

## SOMMAIRE

AVANT PROPOS	4
INTRODUCTION GENERALE	5
<b>PREMIERE PARTIE : CARACTÉRISATIQUES PHYSIQUES ET HUMAINES DU BASSIN VERSANT</b>	<b>11</b>
CHAPITRE I : LES CARACTERISTIQUES BIOPHISIQUES DU BASSIN VERSANT	13
CHAPITRE II : LES CARACTÉRISTIQUES MORPHOMÉTRIQUES DU BASSIN VERSANT	22
CHAPITRE III : LES FACTEURS THERMIQUES DU BASSIN VERSANT	27
CHAPITRE IV : LA POPULATION ET LEURS ACTIVITÉS DANS LE BASSIN VERSANT	30
CHAPITRE V : ÉTUDE DE LA PLUVIOMÉTRIE DANS LE BASSIN VERSANT	36
<b>DEUXIEME PARTIE : ETUDE DE LA PLUIE ET DE LA PREDETERMINATION DES CRUES DANS LE BASSIN VERSANT</b>	<b>36</b>
CHAPITRE V : ÉTUDE DE LA PLUVIOMÉTRIE DANS LE BASSIN VERSANT	37
CHAPITRE VI : LES ECOULEMENTS DANS LE BASSIN VERSANT	47
CHAPITRE VII : PREDETERMINATION DES CRUES DU BASSIN VERSANT	48
CONCLUSION	53
BIBLIOGRAPHIE	55
TABLE DES MATIERES	57

## AVANT PROPOS

Ce travail a bénéficié de l'appui et du soutien de nombreuses personnes. Nous voulons saisir l'opportunité qui nous est ainsi offerte pour leur exprimer notre sincère et profonde gratitude.

Nous remercions le Professeur **Alioune KANE** du département de géographie de l'UCAD qui a bien voulu assumer la direction scientifique de ce travail de recherche.

Nous remercions vivement **Madame Awa Niang FALL** qui nous a beaucoup aidé malgré ses lourdes responsabilités d'enseignant- chercheur. J'apprécie ici son amour de la recherche, sa détermination et ses qualités d'intellectuelle moderne. Nous profitons de l'occasion pour lui adresser notre entière reconnaissance pour sa disponibilité, ses conseils et ses qualités humaines.

Ce travail n'aurait pu prendre forme sans l'appui incontestable de **Mme BÉYE, Anastasie Mendy** assistante au département de géographie de l'UCAD<sup>1</sup>. En effet c'est elle qui a attiré notre attention sur les notions hydrométriques. Elle nous a gracieusement offert une documentation nécessaire. Elle n'a ménagé ni temps ni peine dans la lecture et la correction de notre manuscrit. Nous tenons vraiment à lui exprimer toute notre gratitude et nos remerciements. Sa rigueur scientifique, sa générosité et sa disponibilité nous ont fasciné.

A tous les professeurs du département de géographie, qu'ils trouvent ici l'expression de mes sincères remerciements pour les efforts consentis dans ma formation universitaire.

Qu'il me soit permis de remercier gracieusement mes parents. A ma mère, à mon père pour tous les efforts et sacrifices consentis dans mon éducation depuis la maison jusqu'à l'université.

Je ne saurais terminer sans exprimer ma profonde gratitude à M. Cissé de la DGPR<sup>2</sup>, le personnel de l'IRD Dakar et de Niakhar ainsi que tous mes camarades, amis, frères et sœurs.

Ma profonde gratitude à tous mes amis étudiants et à toutes les personnes ayant contribué d'une forme ou d'une autre à la réalisation de ce travail.

---

<sup>1</sup> Université Cheikh Anta Diop de Dakar

<sup>2</sup> Direction de Gestion et de Planification des Ressources en Eau

## **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

### **a) Contexte et justification**

Au Sénégal et dans les pays sahéliens, depuis deux décennies, la péjoration climatique associée à la croissance démographique et à la dégradation des terres ont profondément altéré les conditions de mises en valeurs agricoles traditionnelles. Cette partie de l'Afrique est de plus en plus influencée par la dualité des phénomènes extrêmes : sécheresse-inondation : trop d'eau ou pas assez (Coly A, 1996). Les populations des zones rurales sont de plus en plus vulnérables. De ce fait l'adaptation ou la protection des ressources naturelles est devenue un leitmotiv sérieux pour le développement durable des sociétés. Le recours systématique aux eaux souterraines pour alimenter les populations et le bétail est un impératif de développement du fait de la dégradation de la qualité et de l'insuffisance des eaux de surface consécutives à la forte baisse de la pluviométrie. Le problème de la gestion de l'eau se pose aussi surtout dans les pays en voie de développement comme un impératif en termes de développement économique et social des sociétés rurales.

Pour pallier les conséquences du déficit hydrique de ces dernières décennies et l'insuffisance alimentaire, les paysans introduisent de nouveaux systèmes de cultures et modifient l'utilisation de leur terroir en procédant à la récupération des terres jadis marginales et les axes de drainage des eaux de surface.

Pour pallier aussi la baisse de la fertilité des sols et nourrir une population en croissance rapide, les paysans des zones rurales sénégalaïses en particulier ceux du bassin arachidier raccourcissent la durée des jachères jusqu'à leur suppression et commencent à généraliser la fumure organique. Aujourd'hui, La gestion rationnelle des ressources en eau est à prendre en compte dans toutes les stratégies de développement national.

C'est dans ce contexte que l'évaluation et la mise en valeur des bas-fonds et des petits bassins versants à écoulement temporaire apparaissent aux yeux des paysans, des décideurs et des chercheurs comme des pivots incontournables d'une intensification agricole (PH. Lavigne Delville & al, 1996). Ainsi donc, depuis les années 50, les petits bassins versants, surtout ceux de l'Afrique tropicale humide et sèche ont attiré l'attention des chercheurs, en particulier les hydrologues et les ingénieurs agricoles. Ces milieux ont aussi fait l'objet de nombreuses études pour une estimation de leurs ressources hydrologiques afin de mieux s'assurer d'une meilleure valorisation de leurs potentialités hydriques (Rodier J. A. ; 1975). La gestion de cette eau nécessite une bonne connaissance des régimes hydrologiques des bassins versants,

plus particulièrement en période de basses-eaux (*étiages*) ou de hautes-eaux (*crues*) (BODIAN, 2006)

L'estimation des paramètres hydrologiques sur les petits bassins versants d'Afrique tropicale a connu un essor formidable durant ces trois dernières décennies (FAO<sup>3</sup>, 1996). Ces progrès ont été expérimentés dans la région du Sine Saloum (THYSSE KAYMOR<sup>4</sup>, 1991), bien que les expériences ne soient pas généralisées et beaucoup de petits bassins versants sont restés non étudiés comme ce fut le cas dans la zone de Niakhar<sup>5</sup>.

Cette zone se situe entre 14°27' et 14°36' de latitudes Nord et entre 16°24' et 16°34' de longitudes Ouest. Elle est limitée au Nord par le département de Bambey au Sud par les villages méridionaux de la communauté rurale de Diarré à l'Ouest par la communauté rurale de Fissel et à l'Est par les communautés rurales de Patar Sine et de Niakhar. La zone de Niakhar abrite une population de 40.189 habitants (enquêtes IRD, 2010). C'est à l'intérieur de cette zone que se trouve le bassin versant de Toucar à Kotiokh qui couvre une superficie de 91,28 km<sup>2</sup> et un périmètre de 48,10 km.

Ce bassin versant attire de plus en plus la convoitise des agropastoraux qui subissent de pleins fouets la menace de la baisse de la fertilité de leurs terres et de la forte poussée démographique, occasionnant ainsi l'insuffisance alimentaire.

Ainsi au sortir de notre étude menée en maîtrise sur ce bassin versant : *l'étude hydropluviométrique et potentialités des bassins versants de la zone de Niakhar : le cas des bas-fonds du bassin versant de Toucar à Kotiokh*.

Le constat était que ce bassin versant présente un potentiel non négligeable de ressources hydrologiques, végétatives, agricoles et une gamme de sols variés. Cependant la mise en valeur de ces potentialités n'est pas assurée par les populations. L'eau issue de la pluie se perd facilement chaque année soit par infiltration ou ruissellement sans être mise en valeur. Les exploitations maraîchères sont moins denses et sont à faible rendement ; les moyens utilisés ne favorisent pas l'approvisionnement en eau durant la saison sèche.

Cela se justifie aux yeux des paysans et à l'échelle du bassin versant par l'absence d'aménagements hydrologiques, le manque de maîtrise des eaux de ruissellement, le manque de moyens techniques et financiers etc. Pourtant, ce bassin versant concentrent les eaux issues des pluies, facilitent l'approvisionnement en eau du bétail et l'accès facile de certaines populations à l'eau de boisson. Ils favorisent aussi la mise en culture soit avec des variétés

---

<sup>3</sup> Food and Agriculture Organisation

<sup>4</sup> Projet pilote " Sine Saloum " bas-fond de thysse kaymor, rapport de synthèse : hydrologie hydrogéologie

<sup>5</sup> Sur la base de la documentation, il n'a pas d'étude orientée sur la gestion des ressources en eau dans la zone de Niakhar

plus exigeantes en eau comme le sorgho ou le riz. L'existence de nappes souterraines à faible profondeur dans les bas-fonds permet également le développement de l'arboriculture et de la culture maraîchère de contre-saison alimentée en eau à partir de puisards peu profonds. Les bas-fonds constituent donc, malgré leurs superficies peu limitées, des terroirs jadis marginaux aujourd'hui privilégiés, lieux propices aux innovations et aux expérimentations paysannes. Ils présentent en outre l'avantage de sols relativement plus riches que les versants.

Cependant, malgré leur engouement à leur dévotion à l'activité agricole, il manque de la part des paysans une maîtrise et une utilisation rationnelle des eaux du bassin pour l'agriculture aussi bien sous pluie qu'hors saison. Pourtant cette agriculture constitue aujourd'hui l'une des préalables fondamentaux au développement durable de la zone de Niakhar. La maîtrise des eaux passera par la réalisation d'aménagements hydrauliques afin de valoriser la ressource. De ce fait deux catégories d'informations particulièrement importantes et difficiles à estimer en l'absence de réseaux de mesures hydrologiques comme ce fut le cas dans ce bassin versant paraissent nécessaires pour la meilleure valorisation des ressources de la vallée.

Il s'agit d'une part de la parfaite connaissance des caractéristiques biophysiques, climatiques et physiographiques du bassin versant dont leur diagnostic est requis pour une meilleure gestion de la ressource eau. D'autre part, le calcul du volume d'écoulement annuel du bassin versant est nécessaire pour l'estimation du potentiel de développement hydro agricole des bas-fonds et au dimensionnement des barrages de retenus, capitales pour la mise en valeur durable du bassin versant. La prédétermination du volume annuel et de la crue de fréquence décennale sont aussi capitales pour la conception des ouvrages afin de parer la menace progressive de la salinisation des terres de l'aval du bassin. Ainsi, dans la logique d'assister les paysans dans leur tentative de mise en valeur durable des ressources en eau des bas-fonds de ce milieu, le diagnostic des caractéristiques biophysiques et physiographiques du bassin versant mais aussi l'estimation des écoulements annuels, utiles pour prévoir les aménagements hydrologiques semblent être une nécessité. Cette étude "***Caractérisation physiographique et l'estimation des écoulements de surface dans le bassin versant de Toucar à Kotiokh***" à donc un double objectif.

Elle permet de mieux s'accentuer sur la nature biophysique et physiographique du milieu, la qualité des ressources pédologiques. Ensuite elle permet de quantifier les ressources hydrologiques, leurs processus afin de mieux percevoir la nature des ouvrages.

La quête de cette information permettra aux paysans d'avoir une meilleure connaissance de leur terroir, d'avoir une approche quantitative de leurs ressources. Mais aussi de réfléchir sur les activités qu'elles doivent y mener. Cette étude permet aussi d'acquérir des informations

facilitant le dimensionnement de réservoirs adaptés aux caractéristiques hydrologiques du bassin versant, évitant ainsi un surdimensionnement inutilement coûteux des ouvrages (Bulletin FAO<sup>6</sup> d'Irrigation et de Drainage, 1996)

Le ruissellement des eaux du bassin versant de Toucar à Kotiokh provoque par année à pluviométrie excédentaire l'isolement et l'enclavement de certaines localités à causes de la rupture des pistes occasionnant ainsi un accès difficile des populations aux centres de soins de santé primaires, aux échanges inter villageois etc. Ainsi, dans une optique de stimuler une réponse positive à la gestion durable des ressources en eau de ce bassin versant, il devient intéressant de mener cette étude dont les objectifs sont :

**b) Objectif principal**

L'objectif principal de ce travail d'études et de recherches, est que les eaux continentales étant une ressource apte à de multiples usages, dans ce contexte de "sahélisation" et de dégradation exacerbée, il est important de les préserver et d'en faire une utilisation rationnelle. Cela aura certes des conséquences sur les processus naturelles des eaux du bassin mais permettra de diminuer les pertes et rendre la ressource utile aux paysans.

**c) Les objectifs spécifiques**

- Définir l'ensemble des caractéristiques biophysiques, physiographiques et climatiques du bassin versant.
- Estimer l'averse de fréquence décennale et la crue de récurrence décennale.
- Voir la tendance actuelle de l'ensemble des activités menées dans le bassin versant

**d) Hypothèses**

- Le bassin versant de Toucar dispose d'énormes ressources hydrologiques, pédologiques et biogéographiques jouant un rôle prépondérant sur la survie des populations de la zone de Niakhar.
- La prédétermination des écoulements annuels apparaît incontournable pour une mise en valeur durable des ressources du bassin versant de Toucar à Kotiokh.
- L'augmentation de la population et la surexploitation des ressources naturelles contribuent grandement à la raréfaction de la ressource eau dans le bassin versant.

---

<sup>6</sup> Food and Agriculture Organisation

## e) Méthodologie

Elle concerne la documentation et la collecte de données, le travail de terrain et le traitement de données.

### Documentation et collecte des données

Il s'agit pour cette étape de collecter toutes les informations quantitatives et qualitatives se rapportant à notre thème d'étude.

La recherche documentaire qui constitue la première phase du travail a porté sur les documents ayant trait au thème d'étude et aux divers travaux d'aménagement et de gestion des ressources en eau.

La documentation cartographique concerne les cartes au 1/50.000 de la DTGC<sup>7</sup> qui permet d'avoir une couverture d'ensemble de la zone.

Elle concerne aussi le SRTM<sup>8</sup> en format UTM<sup>9</sup> de la zone 28 Nord permettant de mieux saisir la topographie et les pentes de la zone avec une équidistance de un (1) mètre.

Les paramètres climatiques (températures mensuelles, évaporation, et évapotranspiration, vitesse et direction de vent, insolation, humidité relative), et des données pluviométriques annuelles, mensuelles et journalières des stations de Fatick, de Diourbel mais aussi des données pluviométriques des postes de Niakhar, Bambey et de Thiadiaye sont collectés pour servir à cette étude.

### Travail de terrain

Après une recherche documentaire, le travail de terrain a été effectué afin de compléter la recherche d'informations mais aussi de mieux se familiariser avec notre zone d'étude.

Le contact avec les personnes ressources, les usagers des bas-fonds du bassin versant (maraîchers pasteurs) a été nécessaire pour avoir une meilleure appréciation du fonctionnement hydrologique du bassin versant.

Pour le traitement informatique des données plusieurs logiciels ont été utilisés :

- Word pour la saisie

Excel, Hydraccess et CROWAT 8.0, pour le traitement statistique des données surtout des éléments du climat (pluviométrie, température humidité etc.), l'estimation de ETP<sup>10</sup>, mais aussi la détermination de la pluie moyenne, des récurrences et des ajustements sur les pluies.

<sup>7</sup> Direction des Travaux Cartographiques et Géographiques

<sup>8</sup> Shuttle Radar Topography Mission

<sup>9</sup> Universal Transversal Mercator

- ArcViewGIS 3.2a, Arc Gis 9.3 et Global Mapper pour la cartographie.

Toutes les données ainsi traitées ont été analysées et commentées à partir du plan suivant.

**La première partie** portera sur le milieu physique. Elle s'attachera à définir les paramètres géomorphologiques, pédologiques et morphométriques qui influencent les écoulements. Elle traitera également tous les paramètres climatiques à l'exception de la pluviométrie. Elle mettra aussi l'accent sur la dynamique de la population ainsi que les différentes activités menées dans le bassin versant.

