piscicole (PEP) créé dans les années 2000 et mis en place avec l'aide de la Coopération Taïwanaise en juillet 2004 afin d'accroître l'offre de poisson burkinabée. Il s'inscrit dans le cadre de la politique nationale de développement des ressources halieutiques. Il existe cinq composantes : la formation, la production, l'alimentation, l'enfermement, et la transformation. L'objectif est de produire du poisson ainsi que des aliments piscicoles (capacité de 3 000 t/an). 6 millions d'alevins pourront être produits annuellement. Lorsqu'ils atteignent le poids de 5 à 6 g, ils sont transférés dans des bassins de grossissement, puis séparés entre mâles et femelles à partir de 10 g. Il faudra 6 à 8 mois pour qu'ils atteignent un poids compris entre 400 et 500 g. La production actuelle est de 80 à 120 t/an de poissons marchands (pour une capacité de 120 à 150 t/an) (UICN, 2010). Mais, quelle-est alors sa viabilité ? En effet, en décembre 2009, la partie taïwanaise a officiellement rétrocédé l'ouvrage au gouvernement burkinabé, notamment au Ministère en charge des Ressources halieutiques. En 2010, le PEP a utilisé les reliquats du fond taïwanais, et l'État a lancé une étude afin de déterminer les parties à privatiser et celles qu'il devra gérer.

La région du lac de barrage de Bagré dispose d'importantes potentialités qu'il est essentiel de concrétiser : il s'agit essentiellement du centre éco-touristique, de l'essor de la riziculture, et du développement de l'élevage. Cette évolution économique pourra alors se produire parallèlement à la mise en place d'actions de protection de l'environnement décrite aux deux chapitres précédents. Il faudrait également s'appuyer sur l'essor d'un pôle régional : Tenkodogo. L'accroissement de ses marchés et de son aire d'influence, et sa position stratégique en tant que relais en direction du Ghana et du Togo en font un levier efficace.

10.2.3 L'essor de Tenkodogo et de son Hinterland

10.2.3.1 Tenkodogo ou l'intégration régionale

La région Centre-Est, créée le 2 juillet 2001¹²⁹, s'étend sur 14 710 km² et regroupe 3 provinces (Boulgou, Koulpélogo, Kouritenga), 6 communes urbaines (Bitou, Garango, Tenkodogo, Ouargaye, Koupéla, Poutenga) et 24 communes rurales. Tenkodogo est le chef-lieu de la province du Boulgou et a été la capitale du Royaume de Tenkodogo. Cette ville dispose donc d'une légitimité politique et historique.

Dans le cadre général de la décentralisation amorcée par l'État, évoquée précédemment, l'idée d'individualisation, d'identité territoriale, de régions autonomes et économiquement viables semble être une voie prometteuse. Notre région d'étude, avec comme pôle Tenkodogo, pourrait choisir cette nouvelle option en développant cet échelon régional comme un nouveau pilier de mise en place des politiques. Les Gouverneurs, nommés en juillet 2004 et installés en décembre 2004, coordonnent les services de l'État au niveau de la région, mettant en œuvre et gérant les actions de développement régional. Les domaines d'activités retenus à décentraliser dans les régions sont l'enseignement pré-scolaire, le

¹²⁹ En 2001, quatre lois ont été modifiées afin d'introduire la région comme un troisième niveau de décentralisation. Le Burkina Faso a opté pour la décentralisation intégrale en 2004.

primaire, les centres de santé primaires, le sport, les loisirs, les arts et la culture. La décentralisation a cependant été réellement initiée en 2006.

Ces nouveaux échelons (régions, communes) prennent peu à peu de l'importance. Il est alors intéressant de se placer dans le cadre d'un développement renforçant l'intégration régionale et fortifiant la cohésion sociale par la valorisation des spécificités régionales. La région semble l'échelon le plus à même d'assurer le pilotage en matière d'aménagement du territoire. En s'appuyant sur un pôle comme Tenkodogo, elle peut révéler bien des potentialités et impulser des secteurs d'activités. Le rôle de l'État sera alors de veiller à ce que n'apparaissent pas des déséquilibres régionaux par la mise en place de mécanismes de solidarités interrégionales.

Tenkodogo couvre une superficie de 1 147 km² et regroupe 83 villages pour une population de 130 084 habitants. Elle a une position stratégique au regard de sa proximité avec le Togo (RN 16 reliant le Boulgou au port de Lomé) et le Ghana. Le commerce est l'activité la plus rentable, et la majorité des marchandises proviennent de Cinkansé (Togo) localisée à 105 km. Ces chiffres et cette position permettent de transposer le concept d'hinterland¹³⁰. Nous retenons alors l'emploi de ce terme utilisé dans l'étude WALTPS (*West Africa Long Term Perspective Study*). Selon COUR (2000), cette dernière a montré « *que l'économie d'un pays ou d'une région peut s'interpréter non seulement comme une combinaison de secteurs ou de branches, mais aussi (et surtout) comme **une congruence d'économies locales de petites régions constituées par un centre urbain (ou quelques villes proches) et son hinterland rural*** ». Quels sont les leviers présents et actionnables à Tenkodogo ?

10.2.3.2 Pour un nouveau pôle commercial et industriel

Il y a encore quelques années, Tenkodogo présentait un aspect « stagnant ». Actuellement, c'est une ville en pleine croissance pouvant impulser un élan de développement à l'ensemble de la région.

Des immeubles administratifs apparaissent. Le secteur hôtelier connaît un réel essor : Djamou siège, I (10 lits), II (41 lits), Laafi (27 lits), Auberge Winnie Mandela (14 lits), Majestic (4 lits) et de nombreux sites ne demandant qu'à être valorisés (**photos e et f de la Planche photos 24**). Tenkodogo dispose également d'un aéroport.

La présence de deux Caisses Populaires¹³¹ (Tenkodogo et Bagré) dans la région d'étude confirme la vitalité économique de la région. Il s'agit d'une caisse départementale indépendante (institution de crédit public) gérée par un Conseil d'Administration élu parmi et par ses membres (détenteurs de compte). Une coordinatrice régionale Centre-Est est basée à Koupela. Ces activités consistent à gérer l'épargne des membres, mettre en place une caution solidaire des caisses villageoises, appuyer les AGR en direction des femmes les plus

¹³⁰ Les « puristes » préféreront l'emploi de zone ou aire d'influence définies par PUMAIN : « *une zone polarisée par un centre, pour un ensemble de relations (aire d'influence d'une ville) ou catégorie de relations (aire d'influence culturelle ou commerciale, air de chalandise)* ». Les dimensions des aires d'influence sont expliquées par la théorie des lieux centraux : « *la portée maximale des services offerts par un centre, correspondant à leur niveaux dans la hiérarchie fonctionnelle des centres* ». L'influence est mesurée selon : l'extension du bassin d'approvisionnement en produit frais, le recours des populations environnantes aux commerces et aux services urbains, le recrutement des élèves, etc.

¹³¹ Le réseau des caisses populaire au Burkina Faso date de 1972. C'est un système financier décentralisé octroyant des produits d'épargne et des crédits individuels.

démunies¹³², et proposer des crédits¹³³. La caisse de Tenkodogo¹³⁴ certifie l'existence d'un réel marché financier et compte 5 000 membres dont 50 à 60 % de ruraux. Celle de Bagré, créée en décembre 2002, comptait 802 adhérents en 2004 (YAMEOGO, 2009). Elle a remplacé la BACB qui octroyait des crédits remboursables aux groupements et préfinançait la commercialisation de la production. Le non-remboursement a été une des causes de son arrêt.

Par ailleurs, un centre de formalité des entreprises (CEFORE) a été créé. Après Ouagadougou en 2006, Bobo-Dioulasso en 2007 et Ouahigouya en 2009, le 27 août 2009, Tenkodogo est devenue la 4^{ème} ville dotée de cet organe ayant pour objectifs de simplifier, et de faciliter les formalités de création, d'extension, de modification et de reprise d'entreprise. Pour les habitants, il est alors possible d'effectuer l'ensemble de leurs démarches financières en un seul lieu et avec un seul conseiller (moins de pertes de temps et d'argent).

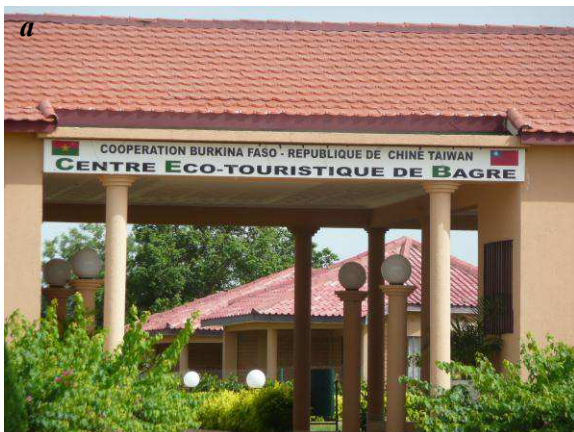
Enfin, cette région regorge d'énormes potentialités agricoles et pastorales qui peuvent contribuer à asseoir un bassin d'agro-business formel et dynamique (cf. 10.2.1 et 10.2.2).

L'un des objectifs du gouvernement burkinabé est que Tenkodogo devienne, en s'appuyant sur les leviers locaux, une ville industrielle et commerciale d'ici 2025. Cette évolution sera le fruit du processus ECOLOC (lancé en 1997) de Tenkodogo et de son hinterland. Cette démarche résulte de l'adaptation au niveau local de l'approche démo-économique mise au point dans le cadre de l'étude WALTPS par le PDM (Partenariat pour le Développement Municipal) et le CLUB du Sahel. Elle « *vise à initier des actions concrètes de relance d'une économie locale et d'amélioration de la fiscalité dans le cadre d'une nouvelle gouvernance locale mieux informée et plus participative* » (UNCDF, 2006). Il s'agit d'identifier **les leviers locaux** qui devront permettre aux responsables et aux opérateurs locaux **d'agir sur le devenir économique et social à long terme de leur localité et de son hinterland**. Il s'agit d'une **approche intégrée centrée sur le peuplement**, signifiant que la manière dont les hommes « *produisent, détermine largement le mode d'organisation sociale ainsi que le mode d'occupation et d'organisation de l'espace* » (DEMBELE, 2008) où ils vivent. Cette démarche ECOLOC repose aussi sur une approche englobant Tenkodogo et son hinterland. Le clivage entre milieu urbain et milieu rural n'est plus de rigueur et apparaîtra rapidement comme dépassé. Ces petites **zones urbano-centrées** concentreront une part importante de l'activité économique d'une région (4/5 de l'activité pour 1/5 du territoire) (COUR, 2000), les principales innovations en matière de systèmes de production et d'échanges, et les évolutions et les transformations des rapports sociaux. Les villes, comme **Tenkodogo**, sont donc les **pôles de la restructuration de l'économie locale**. Les enjeux autour de ces derniers sont la relance des secteurs d'activités économiques à fort potentiel par le biais d'un accroissement de la fiscalité et des investissements au niveau local et grâce à l'augmentation de l'efficacité de l'aide et de son impact local. L'objectif est donc de réaliser une étude exhaustive de cette région, afin de mettre en évidence les freins au développement et les potentialités, d'identifier le rôle des divers acteurs (public/privé, local/extérieur), de définir les besoins en terme d'information et de formation en appliquant le principe du *empowerment by knowledge*, et de connaître les principaux déterminants des interactions entre Tenkodogo et son hinterland.

¹³² Regroupement en « caisses villageoises » : prêt de 35 000 F CFA au premier cycle et plus de 25 % au second cycle.

¹³³ Cela est possible 3 mois après l'adhésion, à condition de nantir le compte de 25 % des sommes empruntées et de présenter des garanties matérielles (reçu de bicyclette, d'appareil, etc.) à hauteur du montant du prêt.

¹³⁴ En 2004, la directrice était Mme Mariam OUEDRAOGO.



a : Le centre éco-touristique de Bagré
Entrée du site éco-touristique soulignant le partenariat entre le Burkina Faso et Taïwan
 Cliché : E. Robert, 2009



b : Vue depuis le cœur du centre éco-touristique
Villas créées pour accueillir les touristes

Cliché : E. Robert, 2008



c : Plage artificielle



d : Piscine du centre éco-touristique

Clichés : E. Robert, 2008



e : Hôtel Djamou de Tenkodogo
Hôtel améliorant peu à peu son standing

Cliché : <http://www.check-inn.com/hotels/Burkina+Faso/Tenkodogo/40068881/Hotel%20Djamou/>



f : Tiéba night-club de Tenkodogo,
Nouvel établissement avec chambres, salles de réunion et restaurant

Cliché : inconnu

Planche photos 24 : Les leviers économiques de la région : le centre éco-touristique de Bagré et la ville de Tenkodogo

Le PPDEL (Plan Programme de Développement Economique Local)¹³⁵ de Tenkodogo et de son hinterland a été lancé en 2004 avec l'aide du royaume du Danemark. Cette mise en œuvre repose sur la réalisation de grands projets comme le PADAB II et le projet écotouristique intégrant des activités de haute productivité en riz, légumes, fruits et en ressources halieutiques de Bagré. Le PPDEL s'est donc articulé en 3 phases :

- une phase d'étude basée sur la production d'informations quantitatives, qualitatives, cohérentes, rétrospectives, et prospectives sur l'économie locale menées sur Tenkodogo, Garango, Bagré, Bittou, Béguédo, Ouargaye, etc. Elle est accessible à tout public ;
- une phase de dialogue - concertation - appropriation (lancée en mai 2005) définissant une vision partagée du mode de fonctionnement de l'économie locale et établissant une stratégie de développement local articulée autour de 3 grandes ambitions :
 - faire de la zone une référence en culture de riz, d'oignons, de niébé, de tomate, de banane, de piment et d'arachides,
 - faire de Bagré la référence en production de poissons au Burkina Faso,
 - faire de Tenkodogo une plaque tournante économique sous-régionale ;
- une phase d'opérationnalisation : 2,7 milliards de F CFA nécessaires. La réalisation sera faite par des opérateurs privés et aussi par des projets de la commune.

Ainsi, ce développement se fonde sur l'exploitation rationnelle des potentialités agro-sylvo-pastorale, la valorisation des produits agricoles par la maîtrise des circuits de commercialisation autour de la ville pôle, positionnée comme un carrefour sous régional. Des actions ont déjà été menées¹³⁶. Le PADAB II s'est engagé à réaliser deux grands barrages.

Afin de clore cette réflexion sur l'essor de Tenkodogo et plus généralement sur la mise en place d'une gestion intégrée, il convient d'aborder l'échelon transfrontalier.

10.2.3.3 Et pour une intégration transfrontalière

Tenkodogo dispose d'un autre atout pour favoriser son essor et avoir un effet entraînant sur son hinterland. Cette ville se localise sur un des axes reliant Ouagadougou au Ghana et au Togo. Elle peut être qualifiée de carrefour et est un partenaire privilégié de ces deux pays. Tenkodogo est traversé par la RN 16 à destination de la frontière togolaise, et la province est parcourue d'est en ouest par la RN 17 (**Fig. 56**). L'accès au Niger est également facilité par la RN 4 via Koupéla. Cependant, pendant longtemps le flux commercial a été réduit à cause du coût et de la concurrence avec les grands centres commerciaux tels que Pouytenga (province du Kouritenga), Cinkansé (République du Togo) et Bakou (République du Ghana). Actuellement, les oignons produits dans la région et la majeure partie du bétail sont exportés et vendus au Ghana et au Togo. Les localités de Bagré, Béguédo, Niaogho et Garango sont également connues pour leur potentiel halieutique, et les commerçants Togolais et Ghanéens jouent déjà un rôle dans l'achat de production de tomates et plus récemment de riz (en 2005). **Tenkodogo** dispose donc d'une place non négligeable dans la mise en place

¹³⁵ La phase d'étude a été lancée le 1 avril 2004, les études ont été restituées le 20 mai 2005, et les consultations populaires se sont déroulées en novembre 2005. Ses documents ont été adoptés le 31 août 2006.

¹³⁶ La réhabilitation des locaux de la mairie et du lycée communal, la création d'une unité de production piscicole à Garango, le bitumage de la route nationale Guiba-Garango, le développement des pistes rurales vers Ouargaye, Bittou et Garango.

d'une intégration régionale transfrontalière.

Le développement économique doit être aujourd'hui envisagé à l'échelle transnationale afin de dépasser ces délimitations que constituent les frontières. En effet, il peut être plus aisé de travailler, de coopérer entre habitants de pays limitrophes : des synergies peuvent être plus facilement mises en place. Vivant dans un environnement proche (biogéographique, pédologique, géomorphologique) et ayant fréquemment une histoire commune (même ethnie, royaume histoire, etc.), ces populations sont généralement confrontées à des problèmes similaires.

Il semble que l'intégration régionale transfrontalière pourrait permettre de sortir en partie de la pauvreté. Ainsi, dès le mois de juillet 2009, des producteurs Ghanéens¹³⁷ et Burkinabés s'étaient rencontrés afin de trouver une solution pour répondre au problème d'écoulement des stocks de tomates burkinabées. Cette filière était inorganisée et la production pourrissait faute de place sur le marché.

Par ailleurs, Tenkodogo a abrité, du 17 au 19 septembre 2009, la première rencontre tripartite entre la *Upper East* région du Ghana, la région des Savanes du Togo et celle du Centre-Est du Burkina Faso. L'objectif était l'intégration sous-régionale. Entre ces trois régions, il existe de nombreux liens séculaires socio-économiques et démographiques liés au brassage incessant des populations¹³⁸. Le but est alors de renforcer la coopération transfrontalière déjà existante, de consolider la coexistence pacifique entre les populations, et d'optimiser les actions de développement au niveau déconcentré et décentralisé dans les zones frontalières. Il faut rendre effective la libre circulation des personnes et des biens. L'harmonisation des textes réglementaires régissant la transhumance a alors été recommandée. Différentes commissions thématiques ont permis des avancées dans divers domaines notamment ceux de la sécurité, de l'environnement, du libre déplacement des personnes et des biens, et des affaires sociales (éducation, santé, mariages forcés, excision, trafic d'enfants) et de l'économiques (transport, commerce, douane, élevage, agriculture, énergie, eau). Une synergie d'action, avec le soutien des gouvernements, est donc nécessaire afin de permettre la libre circulation, la contractualisation de la commercialisation des produits, l'accès aux intrants de bonne qualité, et l'amélioration des relations commerciales entre les États.

Enfin, la ville de Tenkodogo joue également un rôle important dans le cadre des réunions organisées par le PAGEV comme le forum inaugural du Ghana et du Burkina Faso en septembre 2005, le premier atelier en mars 2006 (sur la planification et l'identification des rôles au profit des ONG et des Services Techniques de l'administration décentralisée), et la rencontre du CTC-GIRE le 16 juin 2007 (3^{ème} forum transfrontalier). Par ailleurs, la DRAHRH de Tenkodogo sert de point focal au bassin pilote et sera impliquée dans les projets pilotes au niveau régional. Les préfectures et les départements de Bagré et de Tenkodogo superviseront ceux de la GIRE, appuieront techniquement et financièrement les interventions pilotes, mèneront des campagnes de conscientisation à l'environnement et au VIH/SIDA, et feront mieux connaître le PAGEV au niveau local.

¹³⁷ Le Ghana est un importateur important (7 000 tonnes/an).

¹³⁸ Liens de commerce et d'échanges divers et fructueux entre les villes frontalières de ces trois pays, développement du transport, d'activité de transit, de douane, de mouvements du bétail.

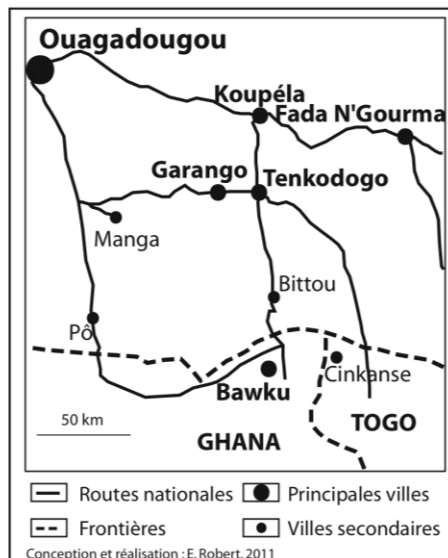


Fig. 56 : Tenkodogo : un carrefour transfrontalier

ooooo

L'individualité ne résoudra pas les problèmes en jeu dans cet espace. Comme le souligne BETHEMONT et al. (2003) ce sont les hommes par leur réseau, leurs liens locaux qui élaborent et réalisent des projets contribuant au développement à partir du milieu local. L'exemple de la combinaison de l'utilisation des végétaux que sont le neem, le Jatropha et le Moringa en est un parfait exemple. Leur association permet de récupérer des sols à nu et de préserver l'environnement. Mais elle ne se limite pas à cela. Elle agit également sur la progression du développement social, économique et sanitaire. La mise en place de la GIRE doit être également instaurée dans cette perspective. C'est pourquoi, il est important d'adapter ce concept : ajout de la prise en compte des ressources en terre et végétale et mise en place d'un développement socioéconomique à partir de cette gestion. Il faut donc que cette dernière soit globale et intégrée.

De même la réussite du complexe éco-touristique de Bagré ne sera effective et durable qu'avec le développement d'un partenariat entre les acteurs. « Aucun acteur n'agit seul, tous ont besoins de la coopération et de l'apport des autres acteurs dans le scénario territorial local » (BETHEMONT et al. 2003). Cette citation est également valable pour l'essor la région composée de Tenkodogo et de son hinterland. L'objectif ultime est d'aboutir à une auto-organisation à partir d'initiatives qui agiront comme des leviers. Les activités des expatriés Bissa vivant en Italie, par l'envoi d'argent via la Western Union, participeront également activement au dynamisme et au développement de la zone.