**La deuxième partie** sera consacrée au traitement des données pluviométriques et mettra l'accent sur la prédétermination de la crue de projet : une mise en relation des écoulements avec les paramètres physiques et climatiques des bassins pour une estimation rationnelle des débits hydrologiques fiables pour le dimensionnement des ouvrages.

---

<sup>10</sup> Évapotranspiration potentielle.



**PREMIERE PARTIE :**  
**CARACTÉRISATIQUES PHYSIQUES ET HUMAINES DU**  
**BASSIN VERSANT**

## **INTRODUCTION**

Cette partie est consacrée à l'étude des caractéristiques physiques et climatiques du bassin versant. Les facteurs qui déterminent les caractéristiques d'un bassin versant sont sa situation géographique, son relief et l'ambiance climatique dans lequel il beigne. Le bassin subit de très peu l'influence de la mer. Son relief est monotone et influe de peu sur le climat.

Les données climatiques sont tirées du réseau national géré par l'ANAMS<sup>11</sup> qui est responsable de l'acquisition et de la conservation des données climatiques au Sénégal.

L'IRD participe aussi à l'acquisition des données climatiques dans la zone avec la mise en place et le suivi du poste pluviométrique de Niakhar depuis 1982. L'influence de cette station est déterminante dans le bassin versant du fait qu'elle est la plus proche.

L'influence des facteurs climatiques est contrastée et varie entre la saison sèche et la saison humide. Les températures sont élevées par rapport aux zones côtières tandis que la vitesse du vent est faible durant toute l'année mais plus faible durant la saison des pluies. L'évaporation et l'évapotranspiration varient aussi suivant les saisons, elles sont forte pendant la saison sèche et faibles pendant la saison humide à la grande différence de l'humidité relative. Une période de 10 ans est suffisante pour étudier ces facteurs mais dans cette étude, nous disposons de plus de 10 ans de mesures (1991-2010).

La population de la zone évolue en un taux de 1,7 % et occupe une grande partie du bassin versant avec des densités très fortes. Les activités de cette population sont dominées par l'agriculture, l'élevage et le commerce. Aujourd'hui les paysans font recours à l'exploitation maraîchère des rivières du bassin afin de juguler l'insuffisance alimentaire qui influe de plus en plus dans la zone.

---

<sup>11</sup> Agence Nationale de la Météorologie du Sénégal

## CHAPITRE I : LES CARACTERISTIQUES BIOPHISIQUES DU BASSIN VERSANT

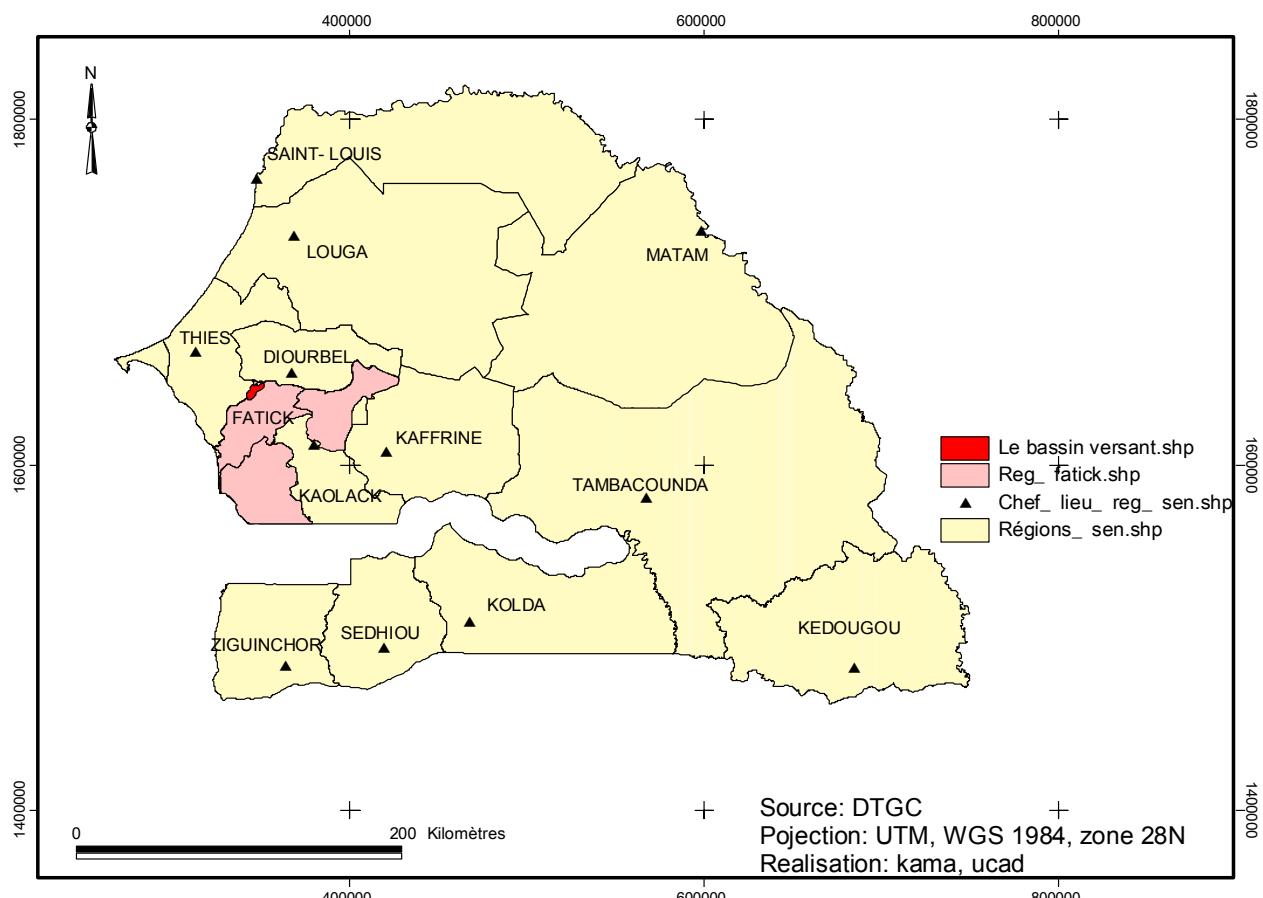
### A. LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

#### 1. La situation du bassin versant

Toute étude nécessite une bonne connaissance du milieu en question surtout s'il s'agit du milieu physique, ainsi nous exposerons en guise de présentation les différentes caractéristiques de la zone d'étude.

D'abord, notre zone d'étude concerne le bassin versant de Toucar à Kotiokh qui est un affluent du fleuve Sine. Il constitue l'un des plus septentrionaux des affluents de la vallée du Sine.

Ce bassin est à cheval sur les régions de Fatick et de Thiès. Il couvre une superficie de 91,28km<sup>2</sup> et un périmètre de 48,10km.



Carte 1: présentation du bassin versant de Toucar à Kotiokh

## 2. Délimitation du bassin

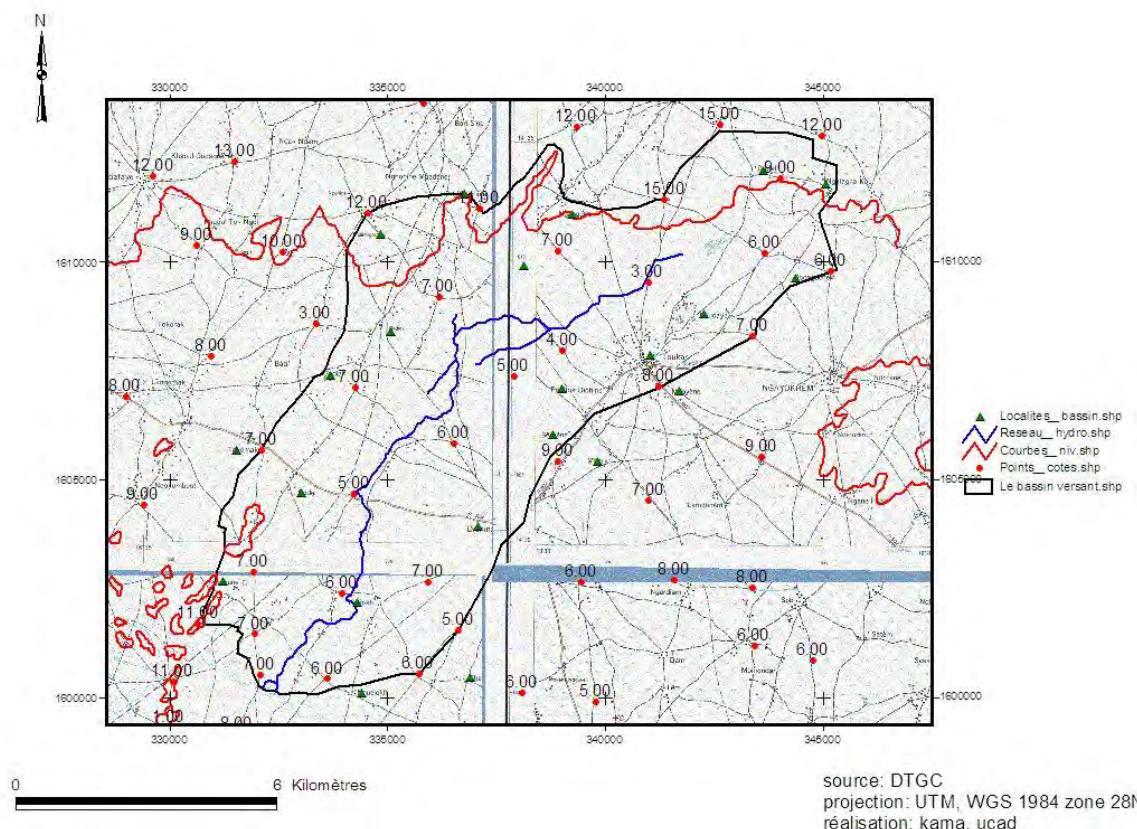
Chaque bassin versant est séparé des bassins versants voisins par une ligne de partage des eaux. Dans les pays où la topographie est très marquée, cette ligne de partage des eaux est déterminée précisément par les lignes de crête (DIENG, S. ; 2009).

Pour notre zone d'étude on dispose de deux types d'informations nous servant à délimiter notre bassin versant.

- La carte topographique de la zone au 1/50000 ; équidistance 10m
- Le SRTM<sup>12</sup> avec des coordonnées UTM<sup>13</sup> de la partie ouest du Sénégal.

La faiblesse des altitudes de la zone (1 à 25 m) mais aussi les équidistances de 10 m sur la carte au 1/50.000 rendent les limites du bassin difficile à identifier.

Ainsi nous tenterons premièrement de délimiter le bassin à l'aide de cette carte topographique en essayant de numériser l'ensemble des courbes de niveau et des points cotés.



**Carte 2 : délimitation du bassin versant**

Ainsi, les données fournies par le SRTM sont plus nettes et nous offrent l'opportunité d'avoir les altitudes de la zone avec une équidistance de 1m. Ce SRTM introduit dans ArcGis, nous

<sup>13</sup> Universal Transversal Mercator

donne une meilleure délimitation de la zone. Il permet aussi de visualiser le réseau hydrographique

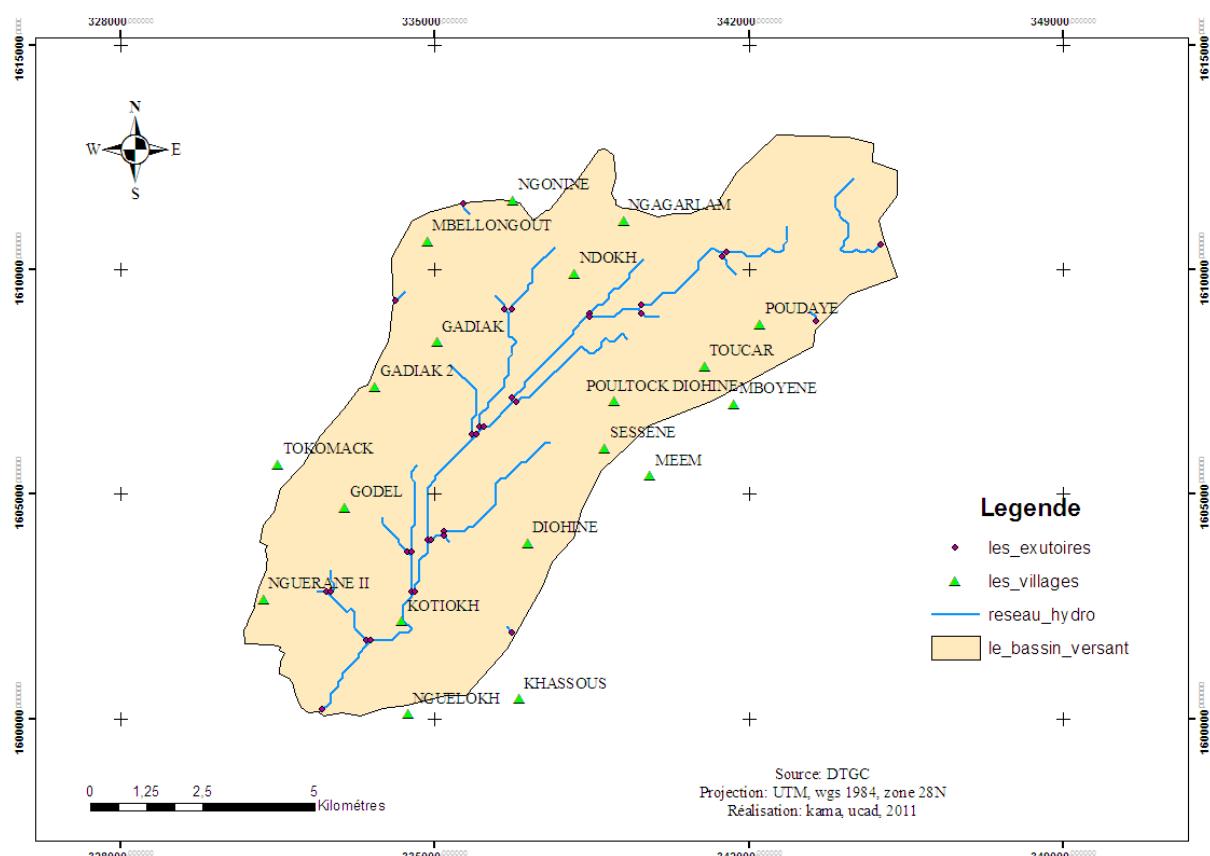
Sur ce SRTM, le cours d'eau bien que temporaire est bien matérialisé, autorisant ainsi de le cartographier avec précision.

Ce SRTM permet de voir tous les points hauts susceptibles de drainer les eaux vers un seul exutoire (bassin versant).

Il nous autorise ensuite de repérer l'ensemble des talwegs qui forme le réseau hydrographique.

Le traitement est fait par le logiciel ArcGis, permettant de ressortir la surface et le périmètre du bassin.

Cependant cette délimitation n'a pas été facile du fait que les altitudes sont très basses. Ce qui se matérialise sur la carte au 1/50000 par un espace des courbes de niveau. A cela s'ajoutent les emplacements des établissements humains rendant difficile le suivi correcte des courbes de niveau à certains endroits. Finalement les données du SRTM ont apporté une meilleure délimitation du bassin versant.



**Carte 3 : bassin versant de Toucar à Kotiokh**

### **3. Géologie et hydrogéologie.**

#### **a) Géologie**

La zone de Niakhar appartient au grand bassin Sénégalo-mauritanien d'âge Secondaire et Tertiaire. Il s'agit de dépôts de calcaires marins, d'argiles et de sables, recouverts d'une série détritique gréseuse appelée Continental Terminal. Ce Continental Terminal est recouvert d'un manteau sableux du quaternaire (MICHEL, P. ; 1973).

**Le Maastrichtien** présente des sables hétérogènes qui sont souvent grossiers, des grés à ciment argilo-calcaire et de l'argile.

**Le Paléocène et l'Éocène** : leurs affleurements sont visibles au Sine Saloum. Ces étages sont constitués surtout de marnes et d'argiles. Les dépôts caractéristiques de l'éocène inférieur sont des argiles (papyracées) blanches ou gris clair, se débitant en plaques, formées essentiellement d'attapulgite. La partie supérieure présente un faciès plus calcaire :

**Le Continental terminal** : pendant cette période, le matériel détritique se dépose dans les parties basses du bassin Sénégalo-mauritanien où il recouvre les séries marines éocènes. Le faciès type est un grès argileux bariolé, blanc-rose ou rouge. Ces dépôts renferment parfois des lits de graviers ; des lentilles et des niveaux d'argile kaolinique y sont intercalés.