*Ce territoire est donc en pleine transition. **L'importance de la complémentarité des stratégies associant agriculture pluviale et irriguée, tradition et innovation, culture et techniques est essentielle pour la construction d'un nouveau territoire développé tant économiquement que socialement, et prenant en compte les enjeux environnementaux.***

	Parcelle	Village	BV Doubégué	BV Lac Bagré
Environnement	<ul style="list-style-type: none"> - Haie de <i>Jatropha curcas</i> - Haie de <i>Moringa oleifera</i> - Neem - Cordons pierreux et bandes enherbées - Fosse fumière - Foyer amélioré - Coton biologique 	<ul style="list-style-type: none"> - Plantation de <i>Moringa oleifera</i> - Plantation de <i>Jatropha curcas</i> - Plantation de neem - Cordons et bandes enherbées collectifs - Reboisement à Loanga et Ouéloguen - Groupement de coton biologique 	<ul style="list-style-type: none"> - Zone pastorale de la Doubégué - GIRE modifiée et adaptée : lien sol - eau - végétation 	<ul style="list-style-type: none"> - Zones pastorale et agropastorale de la Doubégué et du Tcherbo - Forêt naturelle - Plantation - Agroforesterie - Refuge de Woosi - Protection des berges (PROGEREF et MOB)
Economie	<ul style="list-style-type: none"> -AGR (PADAP II) - Graine de <i>Jatropha curcas</i> - Neem - Semence - Fosse fumière - Foyer amélioré - Coton bio - Crédit pour l'outil de travail (PROGEREF) 	<ul style="list-style-type: none"> - Usine de <i>Jatropha curcas</i> pour les villages les plus importants - AGR (Dakupa, PADAB II)) - Vente de semences (ATTRAB/B) - Microprojet communautaire (PROGEREF) - Groupement de coton bio 	<ul style="list-style-type: none"> - Complexe éco-touristique - Essor de Tenkodogo et intégration transfrontalière 	<ul style="list-style-type: none"> - Complexe éco-touristique - Essor de Tenkodogo et intégration transfrontalière - GIRE du Nakambé - PAGEV
Santé	<ul style="list-style-type: none"> - Parties (feuilles, cosses, graines) du <i>Moringa oleifera</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Parties (feuilles, cosses, graines) du <i>Moringa oleifera</i> - Microprojet communautaire (PROGEREF) 		<ul style="list-style-type: none"> - Implantation de CSPS

Tab. 68 : Les solutions à différentes échelles : de la parcelle du bassin versant de la Doubégué au bassin du lac de Bagré

Conclusion de la partie 4

L'impact du concept de développement durable, notion visant à fonder une pratique écologiquement et socialement responsable de la vie économique, est perceptible tout au long de cette dernière partie. Selon Ignacy SACHS c'est « *s'attacher à trouver des façons à la fois socialement utiles et écologiquement prudentes de la mise en valeur des ressources naturelles* ». Il s'agit, selon les termes du rapport Brundtland, de « *formuler une approche intégrée et interdisciplinaire de nos problèmes globaux et de notre avenir à tous* ». Bien souvent, dans les faits, la double dimension écologique et sociale du développement durable est peu prise en considération. La question de la durabilité est trop souvent ramenée à un problème d'économie de l'environnement ou de gestion des ressources naturelles. Les solutions proposées dans cette dernière partie ont essayé d'éviter cette dérive. Elles ont comme objectif de **mettre en place une gestion intégrée tant d'un point de vue environnemental, que social et économique**. Cela renvoie à la notion d'interdépendance écologique (l'écheveau inextricable de causes et d'effets qui relie écologie et économie), d'équité sociale, et de croissance. Le Rapport Brundtland souligne que le développement durable est « *un processus de transformation dans lequel l'exploitation des ressources, la direction des investissements, l'orientation des techniques et les changements institutionnels se font de manière harmonieuse et transforment le potentiel présent et à venir permettant de mieux répondre aux besoins et aspirations de l'humanité* ». Il fait l'objet de nombreuses critiques. Néanmoins, il nous a permis de proposer un système alternatif au programme porté par l'économie dominante. Il a contribué à une prise de conscience de l'ultralibéralisme. Bien que le chemin restant à parcourir pour son application soit long, il demeure un concept indispensable.

Le mode d'action dans la région a souvent répondu aux orientations internationales. Les années 1970 et 1980 ont été synonymes de protection de l'environnement. C'était le *leitmotiv* après la prise de conscience par la Communauté Internationale de la question écologique (la conférence des Nations Unies sur l'environnement à Stockholm en juin 1972). Les divers pays occidentaux s'en sont emparés ainsi que les grands organismes internationaux. La région de la Doubégué a alors connu des programmes de reboisement, de réalisation de cordons pierreux, de bandes enherbées. Mais, il a manqué une démarche sur le long terme. En définitive, des opérations de court terme sans concertation, sans explication de la marche à suivre sur le long terme ont été observées. De plus, un paramètre avait été oublié. Les populations locales devaient avant tout survivre et subvenir à leurs besoins. C'était là leur priorité. Dans un second temps, si le temps le leur permettait, ces populations pratiquaient ces actions. Aujourd'hui, les nouvelles générations davantage informées ont conscience de la faible prise en compte de la question environnementale par leurs parents, en particulier dans la région périphérique de Tenkodogo. Actuellement nous sommes dans une période où le nouveau mot d'ordre est la lutte contre la pauvreté. Comme pour la démarche précédente, il faut faire attention à ne pas s'enfermer dans un unique paradigme. La résolution des problèmes rencontrés dans cette région ne se fera qu'avec la mise en place d'une gestion intégrée comprenant la protection de l'environnement, tout en dégagant un revenu ou un développement (Neem, Jatropha, Moringa, AGR).

Au-delà, de ce désir d'application du développement durable, il convient de garder à l'esprit que la gestion de l'environnement proposée par le législateur manque souvent d'un échelon d'application très proche de la population. Sans lui, la loi ne peut avoir une légitimité sociale. Il est essentiel de créer un niveau de transition à l'échelle locale. Par ailleurs, la concertation avec la population locale est nécessaire afin de connaître ses valeurs socioculturelles ainsi que ses souhaits. Il s'agit de la première condition pour la réussite en milieu rural. **Aucune action de développement ne peut réussir en milieu rural sans l'adhésion des populations et leur détermination à accepter les changements** (PALE, 1999). Ces deux dernières notions sont au cœur de la démarche ECOLOC et du PPDEL de Tenkodogo et de son hinterland. Il semble que l'essor de cette région et la mise en place d'une gestion intégrée du bassin versant de la Doubégué, ne puissent devenir envisageable qu'en tenant compte de ce nouvel échelon régional et du renforcement de la centralité de Tenkodogo.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le bassin versant de la Doubégué, comme la majorité des régions rurales burkinabées, doit faire face à des difficultés importantes d'accès à l'eau potable et de conservation de sols productifs afin de maintenir, voire d'augmenter, les rendements, et ainsi répondre à la question alimentaire qui est parmi les premiers objectifs à résoudre par le gouvernement burkinabé. La question de la gestion des sols et du couvert végétal est alors au cœur de ces préoccupations. Dans cette région rurale du Centre-Est, où dominent les activités agropastorales, les ressources que sont l'eau et la terre sont primordiales pour les populations : la première est à la base de toute production (vivrière, de rente, élevage), et la seconde est tout simplement essentielle dans un secteur où les précipitations s'observent principalement pendant 3 mois (de juillet à septembre). Cette région a connu de profondes modifications au cours des trente dernières années : climatique, politique, démographique, économique, etc. Il était donc nécessaire de s'interroger sur l'évolution de ces ressources « vitales » dans le bassin versant de la Doubégué, appartenant au bassin du lac de barrage de Bgaré et plus largement à celui du Nakambé. L'hypothèse principale, qui supposait que **ces risques de pertes en terre et eau étaient liés à des facteurs d'une part physiques et d'autre part humains**, a pu être vérifiée.

La méthodologie a donc reposé sur trois axes principaux : l'étude de la régression du couvert végétal (analyse diachronique et recherches des causes et des conséquences) qui est le principal facteur de l'amplification de l'érosion dans le bassin versant de la Doubégué, l'analyse de la turbidité du cours d'eau principal et de ses affluents (lien au processus érosif et aux risques sanitaires), et la réalisation d'enquêtes auprès des populations associée à des entretiens avec les différents organismes agissant dans le bassin versant de la Doubégué. L'étude du couvert végétal et de la turbidité a permis de comprendre les processus érosifs en jeu et de connaître leurs évolutions. De plus, grâce au troisième axe, un état des lieux a pu être dressé afin de mettre en place une gestion intégrée dans cette région. Il concerne, d'une part des solutions appliquées pour résoudre les problèmes d'érosion et de dégradation du couvert végétal, et d'autre part, de celles préconisées par ces structures et désirées par les populations.

Ainsi, le milieu physique a agi comme un paramètre aggravant (pauvreté des sols, péjoration climatique, longueur de la pente), mais le facteur majeur est ici humain : les actions se sont accrues dans le bassin versant de la Doubégué à partir du milieu des années 1980. **La région de Tenkodogo a alors connu de profondes modifications aux cours des trente dernières années.** D'une part, sur le plan des précipitations, une péjoration climatique a affecté la zone principalement au cours des années 1970 et 1980. D'autre part, sur le plan environnemental, le début des années 1990 a été marqué par la mise en eau du lac de barrage de Bagré. Ces deux évolutions ont alors été à l'origine de l'arrivée de nouvelles populations (le manque de ressources végétales a poussé les populations Peul et Mossi à fuir la région Nord et le Plateau Central en direction du Sud), de la mise en place d'activités inédites, de l'expansion de la mise en culture, et de la création d'une zone pastorale. Et, sur le plan politique, les textes législatifs ont été révisés (RAF et décentralisation). Cet impact humain a été clairement mis en évidence par les populations du bassin versant de la Doubégué : à la question *Quelles sont les causes de la dégradation du couvert végétal ?*, les populations interrogées ont répondu majoritairement l'Homme (à hauteur de 54 %). L'empreinte humaine

est davantage soulignée par les éleveurs (74,5 %) que par les agriculteurs (51,5 %). La première cause humaine mise en avant est alors l'agriculture pour 62,5 % des éleveurs, et pour 45 % des cultivateurs. Toutefois, la seconde cause diffère entre ces deux catégories d'acteurs. Il s'agit de la coupe du bois pour les agriculteurs (à hauteur de 25,5 %) et de l'élevage pour les pasteurs (à hauteur de 18,8 %). Ainsi, les populations ont donc précisément conscience de l'impact de leur activité sur l'évolution régressive de leur environnement. Le rapport entre les communautés a également évolué, principalement entre les agriculteurs et les éleveurs et la résolution des **conflits** est aussi un des principaux enjeux pour réduire le risque de pertes en terre et en eau. Il a donc été au centre de cette thèse.

Ces modifications ont alors eu des répercussions importantes sur la ressource végétale et donc sur les eaux et les sols. En effet, il a été clairement démontré que le point de départ des différentes formes de dégradations a été la régression du couvert végétal d'une part et sa dégradation d'autre part. Cette évolution a été particulièrement importante à la fin des années 1980 et au début des années 1990 (mise en eau du barrage). Mais elle s'est également poursuivie depuis, à tel point que le système semble s'emballer depuis le milieu des années 2000.

Par ailleurs, le milieu naturel n'est pas le seul affecté. Les populations sont également victimes de ces changements : perte de fertilité des sols, eau plus turbide, dangers sanitaires (bactériologiques, chimiques).

Ainsi, notre étude ne pouvait donc pas s'en tenir à une étude des processus physiques. Elle devait aller au-delà et s'interroger sur les actions menées par les populations, ainsi que sur leur prise de conscience de ces facteurs : dégradation du couvert végétal, des terres, de la ressource en eau de la Doubégué, des affluents.

En d'autres termes, l'intérêt d'étudier les pertes en terre et en eau devait être associé à, l'importance de prendre en compte la turbidité pour l'étude des risques humains, le tout combiné à une vaste enquête auprès de la population et à des entretiens auprès des différents organismes présents et agissant dans le bassin versant de la Doubégué. L'objectif final étant la mise en place de solutions pour une gestion intégrée, et non un simple état des lieux.

La régression du couvert végétal point dénominateur aux pertes de terre et d'eau

La réduction du couvert végétal a pour conséquence première d'augmenter les parcelles à nu au début de l'hivernage lorsque les terres sont fragiles et sensibles au processus érosifs (sans protection, travaillée, etc.). L'érosion pluviale a donc une plus grande incidence. Dès 25 mm (seuil d'enclenchement du système), et surtout au-delà de 30 mm (conséquences pendant 2 jours), **l'érosion hydrique** devient active (exemple de Belcé). En effet, il s'agit là du principal mode d'action présent dans le bassin versant de la Doubégué et il a été clairement mis en évidence par les populations (84,7 %). Les ruissellements transportent alors davantage de particules vers les cours d'eau, comme le souligne la présence des cônes de déjection tels qu'à Douka et Belcé. Il s'agit principalement de sables.

Lors des premières pluies, les sols sont davantage à nu, et l'action hydrique est alors plus efficace : les premiers écoulements sont donc les plus chargés. De plus, les ruissellements sont plus rapides qu'auparavant (moins d'obstacles suite à la mise en culture).

L'érosion hydrique aréolaire (MIETTON, 1988) est prédominante dans le bassin versant de la Doubégué. Or, cette dernière s'est étendue, et elle affecte davantage de secteurs (extension des surfaces cultivées). La force des ruissellements s'est accrue principalement en bas de pente et le long des pistes, véritables relais aux écoulements. La taille des particules a également augmenté. Par conséquent, le processus est plus actif suite à la régression du couvert végétal : le secteur amont a été affecté dès les années 1980, et la progression de l'érosion a suivi celle de la mise en culture qui s'est poursuivie sur le secteur médian dans les années 1990 et jusqu'au secteur aval dans les années 2000. L'ensemble du bassin versant est donc touché et plus particulièrement le secteur médian : il présente les plus importantes superficies de sols mis en culture et la plus grande proportion de sols dégradés.

Par ailleurs, cette étude a permis de mettre en évidence un fait qui n'avait pas été soupçonné : **le développement de la composante linéaire de l'érosion hydrique**. Auparavant, cette forme minoritaire progressait lentement. Mais, à présent, la capacité érosive dans le bassin versant de la Doubégué s'est amplifiée et l'érosion linéaire se développe rapidement depuis 10 ans, principalement dans le secteur médian. Davantage de ravines et de rigoles sont observées sur les champs, et les ravins, plus nombreux, se forment plus rapidement que par le passé. Les traces de ce type d'érosion se développent vite (surtout le long des pistes, en bas de versant et au niveau des bas-fonds) et modifient le paysage du bassin versant de la Doubégué. En définitive, davantage de particules sont exportées des champs (perte de fertilité), et prises en charge jusqu'au cours d'eau.

L'évolution dans l'occupation des sols du bassin versant de la Doubégué a donc joué un rôle dans la modification et l'amplification des phénomènes érosifs. **L'apparition de nouveaux espaces dégradés combinée à une érosion de surface croissante a eu un impact non négligeable sur les valeurs de turbidité élevées observées** (tout particulièrement au cœur de l'hivernage). Les sites de Basséré et de Dazé sont de parfaits témoins de l'influence associée de l'érosion aréolaire (touchant davantage de superficies) et de l'érosion linéaire sur les teneurs en turbides retrouvées dans la Doubégué (sous la dépendance de secteurs dégradés et de surfaces mises en culture).

En effet, la combinaison de la diminution du couvert végétal et de l'extension des cultures sur des sols originellement pauvres est à l'origine d'un accroissement des érosions de surface et linéaire. Ce ruissellement plus agressif a alors des conséquences sur les écoulements et la physionomie des cours d'eau (élargissements, approfondissements). Les temps de réponses sont très rapides et liés aux différents éléments du système (sols dégradés, mise en culture, fossé, ravines, ravins). Davantage de particules sont apportées jusqu'au cours d'eau. Les turbides ont augmenté et de fortes turbidités, supérieures aux valeurs dites africaines, ont été mises en évidences. Ainsi, l'évolution de la physionomie des affluents a été soulignée dans plusieurs villages : au niveau de Zaba, Dazé, Vagvagué et Douka les cours d'eau se sont élargis et cassés ; à Séla, Ouéloguen, Koama et Loanga, ils se sont élargis ; et à Gouni, Séla, Zabatorla, Niambo, et Ouanagou, ils se sont approfondis. Cette modification des cours d'eau s'est effectuée à la fin des années 1990. L'eau stagne moins qu'auparavant, surtout dans les secteurs amont des lits. Ce phénomène est davantage visible davantage en rive gauche car les formations ripicoles sont moins présentes (Séla, Niambo, Gouni, Douka, Vagvagué). Les relations entre les pertes en terre et en eau sont également une réalité

soulignée par les populations : à plus de 90 % pour les cultivateurs et de 60 % pour les éleveurs.

Ces évolutions des cours d'eau se sont opérées conjointement à la régression du couvert végétal : respectivement depuis 10 à 12 ans et 10 à 15 ans. Ainsi, 83,1 % des personnes interrogées ont établi un lien entre la dégradation du couvert végétal et les modifications apparues au niveau du réseau hydrographique.

En définitive, le facteur explicatif prédominant de fortes turbidités est l'absence d'un couvert végétal (principalement aux abords des cours d'eau et secondairement au niveau des versants), suivi du type du sol. En effet, les sites présentant les turbidités les plus élevées combinent une forte mise en culture ainsi que des sols pauvres.

La mise en évidence d'une forte turbidité : des risques pour l'environnement et la santé

Les modifications observées (accroissement du phénomène érosif et donc de la quantité de particules présentes dans les cours d'eau) sont porteuses de risques pour l'environnement : modification physiques (exhaussement, divagation des lits, etc.) et chimiques (algues et processus d'eutrophisation, diminution de la minéralisation biologique). Le lac de barrage de Bagré, exutoire de la Doubégué, est également affecté par ces évolutions : un accroissement de l'évaporation, une modification des paramètres de température et d'oxygène dissous, un changement morphologique de la cuvette, un ensablement accéléré remettant en cause la viabilité de l'ouvrage sur le long terme ainsi que ses vocations (hydroagricole et hydroélectrique), ont pu être observés (SONABEL ; MOB ; FAYE, 2011). Ces évolutions touchent aussi les animaux, en particulier les poissons.

Par ailleurs, les particules transportées par les ruissellements puis par les écoulements sont de formidable hôtes pour les bactéries, les virus, les particules chimiques, etc. Ainsi, la présence de fortes turbidités est également un facteur de risques sanitaires. Les conséquences sont importantes pour les populations car le nombre de bactéries et de virus augmente plus facilement lorsque ces derniers sont fixés sur des particules. De même, les produits chimiques, issus de l'usage de pesticides qui a connu un essor dans le bassin versant de la Doubégué, s'adsorbent aisément sur les matières en suspension. **Ces risques de pertes en terre développent les risques pour la ressource en eau en termes de qualité et surtout pour la santé humaine** : ce sont des facteurs de risque microbiologique et chimique. Cette relation est également valable pour les kystes et les virus (adsorbés sur les sédiments). **La santé humaine dans la région de la Doubégué est donc particulièrement menacée par les maladies hydriques.**

Enfin, le classement des sites les plus turbides correspond parfaitement à celui des taux de phosphates. Cette observation renforce l'idée du **lien existant entre l'érosion sur les parcelles cultivées et la turbidité**. Des informations en termes de pollution ont alors été obtenues par ces relevés. Or, l'accroissement de l'usage des intrants combiné à de fortes turbidités a également de graves conséquences sur l'environnement physique, ainsi que sur la santé humaine. En effet, les particules chimiques (issues des insecticides, herbicides) s'adsorbent elles aussi sur les matières en suspension. De plus, selon nos observations, la majorité des produits employés par les agriculteurs sont classés comme ayant une toxicité dangereuse. Le risque de pollution chimique de l'environnement tend donc à devenir une

réalité que le gouvernement burkinabé doit davantage prendre en compte. L'adhésion à des textes internationaux ne suffit pas. Il manque des dispositifs de contrôle et surtout des formations pour que les utilisateurs soient moins protégés, que les emballages ne soient pas réutilisés, etc. Au regard de la croissance de la quantité de pesticides et d'engrais employée au Burkina Faso, cette évolution est un des enjeux majeurs pour ce pays.

Les autorités burkinabées doivent prendre en compte ce double risque pour éviter des conséquences désastreuses sur la santé humaine et l'environnement.

L'originalité de cette étude résidait dans l'emploi de la turbidité comme indicateur de processus érosifs et de risques pour l'environnement et la santé humaine, tout particulièrement en milieu tropical. En effet, peu d'études ont été menées dans ce domaine à l'aide du paramètre turbidité. Or, ce dernier, pourtant relativement employé, a révélé au cours de cette thèse tout son intérêt et pourrait être utilisé dans le cadre d'autres études.

Une prise de conscience essentielle pour des solutions visant une gestion intégrée

L'apport des enquêtes a été utilisé afin de confirmer les observations et les mesures de terrain : ces mesures ont consisté en une évaluation des pertes en terre, du type d'érosion, de particules, des liens entre dégradation végétale et modification des cours d'eau, et entre pertes en terre et physionomie des cours d'eau, etc. Les enquêtes ont clairement démontré que le **rapport à l'environnement des populations est important** et qu'elles ont **pleinement conscience des changements en cours**. L'autre objectif était de connaître les solutions appliquées et voulues par les habitants du bassin versant de la Doubégué, afin d'une part d'apprécier leur réceptivité quant à la protection de l'environnement, et surtout, d'autre part de savoir sur quel pilier s'appuyer dans le cadre général d'une gestion intégrée. Le reboisement est apparu comme l'activité principale. De plus, la recherche d'une amélioration de l'exploitation et/ou des revenus est la solution mise en avant par les populations, au cas où elles disposeraient de davantage de disponibilités financières.