**Le Quaternaire** : il est constitué de vastes glacis qui se sont développés par érosion aréale. Ils s'étagent souvent en plusieurs niveaux. C'est pendant cette période que le fleuve Sine c'est formé. Les plus anciens glacis sont couverts d'une cuirasse ferrugineuse plus ou moins épaisse. Le relief est très monotone avec des altitudes qui dépassent rarement 20 m (MICHEL, P. ; 1973).

#### **b) Hydrogéologie**

La description des différentes nappes du bassin versant est tirée des études techniques des forages de Toucar, Ngonine de Diohine et du puits forage de Ngangarlam mais aussi de l'étude réalisée par Caritas-Sénégal sur les conséquences de la consommation de l'eau fluorée (**CARITAS SENEGAL., 2008**).

**Maastrichtien** : est une série puissante, monotone d'environ 250m d'épaisseur, constitué de sables blanc, de sables argileux, de grés à ciment calcaires et d'intercalation argileux. Elle est recouverte par les étages de l'Éocène. C'est aussi l'aquifère la plus importante de la zone et est la source d'alimentation de la plupart des forages de la localité. Sa profondeur varie entre 276m et 376m suivant les localités de la zone. Ses eaux sont salées ou saumâtres.

**Le Paléocène** : est constitué par une alternance de marnes, argiles, marno-calcaires et calcaires karstiques. Son épaisseur moyenne est de 70m. Il alimente la quasi-totalité des puits,

forages-puits et puits forages de la zone. Sa profondeur varie entre 63m et 177m, mais peut atteindre plus dans les plateaux. Le paléocène présente des eaux salées ou saumâtres. Dans la zone ses eaux sont chimiquement comparables au maestrichtien.

**L'Éocène** : il est constitué de deux nappes :

-**L'Éocène inférieur (Yprésien)** : il est essentiellement constitué de série argilo-calcaires avec cependant des calcaires francs karstifiés. C'est un aquifère intéressant mais envahi par les eaux saumâtres.

-**L'Éocène moyen (lutétien)** : il est représenté par deux faciès distincts.

Les calcaires à grandes nummulites constituent un bon aquifère dont le toit est entre 20 et 35m et son épaisseur entre 10 et 25m.

Les marneux-calcaires qui bordent les calcaires et occupent la majeure partie de la zone. Elle est captée dans la zone de Niakhar précisément au niveau du village de Ngangarlam.

Les qualités d'aquifère du l'Éocène sont généralement médiocre, en plus elle présente le plus fort taux de fluor des nappes de la zone (5g/l).

**La Nappe phréatique** ou Continental terminal est représentée par des argiles sableuses, des sables fins plus ou moins argileux et à la base des latérites. Sur l'ensemble de la zone, le Continental Terminal recouvre l'Éocène sur une épaisseur de 10 à 30m ; il constitue le remplissage des formations Éocène dans les vallées creuses notamment le Sine. Il constitue alors un aquifère intéressant avec une profondeur de 2,5 à 5 m à l'intérieur du bassin versant. Elle est sous la menace progressive de la salinisation à l'exception du bassin versant où elle est la source principale d'alimentation en eau de consommation de certains villages (NDOKH, Gadiak) et des maraîchers de la zone.

## B. LA MORPHO-PÉDOLOGIE DU BASSIN VERSANT

### 1. Morphologie du bassin versant

Le bassin versant de Toucar à Kotiokh connaît une dégradation avancée. La vallée se reconnaît aujourd'hui par la végétation résiduelle sous forme de brousse qui entoure le lit mineur. Les escarpements et les ravins à la suite de l'érosion pluviale et éolienne sont prépondérants en amont du bassin où les altitudes sont un peu élevées. Dans cette partie, la brousse s'étend sur une grande surface et constitue le lieu de parcage du bétail pendant la saison des pluies.

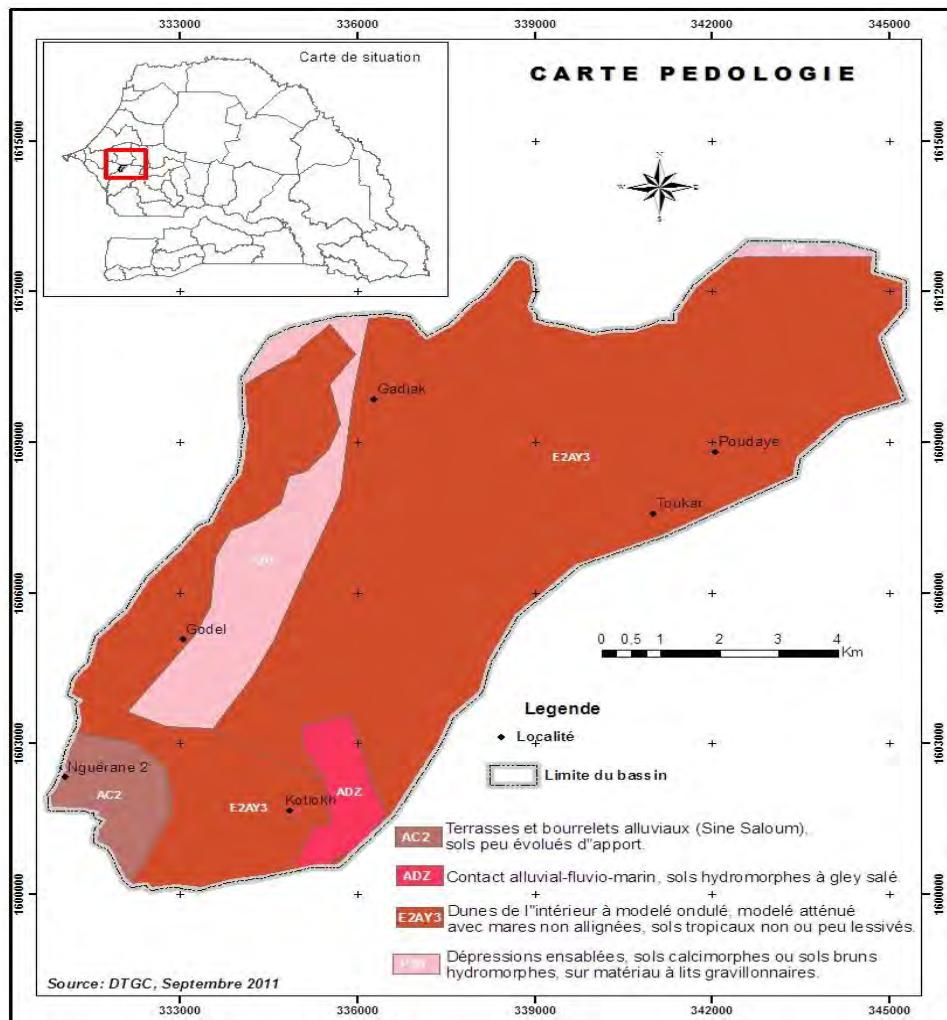
Au milieu et vers l'aval du bassin, la faiblesse des pentes et la surexploitation des terres à des fins agricoles font que la vallée se réduit sur une bande très étroite parfois même difficile à identifier à cause de la perte de la végétation environnante.

## 2. Sols et occupation du bassin versant (carte de la DTGC)

Les données relatives aux sols et à son occupation sont tirées des cartes de la DTGC et sur le livre intitulé les sols du Sénégal (1965).

### a) Les sols.

- **Les sols ferrugineux tropicaux : sols Dior (E2AY3).** Ils sont construits sur sable dunaire. Ces sols ont une grande importance agricole. Ce sont des sols profonds, bien drainés, perméables et faiblement structurés. Leur teneur en argile est très faible (entre 2 et 6%), les sables sont en majeure partie des sables fins. La richesse chimique se situe à un niveau très bas pour tous les éléments chimiques : la carence la plus accusée est celle du phosphore. Cependant le complexe absorbant est assez bien saturé et la réaction est légèrement acide.
- **Les sols Deck-Dior (P2B)** sont des sols de transition entre les Deck et les Dior, encore assez sablonneux pour rester meubles lorsqu'ils se dessèchent, perméables lorsqu'il pleut (PELISSIER, P. 1966). Les termitières y sont abondantes et jouent un rôle fertilisant lorsqu'elles alimentent l'horizon supérieur en argile et en calcium.
- **Les sols Deck** sont légèrement plus argileux et inondés pendant la saison des pluies. Ils occupent les inter-dunes et une partie des bas-fonds. Ils sont de couleur noirâtre. Ces sols représentent 25% de la communauté rurale de Ngayokhéme et 71% de celle de Diarré. Ils sont un peu riches en matière organique et peu résistants à l'érosion. Parmi ces sols Deck ont rencontré une sous-variante qu'est les sols hydromorphes.
- **Les sols hydromorphes** : sont nettement plus argileux et sont localisés aux points les plus bas (bassin versant) ; à leur emplacement il y a de véritables mares pendant l'hivernage. Ces sols présentent une cohésion assez forte et sont de ce fait, difficiles à travailler avec des outils agricoles traditionnels (houe, daba, hiléer). C'est pourquoi ils sont beaucoup moins cultivés que les sols Dior voisins. Leur richesse chimique est plus élevée que celle des Dior mais les carences en phosphore et en soufre restent très marqués. Ces sols présentent au Sud-Est de la zone une variante hydromorphe (**ADZ**) à Gley salé suite au contact alluvial-fluvio-marin. Ils présentent aussi des sols de terrasses et de bourrelets alluviaux peu évolués d'apport (**AC2**) localisés principalement au niveau du marigot de Nguérane (Sud-Ouest de la zone du bassin versant).



**Carte 4 : pédologique du bassin versant.**

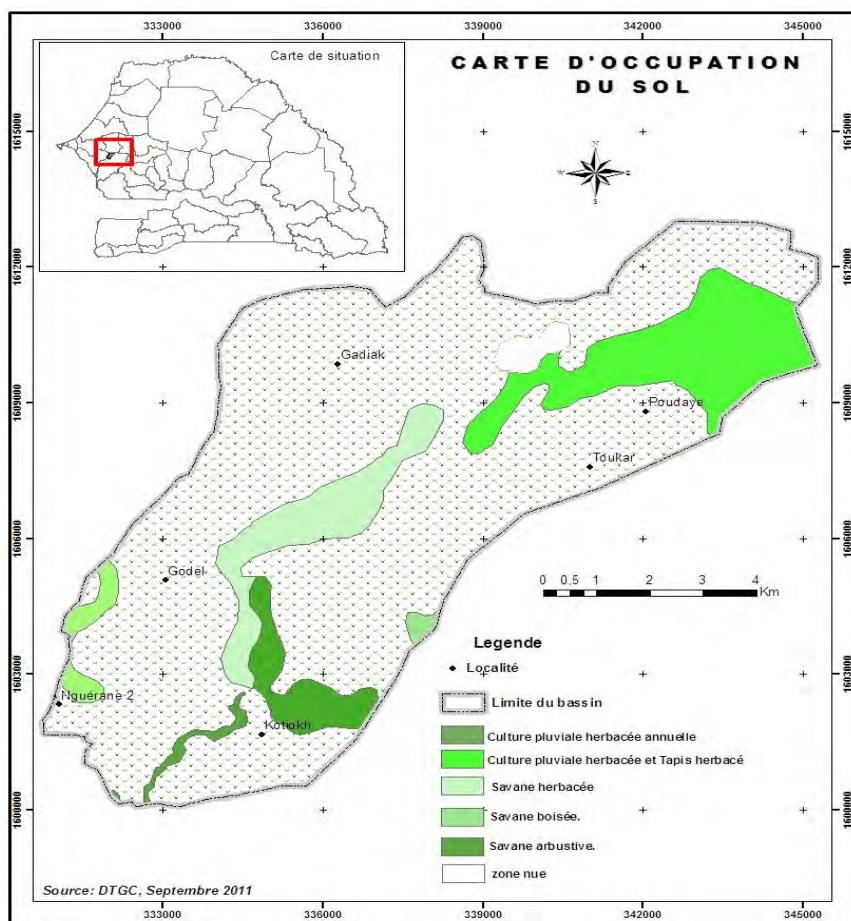
### b) Végétation et occupation du sol du bassin versant

La végétation influe directement sur l'écoulement. Elle joue un rôle d'hydro-régulatrice. La résistance à l'écoulement est d'autant plus grande que le couvert végétal est plus dense (BODIAN, 2006). Elle est fonction de la topographie du bassin versant et du domaine climatique où l'on se trouve. Le couvert végétal retient, selon sa densité, sa nature et l'importance de la précipitation, une proportion variable de l'eau atmosphérique. Cette eau d'interception est en partie soustraite à l'écoulement. C'est dans ce contexte que DACOSTA H. 1989 écrit : « *la végétation constitue avec le relief, l'élément le plus déterminant des paysages du fait de son immobilisme apparent et de son action sur les facteurs physico-chimiques dont elle procède par ailleurs. C'est aussi avec le relief un des facteurs les plus important du régime des cours d'eau d'où l'importance qu'elle revêt dans la compréhension des mécanismes hydrologiques d'un bassin versant* ». Dans ce bassin sa dégradation s'accentue du fait du déficit pluviométrique de ces dernières décennies et de l'influence

anthropique croissante ce qui justifie les vastes surfaces nues sur la (carte 5). Ainsi l'influence directe de la végétation est de moins en moins perceptible.

La végétation est aujourd'hui dominée par une savane allant de celle herbacée, boisée à celle où les éphéméro-phytes sont très nombreuses pendant la saison des pluies (*Andropogon spp*, *Cenchrus biflorus*, *Cassia tora*) et constituent le tapis herbacé. Les arbres sont de moins en moins denses avec la disparition quasi exclusive des grands arbres tandis que les arbustes toujours plus nombreux sont soumis à une dégradation avancée (*Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*).

Aujourd'hui, seuls les sols hydromorphes qui occupent les rebords du cours d'eau et une infime partie des sols Deck concentrent une végétation un peu dense.



**Carte 5 : occupation du sol du bassin versant**

### 3. La perméabilité du bassin versant

La perméabilité dépend à la fois des états de surface, y compris le couvert végétal qui peut jouer un rôle important, et des organisations pédologiques internes, principalement par l'intermédiaire des propriétés des horizons humifères.

Le bassin s'insère entièrement sur les formations du continental terminal à sable argileux recouvert par un manteau sableux du quaternaire. On y retrouve aussi surtout à l'amont du bassin versant des latérites ferrugineuses très imperméables et des ravins rendant le milieu inapte à l'agriculture. Les lits des cours d'eau et les différends bas-fonds sont occupés par des alluvions fluviales argileux et sableux du fait de l'invasion des sables issus de l'érosion des versants.

Le reste du bassin est caractérisé par des horizons sableux parfois sablo-argileux ou argileux au niveau du lit mineur de la vallée.

Pour la classification hydrogéologique, la méthode des hydrologues de l'IRD sera utilisée (DUBREUIL, GUISCAFRE, 1971). Cette classification permet de ranger les formations du continental terminal en sept (7) classes de perméabilités allant de P1 à P7. A ces sept classes s'ajoutent deux autres classes d'alluvions dénotées sous forme de S1 et S2.

Ainsi notre bassin versant se range dans la catégorie P2 : roches à perméabilité d'interstice (sable, grés) ; cependant les rivières y drainent des nappes en général mais aussi dans la classe alluvionnaire S2 constituée de sables et graviers très perméables et où la partie argileuse est très importante. Donc le bassin est très perméable.

## CHAPITRE II : LES CARACTÉRISTIQUES MORPHOMÉTRIQUES DU BASSIN VERSANT

### A. LES CARACTÉRISTIQUES DE FORME DU BASSIN VERSANT

#### 1. Surface et périmètre du bassin

La surface et le périmètre du bassin versant sont obtenus à l'aide d'ArcGis après sa délimitation. La surface est de 91,28 km<sup>2</sup> et le périmètre est de 48,10 km.

#### 2. Forme du bassin et rectangle équivalent.

- **La forme du bassin versant :** La forme est un élément essentiel dans la caractérisation d'un bassin versant. Elle influence l'allure de l'hydrogramme de crue à l'exutoire du bassin versant (LAAROUBI, H. 2007). Elle est calculée par la formule de Gravelius communément appelée coefficient de gravelius (Ic) ou indice de compacité.

Ce coefficient se calcule suivant la formule :  $Ic = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$  ou  $kc \approx 0,28(\frac{P}{\sqrt{A}})$

La forme d'un bassin versant influence l'allure des eaux vers l'exutoire du bassin versant. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, les faibles débits de pointe de crue, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire plus importants. En revanche, les bassins en forme compact (bassin de forme carrée), présentent un temps de concentration plus court et auront les plus forts débits de pointe.