Les populations du bassin versant de la Doubégué ont pleinement conscience des évolutions qui se déroulent au niveau des sols, des eaux et du couvert végétal. Elles appliquent déjà certaines solutions et les nouvelles générations sont davantage soucieuses de protéger leur environnement. Ainsi, elles peuvent être, et sont déjà parfois, un partenaire privilégié pour la mise en place de solutions. En effet, il est essentiel de connaître l'avis des populations. Sans leur participation, aucune action n'est possible. La **démarche participative** a été au cœur de notre réflexion. Des actions sont déjà menées par les agriculteurs et ils désirent les accroître. Les principales actions sont de types GCES, mais elles sont encore trop peu nombreuses. De plus, les solutions ne doivent pas se limiter à une réduction des pertes en terre, elles doivent aller au-delà. C'est pourquoi le développement du *Moringa oleifera* (nutrition, purification de l'eau, récupération des sols, etc.) couplé au *Jatropha curcas* (agrocarburant, protection des sols, haie vive, etc.) et au neem (reboisement et insecticide naturel) est une solution intéressante. Et c'est là tout l'intérêt du dispositif d'encadrement déjà sur place représenté par le PROGEREF, le PADAB II, la MOB et l'association Dakupa. Ces organismes doivent servir de base à l'élaboration d'un plan dans chaque village visant à l'instauration complémentaire de ces trois espèces et soutenir les initiatives locales par l'intermédiaire des micro-projets et des AGR. Les populations de Garango ont déjà pris

conscience de l'intérêt des vertus du *Moringa oleifera*, et le *Jatropha curcas* est en plein essor dans de nombreuses régions du Burkina Faso. Quant au neem, il est déjà fortement présent dans le bassin versant de la Doubégué. La combinaison de ces trois essences pourrait permettre un développement global et intégré, basé sur la préservation de l'environnement (eau, sol végétation), le développement humain (nutrition) et économique (graine du jatropha, vente, etc.). Parallèlement, le développement économique de Bagré, via le complexe écotouristique et la croissance de la ville de Tenkodogo, seront bénéfiques et impulseront une dynamique. Et c'est bien l'ensemble, en synergie, qui pourrait permettre d'aboutir à un développement durable de cette région.

Par ailleurs, suite à l'exacerbation des conflits d'usage (pour la terre et l'eau), principalement entre les agriculteurs et les éleveurs, une première solution avait été apportée : la mise en place d'une zone pastorale. Ces communautés ont alors été littéralement séparées dans ce cadre. Or, la gestion des problèmes de pertes en terre et en eau passe également par une meilleure intégration de ces deux activités, ce qui doit être poursuivi et mis en place également dans l'ensemble des régions burkinabées connaissant des conflits entre ces deux activités.

En définitive, la combinaison des trois espèces végétales, l'évolution de la zone pastorale de la Doubégué et du Tcherbo, ainsi que le développement économique (Bagré et Tenkodogo) sont les trois piliers sur lesquels doivent s'appuyer les programmes et le gouvernement burkinabais pour développer cette région.

La décentralisation, un bassin versant plus vaste et une combinaison végétale à prolonger

Dans le cadre de la mise en place d'actions pour gérer les risques de pertes en terre et en eau, un nouvel échelon doit être davantage étudié : le régional. En effet, les gouverneurs et les maires ont pris leur fonction au cours des années 2000. Ils sont la concrétisation de la décentralisation lancée au Burkina Faso au cours des années 1990 (1993 : adoption des lois de décentralisation) et les questions soulevées par une gestion intégrée des ressources interrogent ces nouvelles divisions administratives. Quelles seront les conséquences de cette multiplication des organes et des échelles de prises de décision dans la mise en place de la gestion de la végétation, des sols et de l'eau ? Comment seront-elles acceptées par les populations ? Il s'agit là d'une belle perspective de recherche.

Par ailleurs, il faut dépasser cette échelle du bassin versant de la Doubégué pour atteindre celle du bassin versant de Bagré. En effet, l'autre intérêt de cette thèse est que notre méthodologie est applicable à l'ensemble des bassins versants du lac de barrage de Bagré, et même au-delà dans de nombreux secteurs nord-soudaniens. Ainsi, notre méthodologie permet d'avoir une vue d'ensemble des problématiques en cours dans le bassin versant. C'est une étude globale qui prend en compte les processus liés à l'eau, à la terre, au couvert végétal, sans pour autant omettre le facteur humain. Notre méthodologie permet entre autre d'identifier les zones à risques (secteurs les plus dégradés), et de connaître les actions en cours et celles voulues par les populations (importance d'une démarche participative).

Une autre perspective de recherche réside également dans le prolongement de l'étude de la combinaison du Moringa, du Jatropha et du neem, et de leur mise en place. Il convient de mener des enquêtes afin de connaître l'accueil que lui réserveraient les populations.

De plus, l'étude de cette relation entre la turbidité et les risques microbiologique et chimique serait à davantage étudier dans le domaine tropical et plus particulièrement au Burkina Faso. Une recherche pluridisciplinaire pourrait être très enrichissante et devrait être lancée.

Enfin, un des objectifs de cette thèse est de servir aux gestionnaires et aux différents acteurs impliqués dans le bassin versant de la Doubégué afin de mettre en place des solutions prioritaires sur les secteurs dégradés et en prenant en compte nos recommandations pour la mise en place d'une gestion intégrée.

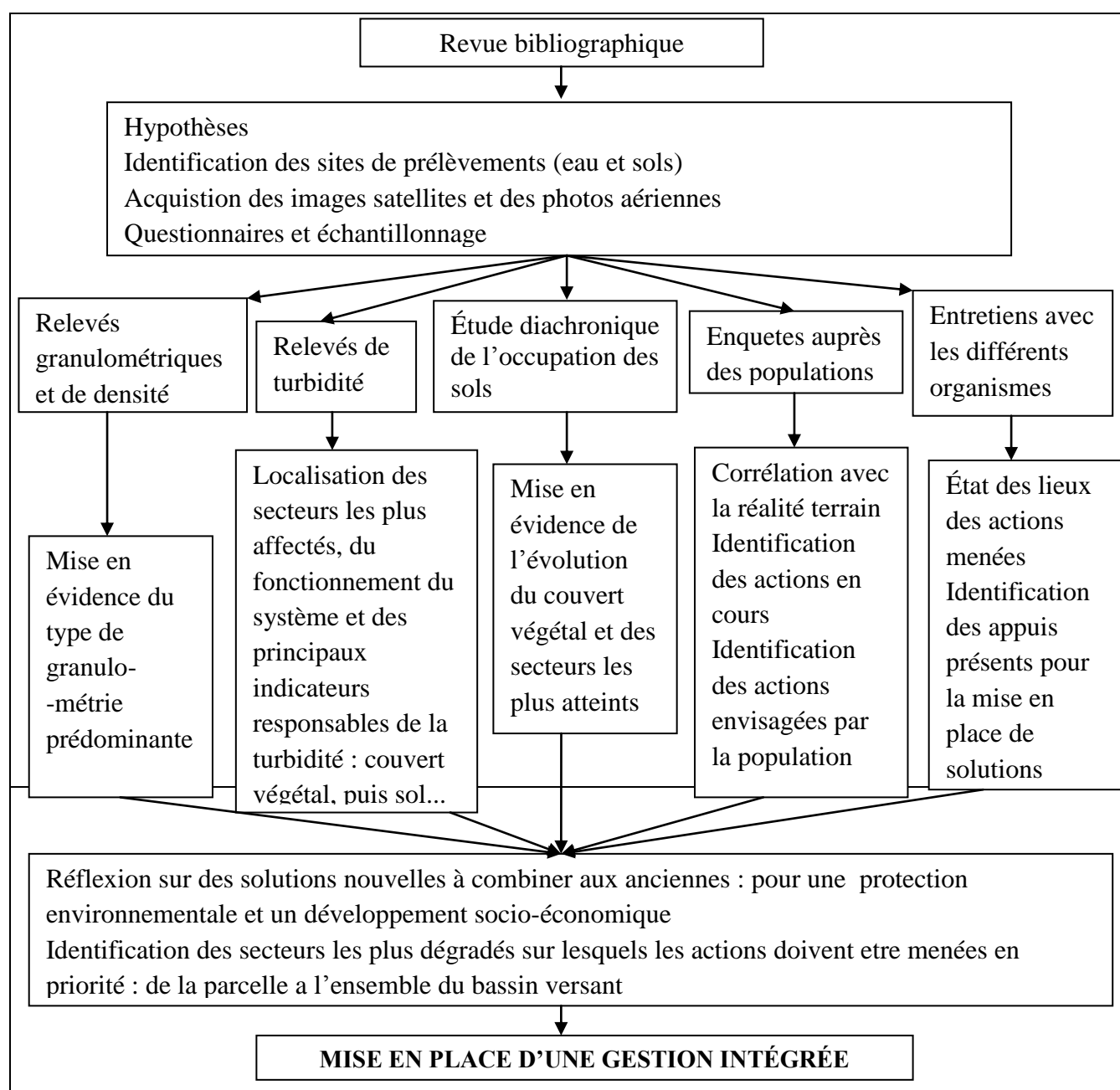


Fig. 57 : Méthodologie

BIBLIOGRAPHIE

A

ACTION CONTRE LA FAIM - 2006 - *Eau - Assainissement - Hygiène pour les populations à risques*, 2^{ème} éd. (1^{ère} éd. : 1999, paru sous le titre *Alimentation en eau pour les populations menacées*), Hermann, Langres, 744 p.

ALBERGEL J. - 1986 - « Evolution de la pluviométrie en Afrique soudano-sahélienne, exemple du Burkina Faso », Conférence CIEH, Ouagadougou, 18 p.

ALBERGEL J. - 1988 - Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso. ORSTOM.

ALBERGEL J., CARBONNEL J.P., GROUZIS M. - 1984 - « Péjoration climatique au Burkina Faso. Incidences et les ressources en eau et sur les productions végétales ». *Cahier de l'ORSTOM*, ser. hydrol., vol 21, n°1, pp. 3-19.

ALBERGEL J., BADER J.C., LAMAGAT J.P., SEGUIS L. - 1993 - « Crues et sécheresses sur un grand fleuve tropical de l'Ouest Africain : application à la gestion de la crue du fleuve Sénégal », *Sécheresse*, septembre 1993, vol 4, n°3, pp. 143-152.

ALI E.N., MUYIBI S.A., SALLEH H.M., SALLEH M.R.M., ALAM M.Z. - 2009 - « Production of natural coagulant from *Moringa oleifera* seeds for application in treatment of low turbidity water », *Journal of Water Resource and Protection (JWARP)*, ISSN Print : 195-3094).

ALOU I. - 1997 - *Suivi de la variation saisonnière de quelques paramètres biologiques et physico-chimiques ; et de l'évolution des superficies d'eau des lacs Bagré*, Mémoire de fin d'études présenté en vue d'obtention du Diplôme d'ingénieur du développement rural, juin 1997, Ouagadougou, 100 p.

AKOUA-KOFFI G., FAYE-KETTE H., KOUAKOU K., TIMITEKONAN M., COULIBALY K., DOSSO M. - 1993 - « Intérêt de l'utilisation d'un test au Latex (Rotalex) pour le dépistage de *Rotavirus* dans les selles diarrhéiques à Abidjan ». *Méd Afr. Noire*, 1993, 40, pp. 599-602.

AMADOU ZAROUKOU A., KARAMBIRI H., YACOUBA H. - 2006 - *Etude de la réponse hydrologique et de l'érosion hydrique sur le bassin versant Tougou (Bassin versant supérieur Nakambé)*, Eieretscher, 5 p.

APHA, AWWA, WEF. - 1998 - *Standard methods for the examination of water and wastewater*. American Public Health Association, American Water Works Association et Water Environment Federation, 20^{ème} édition, pagination multiple

ARAMINI J., WILSON J., ALLEN B., HOLT J., SEARS W., MCLEAN M., COPEL R. - 2000 - *Drinking water quality and health care utilization for gastro-intestinal illness in great Vancouver*, Santé Canada, 78 p. + annexe.

AUGUSTUS G.D.P.S., JAYABALAN M., SEILER G.J. - 2002 - « Evaluation and bioinduction of energy components of *Jatropha curcas* ». *Biomass and Bioenergy*. n°23, pp. 161-164.

AUZET V. - 1987 - « L'érosion des sols cultivés en France sous l'action du ruissellement », *Annales de Géographie*, n°537, pp. 529-555.

B

BADOUIN R. - 1985 - *Le développement agricole en Afrique tropicale*, Paris, Cujas.

BAGNOLD R.A. - 1973 - « The nature of saltation and « bed-load » transport in water ».

Proceedings of the Royal Society of London, 332, pp. 473-504.

BAIJOT E., MOREAU J., BOUDA S. - 1994 - *Aspects hydrobiologiques et piscicoles des retenues d'eau en zone soudano-sahélienne*, Van Ruys, Bruxelles, Centre technique de coopération agricole et rurale (ACP/CEE), 250 p.

BARON C., BONNASSIEUX A. - 2009 - Accessibilité aux ressources en eau et participation des acteurs locaux : quelles réponses face aux enjeux de durabilité ? Cas des associations d'usagers de l'eau au Sud-Ouest du Burkina Faso, Journées du Développement du GRES, 23 p.

BARRY J.P., CELLES J.-C., MUSSO I. - 1986 - « Le problème des divisions bioclimatiques et floristiques du Sahara. Note V : du Sahara au Sahel. Un essai de définition de cette marche africaine aux alentours », *Ecol. Médit.*, XII, pp. 187-235.

BARTHES B., ROOSE E. - 2001 - « La stabilité de l'agréation, un indicateur de la sensibilité des sols au ruissellement et à l'érosion : validation à plusieurs échelles », *Cahiers d'études et de recherches francophones/Agricultures*, mai-juin 2001, vol 10, n°3, pp. 185-193.

BELPOMME D. - 2007 - *Avant qu'il ne soit pas trop tard*. Paris, Fayard, 302 p.

BERG G. - 1973 - « Removal of viruses from sewage, effluents, and waters. A review. », *Bull. World Health Org*, 49, pp. 461-460.

BERNUS E., MARCHAL J.Y., FONCET Y. - 1993 - Le sahel oublié. In : DUFUMIER M. Tiers-Monde, 1993, Tome 34, n°134, Agriculture, écologie et développement, pp. 306-326.

BERNUS E. - 1995 - « Pasteurs face à la sécheresse : rebondir ou disparaître ? » *Revue de géographie de Lyon*, vol 70, 3-4, pp. 255-259.

BERVILLE D. - 2002 - *Compréhension des phénomènes de transferts particuliers en zone d'élevage, dans un sous bassin versant de l'Oir, en Basse-Normandie, par la modélisation spatiale des paysages et des pratiques agricoles*, Mémoire de DEA, Géographie, université Montaigne, Bordeaux 3, Bordeaux, 119 p.

BESANCENOT J.P., HANDSCHUMACHER P.H., NDIONE J.A., MBAYE I., LAIDI K. - 2004 - « Climat, eau et santé au Sahel ouest-africain », *Sécheresse*, vol 15, n°3, 9 p.

BETHEMONT J., FAGGI P., ZOUNGRANA T.P. - 2003 - *La vallée du Sourou (Burkina Faso) Genèse d'un territoire hydraulique dans l'Afrique soudano-sahélienne*, l'Harmattan, Paris, 230 p.

BIELDERS C.L., RAJOT J.L., MICHELS K. - 2004 - « L'érosion éolienne dans le Sahel nigérien : influence des pratiques culturelles actuelles et méthodes de lutte », *Science et changements planétaires / Sécheresse*, vol. 15, n°1, pp. 19-32.

BLASCO F. - 1987 - « Réflexion sur le déterminisme des formations végétales tropicales », *Mém. E.P.H.E. Inst. Montpellier*, 17, pp. 3-13.

BLET H. - 1980 - *Histoire de la colonisation française. L'œuvre coloniale de la troisième république*. Paris, France-Outre-Mer, Arthaud, Tome 3, 328 p.

BLOT A., PION J.C., WACKERMAN J.M. - 1973- *Cah. ORSTOM.*, sér. Géol., n°5, pp. 25-34.

BLOT A., CARN M., LEPRUN J.C., PION J.C. - 1976- *Cah. ORSTOM.*, sér. Géol., n°8, pp. 113-146.

BLOT A., LEPRUN J.C., PION J.C. - 1976 - *Bull. Soc. géol. Fr.*, 18, n°7, pp. 45-49 et pp. 51-54

BLOT A., LEPRUN J.C., PION J.C. - 1978 -

C. R. Acad. Sci. Paris, 286, série D, pp. 1331-1334.

BOIFFIN J. - 1984 - *La désagrégation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies*, Thèse pour le titre de Docteur ingénieur, Sciences Agronomiques, INA-PG, Paris Grignon, 320 p. + annexes.

BOIFFIN J., PAPY F., PEYRE Y. - 1986 - *Système de production système de culture et risques d'érosion dans le Pays de Caux*. Rapport, Ministère de l'Agriculture, Institut National Agronomique, Paris-Grignon, 154 p.

BOLLINE A. - 1975 - « La mesure de l'intensité du splash sur sol limoneux. Mise au point d'une technique de terrain et premiers résultats », *Pédologie*, 25, pp. 199-205.

BON F., FASCIA P., DAUVERGNE M., TENENBAUM D., PLANSON H. - 1999 - « Prevalence of group A Rotavirus, human Calicivirus, Astrovirus and Adenovirus type 40 and 41 infections among children with acute gastroenteritis in Dijon, France ». *J Clin Microbiol*, 1999, 37, pp. 3055-3058.

BORN S.M. - 1995 - « Integrated Environmental Management: Strengthening the Conceptualization ». *Environmental Management*, vol. 19, n°2, pp. 167-168.

BOUDET F. - 1874 - *Rapport sur l'altération des eaux de la Seine par les égouts collecteurs d'Asnières et du Nord et sur son assainissement*, Paris,

BOULET R. - 1970 - « La géomorphologie et les principaux types de sols en Haute-Volta septentrionale », *Cahiers ORSTOM. Série Pédologie*, 1970, vol. 8, n°3, pp. 245-271.

BOULET R. - 1975 - « Toposéquences des sols tropicaux en Haute-Volta : équilibres dynamiques et bioclimats », *Cahiers ORSTOM. Série Pédologie*, 1975, vol. 13, n°1, pp. 3-6.

BOULET R. - 1978 - *Mém. ORSTOM.*, 85, 272 p.

BOUTRAIS J. - 1994 - « Pour une nouvelle carte des Peuls ». *Cahiers des Etudes Africaines*, vol 34, n° 133-135, pp. 137-146

BOUTRAIS J. - 1992 - « L'élevage en Afrique tropicale : une activité dégradante ? », In PONTIE G., GAUD M. (éds.), *L'environnement en Afrique, Afrique Contemporaine*, mars 1992, n°161, pp. 109-125.

BRABANT P. - 1992 - « La dégradation des terres en Afrique ». In PONTIE G., GAUD M. (éds.), *L'environnement en Afrique, Afrique Contemporaine*, mars 1992, n°161, pp. 90-107.

BROCK T.D. - 1966 - *Principles of microbial ecology*. Prentice-Hall, NJ, 72 p.

BROWNER C.M. - 1996 - « Watershed Approach Framework » dans *Watershed Management*, R.J. Reinhold, éd. Mc Graw Hill, pp. 369-384.

BRUNET-MORET Y. - 1968 - *Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique occidentale*. Rapport de synthèse, ORSTOMICIEH, Paris, multigr., 23 p.

BUSTINA R., LEVALLOIS P. - 2003 - *Etude de l'incidence des cas de gastro-entérite aiguë hospitalisés au Québec de 1991 à 2000 et évaluation de leur lien avec certains paramètres de qualité de l'eau potable*, mars

C

CASENAVE A., VALENTIN C. - 1989 - *Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration*. Paris, ORSTOM, 229 p.

CEBALLOS L. - 2008 - *Plantes Insecticides : évaluation de l'impact sur les insectes auxiliaires*, Ed. Rés'OGM Info, 260 p.

CECCHI P. - 2006 - *Les Petits Barrages au Burkina Faso : un vecteur du changement*

social et de mutations des réalités rurales, Pré-forum mondial de l'Eau, 25 février 2006, 12 p.

CECCHI P., ARFI R., BERGER C. - 2005 - *Cyanobactéries, potentiel toxique et ressources en eau du Burkina Faso*. Rapport de mission. IRD, Unité de recherche 98 « efflorescences algales », janvier 2005, 35 p.

CHAIB J. - 1997 - *Les eaux pluviales. Gestion intégrée*, Edition Sang de la Terre, Collection écologie urbaine, 173 p.

CHURCH WORLD SERVICE - 2002 - « Hope during drought CWS presents Andrew Young with 20 Moringa Trees ». [site internet] <http://www.churchworldservice.org/moringa/moringatoyoung.html>

CISSE I. et al. - 2004 - *Pesticides organochlorés et contamination des ressources en eau dans la zone des Niayes de Dakar*, Dakar-Hann : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Laboratoire National de l'Elevage et de Recherches Vétérinaires (ISRA/LNERV). 2 p.

CLANET J.-C. - 1994 - « Géographie pastorale au Sahel central ». *Journal des africanistes*, vol 64, n°2, pp. 159-161.

COATS J.R. - 1991- Pesticides Degradation Mechanisms and Environmental Activation. In *Pesticide Transformation Products. Fate and Significances in the Environment*, pp. 11-30

COLAS R. - 1973 - *La pollution des eaux*, Que sais-je ?, PUF, n°983, 126 p.

COLE M. - 1986 - « The savannas. Biogeography and geobotany ». *Academic Press, Londres*, 418 p.

CORNEC F. - 2005 - *Caractérisation du risque sanitaire lié à la consommation d'une eau turbide en Guadeloupe*, Mémoire de l'ENSP Rennes, 89 p.

COUR J.M. - 2000 - « Gérer l'économie localement en Afrique de l'Ouest : le

programme ECOLOC », *Les annales de la recherche urbaine*, n°86, pp. 26-28.

D

DELOLME H., BOUTIN J.-P., ANDRE L.-J. - 1992 - « Eau douce et pathologie », *Médecine d'Afrique Noire*, vol 39, n°3, 6 p.

DEMANGEOT J. - 1976 - *Les milieux « naturels » du globe*, Paris, Armand Colin, 217 p.

DEMANGEOT J. - 1999 - *Tropicalité : Géographie physique intertropicale*, Paris, Armand Colin, 340 p.

DEMBELE O. - 2008 - *Le développement économique local et les finances locales. Un outil de planification stratégique : la démarche ECOLOC et la mobilisation des finances locales*, atelier CIFAL, Ouagadougou

DENNIS J.M. - 1959 - « Infectious hepatitis epidemic in Delhi, India ». *J. Am. Water Works Assoc.*, 51 : 1288.

DEPRAZ S. - 2008 - *Géographie des espaces naturels protégés. Genèses, principes et enjeux territoriaux*, Paris, Armand Colin, 320 p.

DIOUF M., DIOP M., LO C., DRAME K. A., SENE E., BA C.O., GUEYE M., FAYE B. - 1999 - « Prospection de légumes feuilles traditionnels de type africain au Sénégal ». In *Biodiversity of traditional leafy vegetables in Africa*. Ed. CHWEYA et EYZAGUIRE, Rome, Italie, pp. 111-150

DIOUF M., GUEYE M., FAYE B., DIEME O., LO C., GNINGUE D., BA C.O., BA T.B., NIANG Y., DIAO BA M., TAMBA A. et MBAYE A.A. - 2004 - « *Moringa oleifera* Lam (ou nebeday) en ouoloff) un légume feuille d'avenir au Sénégal : utilisation et stratégies de conservation ». In *Proceeding of regional workshop on Plant genetic resources for food and security in west and central Africa*, Ibadan Nigéria. pp. 22-23.

DOREA C.C. - 2006 - « Use of *Moringa spp.* Sedds for coagulation: a review of a sustainable option », *Water sci. Technol. Water Supply*, 6, pp. 219-227.

DOSSO M., KILIAN J., SAVARY G. - 1983 - Etude IBM-IRAT. Campagne de simulation des données SPOT-Haute Volta : région Bagré. In expériences de simulation du satellite Spot en Afrique de l'Ouest, pp. 73-96.

DUEMMER C. et al. - 1998 - *Pesticides et agriculture tropicale. Dangers et alternatives*, Weikersheim, Allemagne, Margraf

DUFUMIER M. - 1996 - « Sécurité alimentaire et systèmes de production agricole dans les pays en développement », *Cahiers Agricultures*, 5, pp. 229-237.

DUPONNOIS R. - 2008 - « Le reboisement à partir de plantes exotiques peut perturber la fertilité des sols tropicaux », IRD, Fiche n°296, mai 2008, 2 p.

DUPONT Y. (sous la direction) - 2003- *Dictionnaire des risques*, Paris, Armand Colin, 421 p.

DUPRIEZ H., DE LEENER P. - 1990 - *Les chemins de l'eau : ruissellement, irrigation, drainage*. Paris, Edition Terre et vie, L'Harmattan, ENDA, 380 p.

E

EDWARDS C.A. - 1973 - « Environmental pollution by pesticides », in *Proceedings of the 10th International congress of plant protection*, vol 2, London : British Crop Protection Council.

ELLIOTT D.C. - 1996 - « A conceptual framework for geoenvironmental indicators ». In : Geoindicators - Assessing rapid environmental changes in earth system. Berger A.R. et Iams W.J eds., A.A Balkema, Rotterdam, pp. 337-349.

ELLISON W.D. - 1944 - Studies of raindrop érosion. *Agr. Eng.*, 25, pp. 131-181

F

FABY J.A., ELELI A. - 1993 -Utilisation de la graine de Moringa : essais de floculation au laboratoire et en vraie grandeur, CIEH/EIER/Oieau, Série hydraulique urbaine et assainissement, 132 p.

FAURE A. - 1996 - « *Le pays bissa avant le barrage de Bagré* », Paris, Sépia, 311 p.

FEODOROFF A. - 1965 - « Mécanismes de l'érosion par la pluie », *Rev. de Géogr. phys. et de Géol. dyn.*, 7 (2), pp. 149-165.

FOLKARD G.K., SUTHERLAND J.P. - 1996 - « Moringa oleifera a tree and a litany of Potential »: In *Agroforestry Today*, July – September, 1996 edition

FOLKARD G.K., SUTHERLAND J.P., GRANT W.D. - 1990 - « Natural coagulants for appropriate water treatment : a novel approach », *Waterlines*, 8 avril, pp. 30-32.

FOLKARD G.K., SUTHERLAND J.P., MTAWALI M.A., GRANT W.D. - 1994 - « Moringa comme floculant naturel comme coagulant naturel », Université de Leicester, Royaume-Uni, 2 p.

FONTES J., GUINKO S. - 1995 - *Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso, Notice explicative*, Toulouse, Institut de la Carte Internationale de la Végétation, Ouagadougou, Institut de Développement rural, 66 p.

FOURNEAUX L. - 2009 - *Les transformations politiques de la gestion intégrée de l'eau au Burkina Faso : perspective de l'action publique et faisabilité*, Mémoire de la maîtrise en sciences de l'environnement, 118 p.

FOURNIER F. - 1967 - « La recherche en érosion et conservation des sols dans le continent africain ». *Sols Africains*, 12, 1,

pp. 5-51.

FRÉCAUT R., PAGNEY P. - 1983 - *Dynamique des climats et de l'écoulement fluvial*, Masson, Paris, 239 p.

FUGLIE L.J. - 2001 - *The miracle Tree. : Moringa Oleifera, natural nutrition for the tropics*, CTA / CWS. Dakar, Sénégal.

FUGLIE L.J., MANE M. - 1999 - *L'arbre de la vie. "Moringa oleifera" : Traitement et prévention de la malnutrition*. CWS, Bureau régional pour l'Afrique de l'Ouest. Dakar, Sénégal. 71 p.

G

GALLAIS J. - 1977 - « Pasteurs et paysans du Gourma. La condition sahélienne », *Annales de Géographie*, vol. 86, n°475, pp. 359-360

GAMATIE M. - 2001 - Moringa oleifera management systems in the river Niger valley : the case of Sarando area. Development potential of Moringa products. Proceedings of a workshop held 29 octobre- 2 novembre 2001, Dar Es Salaam, Tanzanie, <http://www.moringanews.org/seminaire.en.htm> 1

GANGBAZO G. - 2004 - Gestion intégrée de l'eau par bassin versant : concepts et applications, Ministère de l'Environnement Québec, 58 p.

GAXOTTE P. - 1998 - « L'onchocercose et le Programme de donation Mectizan® », *Cahiers Santé*, janvier-février, n°1, Vol. 8, pp. 9-11.

GEORGES P., VERGER F. - 2004 - *Dictionnaire de géographie*, Nouvelle édition, Paris, Editions PUF, 461 p.

GERARD F. - 2009 - « Monsanto à l'assaut du Burkina Faso », *Le Monde diplomatique*, février 2009, pp. 20-21.

GHASI S., NWOBODO E., OFILI J.O. - 2000 - « Hypocholesterolemic effects of crude

extrade of leaf of Moringa oleifera Lam in High-fat diet fed wistar rats », *Journal of ethnopharmacology*, 2000, vol 69, n°1, pp. 21-25

GILLON Y. - 1992 - « Empreinte humaine et facteurs du milieu dans l'histoire écologique de l'Afrique tropicale », *Afrique Contemporaine*, n°161, pp. 30-41.

GLOBAL ENVIRONMENT FACILITY - 2001 - *Proposed Elements for Strategic Collaboration and a Framework for GEF Action Plan for Capacity Building for the Global Environment*, [en ligne] http://www.thegef.org/gef/sites/thegef.org/files/documents/C.17.06.Rev1_.pdf

GODELIER M. - 1978 - « La part idéale du réel. Essai sur l'idéologie », *L'Homme*, vol XIII, n°3-4, pp. 155-194.

GOMGNIMBOU A.P.K. - 2007 - *Exploitation agricole des ressources naturelles de la région de l'Est du Burkina Faso : diagnostic des risques et impacts environnementaux de la culture du coton dans la province de la Kompienga*, Ouagadougou, master en Science et Technologie

GOPALAN C. - 1971 - *Nutritive Value of Indian Foods*, Hyderabad, Inde : National Institute of Nutrition, Indian Council of Medical Research, 1971 (revised 1989).

GOSSELIN G. - 1978 - *L'Afrique désenchantée, société e stratégies de transition en Afrique tropicale*, Harmattan, 376 p.

GOUEM A. - 2007 - *État des lieux de la dégradation des berges du lac de Bagré et analyse de faisabilités des options d'aménagement proposées par les différents groupes d'acteurs riverains*. 81p + 15 p. annexes.

GOVERNEMENT DU QUÉBEC - 1981 - *Dictionnaire de l'eau*, Association québécoise des techniques de l'eau. Cahiers de l'Office de la langue française, Editeur officiel du Québec.

GRAIN - 2004 - *Le coton Bt à la porte de l'Afrique de l'Ouest. Il faut agir*, Cotonou, 6 p.

GROUPE SCIENTIFIQUE DE L'EAU - 2003 - « Turbidité » in Fiches synthèse sur l'eau potable et la santé humaine, Institut national de la santé publique du Québec, 5 p.

GROZAVU A. et KOCSIS L-S. dir. - 2005 - *Dictionnaire multilingue et multimédia de l'environnement et des sciences de la Terre*, Iasi, Roumanie, Ed° Azimuth. 650 p. + CD-rom.

GUENDA W. - 1985 - *Hydrobiologie d'un cours d'eau temporaire en zone soudanienne : la Volta Rouge (Burkina Faso – Ghana). Relation avec les traitements chimiques antismulidiens*, Thèse de 3^{ème} cycle, Université d'Aix-Marseille, 193 p.

GUENDA W. - 1996 - *Etude faunistique, écologique et de la distribution des insectes d'un réseau hydrographique de l'ouest africain : le Mouhoun (Burkina Faso), rapport avec le Simulium damnosum Théobald, vecteur de l'onchocercose*, thèse d'État, 260 p.

GUEYE M., OZER A. - 2000 - « Apport de la télédétection à l'étude de la transformation de l'agriculture et de l'environnement dans le département de Bignona (Sénégal méridional) ». In : La télédétection en Francophonie : analyse critique et perspectives. Dubois J.M.M, Caloz R., Gagnon P., eds AUPELF-UREF, pp. 141-151.

GUILLOBEZ S., LOMPO F., DE NONI G. - 2000 - « Le suivi de l'érosion pluviale et hydrique au Burkina Faso. Utilisation d'un modèle cartographique », *Sécheresse*, septembre 2000, vol 1,1 n°3, pp. 163-169.

GUINKO S. - 1984 - *Végétation de la Haute-Volta*, Thèse de doctorat d'état en Sciences Naturelles, Bordeaux 3, France, 394 p. + annexes.

H

HASCOET M. - 1968 - « Les résidus d'insecticides organochlorés dans les sols français », *Déf. Vég.*, 128, pp. 9-17.

HAUCHART V. - 2007 - *Durabilité de l'agriculture en fonction des pratiques culturales actuelles et conseillées (Burkina Faso et Nord Ghana)*. Volta Basin Focal Project Report n°2. IRD, Montpellier, France, et CPWF, Colombo, Sri Lanka, 109 p.

HELLER J. - 1996 -. *Physic nut Jatropha curcas L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops*. 1. 66 p.

HERVOUET J.P. - 1977 - *Peuplement et mouvement de population dans les vallées des Volta Blanche et Rouge*. Ouagadougou, ORSTOM, 76 p.

HERVOUET J.P. - 1978 - « *Faidherbia albida* : un témoin des mutations agraires », in *Faidherbia albida* dans les zones tropicales semi-arides d'Afrique de l'Ouest, ICRAF, pp. 165-169.

HERVOUET J.P. - 1983 - « Aménagement hydro-agricole et onchocercose : Loumana (Haute Volta). De l'épidémiologie à la géographie humaine », *Travaux et documents de géographie*, 48, Paris, ACCT/CNRS, pp. 271-276.

HIEN J., COMPAORE J.A., COULIBALY-SOME O. - 1996 - « La dynamique de la dégradation des sols dans le bassin du Nakambé : une étude diachronique dans le secteur des forêts classées de Bissiga-Nakabé ». In Escadafal R. et al. (eds.) *Monitoring soils in the environment with remote sensing and GIS*. ORSTOM éditions, Paris (1996), pp. 523-530.

HJUNSTRÖM F. - 1935 - « Studies on the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyries ». Uppsala. *Bull. Géo. Inst. Univ.*, 25, pp. 442-452.

HOFF J.C., GELDREICH E.E. - 1981 - « Comparaison of the biocidal efficiency of alternative disinfectants ». *J. Am. Water Works Assoc.*, pp. 40-44.

HOFFMANN F., PELLEGRIN J.C. - 1996 - « Méthodologies hydrochimiques » in *Travaux du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée* (LGPA), n°14, Bordeaux, février, pp. 13-79.

HOFS J.L., VAISSAYRE M. - 2008 - Les limites de la technologie Bt en culture cotonnière. Le cas de l'expression de la toxine, Cirad, Montpellier, 10 p.

HOOGMOED W., STROOSNIJDER L. - 1984 - « Crust formation on sandy soils in the Sahel, 1 : rainfalls and infiltration », in *Soil and Tillage Res.*, 4, pp. 5-23.

HOURLADEH N. - 2008 - *Utilisation des ressources en eau et gestion de la qualité de l'eau du lac du barrage de Bagré*. 59 p.

HUDSON N.W. - 1957 - « Erosion control research. Progress report on experiments at Henderson Research Station 1953-1956 », *Rhad. Agric. J.*, 54, pp. 297-323.

HUDSON N.W. - 1958 - Land use and surface run.off in Rhodesia. International seminar on flood control drainage and irrigation, Czeckoslovakia, 18 p.

HUDSON N.W. - 1958 - "Run-off and soil loss form arable land in southern Rhodesie". General assembly of the international union for the conservation of nature and its resources. 7th technical session. Athens, 1958, 12 p.

HUDSON, N.W. - 1971 - Soil conservation, Batsford, London.

I

ILLA C. - 2004 - *État de la contamination des sols et des eaux par les pesticides en zone cotonnière : la Boucle du Mouhoun (Burkina Faso)*, Thèse de doctorat en science environnementale, Université de Ouagadougou, UO/CEPAPE, Novembre 2004, 57 p.

INERA. - 2000 - *Bilan de 10 ans de recherches 1988-1998*, Ouagadougou,

INERA (Burkina Faso). - 2006 - *Rapport d'activités : Campagne 2005-2006*, Programme Coton, 32 p.

INSTITUT NATIONALE DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC. - 2003 - Turbidité, fiche technique turbidité, par le Groupe scientifique, juin 2003.

INSTITUT NATIONALE DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC - 2003b - Fiche Giardia Lamblia et fiche Cryptosporidium, par le Groupe scientifique, mai-juin 2003,

J

JAHN S.A.A. - 1998 -, « Using Moringa seeds as coagulants in developing countries ». *J. Am. Water Works Assoc.*, 80, pp. 43-50.

K

KELLY J., SHIFF C.J., GOODMAN H.C., DASH L., BROWN A.B., GALAYDH A. - 1986 - Etude de l'impact du Programme de Lutte Contre l'Onchocercose, Rapport d'évaluation de l'impact du projet n°63 de l'AID 61 p.

KHOUMA M., BOCK L., MATHIEU L., ENGELS P. - 1996 - « Système d'informations géographiques et gestion des données de sols dans Surveillance des sols par télédétection et SIG ». Actes du symposium international AISS du 06-10 février, Ouagadougou, éditions ORSTOM, Paris, pp. 35-51.

KONE B. - 2001 - *Monographie du département de Tenkodogo*. 62 p.

KOROTIMI S. - 2008 - *Communalisation et gestion des ressources en eau à l'échelle du bassin du Nayarle*, Mémoire de maîtrise, Université de Ouagadougou, 117 p.

KRINGS T. - 1991 - «Kulturbaumparke in den Agrarlanschaften Westafrikas –eine Form autochtoner Agroforst-wirtschaft». *Erde*, 122, pp. 117-129.

KWAAMBWA H.M., HELLSING M., RENNIE A.R. - 2010 - « Adsorption of a water treatment protein from *Moringa oleifera* seeds to a silicon oxide surface studied by neutron reflection », *Langmuir*, 26 (18), pp. 14567-14573.

KYELEM C.G., BOUGOUMA A., THIOMBIANO R.S., SALOU-KAGONE I.A., SANGARE L., OUEDRAOGO R. - 2011 - « Epidémie de choléra au Burkina Faso en 2005 : aspects épidémiologiques et diagnostiques », *The Pan African Medical Journal*, 8, 1.

L

LACOSTE Y. - 1980 - *Unité et diversité du Tiers-Monde*, T.II, Maspero, 192 p.

LAHUEC J.P. - 1979 - « Le peuplement et l'abandon de la vallée de la Volta blanche en Pays Bissa (sous-préfecture de Garango) », *Travaux de Documents de l'ORSTOM*, n°103, pp.9-105

LAHUEC J.P. - 1983 - « Contraintes historiques et onchocercose : une explication des faits de peuplement dans la sous-préfecture de Garango. Nord Pays Bissa, Haute Volta ».

LAHUEC J.P., MARCHAL J.Y. - 1979 - Mobilité du peuplement bissa et mossi, *Travaux de l'ORSTOM*, n°103, Paris, 206 p.

LAMACHERE J.M., MONTOROI J.P., ZOMBRE P. - 1993 - « Des sols à faible potentiel agronomique ». In : ALBERGEL J. (Ed.), LAMACHERE J.M. (Ed). Mise en valeur agricole des bas-fonds au Sahel : typologie, fonctionnement hydrologique, potentialités agricoles : rapport final d'un projet CORAF-RF3S. Ouagadougou : CIEH, 1993, pp. 93-112.

LASCOUSMES P., LE GALÈS P. - 2007 - *Sociologie de l'action publique*, Paris, Armand Colin, 126 p.

LASSERRE F., BRUN A. - 2007 - La gestion par bassin versant : un outil de résolution des conflits ? *Lex Electronica*, vol. 12 n°2.

LAUDE J.P. - 2009 - Situation de la filière Jatropha au Burkina Faso. Perspectives pour le court terme, 2009, 17 p.

LAVIE E. - 2009 - *Activités anthropiques et qualité de l'eau dans l'oasis de Mendoza (Argentine) : diagnostic, enjeux et durabilité*, Thèse de Géographie, Université de Bordeaux 3, 387 p.

LEA M. - 2010 - Bioremediation of turbid surface water using seed extract from *Moringa oleifera* Lam. (Drumstick) tree, février 2010, 16 p. [en ligne] (<http://www.interscience.wiley.com>).

LE BRIS E., LE ROY E., LEIMDORFER F. - 1982 - *Enjeux fonciers en Afrique Noire*, Paris, Orstom, Karthala, 425 p.

LECHEVALLIER M., EVANS T., SEIDLER R.J. - 1981 - « Effect of turbidity on chlorination Efficiency and bacterial persistence in drinking water », *Applied and Environmental Microbiology*, july 1981, pp. 159-167.

LE CLECH B.H. - 1998 - *Environnement et agriculture*, 2^{ème} édition, Bordeaux, édition synthèse agricole, 341 p.

LECOMTE V., LE BISSONNAIS Y., RENAUX B., COUTURIER A., LIGNEAU L. - 1997 - « Erosion hydrique et transferts de produits phytosanitaires dans les eaux de ruissellement », *Cahiers d'études et de recherches francophones/Agricultures*, vol 6, n°3, pp.175-183.

LEMAITRE Y. - 1981 - *Etude thermodynamique et dynamique des lignes de grains observées à KOROGHO pendant l'expérience COPT 79* Thèse Docteur 3ème

cycle, Université PARIS 7, 226 pp.

LE PETIT ROBERT DE LANGUE FRANCAISE - 1973 - *Dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française*, Paris

LE PETIT ROBERT DE LANGUE FRANCAISE - 2006 - *Dictionnaire alphabétique et analogique de la langue française*, Paris, 2949 p.

LEPRUN J.C. - 1979 - *M, ém. Sci. Géol.*, 58, 22p.

LOGSDON G.S., THURMAN V.C., FRINOT E.S., STOECKER J.G. - 1985 - « Evaluating sedimentation and various filter media for removal of *Giardia* cysts », *J. Am. Water Work Assoc.*, 77, 61.

LUDWIG B. - 2000 - « Les déterminants agricoles du ruissellement et de l'érosion : de la parcelle au bassin versant », *Ingénieries – EAT*, n°22, pp. 37-47.

LUXEREAU A. - 2003 - « Sécheresse et mutations sociales au Sahel », *IRD Journal Sciences du Sud*, janvier-février 2003, n°18, pp. 1-1.

M

MACARY F., BERVILLE D. - 2003 - Synthèse bibliographiques : bilan des connaissances sur l'érosion et les phénomènes de ruissellement, Sinfotech, 28 p.

MAHE G., LEDUC C., AMANI A., PATUREL J.E., GIRARD S., SERVAT E., DEZETTER A. -2003 - « Augmentation récente du ruissellement de surface en région soudano-sahélienne et impact sur les ressources en eau ». In Servat E., Najem W., Leduc C., Ahmed S. (Eds), *Hydrology of the Mediterranean and Semi-arid Regions*, IAHS Pub., n°278, pp. 215-222.