Le bassin de Toucar à kotiokh présente un indice de compacité (Ic) de 1,42, c'est-à-dire un bassin de forme rectangulaire presque trois fois plus long que large. Ainsi les pertes en eau de ruissellement seront très caractéristiques du fait du temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire.

**-LE RECTANGLE EQUIVALENT :** On le définit comme le rectangle de longueur L et de largeur l qui a même périmètre que le bassin versant, soit à l'aide de  $P = 2*(L+l)$  et  $A = L*l$  (Laborde JP, 2000). À l'aide de l'indice de compacité on détermine le rectangle équivalent de telle sorte que  $2(L+l)= P$  et  $L * l=S$  avec la formule :

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right] \quad \text{Et} \quad l = \frac{Kc\sqrt{A}}{1,12} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right]$$

La notion de rectangle équivalent, introduite par Roche, 1963, permet de comparer facilement des bassins versants entre eux, en ce qui concerne l'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement (Musy, A., 2010). Après application de la formule la longueur du rectangle est égale à 19,6km et la largeur est de 4,66km.

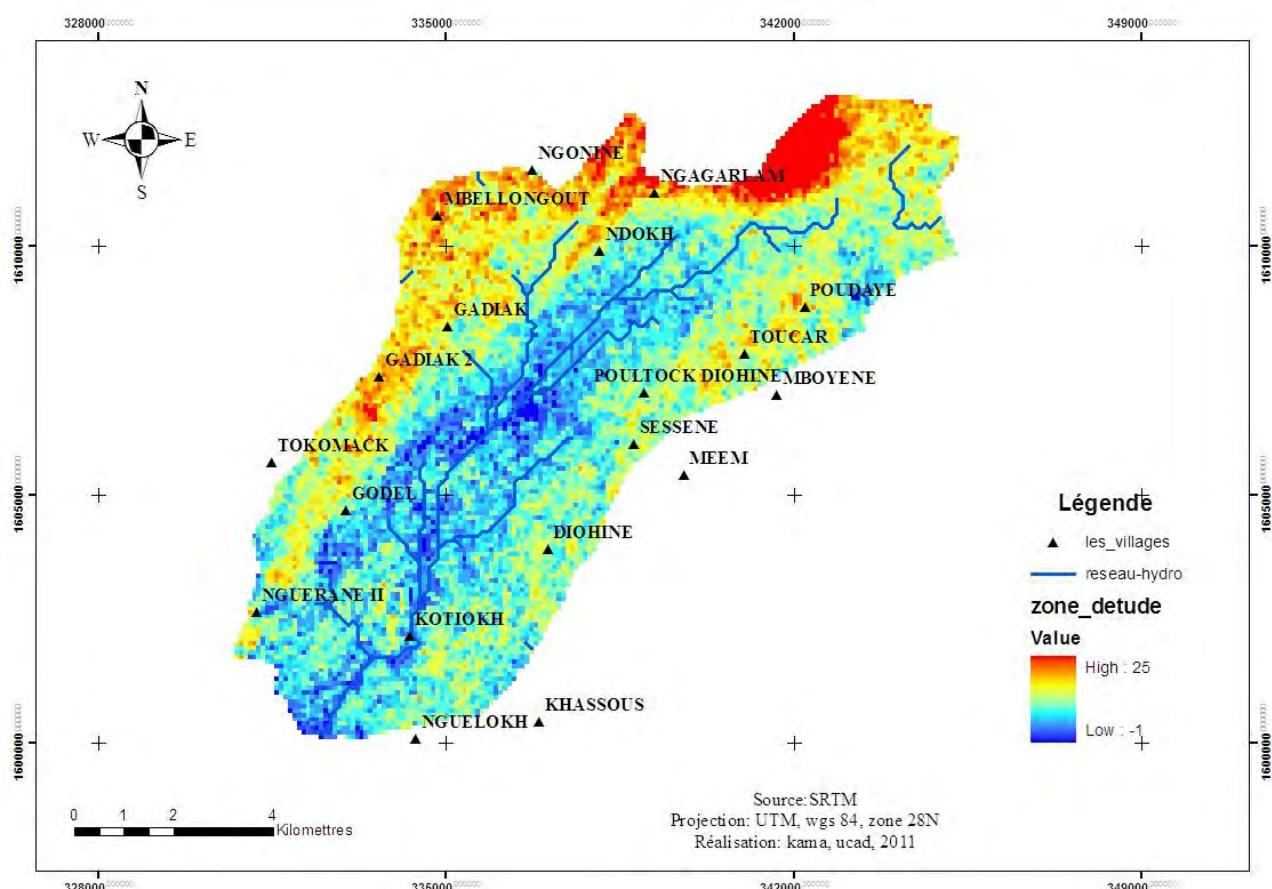
## B. CARACTÈRES STRUCTURAUX DES BASSINS VERSANTS

### 1. Le relief du bassin versant

L'influence du relief sur l'hydrogramme de crue est encore plus évidente. La pente influe largement sur l'écoulement des eaux. Une pente plus forte correspond à une durée plus faible de concentration des eaux de ruissellement dans les canaux de drainage et de là dans les affluents et le cours principal (ROCHE, M. 1963).

Dans notre bassin, les altitudes sont très faibles et varient entre 25m de l'extrême Nord du bassin versant à -1m au sud presqu'au niveau de l'exutoire. Le relief se prête faiblement à l'écoulement des eaux.

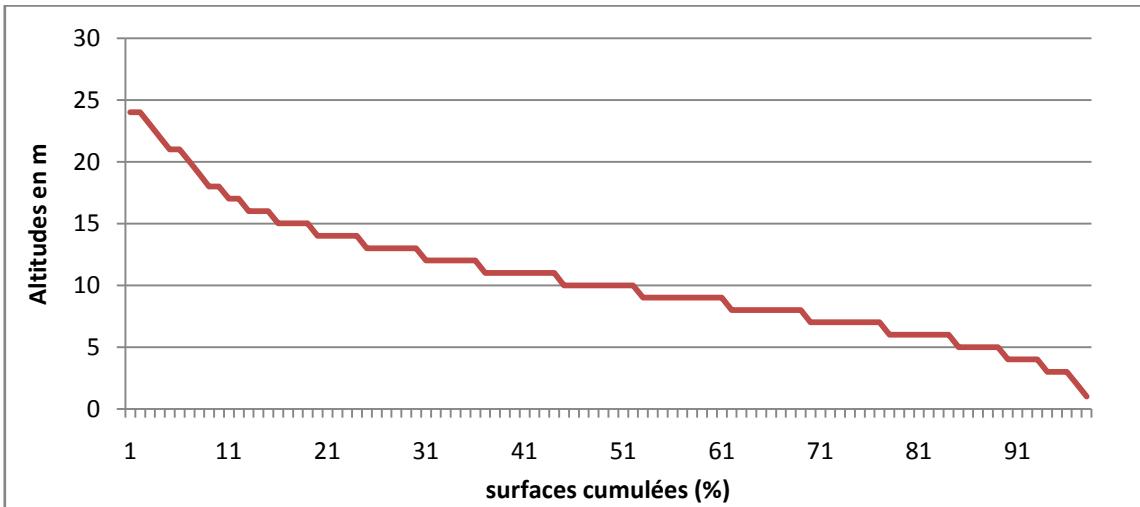
La nature du relief est à mettre en relation avec la porosité de la roche sous jacente. Si la pente est forte quelque soit la nature de la roche, l'écoulement est important. Par contre si la pente est faible et le roche poreuse, l'écoulement est faible jusqu'à saturation de celle-ci. Ainsi dans notre bassin l'écoulement est faible du fait de la faiblesse de la pente conjuguée à la porosité des roches du milieu.



Carte 6 : le MNT<sup>14</sup> du bassin versant

<sup>14</sup> Modèle Numérique de Terrain

## 2. La courbe hypsométrique



**Figure 1 : courbe hypsométrique**

Elle fournit une vue synthétique de la pente du bassin, et du relief. Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle porte en abscisse la surface (ou le pourcentage de surface) du bassin qui se trouve au-dessus (ou au-dessous) de l'altitude représentée en ordonnée. Elle exprime ainsi la superficie du bassin ou le pourcentage de superficie, au-delà d'une certaine altitude (MUSSY A., 2010). Dans le bassin de Toucar à Kotiokh seul 15% du relief se trouve au dessus de 15m. Près de 60% du bassin se trouve aussi au dessous de 10m. Donc que le bassin se trouve dans une zone très basse.

## 3. la pente moyenne ( $I_{moy}$ )

La pente moyenne du bassin est donnée par la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires pour lesquelles on peut considérer que la ligne de plus grande pente est constante (ROCHE M. 1963). Elle détermine le temps de concentration. Cette variable influence aussi le débit maximal observé à l'exutoire. Elle s'obtient en calculant :

$$I_{moy} = \frac{(H_{Max} - H_{Min})}{\sqrt{A}}$$

Avec : HMax est égale à l'altitude maximal et Hmin, l'altitude minimale. HMax=25m et Hmin=1 et A étant la superficie du bassin en  $\text{km}^2$

Donc  $I_{moy} = 2.51\text{m}$

## 4. L'indice de pente global

Cet Indice caractérise le relief d'un bassin. Il est défini par la formule

$$ig = \frac{\Delta H}{L} (\text{m/km})$$

Où,  $\Delta H$  représente la dénivellation, exprimée en mètres, séparant les altitudes ayant approximativement 5% et 95% de la surface du bassin au-dessus d'elles ; ces altitudes sont déterminées sur la courbe hypsométrique ;  $L$  est la longueur du rectangle équivalent, exprimée en km ;

$Ig$  est exprimé en rn/km. Dans ce bassin il est égal à 0,92m/km.

## 5. le réseau hydrographique

Il se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels, permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement (MUSSY A., 1010). Dans le bassin versant de Toucar à Kotiokh l'écoulement est temporaire et a lieu uniquement pendant la saison humide. Il est la caractéristique la plus importante d'un bassin versant et peut prendre différentes formes en fonction de la géologie, du climat, de la pente du terrain et de l'action humaine.

Le relief du bassin versant est presque monotone et les pentes faibles, ce qui explique que la densité du réseau hydrographique est faible. Ce relief de plaine fait que le lit du cours d'eau n'est pas bien marqué et est presque en surface. Cette faiblesse de la pente favorise également l'accumulation des sédiments surtout provenant de l'érosion des versants au fond des bas-fonds.

### a) La topologie et l'ordre du réseau hydrographique

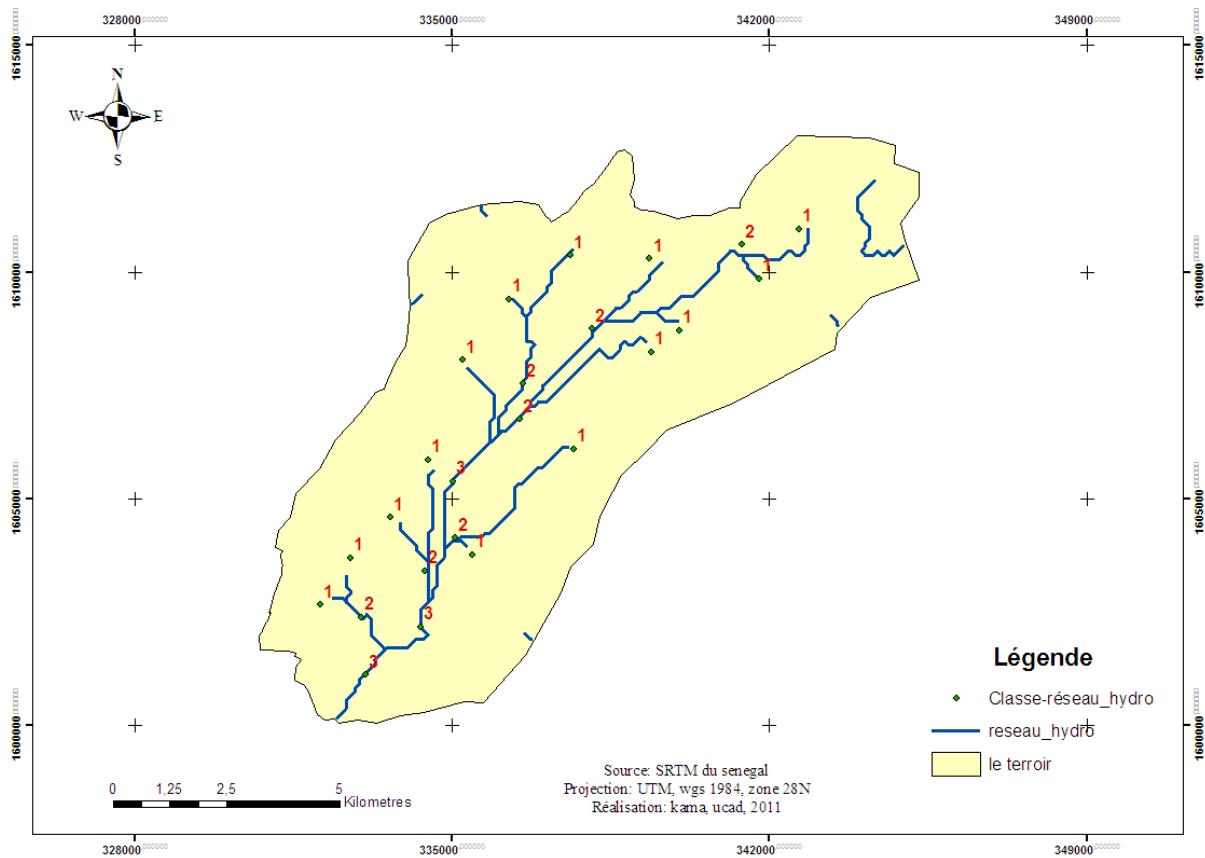
Par topologie, on entend l'étude des propriétés géométriques se conservant après déformations continues. Par extension, la topologie étudie les notions de voisinage et de limite. Appliquée à l'hydrologie, la topologie s'avère utile dans la description du réseau hydrographique notamment en proposant une classification de ceux-ci (MUSSY A., 2010). A titre d'exemple, on trouve les types dendritiques, en treillis, en parallèle, rectangulaire, à méandre, anastomosé et centripète. Dans notre bassin versant, le réseau hydrographique est de forme en arête de poisson avec plusieurs chevelus. Pour la classification on va utiliser celle de (STRAHLER, 1957). Elle est plus adaptée au réseau hydrographique et fournie plus d'informations que les autres types de classification. Suivant cette classification on a :

Tout cours d'eau dépourvu de tributaires est d'ordre un.

Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau d'ordre différent prend l'ordre du plus élevé des deux. Le cours d'eau formé par la confluence de deux cours d'eau du même ordre est augmenté de un. Cette classification permet de mesurer l'importance du réseau hydrographique tout en montrant les différends recouplement qui donnent naissance au cours d'eau principal. Elle permet aussi de mieux appréhender la densité de drainage qui est le rapport entre la longueur totale des cours d'eau du réseau et la superficie du bassin versant. L'écoulement est saisonnier. Ainsi on parlera ici de densité de drainage saisonnière (Dds).

$$Dds = \frac{\Sigma L}{A} \text{ avec } \Sigma L = 23,51 \text{ km et } A = 91,23 \text{ km}^2$$

Elle est égale à : 0,258 km/km<sup>2</sup>.



**Carte 7 : Ordonnancement du réseau hydrographique**

### CHAPITRE III : LES FACTEURS THERMIQUES DU BASSIN VERSANT

Le Sénégal est un pays à climat tropical dont l'étude des paramètres thermiques de son milieu dépend à la fois de trois paramètres essentiels que sont :

- ✓ Le mouvement zénithal du soleil qui influence l'évolution mensuelle des paramètres climatiques
- ✓ Les facteurs météorologiques liés aux caractéristiques thermiques propres aux masses d'air dont la circulation est déterminée par les centres d'action et des perturbations desquelles dépendent la nébulosité et les pluies qui influent sur l'insolation et les températures : (DACOSTA, 1989)
- ✓ Les facteurs géographiques qui se caractérisent dans le bassin versant par la continentalité du fait de son éloignement par rapport à la mer.