MAHE G., PATUREL J.E., SERVAT R., CONWAY D., DEZETTER A. - 2005 -

« The impact of land use change on soil water holding capacity of river flow modelling in the Nakambe river », *Journal of hydrology*, janvier 2005, vol 300, pp. 33-43.

MAHE G., DIELO P., PATUREL J-E., BARBIER B., KARAMBIRI H., DEZETTER A., DIEULIN C., ROUCHE N. - 2010 - « Baisse des pluies et augmentation des écoulements au Sahel : impacts climatique et anthropique sur les écoulements du Nakambé au Burkina Faso », *Sécheresse*, 21, pp. 1-6

MAIGA A.H, KONATE Y., DENYIGBA K., KARAMBIRI H., WETHE J. - 2007 - « Eutrophisation et comblement des petites retenues d'eau en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso » in *Actes des JSIRAUF*, Hanoi, 6_9 novembre 2007, 6 p.

MAIGNIEN R. - 1958 - *Mém. Sero. Carte Géol. Als. Lorr.*, 16, 239 p.

MAIRE R., POMEL S., SALOMON J.N. - 1994 - *Enregistreurs et indicateurs de l'évolution de l'environnement en zone tropicale*. Presse universitaire de Bordeaux, 1994, 489 p.

MAIRE R., POMEL S., SALOMON J.N. - 1994 - « Enregistreurs et indicateurs de l'évolution de l'environnement en zone tropicale ». In MAIRE R., POMEL S., SALOMON J.N. (éds.), *Enregistreurs et indicateurs de l'évolution de l'environnement en zone tropicale*, PUB, 1994, pp. 11-26.

Maîtrise d'Ouvrage de Bagré (M.OB) – 2000- *Délimitation de la zone pastorale de la Doubégué*. Le 16 avril 2000. Cabinet d'études et travaux topographiques. 4p.

Maîtrise d'Ouvrage de Bagré (M.O.B) - 2001- *Plan intégré et de gestion de la zone de Bagré horizon 2010 rapport final volume 3 Plan Intégré*, juillet 2001, 120 p.

Maîtrise d'Ouvrage de Bagré (M.O.B) Sahel Consult, Berger Louis. - 2002 - *Programme de mise en valeur et de gestion intégrée des*

ressources agropastorales et halieutiques de la zone de Bagré. *Horizon 2004-2014.*, novembre 2002, 114 p.

Maîtrise d'Ouvrage de Bagré (M.O.B). - 2003 - *Projet d'aménagement hydroagricole de 3 000 ha en aval du barrage de Bagré et intensification de l'élevage (horizon 2004-2009).*

Maîtrise d'Ouvrage de Bagré (M.O.B). - 2005- *Document de stratégie de mise en œuvre des actions de partenariat M.O.B-P.D.R/B pour la protection des berges du grand lac barrage Bagré*, mars 2005, 150p.

Maîtrise d'Ouvrage de Bagré (M.O.B). - 2005- *Rappel des grandes périodes marquantes de l'aménagement et de la gestion de la zone pastorale du Doubagué.* 13 février 2005. 3p.

MAKKAR H.P.S, BECKER K. - 1996 - « Nutritional value and anti-nutritional components of whole ethanol extracted *Moringa oleifera* leaves » *Animal Feed Science and Technology*, 63, 1, pp. 211-228

MANDE A. et DIARRA I. J-P. - 2002 - *Monographie du Département de Bagré*, Rapport, Ouagadougou, 84 p.

MARGERUM R.D. - 1999 - « Integrated Environmental Management: The Foundations for Successful Practice ». *Environmental Management*, vol. 24, no 2, pp. 151-166.

MCFARLANE M.J. - 1976 - *Laterite and landscape*, Academic Press, 1976, 151 p.

MEHTA U.K. - 1997 - « The use of neem products for controlling sugarcane nematodes ». *Global Neem update*, 2, pp. 10-14

MEÏ L. - 2004 - « La ressource en eau au Burkina Faso. Gestion et enjeux », *Laboratoire de Géographie Physique Appliquée*, n°22, pp.37-55.

MICHEL P. - 1973 - *Mém. ORSTOM.*, 63, 75 p.

MIETTON M. - 1986 - « Les données de l'érosion sur bassins-versants au Burkina Faso (ex. Haute-Volta) », *Revue de géographie alpine*, 1986, vol 74, num 74-1-2, pp. 119-127.

MIETTON M. - 1988 - *Dynamique de l'interface lithosphère-atmosphère au Burkina Faso. L'érosion en zone de savane.* Thèse, 1988, Université de Grenoble I, 511 p.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE - 2001 - Étude opérationnelle sur la filière des intrants au Burkina Faso, 9 p.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE et des RESSOURCES HALIEUTIQUES. MOB. - 2007 - Evaluation des potentialités forestières de la zone pastorale de Doubagué/Tcherbo. Octobre 2007, 7 p.

MINISTÈRE DE LA SANTÉ. - 2005 - Analyse complémentaire de la situation nutritionnelle au Burkina Faso : rapport provisoire, Ouagadougou, octobre 2005, 14 p.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC - 2004 - Gestion intégrée de l'eau par bassin versant : concepts et application, 58 p.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'EAU - 2000 - tat des lieux de la gestion des ressources en eau au Burkina Faso, Royaume du Danemark, Ministère des Affaires Étrangères, Copenhague, 139 p.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'EAU DU BURKINA FASO. - 1998 - Profil national pour la gestion des produits chimiques, 170 p.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'EAU DU BURKINA FASO. - 2001 - États des lieux des ressources en eau du Burkina Faso et de leur cadre de gestion. Ouagadougou, 241 p.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU CADRE DE VIE DU BURKINA FASO. - 2008 - Profil national du Burkina

Faso pour la gestion des produits chimiques, octobre 2008, 111 p.

MOKADEMI I., NONGUIERMA A. - 1989 - Synthèse sectorielle de la télédétection appliquée en Afrique de l'Ouest, 33 p.

MONIOD F., SECHET P., POUYAUD P. - 1977 - *Bassin du Fleuve Volta*, Monographies hydrologiques Orstom, 513 p.

MOTT J.B., MULAMOOTIL G., HARRISON A.D. - 1981 - A 13-month Survey of nematodes at three water treatment plants in Southern Ontario, Canada. *Water Res.*, 15, 729.

MOUCHET J., BRENGUES J. - 1990 - « Les interfaces agriculture-santé dans les domaines de l'épidémiologie des maladies à vecteurs et de la lutte antivectorielle », *Bull. Soc. Path. Ex.*, 83, 1990, pp. 376-393.

MOUCHET J., ROBERT V., CARNEVALE P., RAVAONJANAHARY C., COOSEMANS M., FONTEVILLE D., LOCHOUARN L. - 1991 - « Le défi de la lutte contre le paludisme en Afrique tropicale : place et limite de la lutte antivectorielle », *Cahiers Santé*, 1, pp. 277-288.

MOUCHET J., CARNEVALE P. -1997- « Impacts des transformations de l'environnement sur les maladies à transmission vectorielle ». *Cahiers d'Etudes et de Recherches Francophones/Agricultures, série Santé*, 1997, Vol. 7 (4) pp. 263-269.

MOUSSA R., VOLTZ M., ANDRIEUX P. - 2002 - «Effects of the spatial organization of agricultural management on the hydrological behaviour of a farmed catchment during flood events», *Hydrol. Process.* Vol. 16, pp. 393-412.

MUSABYIMANA, SAXENA T.R.C, KAIRU E.W., OGOL C.K.P., KHAN Z.R - 2000 - «Powered neem seed and cake for management of the banana weevil, cosmopolites sordidus and parasitic

nematodes», *Phytoparasitica*, 28 (4) pp. 321-330

N

NANA S. - 2008 - Rapport d'étude de faisabilité du parc animalier du centre éco touristique de Bagré, Août 2008, 56 p.

NANEMA P. - 1995 - *Structure de la population et sélectivité du filet maillant de quelques espèces de poissons dans le lac de barrage de Bagré*, Mémoire de fin d'études, Université de Ouagadougou, 126 p.

NEBIE O. - 2005 - *Expérience de peuplement et stratégies de développement dans la vallée du Nakambé (Burkina Faso)*. Thèse Faculté de Lettres et Sciences humaines de l'Université de Neuchâtel, 353 p.

NEBOIT R. - 2010 - *L'homme et l'érosion*, PU Clermont, 3^{ème} éd., 352 p.

NEPAD, PDDAA, FAO - 2005 - Projet d'aménagement hydro-agricole de 3 000 ha en aval du barrage de Bagré et intensification de l'élevage, 43 p.

NGANDÈ S. - 2006 - Guy Lompo : De Bordeaux à Ouaga, plaidoyer pour le moringa, *Fasozine*, 03/04/2006

NIKIEMA A. - 2005 - *Paysage et conflits Ourobono, l'aire protégée des deux Balé, Boromo, Burkina Faso.*, Mémoire de DEA, Université de Toulouse Le Mirail, Département de Géographie, Laboratoire GEODE, 2005, 133 p.

NIMY V. - 2006 - « Accès et rapport à la terre : facteurs de dégradation des ressources naturelles ? Cas de Sanmatenga (Burkina Faso) » in GUENGANT J.P. *La jachère en Afrique tropicale L'apport des sciences sociales*, pp. 69-91.

NOZAIS J.-P. - 1998 - Maladies parasitaires et péril fécal : les maladies dues aux

helminthes, Manuscrit n° PF 03, Journée en hommage au Professeur A. DODIN.

O

OLUDRO A - 2010 - The use of Moringa Oleifera Seed for Water Purification, LAP AG & Co KG, 128 p.

OMM - 1994 - Guide des pratiques hydrologiques. Acquisition et traitement des données, analyses, prévision et autres applications, 5^{ème} éd. 829 p.

OMS - 2000 - Directives de qualité pour l'eau de boisson, deuxième édition, Critère d'hygiène et documentation à l'appui, vol. 2.

ORSENNA E. - 2006 - *Voyage aux pays du coton*, Paris, Fayard, 2006, 292 p.

OUATTARA A. - 2006 - *Mobilité spatiale de la population: nécessité de développement et risques de dégradation de l'environnement dans l'Est et le Sud-ouest du Burkina Faso*. INSS, Ouagadougou, Burkina Faso, 35 p.

OUATTARA B., OUATTARA K., MANDO A, ZOUGMORE R. - 2004 - « Rôle des nutriments dans le succès des techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées, zaï et demi-lunes) au Burkina Faso », *Sécheresse*, janvier-février-mars, vol 15, n°1, pp. 41-48.

OUEDRAOGO D-E. - 2008 - « Une production menacée », *Sidwaya*, 15 juillet 2008, n° 6217, 1 p.

OUEDRAOGO F-C., JANIN P. - 2004 - « Transformations agraires et nouvelles mobilités autour d'un grand barrage », *Cahiers d'études et de recherches francophones/ Agricultures*, juillet-août, vol 13, n°4, pp. 311-320.

OUEDRAOGO I. - 2006 - Problématique de l'exploitation optimale des grands aménagements hydro-agricoles : cas de Bagré Perspectives avec l'agrobusiness, 9 p.

OUEDRAOGO M. - 2000 - *Etude Biologique et Physiologie du pourghère, Jatropha curcas L.* thèse d'État, UO/BF, 290 p.

OUEDRAOGO O. - 1998 - Contribution à l'identification des responsables de gestion et utilisateurs potentiels de la zone forestière de Sablogo (province du Boulgou) dans la perspective d'un aménagement sylvo-pastoral, Rapport de stage, E.N.E.F, 46 p.

OULAMA A.S. - 2008 - « Les burkinabé à la lutte contre la désertification », Média terre.

P

PALE F.O.K. - 1999 - « Rôle de l'action anthropique dans la dégradation des ressources naturelles à Niaogho-Beguedo » in Beritche des sonderforschungsbereichs 268. Band 14, Proceedings of the international symposium, pp. 521-533.

PAN. - 1993 - *Pesticides et agriculture tropicale. Danger et alternative*, PAN/CTA, 281 p.

PARASHAR U.D., GIBSON C.J., BRESEE J.S., GLASS R.I. - 2006 - « Rotavirus and severe childhood diarrhea », *Emerg Infect Dis*, n°12, pp. 304-306.

PARASHAR U.D., BURTON A., LANATA C., ALS. - 2009 - « Global mortality associated with rotavirus among children in 2004 », *J Infect Dis*, n°200, suppl. 1, pp. 9-15.

PARE M. - 1985 - *L'utilisation actuelle des pesticides au Burkina Faso*, Thèse pour obtenir le grade de Docteur vétérinaire, Ecole Inter-États des Sciences et Médecine Vétérinaires, Dakar, 99 p.

PARE S., THOE A.M. - 2011 - Plan de lutte anti parasitaire et de gestions des pesticides, 143 p.

PARENT S. - 1990 - *Dictionnaire des sciences de l'environnement – Terminologie*

bilingue Français – Anglais, Édition Hatier – Rageot.

PDI/Z. - 1996 - Aménagement de la plaine en aval de Gogo. Avant-projet détaillé, 65 p.

PDR/B. - 1997 - *Document de projet*, M.A.E, DANIDA, Burkina Faso, 47 p.

PEUGEOT C. - 2003 - « Afrique de l'Ouest capricieuse », *Sciences au Sud – Le journal de l'IRD*, n°18, janvier-février, 2 p.

PIERI C. - 1989 - *Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente années de recherches et de développement agricole au sud du Sahara*. Ministère de la Coopération et du Développement, CIRAD, Paris, 444 p.

PION J.C. - 1979 - *Sci. Géol. Mém.*, 57, 220 p.

PODA J.N., TRAORE A. - 2000 - « Situation des schistosomes au Burkina Faso », In : La lutte contre les schistosomes en Afrique de l'Ouest, Colloques et Séminaires Ed, IRD, pp. 178-195.

PODA J.N., DIANOU D., KAMBOU T., SAWADOGO B., SONDO B. - 2001 - « Etude comparative de trois foyers bilharziens à *Schistosoma haematobium* au Burkina Faso » *Bull Soc Pathol Exot*, n°94, pp. 25-28.

POMEL S. - 2002 - « Les couvertures végétales et pédologiques de l'Afrique occidentale et centrale : une conception anthropogène de la zonalité ? » In : BART F. (COORD), BONVALLOT J. (COORD), POURTIER R. (COORD) *Regards sur l'Afrique. Historiens et Géographes*, 2002, (379), pp. 283-296.

POMEL et SCHULTZ Les OPS pour enregistrer le fonctionnement et fixer les paysages tropicaux : marges N et S du Sahara, montagnes d'Afrique »

POSS R., VALENTIN C. - 1983 - « Structure et fonctionnement d'un système eau-sol-végétation : une toposéquence ferrallitique de

savane (Katiola, Côte d'Ivoire) », *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.* XX, 4, pp. 341-360.

PRICE M.L. - 1985 - Le Moringa, révisé en 2000, 2002 et 2007 par Echo, 22 p.

PRINCIPI S. - 1992 - *Erosion et conservation du sol en zone soudanienne de l'Afrique de l'Ouest (Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Mali)*. Mémoire de DEA géographie des espaces tropicaux. Université de Bordeaux 3, 111p.

PROST A. et PRESCOTT N. - 1984 - « Cost-effectiveness of blindness prevention by O.C.P in Upper Volta », *Bulletin de l'O.M.S.*, 62, pp. 795-802

PRUDENCIO Y.C. - 1987 - Soil and crop management in selected farming systems of Burkina Faso : agricultural research and policy implications. OUA / STRC / SAFGRAD, Ouagadougou.

R

RAMADE F. -1979- *Ecotoxicologie*, Masson, Paris, 2è éd., 226 p.

RAMADE F. - 1993 - *Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement*, Ediscience international, 822 p.

RAMADE F. - 1995 - *Eléments d'écotoxicologie appliquée. Action de l'homme sur la biosphère*, 5^{ème} éd. Paris : Mc Graw-Hill, Edition Science International

RAMADE F. - 2002 - *Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'eau*, 2002, 2^{ème} éd. (1^{ère} éd. : 1993), Dunod, Paris, 1 075 p.

REIJ C, TAPPAN G et BELEMVIRE A. - 2005 - « Changing land management practices and vegetation on the Central Plateau of Burkina Faso (1968-2002) », *Journal of Arid Environments*, Elsevier, 63, pp. 642-659.

RICHET P. - 1938- L'onchocercose africaine ou volvulose. (Travail réalisé dans le cercle de Tenkodogo entre 1936 et 1938.) Rapp. ronéot., 54 p. (O.C.C.G.E., Bobo-Dioulasso) 54 p.

RIOU G. - 1995 - *Savanes - l'herbe, l'arbre et les hommes en terres tropicales*, Paris, Masson - Armand Colin, 270 p.

ROBERT E. - 2006 - *L'envasement du lac de barrage de Bagré (Burkina Faso) : une approche qualitative*, Mémoire de Maîtrise, Bordeaux 3, 87 p.

ROBERT E. - 2007 - *La création d'un lac de barrage en milieu tropical : impacts naturels et anthropiques, l'exemple de la Mapé (Camérout)*, Mémoire de Master 2, Paris 7, 89 p.

ROBERT E. - 2010 - « Les zones pastorales comme solution aux conflits agriculteurs / pasteurs au Burkina Faso : l'exemple de la zone pastorale de la Doubégué », *Cahiers d'Outre-Mer*, pp. 47-71.

ROBERT E. - à paraître - « Le fleuve Nakambé et le lac de barrage de Bagré, facteurs explicatifs des recompositions territoriales et des mobilités villageoises agraires et sanitaires en Pays Bissa (Burkina Faso), *Vertigo*, 13 p.

ROBERT E. - à paraître - « L'implantation du coton Bt au Burkina Faso : quels apports, pour quels risques et quels enjeux ? », In. POMEL, *Les Risques en Afrique*, 14 p.

ROBIN M. - 2002 - La télédétection : des satellites aux systèmes d'information géographiques, Nathan, 320 p.

ROLLAND A., BALAY G. - 1969 - *L'onchocercose dans le foyer bissa*, O.C.C.G.E, Centre Muraz, Ministère de la Santé Publique et des Affaires sociales de Haute Volta, n°111/ONCHO, 85 p. + cartes.

ROOSE E. - 1973 - *Dix-sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de*

Basse Côte d'Ivoire. Thèse docteur-ingénieur Abidjan, 125 p.

ROOSE E. - 1981 - *Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale. Eude expérimentale des transferts hydrologiques et biologiques de matières sous végétations naturelles ou cultivées*, Thèse Doct. Es Sciences, Univers. D'Orléans. Travaux et Documents de l'Orstom, n°130, Paris, 569 p.

ROOSE E. - 1987 - Compte rendu du séminaire de Porto Rico du 20 au 30 mars 1987. Conservation de l'eau et du sol dans les paysages de cultures sur fortes pentes, 6 p.

ROOSE E. - 1994 - Introduction à la GCES. *Bull Sols FAO* (Rome), 70, 420 p.

ROOSE E. - 1997 - Erosion et Ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesure en petites parcelles expérimentales. *Trav. et Doc. de l'ORSTOM*, Paris, n°78, 108 p.

ROOSE E. - 2004 - « La gestion conservatoire de l'eau et d la fertilité : une stratégie nouvelle de la lutte antiérosive pour le développement durable », *Sécheresse*, janvier-février-mars, vol 15, n°1, pp. 5-7.

ROOSE E. - 2007 - Evaluation des risques de ruissellement et d'érosion sous les plantations d'eucalyptus dans la région de Pointe Noire (Congo). Compte rendu de la mission du 1 au 11 mai 2007, 25 p.

ROOSE E., CHEBBANI R., BOUROUGAA L. - 2000 - « Ravinement en Algérie. Typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation ». *Sécheresse* 2000, vol 11, pp. 317-326.

ROOSE E., De NONI G. - 1998 - « Apport de la recherche à la lutte antiérosive. Bilan mitigé et nouvelle approche », *Etude et gestion des sols*, 5,3, 1998, pp. 181-194.

ROOSE E., De NONI G. - 2004a - « Recherches sur l'érosion hydrique en Afrique : revue et perspectives », *Sécheresse*,

janvier-février-mars 2004, vol 15, n°1, pp. 121-129.

ROOSE E., De NONI G. - 2004b - « La gestion conservatoire de l'Eau et de la Fertilité des Sols (CGES). Une stratégie pour faire face à un double défi du XXIème siècle : la pression démographique et l'environnement rural ». IRD, Montpellier, *Bull. Réseau Erosion*, 23, 2, pp. 10-27.

ROUGERIE G. - 1958 - Modalité du ruissellement sous forêt dense de Côte d'Ivoire. C.R. Acad. Sciences Paris, 246, pp. 290-292.

S

SACHS I. - 1980 - *Stratégies de développement*, Paris, Les éditions ouvrières, 1980, 140 p.

SALLY L., KOUDA M., BEAUMOND N. - 1994 - *Zones humides du Burkina Faso*, Gland, UICN, 156 p.

SALOMON J.N. - 2003 - *Danger, pollutions !*, PUB, 171 p.

SANOU F. - 2010 - *Productivité de *Jatropha curcas* L. et impact de la plante sur les propriétés chimiques du sol : cas de Bagré (Centre Est du Burkina Faso)*, Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur du développement rural, Université polytechnique de Bobo-Dioulasso, 72 p.

SANTE CANADA - 1995 - La turbidité. Document de supports aux recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada [site internet]
http://www.hc-sg.ca/ehp/dhm/catalogue/dpc_appui/rqep.htm.