Le bassin versant, suivant sa position géographique, la station synoptique de Diourbel et agrométéorologique de Fatick seront retenues. Pour le calcul de l'évapotranspiration potentiel Penman nous utiliserons le logiciel **CROPWAT 8.0 de la FAO**

Ainsi les tableaux (1 et 2) donnent le résumé de l'ensemble des paramètres retenus

**Tableau 1 : durée d'observation des paramètres climatiques**

Paramètres climatiques	Période d'observation	
code	Fatick	Diourbel
T°max (°C)	1991-2010	1980-2010
T°min (°C)	1991-2010	1980-2010
T°moy (°C)	1991-2010	1980-2010
Hmax (%)	1991-2010	1991-2010
Hmin (%)	1991-2010	1991-2010
Hmoy (%)	1991-2010	1991-2010
EVAPORATION mm/MOIS	1991-2010	2001-2010
VITESSE VENT m/s	2000-2010	2000-2010
DIRECTION VENT	2000-2010	2000-2010
INS h/mois	1991-2010	2001-2010
ETPmoy mm/mois	estimé	estimé

**Tableau 2 : Station de Fatick ; paramètres climatiques**

STATION DE FATICK	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T°max (°C)	33,8	36,3	38,3	39,1	38,9	36,5	34,26	33	33	35,4	36,8	34,8
T°min (°C)	17	18,5	19,7	20,5	22,1	24,1	24,84	24,8	24,6	23,8	20	17,9
T°moy (°C)	25,4	27,4	29	29,8	30,5	30,3	29,55	28,9	28,8	29,6	28,4	26,4
Hmax (%)	58,9	60,4	68,1	77,8	83	89,8	92,08	95,4	96,4	95,3	83,1	67,6
Hmin (%)	18,7	16,2	16,5	20,2	24,3	39,9	53,17	63,6	63,4	46,1	24,6	21,2
Hmoy (%)	38,8	38,3	42,3	49	53,7	64,8	72,63	79,5	79,9	70,7	53,8	44,4
EVAPORATION	140	157	173	154	142	96,7	64,3	42,7	38,7	65,9	117	122
VITESSE VENT	2,4	2,5	2,4	2,5	2,6	2,5	2,2	2	1,8	1,9	2,1	2,2
DIRECTION VENT	NE	NE	N	N	NW	SW	SW	SW	NW	NE	NE	
ETPmoy mm/mois	183	193	229	228	229	183	158,1	143	135	158	171	171
INS h/mois	233	230	260	270	251	213	198,4	192	192	236	231	223

**Tableau 3 : Station de Diourbel ; paramètres climatiques**

STATION DE DIOURBEL	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T°max (°C)	33,3	35,8	38	39,5	40,2	38	35,6	34,02	34,3	37,17	37,34	34,47
T°min (°C)	17,4	18,6	19,9	20,9	20	15,7	12,4	10,92	11,3	14,77	18,74	17,97
T°moy (°C)	24,6	26,5	28,1	29,1	30,2	30,15	29,4	28,56	28,7	29,79	27,97	25,49
Hmax (%)	59,5	61,5	68,3	78	83,5	91,89	94,5	97,54	97,8	91,21	74,92	69,06
Hmin (%)	24	22,7	21,6	22,6	26,6	38,08	50,5	60,9	58,4	40,5	26,04	25,1
Hmoy (%)	41,8	42,1	45	50,3	55,1	64,99	72,5	79,22	78,1	65,85	50,48	47,08
EVAPORATION mm	148	148	174	153	154	179,3	114	51,24	37	75,4	125,1	150,8
VITESSE VENT m/s	1,9	2,2	2	2,3	1,9	1,8	1,6	1,3	1,2	1,1	1,3	1,6
DIRECTION VENT	E	E	N	N	NW	W	W	SW	NW	NW	E	E
INS h/mois	223	223	254	268	230	232,8	182	208,3	197	232,5	211,5	222,3
ETPmoy mm/mois	153	164	194	210	195	172,2	147	135,8	125	136,7	135,3	140,4

## 1. Les vents

Le vent est un phénomène naturel qui se manifeste par le mouvement d'une masse d'air se déplace suivant une direction donnée et à une vitesse déterminée (BODIAN, 2006). Leur analyse concerne uniquement les vents de surface. La direction et la vitesse moyenne du vent dépendent de la circulation générale de l'atmosphère et de la puissance des flux. L'analyse des vents fait ressortir deux saisons éoliennes de caractéristiques différentes suivant les saisons : l'alizé continental ou ***harmattan*** de cadrant nord à Nord-Est, circule dans la région pendant la saison sèche (Novembre à Mai). Les vents du cadrant Sud à Sud-Ouest ou ***Mousson*** circulent dans la région pendant la saison des pluies (Juin à Octobre) et sont responsables en grande partie des pluies reçues dans le bassin versant pendant cette période (SAGNA ; 2007).

La vitesse des vents est dans l'ensemble faible durant toute l'année avec une moyenne de 2,2 m/s à Fatick et de 1,7 m/s à Diourbel. Cependant la vitesse des vents est plus forte pendant la saison sèche avant de décroître progressivement en saison des pluies pour atteindre le minima aux mois de Septembre (1,8 m/s) et d'Octobre (1,9m/s).

## **2. Les températures**

Elles jouent un rôle clef sur l'écoulement des eaux. Ce rôle est perçu à travers l'évaporation et l'évapotranspiration qui exercent une ponction importante sur la lame d'eau reçue.

L'évolution des températures est analysée à partir des valeurs caractéristiques moyennes mensuelles, présentées dans les tableaux ci-dessus (2 et 3). Les valeurs maximales sont reçues pendant la sèche et peuvent atteindre 40,2 °C à Diourbel tandis que les valeurs minimales sont enregistrées pendant la saison humide ou au mois de Décembre, Janvier consécutif à l'invasion d'air polaire du nord-ouest. L'évolution des températures moyennes est bimodale avec des maxima principaux situés au mois de Mai (30,5°C ; 30,2°C) et secondaires aux mois d'Octobre (29,6 ; 29,8).

## **3. L'humidité relative**

C'est le rapport entre la quantité d'eau contenue dans une masse d'air et la quantité maximale d'eau que peut contenir cette masse d'air (MUSSY, 2010). Elle est influencée par les flux de mousson et les températures. Elle est souvent exprimée en pourcentage. Les valeurs de l'humidité relative sont pratiquement les mêmes entre la station de Fatick et celle de Diourbel. L'humidité maximale est supérieure à 50% durant tous les mois de l'année avec un pic maximal au mois de Septembre (96,4% et 97,8%) tandis que l'humidité minimale est inférieure à 50% pendant la saison sèche. Les valeurs de l'humidité relative moyenne sont sensiblement égales entre les deux stations avec une évolution unimodale dont les minima se trouvent au mois de janvier (41,8%) et février (38,3%). Comme pour l'humidité relative maximale, les maxima de l'humidité relative moyenne se situent aux mois d'Aout (79,22%) et de Septembre (79,9%).

## **4. L'insolation**

Il s'agit de l'exposition d'un milieu à l'action des rayons solaires. Du point de vue météorologique, c'est la durée exprimée en heure/jours ou en heures/mois au cours de la laquelle, le soleil a été visible et a réchauffé le milieu (MUSSY, 2010). Les fortes valeurs d'insolation sont enregistrées en saison sèche pendant laquelle règnent des températures élevées, une domination du flux d'harmattan et une humidité relative faible (Tableau 2, 3). Le maximum est noté en avril pour les deux stations avec 270h/mois pour la Fatick et 268h/ mois à Diourbel d'ensoleillement. Le minimum survient aux mois d'Aout, Septembre pour la

station de Fatick (192h/mois) et au mois de Juillet pour la station de Diourbel (182h/mois). Pendant cette période, la couverture nuageuse réduit le temps de l'insolation.

### 5. Évaporation et Évapotranspiration Potentielle (Penman)

L'évaporation se définit comme étant le passage de l'eau de l'état liquide à la vapeur. L'évapotranspiration désigne à la fois l'évaporation et la transpiration des plantes. Elles désignent tous deux au départ des pertes en eau par retour direct à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau. L'évaporation Penman sera calculée alors que l'évapotranspiration est estimée par le logiciel **CROPWAT 8.0** de la FAO. Les valeurs l'évaporation et l'évapotranspiration sont fortes pendant la saison sèche et relativement faible pendant la saison des pluies

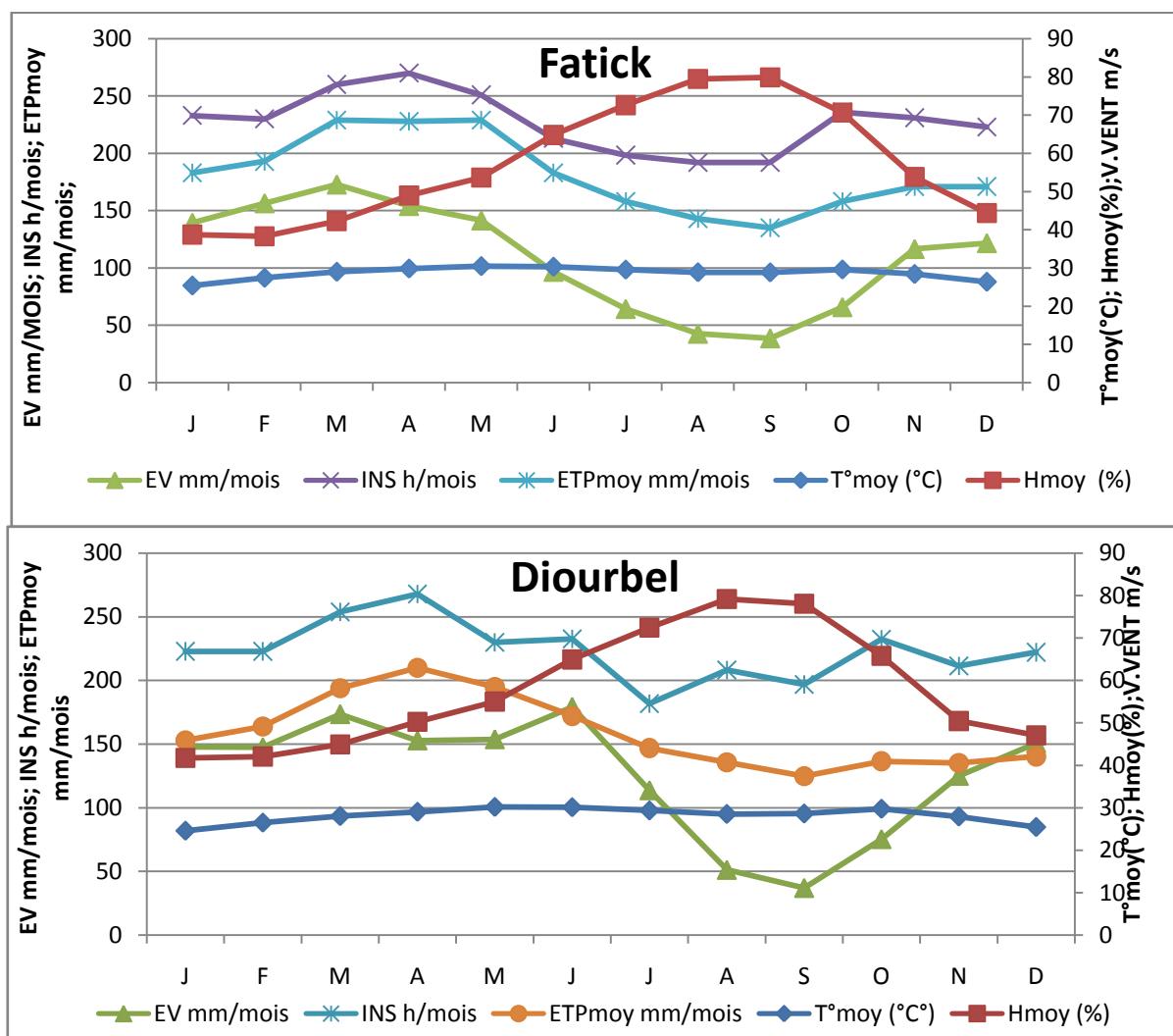


Figure 2 : principaux paramètres climatiques des stations de Fatick et de Diourbel

## **CHAPITRE IV : LA POPULATION ET LEURS ACTIVITÉS DANS LE BASSIN VERSANT**

Le bassin versant de Toucar à Kotiokh abrite un ancien peuplement sérière. La platitude du relief et l'aptitude des sols à l'agriculture fait aujourd'hui que tout l'espace est soit habité soit mis en valeur agricole.

### **I. La population du bassin versant**

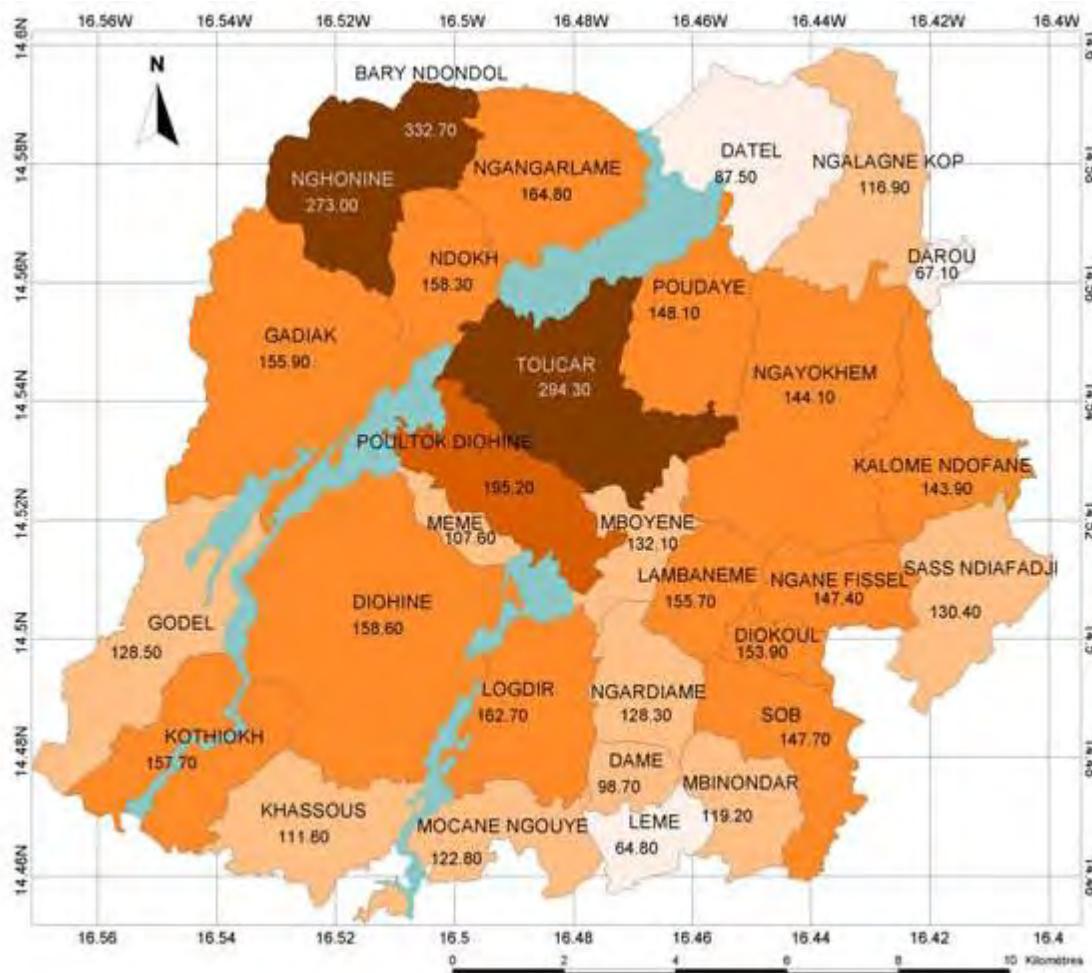
Située au cœur de l'ancien royaume du SINE, la zone présente des caractéristiques démographiques particulières. L'organisation socio-spatiale et la toponymie des villages nous signalent que nous sommes en pays sérière.

#### **A. Composition de la population**

Le bassin versant de Toucar à Kotiokh est inclus dans la zone de Niakhar. La population est composée de 95,7% de sérères. Quelques minorités ethniques comme les MAURES, les WOLOFS, les DIOLAS, les TOUCOULEURS, les LAOBES etc vivent dans la zone. A l'exception des MAURES (commerçants) et des guinéens qui sont pour la plupart des bucherons la présence des étrangers est faible. (Maliens, Guinéens etc.).