SANTÉ CANADA, OTTAWA (ONTARIO) - 2003 - *La turbidité, Recommandation pour la qualité de l'eau potable au Canada*, octobre 2003

SANTÉ CANADA, OTTAWA (ONTARIO) - 2004 - *Recommandation pour la qualité de l'eau potable au Canada, les protozoaires : la Giardia et le Cryptosporidium*, avril 2004

SAUTTER G. - 1970 - *Essai sur les formes d'érosion en « cirques » dans la région de Brazzaville (République du Congo)*. Paris, CNRS, 170 p.

SAVADOGO P., TRAORE O., TOPAN M., TAPSOBA K.H., SEDOGO M., BONZI-COULIBALY L.Y. - 2006 - « Variation de la teneur en résidus de pesticides dans les sols de la zone cotonnière du Burkina Faso », *Journal Africain des Sciences de l'Environnement*, décembre 2006, n°1, pp. 29-39.

SAWADOGO-KABORE S., DIEBRE R., KISSOU R. - 2005 - Revue scientifique sur l'état de la dégradation des terres au Burkina Faso, Espace Géomatique, Ouagadougou,

SCHULTZ E., POMEL S. - 1994 - La bordure sud du Sahara : du désert à la savane. In MAIRE R., POMEL S., SALOMON J.N. (éds.), *Enregistreurs et indicateurs de l'évolution de l'environnement en zone tropicale*, PUB, 1994, pp. 143-172.

SCHULZE R E. - 2007 - « Some foci of integrated water resources management in the « south » which are oft-forgotten by the « north » : a perspective from southern Africa ». *Water Ressources management*, vol. 21, pp. 269-294.

SEBILLOTTE M. - 1991 - « Fertilité et système de production. Essai de problématique générale ». In SEBILLOTTE M. (éd.), *Fertilité et système de production*. INRA, Paris, pp.13-58.

SEDOGO P.M. - 1981 - *Contribution à l'étude de la valorisation des résidus culturaux en sol ferrugineux et sous climat tropical semi-aride. Matière organique du sol, nutrition azotée des cultures*. Thèse Docteur Ingénieur, INPL Nancy, 135 p.

SEIGNOBOS C. - 1982 - « Végétations anthropiques dans la zone soudano-sahélienne : la problématique des parcs ». *Rev. Géogr. du Cameroun*, III, 1, pp. 1-23.

SEKONE L.P. - 2008 - *Moringa Oleifera* ou « l'arbre de la vie ». Manuel de formation et d'information, 26 p.

SERET G. -1978 - *Acta geologica hispanica*, 13, n°5, pp. 145-147.

SHERIDAN D. - 1985 - *L'irrigation. Promesses et dangers. L'eau contre la faim ?* Paris, l'Harmattan/Earthscan, 155 p.

SIRISOMBOON P., KITCHAIYA P., PHOLPHO T., MAHUTTANYAVANITCH W. - 2007 - Physical and mechanical properties of *Jatropha curcas* L. fruits, nuts and kernels. *Biosystems Engineering*, 97, pp. 201-207

SLIMI A. - 2008 - *Mouvements de terrain et ravinements dans le bassin supérieur de l'Oued Djemaa (versant sud du Djurdjura, Algérie)*, Thèse de doctorat, Paris-Est,

SPROUL O.J., BUCK C.E., EMERSON M.A., BOYCE D., WALSH D. et HOWSER D. - 1979 - Effect of particulates on ozone disinfection of bacteria and viruses in water. EPA-600/2-79-089, U.S. Environmental Protection Agency, août.

STOTZKY G. - 1966 - « Influence of clay minerals on microorganisms. III. Effect of particule size, cation exchange capacity, and surface area on bacteria ». *Can. J. Microbiol.*, 12

T

TABUTEAU M. - 1960 - « Etude graphique pour les conséquences hydro-érosives du climat méditerranéen », *Bull. Assoc. Géogr. Français*, 249/295, pp. 130-142.

TAONDA S. J.-B., BERTRAND R., DICKY 1., MOREL J.L. et SANON K. -

1995 - « Dégradation des sols en agriculture minière au Burkina Faso ». *Cahiers Agricultures*, 4 (5) pp. 363-369.

TARDY Y., MAZALTARIM D., BOEGLIN J.L., ROQUIN C., PION J.-C., PAQUET H., MILLOT G. - 1988 - « Lithodépendance et homogénéisation de la composition minéralogique et chimique des cuirasses ferrugineuses latéritiques », *C. R. Acad. Sci. Paris*, t. 307, Série II, pp. 1675-1772.

TOMBES A.S., ABERNATHY A.R., WELCH D.M. et LEWIS S.A. - 1979 - « The relationship between rainfall and nematode density in drinking water. » *Water Res.*, 13.

TOHME M., LAUDET V., CRAVEDI J.-P. - 2010 - « Des polluants hormonaux », *Pour la Science*, n°396, octobre 2010, pp. 32-40.

TRADE HUMAN RIGHTS EQUITABLE ECONOMY - 2009 - Rapport soumis au comité des droits de l'enfant 53^e Groupe de travail de pré-session-Octobre 2009. Burkina Faso : menace sur le droit à l'alimentation de l'enfant : la protection intellectuelle des semences, 6 p.

TRAORE K., ET TOE A.M. - 2008 - *Capitalisation des initiatives sur les bonnes pratiques agricoles au Burkina Faso*. Rapport de consultation, MAHRH / DVRD, Ouagadougou, Burkina Faso, 99 p.

TRAORÉ R. - 2010 - *Eau, territoire et environnement : enjeux de la gestion communautaire de l'eau au Burkina Faso : cas du versant du Nakambé*, Thèse de sociologie, Université de Toulouse 2, sous la direction de Granie A.M.

TRICART J. - 1972 - *La terre planète vivante*. Paris, PUF, 184 p.

U

UICN. - 2004 - Réduire la vulnérabilité de l'Afrique de l'Ouest aux impacts du climat sur les ressources en eau, zone humide et

désertification. Eléments de stratégie régionale de préparation et adaptation.

UICN. - 2010 - États des lieux autour du barrage de Bagré au Burkina Faso, 80 p.

ULLENBERG A. - 2008 - *Jatropha à Madagascar - Rapport sur l'état actuel du secteur* -, GTZ, 40 p.

UNCDF - 2006 - Le développement économique local : principes, fondamentaux et étude de cas sur la démarche ECOLOC, 24 p. [en ligne].

[http://www.lux-](http://www.lux-development.lu/.../Presentation%20developpement%20economique%20local%20ecoloc.pdf)

[development.lu/.../Presentation%20developpement%20economique%20local%20ecoloc.pdf](http://www.lux-development.lu/.../Presentation%20developpement%20economique%20local%20ecoloc.pdf)

US EPA. - 1999 - *Guidance manual for compliance with the interim enhanced surface water treatment rule : turbidity provisions*, United States Environmental Protection Agency (EPA 815-R-99-010), pagination multiple.

V

VALENTIN C. - 1985 - *Organisation pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique (Agadez, Niger). Dynamique de formation et conséquences sur l'économie en eau*, Edit. ORSTOM, coll. Etudes et Thèses, Paris, 253 p.

VALLET C. - 2006 - Le neem. Insecticide naturel. Petit guide pratique, 14 p [en ligne]. <http://www.hsf-france.com/pages/neem.html>

VAN DER VOSSEN H.A.M., MKAMILO G.S. - 2007 - Ressources végétales de l'Afrique tropicale 14. Oléagineux, édition Prota, pp. 116-120.

VEYRET Y. - 2007 - *Dictionnaire de l'environnement*, A. Colin, Paris, 405 p.

VINCENT C. - 1990 - L'arbre aux racines d'or : *Acacia albida*, *Le Monde*, 8/09/1990, 12 p.

VOGT J. - 1959 - « Aspect de l'évolution morphologique récente de l'Ouest Africain », *Ann. Géogr.*, n°367, pp. 193-206.

VOGT J. - 1967 - *Bull. Ass. sénégalaise Et. Quatern.*, 16, pp. 23-26.

W

WACKERMAN J.M. - 1975 - Thèse Sc. U.L.P., Strasbourg, 1975, 373 p.

WESTPHAL E., EMBRECHTS J., FERWERDA J.D., VAN GILS-MEEUS, H.A.E., MUSTSAERS H.J.W. et WESTPHAL-STEVELS J.M.C. - 1987 - Les cultures potagères : Cultures vivrières tropicales avec référence spéciale au Cameroun. pp. 321-463.

WICHEREK S. - 1988 - « Les relations entre le couvert végétal et l'érosion en climat tempéré de plaines. Ex : Cessières (Aisne, France) » *Zeitschrift für Geomorphologie*, n°32(3), Berlin-Stuttgart, Septembre 1988, pp. 339-350.

WISCHMEIER W.H., SMITH D.D. - 1960 - A universal soil loss estimating equation to guide conservation farm planning. Proc. 7th ISSS. Vol. 1, pp. 418-425.

WORLD HEALTH ORGANISATION - 1997 - « News and activities. Entamoeba taxonomy ». *Bull World Health Organ*, 75, pp. 291-293.

Y

YAMEOGO G. - 2009 - Suivi des ressources en eau des bassins versants du Burkina Faso Mémoire, 21E, 35 p.

YONKEU S. - 2006 - « Evaluation environnementale stratégique du programme de sécurité alimentaire et nutrition, de fertilité des sols du Burkina Faso », *Institut de*

l'énergie et de l'environnement de la Francophonie, mars 2006, pp. 1-12.

YUGMA R. - 1994 - « Contribution de l'agroforesterie à la gestion conservatoire des eaux et des sols. Développement du rôle du Neem (*Azadirachta indica* A.Juss) en association avec les cultures : étude de cas centre-ouest du Burkina Faso ». In DE NONI G., NOUVELOT J.F; ROOSE E. (éds.), Réseau érosion bulletin n°14. Montpellier, ORSTOM, 1994, pp. 334-344.

Z

ZAN S. - 1992 - *Enquêtes sanitaires de base dans les trois localités de la zone d'aménagement hydro-agricole et hydroélectrique de Bagré : à propos d'une étude sur les schistosomiasés et les autres*

parasitoses intestinales majeures (liées à l'eau), Université de Ouagadougou, Thèse médecine, 101 p.

ZIGA I. - 2006 - *Contribution à l'étude de l'occupation des berges de la rive gauche du lac de barrage de Bagré. Rapport de Stage.* Juillet 2006. 69 p. + 3p annexes.

ZOUGMORE R., OUATTARA K., MANDO A., OUATTARA B. - 2004 - « Rôle des nutriments dans le succès des techniques de conservation des eaux et des sols (cordons pierreux, bandes enherbées, zaï et demi-lunes) au Burkina Faso », *Sécheresse*, n°1, vol. 15, mars, pp. 41-48.

ZOUNGRANA T.P. - 1995 - « Sécheresse et dynamique des agrosystèmes dans la plaine centrale du Burkina Faso », *Revue géographique de Lyon*, vol 70, 3-4, pp.247-2

TEXTES DE LOI

- RAF, code de l'environnement et code forestier

- Texte portant RAF Loi n°0496/ADP du 23/05/1996.
- La loi N°014/96 ADP du 23 mai 1996 portant réorganisation agraire et foncière au
- Décret n°97-54/PRES/PM/MEF du 6 Février 1997, portant conditions et modalités d'application de la loi sur la Réorganisation Agraire et Foncière
- La loi n°005/97/ADP du 30 janvier 1997 portant Code de l'Environnement au Burkina Faso
- La loi n°006/97/ADP du 31 janvier 1997 portant Code Forestier au Burkina Faso.

- Textes relatifs à l'usage des pesticides

- Loi n° 19-93 du 24 mai 1993
- Arrêté n° 94-151 du 19 Septembre 1994
- Raabo n° B-004-AN-VI du 06 Mai 1989
- Décret n° 348-PRES du 16 Août 1961
- Décret n° 349-PRES du 16 Août 1961
- Loi n° 014-96/ADP du 26 Mai 1996
- Décret n° 97-054/ PRES du 6 Février 1997
- Arrêté n° 94-110 du 27 Mai 1994
- Ordonnance n° 81-0026/PRES du 26 Août 1981
- Loi n° 11-92/ADP du 22 Décembre 1992
- Arrêté n° 5223/ IGTLS/AOF du 19/07/1954
- Arrêté n° 5253/ IGTLS/AOF du 19/07/1954
- Décret n° 96-017/PRES du 30 Janvier 1996
- Décret n° 96-355/ PRES/PM/MS/METSS du 11 octobre 1996
- Décret n° 96-014 du 22 Octobre 1996

LISTE DES FIGURES

Fig. 1 : Présentation de la zone d'étude : le bassin versant de la Doubégué	499
Fig. 2 : Les thèmes principaux liés à l'eau au Burkina Faso	24
Fig. 3 : Les différents climats au Burkina Faso	32
Fig. 4 : Les migrations du FIT en Afrique de l'Ouest	33
Fig. 5 : Le glissement des isohyètes au cours du XXème siècle au Burkina Faso	37
Fig.6: Diagramme ombrothermique de Tenkodogo	39
Fig.7 : Précipitation mensuelle à Bagré (1994 à 2009)	39
Fig. 8 : Irrégularité interannuelle à Bagré (précipitations annuelles à Bagré 1994 à 2009)	40
Fig. 9 : Irrégularité interannuelle à Tenkodogo (évolution des précipitations annuelles 1950-2009)...	40
Fig. 10 : Evolution décennale des précipitations (mm) de 1950 à 2007 à Tenkodogo.....	41
Fig. 11 : Vitesse des vents à Tenkodogo	44
Fig. 12 : Croquis géologique de la région Ouest Africaine	47
Fig. 13 : Carte morphostructurale de la région de Tenkodogo	49
Fig. 14 : Carte pédologique du bassin versant de la Doubégué	56
Fig. 15 : Coupe morphopédologique synthétique schématique de la région de Bagré	57
Fig. 16 : Carte biogéographique (domaine nord-soudanien) du secteur de Tenkodogo et de Bagré ..	62
Fig. 17 : Les bassins hydrographiques du Burkina Faso	71
Fig. 18 : Le bassin versant du Nakambé	72
Fig. 19 : Débit moyen mensuel à Wayen (1990 – 2000)	73
Fig. 20 : Les retenues d'eau au Burkina Faso	74
Fig. 21 : Présentation de la région du lac de barrage de Bagré	78
Fig. 22 : Les recompositions agraire et sanitaire suite à la mise en eau du lac de Bagré	81
Fig. 23 : Le bassin versant de la Doubégué	82
Fig. 24 et 25 : Localisation du Pays Bissa au Burkina Faso	86
Fig. 26 : Schéma du fonctionnement de l'onchocercose	89
Fig. 27 : L'impact de l'essor de l'onchocercose sur quelques villages de la région de Bagré.....	91
Fig. 28 : Les migrations Peul au Burkina au début des années 1980	120
Fig. 29 : Les stades de dégradation de la surface du sol sous l'action des pluies	139
Fig. 30 : Diminution de l'infiltrabilité du sol en fonction de l'extension d'une croûte de battance ..	139
Fig. 31 : Relevés granulométriques et de densité du sol dans le bassin versant de la Doubégué	150
Fig. 32 : Triangle textural GEPPA renseigné en classe de stabilité structurale	153
Fig. 33 : État de l'occupation des sols du bassin versant de la Doubégué en 1986	173
Fig. 34 : État de l'occupation des sols du bassin versant de la Doubégué en 1995	175
Fig. 35 : Evolution diachronique de l'occupation des sols dans bassin versant de la Doubégué entre 1986 et 1995.....	179
Fig. 36 : État de l'occupation des sols du bassin versant de la Doubégué en 2007.....	181
Fig. 37 : Evolution diachronique de l'occupation des sols dans le bassin versant de la Doubégué entre 1995 et 2007	185
Fig. 38 : Evolution diachronique de l'occupation des sols dans le bassin versant de la Doubégué entre 1986 et 2007	186
Fig. 39 : État de l'occupation des sols dans la zone du lac de Bagré en 2002	190
Fig. 40 : Diagramme de Hjulström	227
Fig. 41 : L'efficacité érosive des bio-climats	265
Fig. 42 : Localisation des relevés de turbidité en saison sèche	268
Fig. 43 : Localisation des relevés de turbidité en saison humide	269
Fig. 44 : Relevés de turbidité dans le bassin versant de la Doubégué en fin de saison sèche (2008). 277	
Fig. 45 : Relevés de turbidité dans le bassin versant de la Doubégué au cours de la saison des pluies (2009)	278

Fig. 46 : Relevés de phosphates dans le bassin versant de la Doubégué au cours de la saison des pluies (2009)	326
Fig. 47 : Les solutions envisagées et appliquées par le MOB	393
Fig. 48 : Périmètres définis pour protéger les berges du lac de Bagré	404
Fig. 49 : Solutions mises en place par les populations dans le bassin versant de la Doubégué	419
Fig. 50 : Le <i>Moringa oleifera</i> , l'arbre de la vie : un végétal aux multiples vertus	437
Fig. 51 : Fiche pédagogique expliquant les vertus nutritive du <i>Moringa oleifera</i>	440
Fig. 52 : La mise en place de la GIRE	464
Fig. 53 : Fonctionnement et échelons présents dans le PAGEV	473
Fig. 54 : Le parc animalier du centre éco-touristique de Bagré	476
Fig. 55 : Les périmètres rizicoles aménagés et en cours d'aménagement en aval du barrage de Bagré	478
Fig. 56 : Tenkodogo : un carrefour transfrontalier	486
Fig. 57 : Méthodologie	497

LISTE DES TABLEAUX

Tab. 1 : Régression de la pluviométrie moyenne et du nombre de jours de pluies	41
Tab. 2 : Caractéristiques hydrologiques du bassin du Nakambé	73
Tab. 3 : Répartition (en %) des zones de cultures déclarées par les exploitants (n = 186)	80
Tab. 4 : Variation saisonnière de la fréquentation (en %) des CSPS, en 1997	81
Tab. 5 : Typologie des exploitations dans les trois sociétés cotonnières en 2005-2006	107
Tab. 6 : Caractéristiques chimiques des types de champs paysans	112
Tab. 7 : Pluies journalières maximales mensuelles (mm) en début d'hivernage (Loi Gumbel)	141
Tab. 8 : Fréquence des pluies journalières maximales en mai et juin dans le Centre du Burkina Faso .	141
Tab. 9 : Erosion selon le type de sols	145
Tab. 10 : Température du sol selon sa profondeur	147
Tab. 11 : Granulométrie dans le bassin versant de la Doubégué	151
Tab. 12 : Granulométrie selon les différents secteurs du bassin versant de la Doubégué	154
Tab. 13 : Densité des sols dans le bassin versant de la Doubégué (g/cm ³)	154
Tab. 14 : Informations techniques des images Spot acquises	163
Tab. 15 : Photographies aériennes utilisées pour l'analyse multi-temporelle	165
Tab. 16 : Résultats de la matrice de confusion pour les classifications de 1986, 1995, 2007	168
Tab. 17 : Evolution de l'occupation des sols dans le bassin versant de la Doubégué	178
Tab. 18 : Taux de variation dans le bassin versant de la Doubégué	184
Tab. 19 : L'évolution de l'occupation des sols dans la zone de Bagré entre 1992 et 2002	189
Tab. 20 : Effectif du cheptel dans le département de Tenkodogo en 2000	195
Tab. 21 : Causes humaines et conséquences sur les ressources naturelles du bassin versant de la Doubégué	204
Tab. 22 : Volume de bois (stère) prélevé par commune en rive gauche	216
Tab. 23 : Superficie brûlée (ha) en 2003 - 2004 dans la Province du Boulgou	217
Tab. 24 : Les formes d'incisions dues à l'érosion chronique	230
Tab. 25 : Différence entre ravine et rigole	232
Tab. 26 : Exemple de classification de la turbidité à l'échelle internationale	263
Tab. 27 : Exemple de classification de la turbidité : celle des eaux brutes en France	264
Tab. 28 : Proportion de matières dissoutes et en suspension dans les principaux bassins versants tropicaux	272
Tab. 29 : La dégradation spécifique selon l'occupation des sols dans quelques pays d'Afrique de l'Ouest et d'Afrique Centrale	273