#### **B. Répartition de la population autour du bassin versant**

Sur le plan de la répartition, la population de cette zone de Niakhar est centrée sur 30 villages, 2000 concessions pour un effectif de 40.139 habitants en 2009 (IRD, 2010). Avec une superficie de 205km<sup>2</sup>, la densité moyenne est de 195 hbts/km<sup>2</sup>. L'écart entre la plus grande valeur de densité (Bari Ndondol : 332,70hbts/km<sup>2</sup>) et la plus petite valeur (LEME : 64,8hbts/km<sup>2</sup>) est de l'ordre de 267,8 pour déduire qu'il existe une grande hétérogénéité sur la répartition de la population entre les différents villages. Cependant, seulement 11 se partagent le bassin : Toucar, Diohine Ngangarlama, Ndokh, Gadiak, Kotiokh, Méem, Poultock Diohine, Godel, Datel et Poudaye. Ces onze (11) villages renferment une population de 21.150 habitants. Sur le plan religieux, l'islam est plus représenté et regroupe environ 77,5% de la population, suivi du christianisme avec 20,8% de la population. Les religions africaines telles que l'animisme sont en voie progressive de disparition. Cependant l'islamisation des peuples du Sine est récente et date de la période poste-indépendantiste (MBODJI & BECKER, 1999).



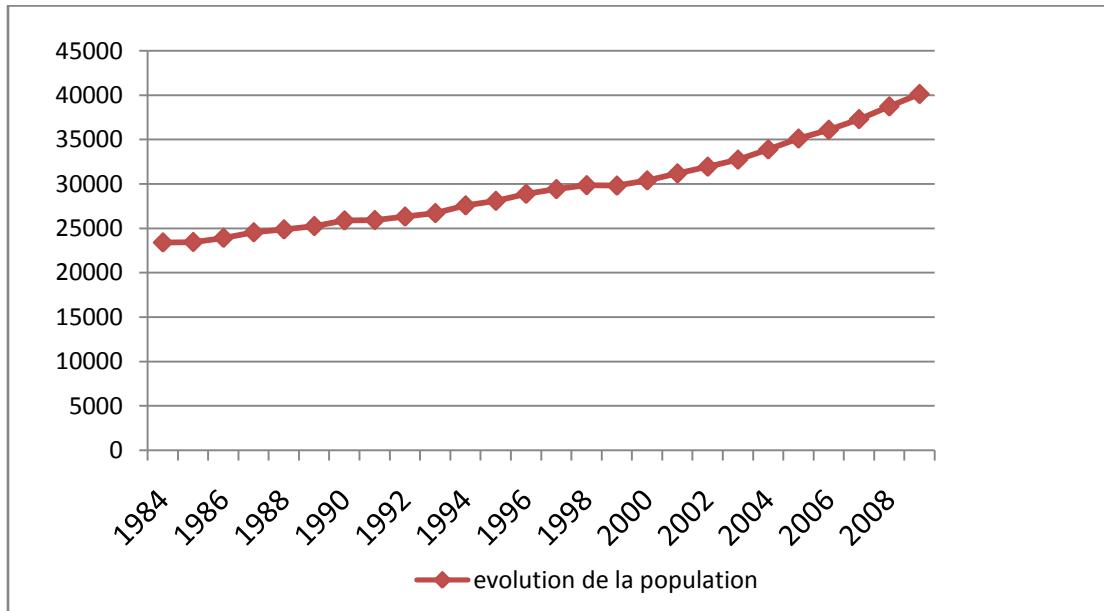
Source : IRD, Niakhar

**Carte 8 : la répartition des densités de la zone de Niakhar**

### C. Évolution de la population

Comme dans tous les pays en voie de développement, la population de la zone est jeune. Plus de la moitié de celle-ci a moins de 20ans. La tranche des hommes de plus de 50 ans est faible. Selon le rapport de l'IRD en 2004, la forte baisse de la mortalité liée aux mesures sanitaires entreprises et le maintien d'une forte natalité font que la population évolue au rythme de 1,7% chaque année. La fécondité est restée élevée malgré la baisse constatée durant cette dernière décennie et 65% des femmes ont un enfant entre 15 et 19ans. La conjugaison de ces différents facteurs fait que de 1984 à 2009, la population est passée de 23.414 habitants à 40.139 habitants. Le taux d'émigration de la zone est très élevé, cependant l'émigration saisonnière est plus caractéristique que celle définitive et la capitale Dakar constitue la principale destination de ces migrants. Le principal motif de cette émigration reste le maintien de l'équilibre des besoins sociaux et des ressources. L'immigration est moins caractéristique et a pour cause principale le changement d'état matrimonial. Aujourd'hui l'émigration des

familles de la zone vers les terres neuves se diminue de plus en plus du fait de la baisse significative des rendements agricoles.



Source : IRD, Niakhar

**Figure 3 : évolution de la population de la zone de Niakhar de 1984 à 2009**

## **II. Les activités pratiquées dans le bassin versant**

Situé au cœur du bassin arachidier, les activités pratiquées dans le bassin versant restent dominées par l'agriculture, l'élevage, et dans une moindre mesure le commerce.

### **A. L'agriculture**

Elle est l'activité dominante dans le bassin versant et se pratique sous différentes formes. On distingue deux types de mise en valeur agricole dans la zone : l'agriculture sous pluie et l'agriculture hors saison.

#### **1. L'agriculture sous pluie**

L'agriculture sous pluie emploie plus de 80% de la population active, et est leur principale source d'alimentation. Cette agriculture reste cependant fortement liée à la pluviométrie. Bien avant la période coloniale le mil était la principale culture, ensuite on assiste à l'introduction de l'arachide puis à la diversification actuelle de celle ci (niébé, pastèque, oseille etc.).

Malgré l'attachement des paysans sérères à l'agriculture, cette dernière n'assure plus leur nourriture. Les productions restent insuffisantes et les populations prennent recours à l'entraide sociale traditionnelle et aux retombées de l'émigration. Ce faible rendement de l'agriculture peut être expliqué par la suppression de l'assoulement triennal, l'augmentation rapide de la population au sein du bassin versant et le réchauffement climatique de ces

dernières décennies mais aussi la déforestation qui réduit la strate arborée et expose les sols à l'érosion. A cela s'ajoutent le manque de semences de qualité et la vétusté du matériel de travail non renouvelé depuis 1981.

## **2. L'agriculture hors saison**

Il s'agit essentiellement du maraîchage et de l'arboriculture.

### **a) Le maraîchage**

C'est une activité qui se développe de plus en plus dans les bas-fonds et le talweg du bassin versant. Il constitue aujourd'hui un renfort de taille à l'agriculture sous pluie et participe à la diversification de la consommation alimentaire. C'est aussi une source d'emploi des jeunes et de lutte contre l'exode rural. Seulement c'est une activité qui a besoin d'être soutenue et moderniser car les moyens d'exhaure de l'eau sont faible et les maraîchers éprouvent des difficultés d'achats des fertilisants et de pesticides.

### **b) L'arboriculture**

À l'instar du maraîchage l'arboriculture se développe de plus en plus dans le bassin versant. Les jardins se multiplient de plus en plus mais tous confrontées aux mêmes problèmes que le maraîchage. En plus les plantations sont pour la plus part victimes des termites et de la salinisation progressive du sol.

## **B. L'élevage et activités annexes**

### **1. L'élevage**

Elle constitue avec l'agriculture les principales activités du bassin versant. L'élevage se pratique pour la plus part dans sa forme traditionnelle et est victime aujourd'hui de la dégradation de la nature du fait de la sécheresse et des changements climatiques.

Cependant le bassin versant abrite surtout pendant la saison des pluies beaucoup de bétail au sein duquel domine les ovins et les caprins.

L'embouche bovine se pratique de plus en plus qui concerne pour la plupart les bovins.

### **2. Les autres activités**

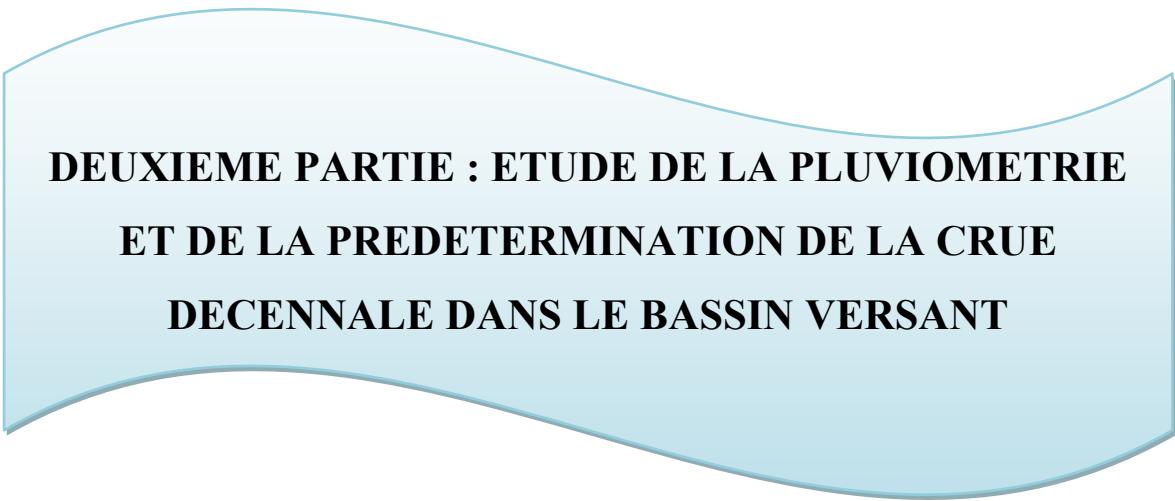
Il s'agit du commerce, du tourisme et de l'extraction de sable.

La zone dispose de deux marchés hebdomadaires dont deux fonctionnels à Toucar (mercredi) et à Diohine (dimanche). Ces marchés constituent les principaux centres d'échanges et de commerce des produits provenant de l'agriculture (mil, arachide, légumineuses, oseille), de l'élevage (ovins, caprins, bovins etc.) et de la ville (friperie, riz, produits manufacturés). Elles constituent aussi des centres de rencontre et de dialogue participatif au renforcement de la cohésion sociale entre les différents villages. Le commerce de bétail surtout avec le

développement de l'élevage intensif est de plus en plus pratiqué. Cependant les populations, pour mieux commercialiser leurs produits fréquentent les marchés limitrophes de la zone : (Niakhar, Patar, Bambey, Mbafaye). Dans chaque village les boutiques toujours fonctionnelles assurent l'approvisionnement des habitants en besoin divers.

La zone de Niakhar accueille très rarement de touristes si ce n'est des étudiants ou des chercheurs surtout venus pérenniser leurs recherches au laboratoire de recherche sur le suivi des populations de Niakhar. La zone est dépourvue de sites touristiques et d'infrastructures hôtelières pouvant accueillir ces derniers.

L'extraction de sable se développe et se fait d'une manière inorganisée. Pour leur besoin de construction, les habitants creusent les plaines sableuses réduisant ainsi les superficies cultivables et causant des accidents topographiques inopportuns.



## **DEUXIEME PARTIE : ETUDE DE LA PLUVIOMETRIE ET DE LA PREDETERMINATION DE LA CRUE DECENNALE DANS LE BASSIN VERSANT**

Cette partie porte sur l'étude quantitative de la pluie, de sa répartition spatiale à différentes échelles temporelles mais aussi sur la prédetermination de la crue de fréquence décennale et de la crue de projet.

Les hauteurs des pluies varient d'une année à une autre, leur étude demande un suivi des stations au mois pour une période de 30 ans. L'appréciation de la variabilité interannuelle de la ressource en eau, des fluctuations et des tendances qui peuvent affecter ces données, demandent une continuité des observations sur une longue période, conditions qui ne sont guère remplies en Afrique de l'Ouest (Sircoulon, 1992) repris par Mendy, A. 2010).

Les données des différentes stations et postes d'études sont homogènes mais leur durée d'observation est inégale. Toutefois, elles dépassent trente ans à l'exception du poste de Niakhar (1982). Cependant elles restent suffisantes pour satisfaire une bonne étude de la répartition spatiale des pluies à l'échelle du bassin versant.

Le bassin versant n'est pas suivi, il est difficile d'y appliquer la modélisation. La prédetermination est faite par les méthodes ORSTOM et celle du CIEH.

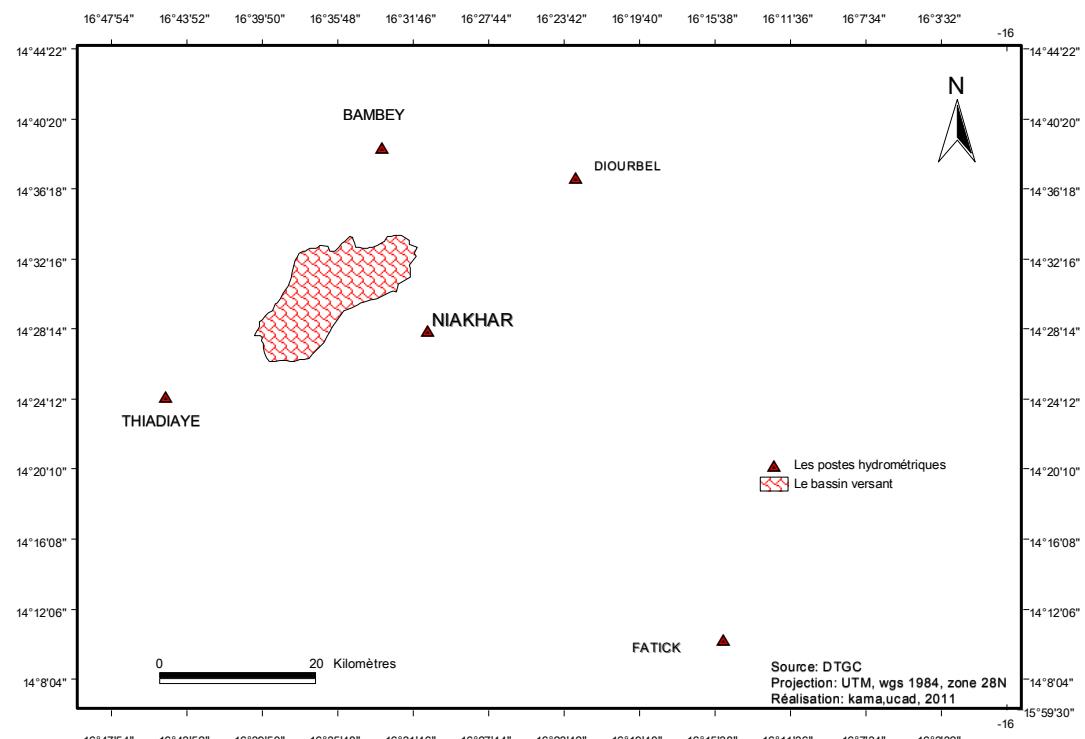
## CHAPITRE V : ÉTUDE DE LA PLUVIOMÉTRIE DANS LE BASSIN VERSANT

La pluviométrie joue un rôle incontournable dans l'étude des paramètres hydrologiques et climatiques des bassins versants. C'est pourquoi, toute étude climatique ou hydrologique est basée sur l'exploitation de séries de données recueillies pendant des périodes plus ou moins longues (DUBREUIL, 1974).

Ce rôle se manifeste à travers :

- La hauteur totale annuelle de la pluviométrie qui détermine l'abondance fluviale,
- la répartition annuelle, mensuelle et saisonnière qui influence directement les régimes hydrologiques,
- Les totaux journaliers et surtout les averses qui sont à l'origine de crues, notamment celles des petits bassins versants (Roches, 1963).

Après une vérification de l'état des données, nous avons calculé les pluies annuelles, mensuelles et journalières du bassin versant à partir des données des stations de Fatick, Diourbel, Bambe, Niakhar et Thiadiaye.



Carte 9: Localisation des stations hydrométriques

**Tableau 4 : Caractéristiques des stations d'étude**

STATION	LATITUDE	LONGITUDE	HAUTEUR	TYPE DE STATION	PERIODE D'OBSERVATION	NOMBRE D'OBSERVATIONS
Fatick	14°08'	16°04'	6	A	1950-2010	61 Ans
Diourbel	14°39'	16°14'	8	S	1950-2010	61 Ans
Bambey	14°42'	16°27'	20	A	1961-2010	51 Ans
Thiadiaye	14°25'	16°42'	18	P	1961-2010	50 Ans
Niakhar	14°28'	16°24	10	P	1985-2010	26 Ans
A=agrométéorologique		S= synoptique		P= poste pluviométrique		

## I. L'état des données

Le bassin versant de Toucar à Kotiokh est dépourvu de stations hydrométrique et climatique. Les données climatiques utilisées ici proviennent des stations climatiques et des postes pluviométriques qui encerclent le bassin versant selon une disposition Nord, Sud, Est, Ouest et au centre.

Les données de ces stations sont homogènes avec un faible nombre de lacunes. Cependant on observe quelques lacunes qui peuvent s'étendre sur des années, des mois ou une dizaine de jours. Elles sont dues soit aux erreurs de mesures, à un mauvais placement de la virgule lors des relevés, ou à une absence totale de prise de mesure etc. La durée des observations est courte dans certaines stations (Niakhar en 1982).

Les stations retenues disposent au moins de 30ans de mesure pluviométrique nous permettant d'appréhender les variations des pluies. Ces stations appartiennent à la même zone climatique et subissent simultanément les mêmes variations climatiques. Leur disposition par rapport à la zone d'étude permet de saisir les nuances de la variabilité spatio-temporelle de la pluie. Les années lacunaires ont été éliminées dans cette études car elles entraînent une sous estimation de la pluie. Aussi, il est difficile d'obtenir des données climatiques journalières à l'ANACIM<sup>15</sup> du fait que celles-ci sont mises en vente. Les données recueillies ont été traitées par Hydraccess et Excel.

## II. La répartition spatiale des pluies annuelles dans le bassin versant

L'exploitation et l'analyse de ces données est fait par Hydraccess. C'est un logiciel qui a été développé par Vauchel (2000-2004). Il permet aussi de réaliser les traitements de base dont nous aurons besoin pour mieux caractériser notre bassin versant. Hydraccess est équipé d'un module externe «SPATIAL» qui favorise le calcul des valeurs moyennes spatialisées. Hydraccess dispose aussi de quatre méthodes de calcules de la pluie moyenne dans le bassin

<sup>15</sup> Agence Nationale de L'Aviation Civile et de la Météorologie.

versant : la méthode de Thiessen, la méthode arithmétique, le Krigeage et l'inverse de la distance pondérée au carré. Cette pluie moyenne constitue la valeur qui nous intéresse le plus dans cette analyse.

La méthode du calcul de la pluie moyenne par le Krigeage sera utilisée dans cette étude du fait qu'elle est plus rigoureuse que les autres. Elle est capable de prendre en compte un gradient spatial de variation pour réaliser des extrapolations plus consistantes (Mendy, A., 2010). Selon (Baillargeon, 2005) repris par (Mendy, 2010), l'idée de base du Krigeage est de prévoir la valeur de la variable régionalisée étudiée en un site non échantillonnée par une combinaison linéaire des données ponctuelles adjacentes afin d'obtenir une prévision non biaisée et de variance minimale. Aussi, elle est préférée aux autres méthodes du fait que nos stations sont mal réparties dans le bassin.

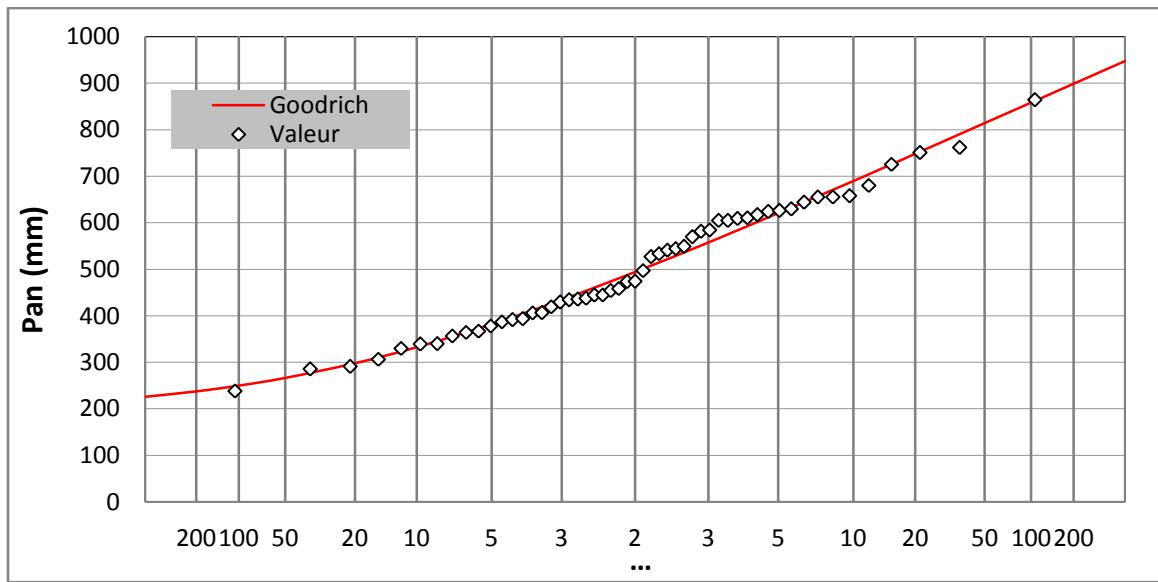
### A. Analyse statistique de la pluie

L'échantillon dont nous disposons concerne 60 ans de pluies moyennes annuelles pour le bassin versant. Les valeurs annuelles du bassin versant sont obtenues par le Krigeage. Avant l'étude de la répartition spatiale de la pluviométrie, nous allons déterminer les pluies fréquentielles en récurrence sèches et humides. Parmi les multiples lois d'ajustement proposées par Hydraccess, celle de Goodrich s'ajuste mieux aux données annuelles dont nous disposons et nous permet d'établir le tableau suivant :

**Tableau 5 : fréquences et récurrences des stations d'études**

Bassi n versa nt de Touc ar à kotio kh		référence sèche						média ne	moyen ne	référence humide						C. V
		fréquen ce	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2			0,67	0,8	0,9	0,95	0,98	0,99	
		récurre nce	100	50	20	10	5			3	5	10	20	50	100	
		valeurs	249, 8	266, 4	297, 9	332, 4	381, 8	434, 1	493,9	504,6	557, 5	620, 6	689, 9	748, 0	814, 1	858, 3

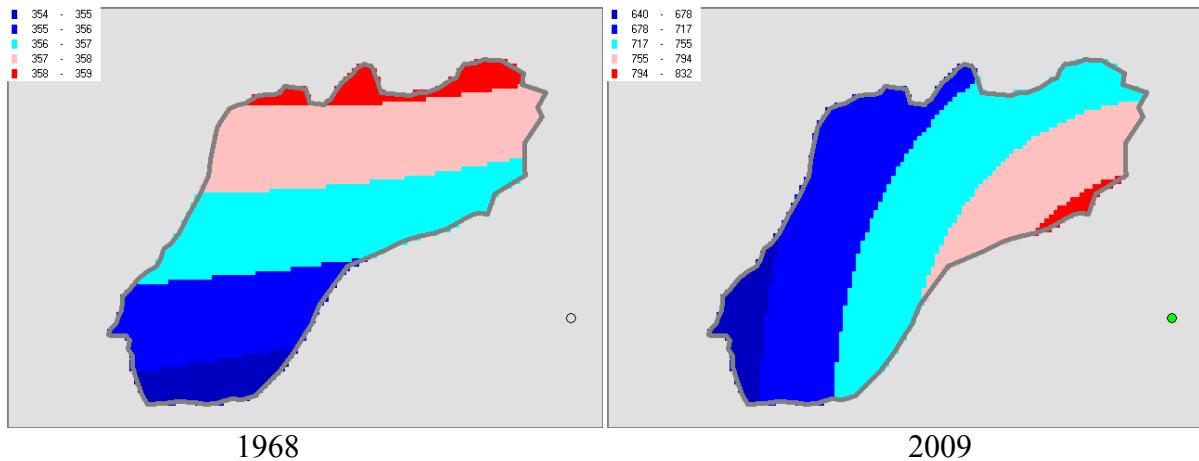
Le tableau indique qu'en année décennale humide, le bassin recroît presque le double de la quantité de pluie reçue en année décennale sèche. Le coefficient de variation (0,27) est relativement élevé, ce qui montre que le régime des pluies est un peu irrégulier. Bien qu'à une année humide peut se succéder une sèche. La série s'adapte le plus à la loi dissymétrique pour de Goodrich pour son ajustement.



**Figure 4 : Ajustement statistique sur des pluies moyennes annuelles.**

### B. Répartition spatiale des pluies du bassin versant

Le bassin versant reçoit une pluie moyenne de 504,6mm. La figure suivante traduit la répartition de la pluie moyenne reçue dans le bassin. Nous donnons en exemple les années 1968 qui est celle qui pour la première fois depuis 1950 la pluie annuelle est déficitaire par rapport à la moyenne et l'année 2009 qui est l'année la pluie de ces trente dernières années.

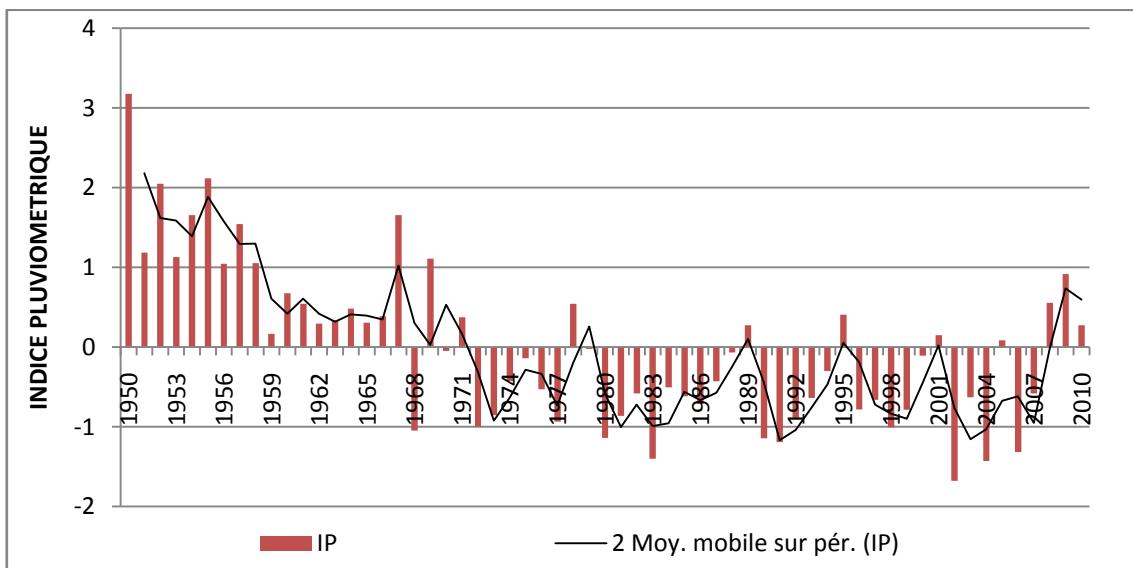


**Figure 5 : Formes caractéristiques de répartition spatiale des pluies moyennes annuelles**

La variation de la distribution des pluies dépend des conditions géographiques générales, des facteurs locaux, de la taille et de la forme du bassin (Mendy A. 2010). Le bassin versant est faiblement soumis à l'influence océanique. Les pluies reçues proviennent des lignes de grains qui sont d'orientation Est vers l'Ouest et de la mousson d'orientation Sud-Est vers le Nord-Est. Cette distribution spatiale de la pluie connaît des variations temporelles qui sont à mettre en relation avec les types de précipitation pluvieuse dominante au cours de la saison humide

(Mendy A. 2010). En 1968 les pluies suivent un gradient de décroissance Nord-Sud. Le nord reçoit plus de pluies que le sud du bassin, ce qui explique la faiblesse de la quantité de pluie reçue. En 2009 le gradient de décroissance des pluies est d'orientation Nord-Est vers le Sud-Ouest. Ce qui fait que cette année soit très arrosée par rapport à 1968. Le Nord-Est est sous l'action combinée des lignes de mousson et des oscillations du FIT<sup>16</sup>.

Les valeurs de l'indice pluviométrique moyen annuel montrent une tendance à la baisse de la pluviosité dès 1968. La série présente trois phases distinctes : une phase allant de 1950 à 1968 à laquelle la pluviométrie bien que marquée par une variabilité reste supérieure à la moyenne de la série, une phase allant de 1969 à 2007 caractérisée par une évolution en dent de scie où les années déficitaires par rapport à la moyenne sont plus nombreuses et une phase de 2008 à 2010 excédentaire par rapport à la moyenne.



**Figure 6: variations interannuelles de l'indice pluviométrique**

La moyenne mobile sur une période de 2ans montre le gradient de décroissance de la pluviosité à partir de 1971. Elle ressort trois phases distinctes.

- 1950- 1971 excédentaire ou les oscillent largement au dessus de la moyenne de la série.
- 1972 – 2007 déficitaire ou les pluies sont au dessous de la moyennes à l'exception des années 1978, 1989, 2000 et 2005.
- 2008 – 2010 excédentaire par rapport à la moyenne de la série.

<sup>16</sup> Front Intertropical de Convergence

Le bassin versant de Toucar à Kotiokh connaît depuis 1968 un déficit hydrique à l'instar de l'ensemble du territoire national. Ce déficit hydrique plus connu sous l'appellation de sécheresse à durablement réduit les ressources hydrauliques du bassin versant et accentué sa désertification.

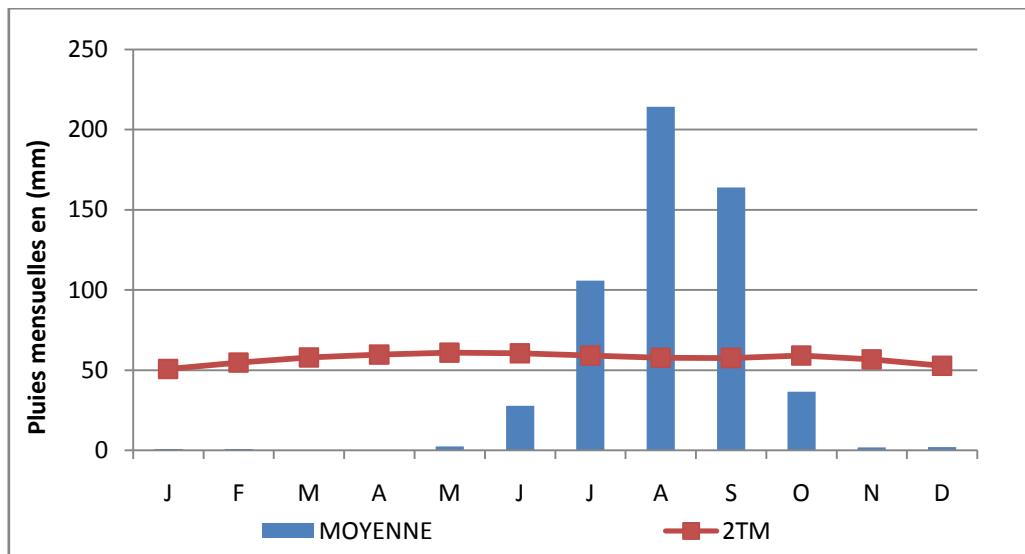
### III. Répartition spatio-temporelle des pluies mensuelles

Les pluies moyennes mensuelles dans le bassin versant ont été calculées par la méthode du Krigeage. Le Tableau ci-dessous présente les résultats obtenus.