Tab. 30 : Relevés de turbidité (NTU) après la saison des pluies 2008	276
Tab. 31 : Relevés de turbidité (NTU) au cours de l'hivernage 2009	276
Tab. 32 : Tableau récapitulatif des moyennes de turbidité au cours des deux campagnes de terrain	279
Tab. 33 : Taux de variation des précipitations des premiers mois de l'hivernage en 2009 (moy. 1950 - 2007)	304
Tab. 34 : Turbidité (NTU) du lac de Bagré entre 1994 et 2003	319
Tab. 35 : Turbidité (NTU) du lac de Bagré en 1996 et 1997	319
Tab. 36 : Ph et conductivité du lac de Bagré entre 1994 et 2003	322
Tab. 37 : Paramètres physiques du lac de Bagré en 2004	322
Tab. 38 : Teneurs en anions dans le lac de Bagré (entre 1994 et 2003)	323
Tab. 39 : Teneurs en cations dans le lac de Bagré (entre 1994 et 2003)	324
Tab. 40 : Envasement de 4 barrages au Burkina Faso	334
Tab. 41 : Classes des pesticides compte tenu des restrictions d'utilisations recommandées	337
Tab. 42 : Bactéries pathogènes d'origine hydrique et leurs principales caractéristiques	345
Tab. 43 : Virus pathogènes d'origine hydrique et leurs principales caractéristiques	349
Tab. 44 : Les différents pesticides employés au Burkina Faso	355
Tab. 45 : Dangers potentiels des pesticides d'usage répandu (bien que certains soient interdits) ..	356
Tab. 46 : Grille de quelques impacts environnementaux	361
Tab. 47 : Les conséquences de l'accroissement des taux de turbidité sur le milieu physique et humain du bassin versant de la Doubégué et plus largement du lac de barrage de Bagré	370
Tab. 48 : Gestion de la fumure animale dans un système cultural triennal	401
Tab. 49 : Objectifs globaux et régionaux du PADAB II	407
Tab. 50 : Projets acceptés et financés dans le cadre du PADAB II (année 2007-2008)	408
Tab. 51 : Quantité de semences et d'intrants recommandées par l'ATTRA/B pour le maïs et le niébé	411
Tab. 52 : Actions entreprises par les différents villages du bassin versant de la Doubégué	420
Tab. 53 : Doses recommandées de <i>Moringa oleifera</i> (graines et poudre) pour purifier une eau	431
Tab. 54 : Comparaison entre les valeurs nutritives des feuilles du <i>Moringa oleifera</i> et des aliments de base	433
Tab. 55 : Valeurs pour 100g des principaux éléments nécessaires à une bonne nutrition	434
Tab. 56 : Impacts de l'hormone végétale extraite du Moringa sur différents types de culture	436
Tab. 57 : Les différents acteurs selon les filières de production de biocarburant à partir du <i>Jatropha curcas</i>	445
Tab. 58 : Quantité de neem nécessaire selon la superficie pour produire l'insecticide naturel	450
Tab. 59 : Utilisations à privilégier pour le Moringa, le Jatropha et le neem dans le bassin de la Doubégué	452
Tab. 60 : Répartition et utilisations des combinaisons de Jatropha, de Moringa et de Neem	454
Tab. 61 : Superficies des plantations par village dans le bassin versant de la Doubégué selon le nombre d'habitants et de l'âge envisagé de la plantation	455
Tab. 62 : Superficies des plantations pour chaque secteur de Tenkodogo, en fonction du nombre d'habitants et de l'âge envisagé de la plantation	456
Tab. 63 : Superficies des plantations nécessaires rapportées au nombre de villages par secteur de Tenkodogo, en fonction du nombre d'habitants et de l'âge envisagé de la plantation	457
Tab. 64 : Les objectifs et les actions réalisées par le PAGEV	472
Tab. 65 : Types d'occupation et superficies dans le parc animalier	476
Tab. 66 : Types d'occupation et premières superficies envisagées dans le domaine clôturé	476
Tab. 67 : Les catégories socioprofessionnelles retenues pour les nouveaux aménagements de Bagré	479
Tab. 68 : Les solutions à différentes échelles : de la parcelle du bassin versant de la Doubégué au bassin du lac de Bagré	487

LISTE DES PHOTOGRAPHIES ET DES PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

Photo 1 : Colline de Garango	48
Photo 2 : Vue de la pénéglaïne de la région de la Doubégué depuis le relief résiduel de Soné (312 m)	50
Planche photos 1 : Reliefs résiduels et champs de boules dans le bassin versant de la Doubégué	55
Photo 3 : Vue de la forêt ripicole de la Doubégué (second plan)	64
Planche photos 2 : Arbres présents dans le bassin versant de la Doubégué	65
Planche photos 3 : Formations végétales, arbres utiles et végétaux utilisés pour le reboisement	67
Photo 4 : Le barrage de Bagré (second plan)	78
Photo 5 : Lac de barrage de Bagré	78
Photo 6 : Hameau de culture en Pays Bissa, localisé sur une parcelle de coton	80
Photo 7 : Parc à <i>Acacia albida</i> en Pays Bissa au début du XXème siècle	87
Photo 8 : <i>Daba</i>	98
Photo 9 : Agriculteurs de Douka préparant un champ (culture attelée)	98
Planche photos 4 : Les principales cultures pratiquées dans le bassin versant de la Doubégué	103
Planche photos 5 : Cultures récoltées dans le bassin versant de la Doubégué	104
Photo 10 : Champ de coton	106
Photo 11 : Coton prêt à être pesé et transporté	106
Photo 12 : Culture d'aubergine	109
Photo 13 : A l'arrière-plan culture d'oignon et au premier plan plants de piment	109
Planche photos 6 : Systèmes de culture	117
Photo 14 : Résidus d'arachide destinés à protéger les sols et surtout à destination des fosses fumières	118
Photo 15 : Fosse fumière	118
Photo 16 : Animaux divaguant dans la zone éco-touristique	123
Photo 17 : Divagation des animaux dans des champs (Pata)	123
Photo 18 : Pirogues au débarcadère de Bagré	124
Photo 19 : Au cœur du complexe éco-touristique de Bagré	127
Photo 20 : Croûte de battance formée sur une parcelle de culture de coton le 16 juillet	139
Photo 21 : Champ d'arachides présentant une bonne protection contre l'agressivité des pluies du mois d'août (le 10/08/2009)	140
Photo 22 : Espace « naturel » reverdit dès le 30/06/2009	140
Photos 23 et 24 : Site de Belcé le 27/07/2009 à 12h59	143
Photo 25 : Site de Belcé le 27/07/09 à 13h09	143
Photo 26 : Site de Belcé le 27/07/09 à 13h17	143
Photo 27 : Ravine entre Bagré village et la Doubégué (piste de Pata)	144
Photo 28 : Horizon induré caractéristique du bassin versant de la Doubégué (secteur aval)	144
Photo 29 : Arbre déchaussé par le vent (route Loanga)	147
Photo 30 : Croûte de dessiccation aux sites de Zaba (le 04/11/2008)	148
Photo 31 : Croûte de dessiccation aux sites de Daze (le 29/10/2008)	148
Photo 32 : Prélèvement de sol à l'aide d'une tarière au site de Bassaré	150
Photo 33 : Echantillons prélevés dans le bassin versant de la Doubégué	151
Photo 34 : Lavage des sels	151
Planche photos 7 : Evolution de la quantité d'eau et du couvert végétal dans le bassin versant de la Doubégué	164
Photo 35 : Extrait d'une photo aérienne de 1994	167
Photo 36 : Extrait d'une image satellite de 1995	167
Planche photos 8 : Les impacts des pratiques culturelles sur les sols, les cours d'eau et le couvert végétal	196
Photo 37 : Berges dégradées suite aux passages répétés du bétail	197

Photo 38 : Dépôts de bois morts (secteur de Loanga)	199
Photo 39 : Bois carbonifiés	199
Planche photos 9 : Effets et dégradations des éléments linéaires : la piste de Loanga	201
Planche photos 10 : Les pistes comme relais aux écoulements de surface	203
Photo 40 : Action du vent dans le bassin versant de la Doubégué (secteur de Pata)	210
Photo 41 : Plantation de filaos (sortie de Tenkodogo)	212
Photo 42 : Plantation de neems à Loanga	212
Photo 43 : Horizons différenciés	225
Photo 44 : Sol gravillonnaire	225
Photo 45 : Zone soumise à l'érosion hydrique : dépôt de graviers et transport plus loin des particules plus fines	227
Photos 46 et 47 : Espace disséqué au site de Pésséré	229
Photo 48 : Cône de déjection au site de Belcé	230
Photo 49 : Cône de déjection au site de Douka	230
Photo 50 : Rigole observée au site de Zaba	231
Photo 51 : Rigole formée dans un champ à Gouni	231
Photo 52 : Ravine formée le long d'une piste secondaire	232
Photo 53 : Erosion des berges à Zaba	235
Photo 54 : Arbre déraciné au site de Bagré	237
Planche photos 11 : Zones d'érosion rencontrées dans le bassin versant de la Doubégué : mise en place de ravines	237
Planche photos 12 : Exemple de zones d'érosion dans le bassin versant de la Doubégué	239
Planche photos 13 : Formes linéaires rencontrées le long de la RN 16	241
Photo 55 : Passage au niveau de Zano	242
Photo 56 : Secteur longeant la piste et zoom sur la ravine	243
Photo 57 : Zoom sur le secteur érodé	243
Photo 58 : Particules fines dominantes	243
Planche photos 14 : Secteur très érodé le long de la piste Douka/Zaba	246
Planche photos 15 : Ravin de Loanga	248
Photo 59 : Prélèvement d'eau au site de Bassaré	270
Photo 60 : Prélèvement d'eau au site de Zaba	270
Planche photos 16 : Le site de Pésséré	282
Planche Photos 17 : Le lac de Tenkodogo	284
Photo 61 : Secteur en rive droite transformé en tributaire au cours d'un événement pluviométrique intense	286
Photo 62 : Portion de berge arrachée par la puissance de l'écoulement	286
Photo 63 : Secteur en rive droite régulièrement emprunté par des écoulements lors des principaux événements pluvieux	286
Photo 64 : Site de Dazé suite au principal événement pluviométrique (semaine 5)	287
Photo 65 : Site de Dazé en semaine 7	287
Photo 66 : Site de Bassaré, le 27/07/09, suite à un important événement pluviométrique	289
Photo 67 : Réduction de la profondeur de la Doubégué de 50 cm par rapport au 27/07/09 au site de Bassaré, le 10/08/09	289
Planche photos 18 : site de Kabri	292
Planche photos 19 : site de Zaba	294
Photo 68 : Secteur érodé avec un faible couvert végétal	295
Photo 69 : Traces de dépôts organiques dans le lit du cours d'eau	295
Photo 70 : Berges totalement disséquées	296
Photo 71 : Eau très turbide au site de Douka (22/07/09)	296
Photo 72 : Secteur érodé sur plus de 1,1m au site de Pata	297
Photo 73 : Ravines visibles en rive droite du site de Pata	297

Photo 74 : Champs rizicoles aux abords du site de la Doubégué	298
Photo 75 : Le site de la Doubégué en semaine 1	299
Photo 76 : Le site de la Doubégué en semaine 2	299
Photo 77 : Différence d'horizons au site de Bagré	300
Photos 78 et 79 : Evolution de l'érosion entre le 21/10/08 et le 11/08/09	300
Photo 80 : Berge érodée au site de Bassaré	306
Photo 81 : Berge totalement écroulée au site de Douka	306
Photo 82 : Zone sableuse au site de Belcé	307
Photo 83 : Zone sableuse au site de Pata	307
Photo 84 : Ravine le long de la piste Douka – Zaba	313
Photo 85 : Ravine formée le long de la piste de Loanga	313
Photo 86 : Sol nu au site de Bassaré	314
Photo 87 : Ancien cours d'eau à présent à sec (piste Douka – Zaba)	314
Photo 88 : Bovins mangeant les résidus laissés dans les champs après la récolte	316
Photo 89 : Pancarte interdisant la divagation des animaux dans l'espace éco-touristique	316
Photo 90 : Nénuphar au site de Dazé	327
Photo 91 : Nouveau bras créé suite au fonctionnement violent et irrégulier du réseau hydrographique	333
Photo 92 : Ancien bras de plus en plus à sec	333
Photo 93 : Pesticides au marché de Bagré	338
Photo 94 : Equipements et pesticides entreposés à l'association ATTRA/B	328
Planche photos 20 : Les principales techniques de conservation de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols	385
Photo 95 : Plantation d'eucalyptus (secteur aval du bassin versant de la Doubégué)	386
Planche photos 21 : Usage de la fosse fumière et association de cultures	388
Photo 96 : Parc à vaccination fermé de la zone pastorale de la Doubégué, secteur Zangola	497
Photo 97 : Pousses de maïs et niébé	411
Photo 98 : Sacs de récoltes de maïs	411
Photo 99 : grenier pour conserver les cultures	411
Planche photos 22 : Formation pour la mise en place des foyers améliorés au village de Konyinkin	416
Photo 100 : Cordons pierreux à Kou	421
Photo 101 : Bandes enherbées à Ouréma	421
Photo 102 : Le <i>Moringa oleifera</i>	426
Photo 103 : Poudre issue de feuilles de <i>Moringa oleifera</i> comestible ajoutée à un plat traditionnel	433
Photo 104 : Le <i>Jatropha curcas</i>	441
Photo 105 : Borne fontaine protégée des animaux par des <i>Jatropha curcas</i>	447
Photo 106 : Graine de <i>Jatropha curcas</i>	447
Photo 107 : Haie vive de <i>Jatropha curcas</i> au site de Kabri, proche du village de Bassaré	448
Planche photos 23 : Le neem	451
Planche photos 24 : Les leviers économiques de la région : le centre-écotouristique de Bagré et la ville de Tenkodogo	483

ANNEXE

QUESTIONNAIRE AGRICULTEUR

Enquêté :

Nom et prénom :

Ethnie :

Age :

Village :

Sexe :

Autochtone :

THEME 1 : LE PROCESSUS D'ENVAISEMENT

1- Etes-vous membre d'un groupement ?

- Oui - Non

.Si oui, lequel :

2- Depuis quand habitez-vous cette région ?

3- Depuis combien de temps exploitez-vous votre parcelle ?

4- Quelle la situation topographique de votre champ ?

a- Sommet

5- Quel type de labour pratiquez-vous ?

a- Manuel b- Attelé c- Autres

6- Utilisez-vous les feux de brousse ?

a- Oui b- Non

7- Que cultivez-vous ?

8- Constatez-vous de variations de votre production ? Alternance

a- Hausse b- Baisse c- Stagnation

9- Observez-vous une perte de terre dans votre (vos) champs ?

a- Oui

Si oui : Quel est le facteur principal de cette perte et sur quelle période est-elle la plus importante ?

a- Erosion hydrique

10- De quelles natures sont les éléments transportés ?

[illegible]

11- Vers où vont ces pertes ?

12- Le cours d'eau a-t-il subi des modifications ?

a- Oui b- Non

13- Y-a-t-il une relation entre ce fait et la perte de terre constatée dans votre (vos) parcelle ?

a- Oui b- Non

14- Quels sont les causes de ces changements au niveau des cours d'eau ?

- 15- Est-ce que votre activité favorise-t-elle ces modifications ?
a- Oui b- Non
- 16- Comment se manifestent-t-elles ?
- 17- Quel type de végétation existait-il sur les berges dans le passé ?
- 18- A quel moment la végétation a-t-elle commencé à diminuer ?
- 19- Menez-vous des opérations pour freiner la perte de terre ?
a- Billons b- Bandes enherbées
c- Cordons pierreux e- Reboisement f- Autres
- 20- Quelles solutions préconisez-vous pour réduire ce fait ?
a- Reboisement autour lac b- Réalisation de cordons pierreux
c- Mise en place de bandes enherbées d- Traitement des ravines
e- Recul des exploitants maraîchères f- Autres
- 21- Y a-t-il eu des actions, informations, formations réalisées par la MOB ?
a- Oui b- Non

THEME 2 : LA DEGRADATION DU COUVERT VEGETAL

- 22- Quelles sont les causes de la dégradation du couvert végétal ?
a- La sécheresse b- Les hommes
c- Les animaux d- Dieu
- 23- Par quelles actions l'homme détruit-il la végétation ?
a- Agriculture b- Elevage
c- Coupe de bois d- Feux de brousse
- 24- Quelles sont les actions naturelles ?
a- L'eau b- Le vent c- Autre
- 25- Cela a-t-il des conséquences sur les sols ?
a- Oui b- Non
- 26- Observez-vous des pertes de terre ?
a- Oui b- Non
- 27- Quelles sont les conséquences de la dégradation du couvert végétal ?
a-Sur l'agriculture : b-Sur l'élevage :
- 28- Y a-t-il un reboisement ou un replantage de prévu par la M.O.B ?
a- Oui b- Non
- 29- Y-a-t-il un lien entre la dégradation du couvert végétal et les modifications des cours d'eau ?
a- Oui b- Non

QUESTIONNAIRE ÉLEVEUR

Enquêté :

Nom et prénom :

Ethnie :

Age : 45 ans

Village :

Sexe : M

Autochtone :

THEME 1 : LE PROCESSUS D'ENVASEMENT

1- Etes-vous membre d'un groupement ?

- Oui

- Non

Si oui, lequel :

2- Depuis quand habitez-vous cette région ?

3- Quel genre d'élevage pratiquez-vous ?

a- Transhumant

b- Sédentaire

c- Semi-intensif

4- Etes-vous propriétaire de votre troupeau ?

a- Oui

b- Non

5- Où trouvez-vous les pâturages pour vos animaux ?

a- En saison pluvieuse :

b- En saison sèche :

6- Les étendues de pâturages sont-elles en extension ou en diminution ?

7- Quelles sont les espèces préférées par les animaux ?

a- Ligneux

b- Herbacées

8- Ces espèces sont-elles suffisantes de nos jours ?

a- Oui

b- Non

9- Si non, comment expliquez-vous cela ?

a- Surpâturage

b- Feux de brousse

c- Climat

d- Démographie

e- Autres

10- Utilisez-vous des feux de brousse pour régénérer des herbacées pour le bétail ?

a- Oui

b- Non

11- Vous arrive-t-il de couper des arbres pour vos animaux ?

a- Oui

b- Non

12- Si oui, comment se fait cette coupe ?

a- Partiellement

b- Totale

13- Utilisez-vous des pistes pour accéder au lac ?

a- Oui

b- Non

14- Ces pistes sont-elles empruntées par l'eau qui draine le lac en saison pluvieuse ?

a- Oui

b- Non

- 15- Ces pistes subissent-elles un surcreusement ?
a- Oui b- Non
- 16- Si oui, où vont ces matériaux ?
- 17- Le cours d'eau a-t-il subi des modifications ?
a- Oui b- Non
- 18- Faites-vous un lien entre cette modification et le surcreusement de pistes ?
a- Oui b- Non
- 19- Quels sont les causes de ces modifications ?
- 20- De quelle nature sont les éléments transportés ?
a- Boue b- Sable
c- Gravier d- Branches e- Autres
- 21- Est-ce que votre activité favorise-t-elle ces modifications ?
a- Oui b- Non
- 22- Comment se manifeste-t-il ?
- 23- Souffrez-vous de ces évolutions ?
a- Oui b- Non
- 25- Menez-vous des opérations pour freiner la perte de terre ?
a- Billons b- Bandes enherbées
c- Cordons pierreux d- Reboisement f- Autres
- 26- Quelles solutions préconisez-vous pour réduire l'envasement ?
a- Reboisement autour lac b- Réalisation de cordons pierreux
c- Mise en place de bandes enherbées d- Traitement des ravines
e- Recul des exploitants maraîchers h- Autres
- 27- Y a-t-il eu des actions, informations, formations réalisées par la MOB ?
a- Oui b- Non
- 28- L'élevage détruit-il l'environnement ?
a- Oui b- Non

THEME 2 : LA DEGRADATION DU COUVERT VEGETAL

- 29- Quelles sont les causes de la dégradation du couvert végétal ?
a- La sécheresse b- Les hommes
c- Les animaux d- Dieu
- 30- Par quelles actions l'homme détruit-il la végétation ?
a- Agriculture b- Elevage
c- Coupe de bois d- Feux de brousse
- 31- Quelles sont les actions naturelles ?

a- L'eau

b- Le vent

c- Autre

32- Cela a-t-il des conséquences sur les sols ?

a- Oui

b- Non

33- Observez-vous des pertes de terre ?

a- Oui

b- Non

34- Quelles sont les conséquences de la dégradation du couvert végétal ?

a-Sur l'agriculture :

b-Sur l'élevage :

35- Y a-t-il un reboisement ou un replantage de prévu par la M.O.B ?

a- Oui

b- Non

36- Existe-t-il une relation entre la dégradation du couvert végétal et les modifications des cours d'eau ?

a- Oui

b- Non

QUESTIONNAIRE PECHEUR

Enquêté :

Nom et Prénom :

Ethnie :

Age :

Village :

Sexe :

Autochtone :

THEME 1 : LE PROCESSUS D'ENVASEMENT

1- Etes-vous membre d'un groupement ?

- Oui

- Non

Si oui, lequel ?

2- Depuis quand habitez-vous cette région ?

3- Depuis quand pratiquez-vous la pêche à Bagré ?

4- Utilisez-vous :

a- Pirogue

b- Canes à pêche

c- Filets

d- Autres

5- Vous arrive-t-il de pêcher à pied ?

a- oui

b- non

6- Si oui, à quels endroits du lac rencontrez-vous le plus de boue, sable ?

a- Au milieu

b- Vers les berges

c- Autres

7- Pouvez-vous estimer la profondeur ?

a- 0-50cm

b- Plus de 50cm

8- D'où provient cette boue ?

9- Le lac a-t-il perdu de sa profondeur ?

10- Quelle est la cause de cette diminution de la profondeur ?

a- Dépôts de sédiments dans le lac b- Baisse pluviométrique c- Autres

11- Comment cela se manifeste-t-elle ?

12- Cela a-t-il des répercussions sur vos prises ?

a- Oui b- Non

13- Quelles solutions préconisez-vous ?

14- Quelles solutions préconisez-vous pour réduire l'envasement ?

a- Reboisement autour du lac b- Réalisation de cordons pierreux,
c- Mise en place de bandes enherbées d- Traitement de ravines
e- Recul des exploitants maraîchers f- Curage
g- Vidange h- Autres

15- Y a-t-il eu des actions, informations, formations réalisées par la MOB ?

a- Oui b- Non

THEME 2 : LA DEGRADATION DU COUVERT VEGETAL

16- Quelles sont les causes de la dégradation du couvert végétal ?

a- La sécheresse b- Les hommes
c- Les animaux d- Dieu

17- Par quelles actions l'homme détruit-il la végétation ?

a- Agriculture b- Elevage
c- Coupe de bois d- Feux de brousse

18- Quelles sont les actions naturelles ?

a- L'eau b- Le vent c- Autre

19- Cela a-t-il des conséquences sur les sols ?

a- Oui b- Non

20- Observez-vous des pertes de terre ?

a- Oui b- Non

21- Quelles sont les conséquences de la dégradation du couvert végétal ?

a- Sur l'agriculture : b- Sur l'élevage :

22- Y a-t-il un reboisement ou un replantage de prévu par la M.O.B ?

a- Oui b- Non

23- Existe-t-il une relation entre la dégradation du couvert végétal et l'ensablement du lac ?

a- Oui b- Non

TABLE DES MATIERES

RÉSUMÉS	3
REMERCIEMENTS	5
SOMMAIRE	7
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS UTILISÉS	8
INTRODUCTION GÉNÉRALE	13
PARTIE 1: Bagré et la Doubégué, une région en mutation	27
Chapitre 1 : Un contexte physique peu favorable	31
1.1 Une pluviométrie irrégulière sous l'impact de la péjoration climatique	31
1.1.1 Le Burkina Faso dépendant du Front Inter Tropical	32
1.1.1.1 <i>Le FIT synonyme de précipitations.....</i>	32
1.1.1.2 <i>La mousson africaine et les lignes de grains résultantes : moteur des précipitations</i>	33
1.1.2 La sécheresse des années 1970 et 1980	35
1.1.2.1 <i>L'impact sur la réduction pluviométrique</i>	36
1.1.2.2 <i>Les boucles de rétroactions : risque de maintien et d'amplification de la sécheresse</i>	37
1.1.3 Un nouveau contexte de sécheresse	39
1.1.3.1 <i>Une variabilité pluviométrique, aggravée par la péjoration Climatique</i>	39
1.1.3.2 <i>Les températures et l'ensoleillement</i>	42
1.1.3.3 <i>L'évapotranspiration et l'humidité</i>	42
1.1.3.4 <i>Les vents.....</i>	43
1.1.3.5 <i>Un contexte de sécheresse toujours présent</i>	44
1.2 Un vaste glacis	46
1.2.1 Le Burkina Faso au cœur du bouclier Ouest Africain	46
1.2.2 Une immense pénéplaine	48
1.2.2.1 <i>La région de Bagré, un vaste glacis</i>	49
1.2.2.2 <i>Les cuirasses, armature du relief de la région de Bagré</i>	50
1.2.2.3 <i>Les grandes unités géomorphologiques du bassin versant de Bagré.</i>	52
1.2.3 Le bassin versant de la Doubégué : une opposition de rives	53
1.3 La prédominance des sols pauvres	56
1.3.1 La prépondérance des sols ferrugineux tropicaux lessivés	58
1.3.2 La présence modérée des sols peu évolués d'érosion réogolique... ..	58
1.3.3 ... et des sols hydromorphes	59
1.3.4 Des lithosols peu présents	60
1.3.5 Des sols bruns eutrophes tropicaux à caractère vertique peu étendus	60
1.4 Une végétation « naturelle » savanique qui tend à disparaître sous l'action anthropique	61
1.4.1 Un secteur de transition entre les forêts guinéennes et les savanes herbeuses .	62
1.4.2 Une végétation marquée par l'empreinte humaine	68
1.4.3 Une faune sous la menace climatique et anthropique	69
1.5 Le Nakambé, seconde artère du corps burkinabé	70
1.5.1 L'Alphée « un cours d'eau qui fait rêver »	70

1.5.1.1	<i>Le second bassin hydrologique burkinabé</i>	70
1.5.1.2	<i>Le premier bassin démographique burkinabé</i>	74
1.5.2	Des écoulements de surface liés aux fluctuations pluviométriques saisonnières	75
1.5.3	Le Nakambé, un fleuve affecté par la péjoration climatique	76
1.5.4	Le barrage de Bagré comme <i>eldorado</i>	77
1.5.4.1	<i>Quelques données techniques</i>	77
1.5.4.2	<i>Un lac qui attire : immigration et recompositions territoriales</i>	79
1.5.5	Le bassin versant de la Doubégué, liaison entre Tenkodogo et Bagré	82
Chapitre 2	Une anthropisation en pleine mutation	85
2.1	Une occupation ancienne bouleversée au cours du XXème siècle	85
2.1.1	A l'origine, le Pays Bissa	85
2.1.1.1	<i>Un espace fortement peuplé</i>	85
2.1.1.2	<i>Le peuplement en Pays Bissa</i>	86
2.1.2	L'ère coloniale et l'Indépendance	86
2.1.2.1	<i>La modification des pratiques culturelles sous l'ère française</i>	88
2.1.2.2	<i>Le développement de l'onchocercose jusque dans les années 1970...</i>	88
2.1.2.3	<i>L'adaptation des populations à l'expansion de la maladie : « vallées désertes » et « plateaux surpeuplés » (LACOSTE, 1980)</i>	89
2.1.2.4	<i>L'éradication du fléau : l'essor de la vallée</i>	91
2.1.2.5	<i>Les conséquences sanitaires de la mise en eau du barrage de Bagré ..</i>	93
2.2	Le mode de contrôle foncier actuel : coexistence des systèmes traditionnel et moderne	94
2.2.1	Le droit avant l'Indépendance, un droit traditionnel puis coutumier	95
2.2.2	Le droit moderne : « révolutionnaire »	95
2.2.3	L'interconnexion des lois modernes et traditionnelles	97
2.2.4	Les cas particuliers de l'arbre et de l'eau	97
2.3	Les types de cultures et l'évolution des modes d'occupation des sols	98
2.3.1	La prédominance de l'agriculture pluviale de faible productivité	98
2.3.1.1	<i>Les principales denrées alimentaires cultivées</i>	98
2.3.1.2	<i>Les cas particuliers du coton et des arbres utiles</i>	102
2.3.2	Une région non exempte de cultures maraîchères	108
2.3.3	De petites exploitations familiales prédominantes	110
2.3.4	Le calendrier agricole	112
2.3.4.1	<i>La préparation des sols</i>	112
2.3.4.2	<i>Le labour et les semailles</i>	113
2.3.4.3	<i>Le sarclage</i>	113
2.3.4.4	<i>L'épandage des engrais et les traitements phytosanitaires</i>	114
2.3.4.5	<i>Les récoltes</i>	114
2.3.5	Les systèmes d'association et de rotation, et le problème des intrants	115
2.3.5.1	<i>Les systèmes d'association et de rotation des cultures</i>	115
2.3.5.2	<i>L'emploi croissant des intrants</i>	116
2.4	Les années 1980 et 1990, l'accroissement de l'élevage et ses conséquences	119
2.4.1	L'arrivée des « nouveaux peul », une pression grandissante sur le milieu	119
2.4.1.1	<i>L'implantation des Peul dans la région de Bagré</i>	119
2.4.1.2	<i>L'arrivée des migrants : une pression croissante sur l'environnement</i>	120
2.4.2	L'élevage, entre résistance et résignation	121
2.5	Les autres activités du bassin, entre continuité et développement	123
2.5.1	La pêche, un secteur prometteur déjà remis en cause	123
2.5.2	Le commerce, un secteur en essor relayé par le tourisme	126

2.6 Une région entre pression démographique et diminution des disponibilités en ressources naturelles	127
Conclusion de la Partie 1	130
PARTIE 2 : Une érosion croissante des sols vécue par les populations	131
Chapitre 3 : Des agents et des facteurs « naturels » amplifiés par l'agent anthropique	137
3.1 L'action prédominante du ruissellement, relayée par le vent	137
3.1.1 L'agressivité des pluies, le point de départ	137
3.1.1.1 L'importance de l'effet splash sur des sols pauvres et cultivés	138
3.1.1.2 L'agressivité des pluies en début d'hivernage	140
3.1.1.3 Un risque érosif amplifié	141
3.1.2 Le ruissellement, agent principal dans le bassin versant de la Doubégué	142
3.1.3 Les agents éoliens et thermiques comme relais	146
3.2 La pauvreté des sols et la topographie : deux facteurs secondaires	148
3.2.1 Des sols sableux soumis à l'érosion hydrique	149
3.2.1.1 Prélèvements et analyses des sols du bassin versant de la Doubégué	150
3.2.1.2 Résultats : la prédominance de sables grossiers	151
3.2.2 La prédominance de faibles pentes	155
3.3 Le couvert végétal, facteur primordial et prédominant	156
Chapitre 4 : La régression du couvert végétal : l'impact de l'agent anthropique	161
4.1 Méthodologie de l'étude diachronique	162
4.1.1 Retour historique sur la télédétection	162
4.1.2 Données et outils	162
4.1.3 Méthodes de traitement et d'analyse	165
4.2 Réalisation et résultats	169
4.2.1 Une cartographie révélatrice de l'immigration, années 1980 – 1990	170
4.2.1.1 Contexte historique du peuplement	170
4.2.1.2 Des formations « naturelles » dominantes au milieu des années 1980	170
4.2.1.3 Un secteur médian de plus en plus mis en culture : 1995	172
4.2.1.4 1986 - 1995 : une anthropisation croissante	176
4.2.2 L'accélération du processus de dégradation, la fin des années 1990 et les années 2000	180
4.2.2.1 L'extension de la mise en culture continue	180
4.2.2.2 La fin d'une protection végétale du secteur aval	183
4.2.3 Des facteurs aggravant la dégradation des sols du bassin de la Doubégué	187
4.2.4 L'occupation des sols dans le bassin versant du lac de barrage de Bagré	189
4.3 La régression du couvert végétal et la dégradation des sols, des facteurs et des conséquences variés	191
4.3.1 Les facteurs anthropiques de la dégradation	192
4.3.1.1 La mise en cause des pratiques culturelles.....	193
4.3.1.2 L'élevage	195

4.3.1.3	<i>La surutilisation du bois et la déforestation</i>	198
4.3.1.4	<i>Les feux de brousse</i>	199
4.3.1.5	<i>Les effets des éléments linéaires permanents</i>	200
4.3.1.6	<i>Conclusion sur les facteurs anthropiques de la dégradation</i>	204
4.3.2	<i>L'accroissement des écoulements de versant, révélateur des processus d'érosion</i>	205
4.3.2.1	<i>Un fort accroissement dans la zone nord (moins de 700 mm)</i>	205
4.3.2.2	<i>A relativiser dans les bassins de la Doubégué et du lac de Bagré</i>	206
4.4	Un fait mis en évidence, vécu et subi par les populations locales	207
4.4.1	<i>Méthodologie</i>	207
4.4.2	<i>Une perte de la fraction sableuse sous l'influence directe du ruissellement</i>	209
4.4.3	<i>La prise de conscience de la dégradation du couvert végétal</i>	210
4.4.3.1	<i>Une dégradation apparue graduellement, s'emballant depuis 2005</i>	210
4.4.3.2	<i>Beaucoup de plants...mais peu de suivi, la question de « l'écologie spectacle »</i>	212
4.4.4	<i>Un impact humain, avant tout</i>	214
Chapitre 5 : L'homme principal acteur du développement de l'érosion hydrique linéaire		221
5.1	Une érosion hydrique diffuse avant tout	222
5.1.1	<i>L'érosion pluviale</i>	222
5.1.2	<i>L'érosion hydrique diffuse</i>	223
5.1.2.1	<i>Les différents formes et étapes de l'érosion hydrique</i>	224
5.1.2.2	<i>Vitesse d'arrachement et de transport de l'écoulement</i>	226
5.1.2.3	<i>Les limites de l'emploi de l'USLE dans le bassin de la Doubégué</i>	227
5.2	Un impact de l'érosion linéaire croissant sous l'influence humaine	228
5.2.1	<i>Un ravinement originel de bas de versant</i>	228
5.2.2	<i>Les formes de l'érosion linéaire</i>	230
5.2.3	<i>L'amplification de l'érosion linéaire par l'emprise humaine</i>	233
5.2.3.1	<i>Le creusement et l'élargissement des cours d'eau</i>	234
5.2.3.2	<i>Les zones nues le long de la route reliant la RN 16 et la R 12</i>	236
5.2.3.3	<i>Les marques le long de la RN 16</i>	238
5.2.3.4	<i>Les formes d'érosion linéaire observable le long des pistes</i>	242
5.2.3.5	<i>L'accélération de la mise en place des ravins</i>	244
Conclusion de la Partie 2		251
PARTIE 3 : Des modifications hydrologiques croissantes vécues par les populations		253
Chapitre 6 : La Doubégué, témoin d'un processus érosif amplifié : l'apport de la turbidité		259
6.1	L'étude de la turbidité : généralité, méthodologie et limites	259
6.1.1	<i>La turbidité en milieu tropical : contexte mondial, contexte local</i>	260

6.1.1.1 Définition	260
6.1.1.2 Peut-on parler de pollution ?.....	261
6.1.1.3 Des unités de mesures.....	262
6.1.1.4 Des normes et des seuils différents selon les lieux	263
6.1.1.5 Petit tour du Monde en quelques valeurs de turbidité	264
6.1.1.6 Les causes de la turbidité	265
6.1.2 Méthodologie utilisée : représentativité, technique, limites	266
6.1.2.1 Choix des sites	266
6.1.2.2 Des prélèvements aux analyses.....	270
6.1.2.3 Les biais liés à la méthodologie	271
6.1.3 La dégradation spécifique et la répartition entre les différents types de matériaux	272
6.2 Résultats : une eau trouble qualifiée à juste titre « d'Africaine »	273
6.2.1 L'importance des saisonnalités climatiques et agricoles	273
6.2.2 Des sols originels pauvres et des événements météorologiques intenses dans un contexte de dégradation du couvert végétal	276
6.2.3 Conclusion : un lien turbidité/érosion prégnant, accentué par l'emprise humaine	303
6.2.3.1 L'impact des variations interannuelles.....	303
6.2.3.2 L'importance de la variabilité temporelle durant l'hivernage	304
6.2.3.3 Une variabilité spatiale	307
6.2.3.4 Le couvert végétal, premier facteur explicatif des valeurs de turbidité	308
6.3 Un paysage hydrographique modifié, conscientisé par les acteurs	312
6.3.1 Pertes en terre et en eau, une relation de cause à effet bien établie	313
6.3.2 Un impact des activités plus ou moins bien conscientisé	315
6.3.3 La dégradation du couvert végétal, cause des modifications de la physionomie des cours d'eau	316
6.4 L'étude des caractéristiques physico-chimiques du lac de Bagré et de la qualité de la Doubégué	318
6.4.1 L'étude de la bathymétrie et de la turbidité du lac de barrage de Bagré	318
6.4.2 Une faible minéralisation	321
6.4.3 Des taux de phosphates préoccupants : une pollution diffuse	325

Chapitre 7 : Risques environnementaux et humains dans le bassin versant de la Doubégué et du lac de Bagré

7.1 Des risques pour l'environnement	332
7.1.1 Une distinction spatiale des risques environnementaux	332
7.1.1.1 Les risques physiques et morphologiques	332
7.1.1.2 Les risques chimiques	334
7.1.1.3 Les risques pour les organismes aquatiques	336
7.1.2 Un exemple inquiétant : les pesticides	337
7.2 « L'urgence environnementale est avant tout une urgence sanitaire et sociale »	341
7.2.1 Une pollution microbiologique	341
7.2.1.1 Un risque préexistant	341

7.2.1.2 Un risque renforcé par l'accroissement de la turbidité	343
7.2.2 Agriculture et risques sanitaires	350
7.2.2.1 Historique sur l'emploi des pesticides au Burkina Faso	351
7.2.2.2 Les principaux types de pesticides employés au Burkina Faso	353
7.2.2.3 Toxicité des pesticides et pertes en terre : un risque amplifié	356
7.2.2.4 Les autres risques liés à l'utilisation des pesticides	358
7.3 Coûts et conflits d'usage	362
7.3.1 Un manque de financement et d'actions	362
7.3.1.1 Une population pauvre, un faible recours au CSPS	362
7.3.1.2 Une turbidité élevée synonyme de pollution, mais peu d'actions	364
7.3.2 Des conflits d'usage préexistants dorénavant exacerbés	368
Conclusion de la Partie 3	373
 PARTIE 4 : Pour une gestion intégrée dans le bassin versant de la	
Doubégué : quelles solutions ?	375
 Chapitre 8 : Des solutions face à des acteurs multiples : un manque de cohésion et de	
planification	379
8.1 L'approche protectrice des années 1970 et 1980	380
8.1.1 Des CES/DRS purement protectrices	380
8.1.2 La prise de conscience de l'importance de l'association sol / eau / biomasse /	
homme : les GCES	381
8.1.2.1 Le développement des GCES	381
8.1.2.2 Le PDR/B, principal acteur dans le bassin versant de la Doubégué .	382
8.1.2.3 Les principales techniques.....	383
8.1.2.4 L'importance du développement des associations.....	386
8.2 Un type d'action poursuivi à l'heure actuelle par la MOB	387
8.2.1 La mise en défens des berges	389
8.2.2 L'aménagement des forêts naturelles	389
8.2.3 Les plantations à grande échelle	390
8.2.4 L'appui à la commercialisation du bois et l'agroforesterie	391
8.2.5 La création de sanctuaire animalier	392
8.3 La création de la zone pastorale de la Doubégué	394
8.3.1 La mise en place du cadre théorique	394
8.3.2 La matérialisation	395
8.3.3 Un manque de moyens financiers et techniques	396
8.3.4 Le risque de la séparation de l'agriculture et de l'élevage	397
8.3.5 L'importance d'une rectification et de la mise en place d'un développement	
intégré	399
8.3.6 Pour une gestion efficace de l'environnement	400
8.4 Essais d'intégration de différents types de solutions	401
8.4.1 Le PROGEREF ou le début de la mise en place de solutions intégrées associant	
la promotion des populations et la protection de l'environnement	402

8.4.1.1 L'essor du <i>PROGEREF</i>	402
8.4.1.2 Une approche participative pour une meilleure gestion des ressources forestières	403
8.4.1.3 Des micro-projets et des infrastructures : pour une participation effective	405
8.4.2 Le PADAB II, remplaçant éclairé du PDR/B	405
8.4.2.1 Le cadre de mise en œuvre et les objectifs du PADAB II	405
8.4.2.2 L'élaboration d'un micro-projet	407
8.5 Une volonté de création de richesses	409
8.5.1 L'association Dakupa : le recul de la protection environnementale « au profit » de l'humain	409
8.5.2 Les semences améliorées dans la région de la Doubégué : l'ATTRA/B	410
8.5.3 Les AGR : nouveau cheval bataille du développement	412
8.5.4 La promotion des foyers améliorés, l'exemple de l'association sauler	414
8.6 Les solutions appliquées et souhaitées par les populations de la Doubégué	415
8.6.1 Les solutions choisies pour faire face aux pertes en terre et aux modifications hydrographiques	417
8.6.1.1 Fosse fumière et reboisement	417
8.6.1.2 Les cordons pierreux une action ancienne, toujours à l'ordre du jour	418
8.6.2 La volonté d'accroître les rendements au détriment d'une protection environnementale	422

Chapitre 9 : Des « pierres précieuses », en prospection, pour un développement global

9.1 L'arbre de la vie, le <i>Moringa oleifera</i> : futur diamant du Burkina Faso	426
9.1.1 Une plante venue de l'Inde aux applications diverses et multiples	426
9.1.2 La graine du Moringa, purificatrice et productrice d'huile	428
9.1.2.1 L'élaboration du purificateur et son domaine d'action	429
9.1.2.2 Son application dans le bassin versant de la Doubégué	430
9.1.2.3 Une utilisation complémentaire, la production d'huile	431
9.1.3 Les feuilles et les cosses du Moringa comme complément nutritionnel	432
9.1.4 L'arbre comme protecteur de l'environnement et enrichisseur des sols	435
9.1.5 Les autres applications actuelles et à court terme	436
9.1.6 L'implantation locale du Moringa, l'exemple encourageant de Garango	438
9.2 Le <i>Jatropha curcas</i> ... l'émeraude du Burkina Faso ?	440
9.2.1 Le rêve de la production d'un agrocarburant	440
9.2.1.1 La mise en place du <i>Jatropha curcas</i> au Burkina Faso	441
9.2.1.2 Les types de filières de production à partir du <i>Jatropha curcas</i>	443
9.2.2 Le <i>Jatropha curcas</i> : protecteur et régénérateur de l'environnement	446
9.3 Le neem, un engrais et un insecticide naturel : le péri-dot du Burkina Faso	448
9.3.1 Le margousier ou <i>Azadirachta indica</i>	448
9.3.2 Un insecticide naturel à expérimenter dans le bassin de la Doubégué	449
9.4 La combinaison <i>Jatropha</i> - <i>Moringa</i> - <i>Neem</i> : une solution intégrée autour du lien eau - sol - végétation - société	452

9.4.1 Retour sur les principales vertus de ces trois « pierres précieuses »	452
9.4.2 Un nouveau mode d'organisation et de répartition pour un rendement socio-économico-environnemental optimum	453
Chapitre 10 : La GIRE comme cadre d'action et l'importance d'un développement économique régional	459
10.1 La question de la mise en place d'une gestion intégrée de l'eau et des sols par bassin versant	460
10.1.1 La gestion intégrée de l'eau par bassin versant	460
10.1.2 Une variante, la GIRE au Burkina Faso	462
10.1.2.1 Origines et définitions de la GIRE.....	462
10.1.2.2 L'instauration de la GIRE au Burkina Faso	465
10.1.2.3 La décentralisation burkinabée, élément essentiel à la mise en place de la GIRE	466
10.1.2.4 Les organes mis en place au Burkina Faso	466
10.1.2.5 Une nouvelle gestion : nouvelles interrogations pour son application	467
10.1.2.6 L'importance d'une mise en place progressive	468
10.1.3 Pour une gestion intégrée globale : le lien sol - eau - végétation - société ...	470
10.2 L'essor économique de la région	473
10.2.1 Le développement éco-touristique de Bagré	474
10.2.2 Une région agro-piscico-pastorale aux ambitions multiples	477
10.2.3 L'essor de Tenkodogo et de son hinterland	480
10.2.3.1 Tenkodogo ou l'intégration régionale	480
10.2.3.2 Pour un nouveau pôle commercial et industriel	481
10.2.3.3 Et pour une intégration transfrontalière	484
Conclusion de la Partie 4	489
CONCLUSION GÉNÉRALE	491
BIBLIOGRAPHIE	501
LISTE DES FIGURES, DES TABLEAUX, DES PHOTOGRAPHIES ET DES PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES	521
ANNEXE	527
TABLE DES MATIÈRES	533