**Tableau 6 : pluies moyennes mensuelles du bassin**

KRIGEAGE	LE BASSIN VERSANT DE TOUCAR A KOTIOKH											
MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
VALEURS (mm)	0,76	0,72	0,02	0,08	2,40	27,75	105,80	214,20	164,00	36,62	1,76	2,07

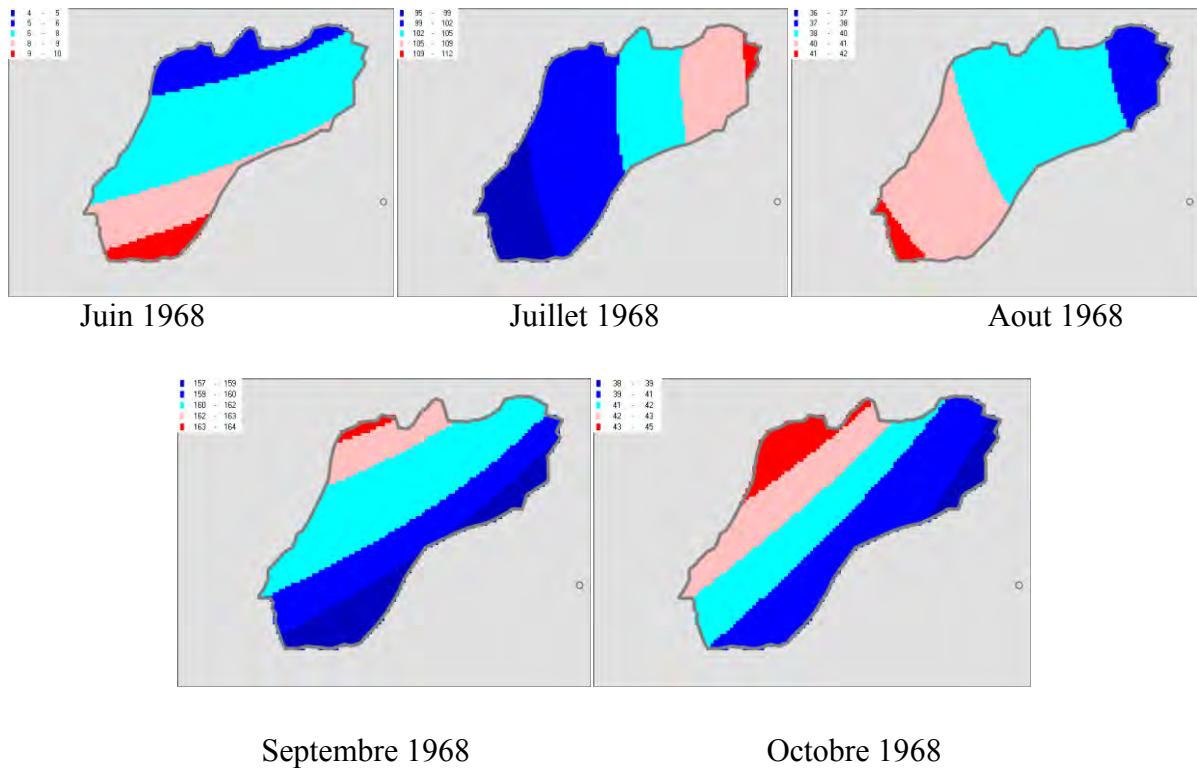
La saison des pluies dure cinq (cinq) mois Juin à Octobre. Les mois de juillet, Aout, et de Septembre reçoivent plus de 75% du total pluviométrique annuel et le maximum pluviométrique intervient au mois d'Aout.



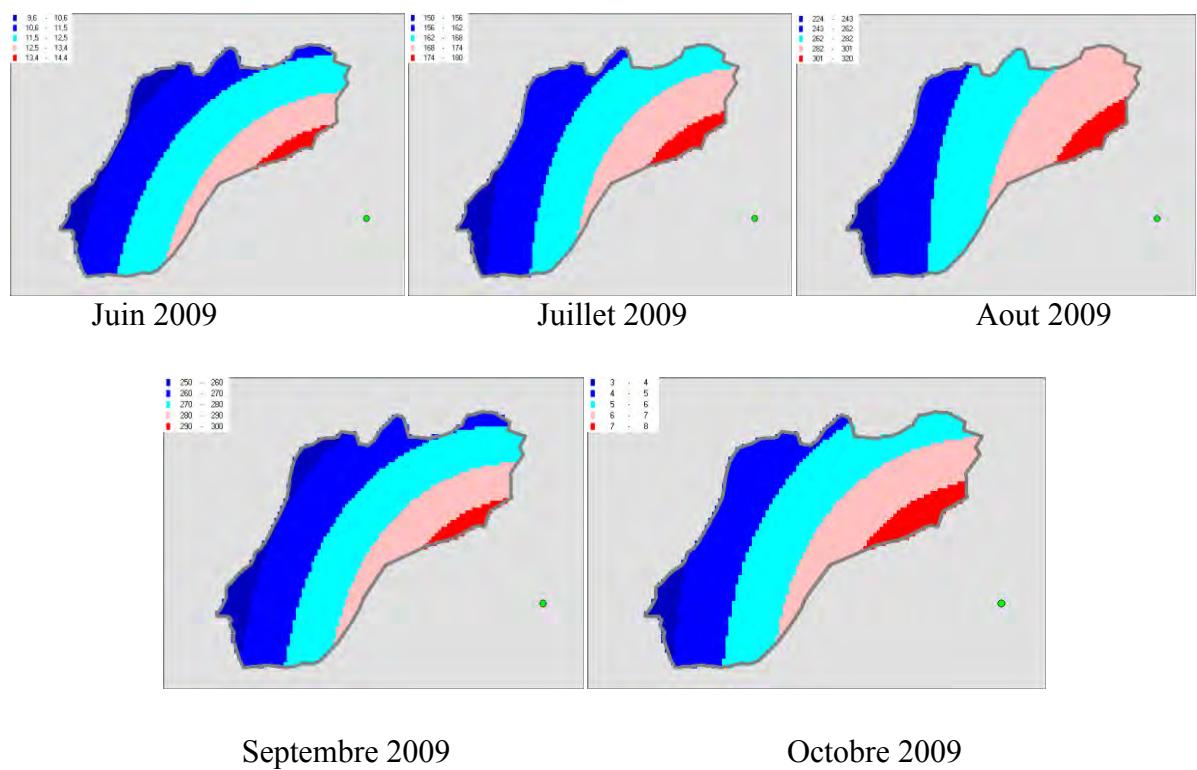
**Figure 7 : répartition mensuelle des pluies et du double de la température mensuelle**

La distribution des pluies mensuelles est variable dans le bassin versant. Elle varie d'un mois à l'autre à l'image d'une année à une autre. Pour mieux caractériser cette variabilité de la pluviosité nous donnons en exemple la répartition spatiale des pluies dans le bassin versant en

1968, année du début de la sécheresse et de 2009, année la plus humide de ces trente dernières années.



**Figure 8 : Répartition des pluies mensuelles moyennes sur le bassin en 1968**



**Figure 9 : Répartition des pluies mensuelles moyennes sur le bassin en 2009**

Durant la saison des pluies 1968, la répartition des pluies n'est pas figée. Elle varie suivant un gradient allant tantôt du Sud vers le nord (Juin), tantôt du Sud-Ouest vers le Nord-Est ou du nord vers le Sud. Ce qui explique la faiblesse du total pluviométrique avec l'absence de la prédominance des pluies issues des lignes de grains (Est vers l'ouest) et de la mousson (Sud-Est vers le Nord-Est).

Durant la saison des pluies 2009, la répartition des pluies est figée. Elle diminue du Nord-Est vers le Sud-Ouest. Cela est d'autant plus explicite que le réseau hydrographique prend sa source au Nord-Est du bassin.

En somme la répartition spatiotemporelle à pas de temps mensuelle des pluies n'est pas figée. Elle varie d'un mois à un autre. Les variations diffèrent d'un mois à un autre chacun avec un gradient de diminution spécifique.

#### **IV. La répartition spatiotemporelle des pluies journalières dans le bassin**

La pluie journalière est le cumul des pluies reçues par une station ou un bassin en 24H. Pour les hydrologues et les météorologues c'est le total des pluies reçues de 8H du matin le jour à 8H du matin le lendemain. Elles dépendent, du type de situation météorologique générant ces averses, selon qu'il s'agisse de lignes de grains ou de pluies continues résultant de la structure active de l'Équateur Météorologique. (Sylla, 2005).

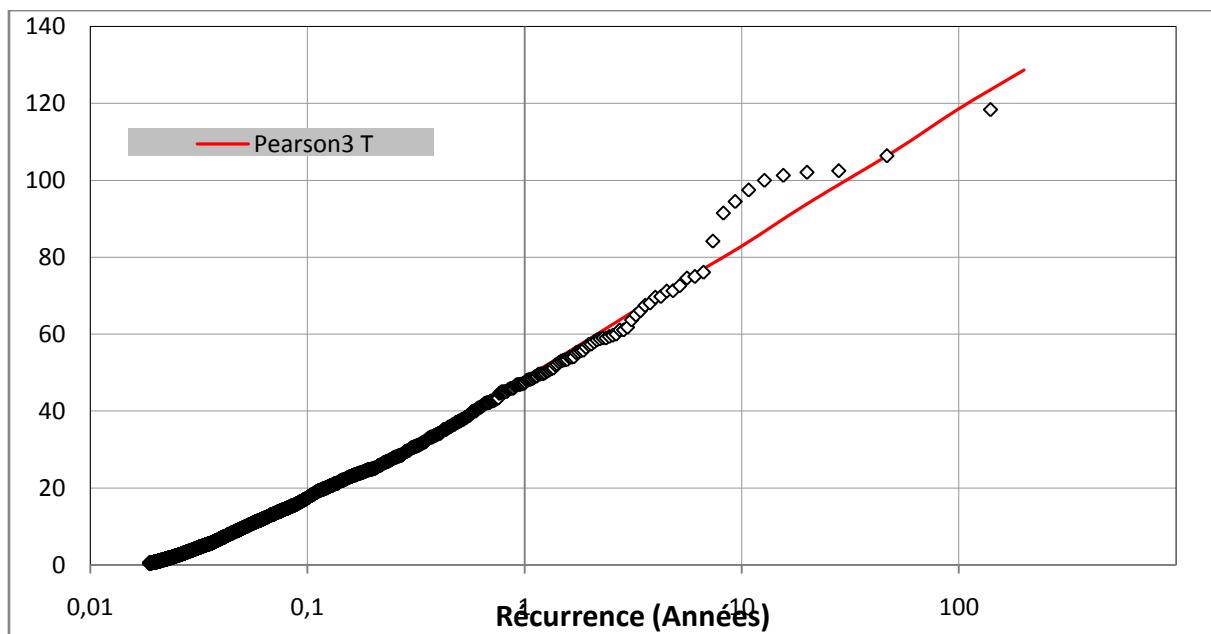
Les données ne sont pas homogénéisées car les stations comportent quelques lacunes et couvrent la période de 1941 à 2009.

Leur étude avec le logiciel Hydraccess se fait avec trois lois tronquées : Galton, Pearson 3 et Goodrich et ne présente que les récurrences humides. La loi de Pearson 3 tronquée s'ajuste le mieux à nos données. C'est pourquoi elle sera utilisée ici afin d'obtenir la pluie journalière décennale, centennale et bicentennale du bassin versant. Ces données nous serviront dans la prédétermination des crues.

**Tableau 7 : pluies journalières fréquentielles à l'échelle du bassin versant**

	Le bassin versant de Toucar à kotiokh								
<b>Fréquences</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0,5</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1</b>	<b>0,05</b>	<b>0,02</b>	<b>0,01</b>	<b>0,005</b>
<b>Récurrences</b>	<b>0,5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
<b>Valeurs (mm)</b>	<b>38,6</b>	<b>48,5</b>	<b>58,9</b>	<b>72,8</b>	<b>82,9</b>	<b>93,9</b>	<b>107,4</b>	<b>118,6</b>	<b>128,7</b>

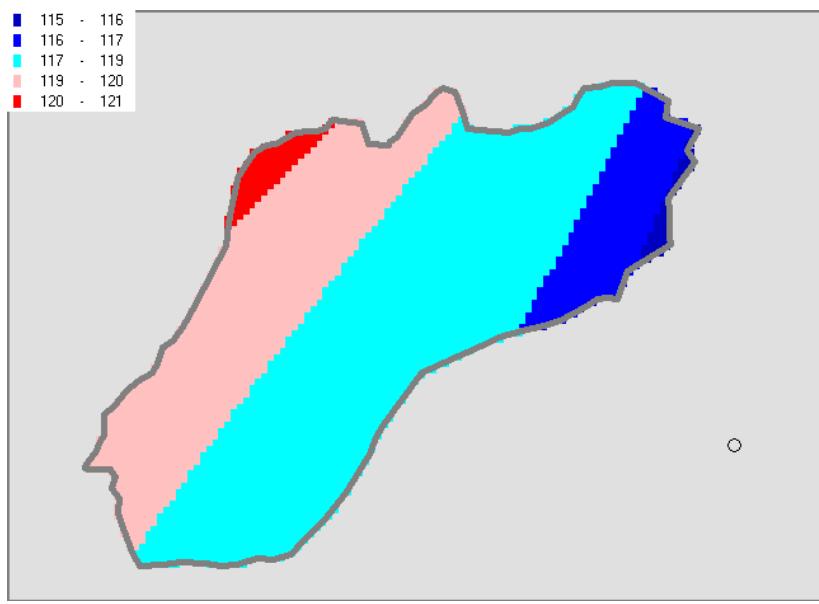
L'étude des pluies journalières dans le bassin versant montre que ces dernières ne sont pas très fortes. Une hauteur de pluie de 48,5mm est attendue tous les ans. Et tous les 10 ans une pluie de 82,9mm est attendue dans le bassin versant. Même en 200 ans la valeur de la pluie journalière attendue dans le bassin versant n'excède pas 200mm, elle est de 128,7mm.



**Figure 10 : distribution statistique des pluies journalières du bassin**

La saison des pluies s'étale sur cinq mois et comporte en moyenne cinquante (50) jours de pluies. La hauteur maximale de 118,4 mm est enregistrée le 13 Aout 1965.

La pluviométrie est irrégulière et laisse voir des périodes de sécheresse allant 10 à 15 jours au sein même du mois d'Aout jugé être le plus pluvieux. Aussi ces sécheresses intra-hivernales surviennent le plus souvent en début de saison des pluies ou vers la fin de la dite saison. Elles affectent durablement les paysans du bassin versant à cause des semences perdues en début d'hivernage, piétinent le développement normal des cultures et souvent conduit à l'immaturité des cultures par un arrêt prématurée des pluies.



**Figure 11 : forme caractéristique de répartition de la pluie journalière du 13 Aout 1965**

Cette figure montre que l'averse du 13 Aout 1965 intéresse toutes les stations du bassin versant. Elle a un gradient de diminution Nord-Ouest vers le Nord-Est. Elle justifie que la pluie peut prendre plusieurs directions au sein du bassin versant.

## **CHAPITRE VI : LES ECOULEMENTS DANS LE BASSIN VERSANT**

L'écoulement est le mouvement de l'eau à la surface ou à l'intérieur de la terre sous l'action de la gravité. Dans le bassin versant de Toucar à Kotiokh, on distingue deux grands types d'écoulements : l'écoulement de surface et l'écoulement de subsurface.

### **I. L'écoulement de surface ou ruissellement de surface**

L'écoulement de surface est constitué par la frange d'eau qui, après une averse, s'écoule plus ou moins librement à la surface des sols. L'importance de l'écoulement superficiel dépend de l'intensité des précipitations et de leur capacité à saturer rapidement les premiers centimètres du sol, avant que l'infiltration et la percolation, phénomènes plus lents, soient prépondérants (Mussy A.2010). Ce ruissellement alimente les bas-fonds et les marigots du bassin versant en eau. Il peut prendre différentes formes suivant la dynamique de la pluie, la nature du relief, de la pente et de la couverture végétale. Il peut être généré de trois façons (Mendy A. 2010) :

Par dépassement du seuil d'infiltration lorsque l'intensité de la pluie est supérieure à la vitesse d'infiltration du sol. L'excédent ruisselle pour contribuer à l'écoulement rapide de la crue (ruissellement hortonien). Le ruissellement peut être provoqué par la dégradation ou par modification des états.

Par dépassement du seuil de saturation, la pluie qui tombe sur un sol saturé ne pouvant plus s'infiltrer pousse par « effet piston » l'eau déjà présente dans le sol.

Par exfiltration de l'eau aux endroits où la nappe affleure.

### **II. L'écoulement subsurface**

L'écoulement subsurface ou écoulement hypodermique est cette partie de la pluie qui, infiltrée chemine quasi horizontalement dans les couches supérieures du sol pour réapparaître à l'air libre, à la rencontre d'un chenal d'écoulement. Il participe d'une manière très lente au remplissage des bas-fonds et des marigots du bassin versant. Il dépend de la structure du sol et de ce fait très importante dans la zone du fait de la perméabilité des horizons supérieurs du sol. Son importance se justifie par les nombreux puits forés dans le bassin pour servir de l'arrosage des plantes, à la boisson ou de l'abreuvement du bétail.

Les processus dominants d'un écoulement dépendent des conditions initiales d'humidité, de la chronologie des pluies, de la morphologie et de la surface du bassin (Mendy A. 2010).

Quelle que soit l'origine de l'écoulement, on distingue le ruissellement en rigole sur le versant situé en amont du bassin versant où la pente est peu forte et le ruissellement en nappe anastomosée sur le reste du bassin où la pente est faible. Ce ruissellement en nappe est de type tranquille dans les chenaux des cours d'eau et est doté d'une faible capacité érosive.

## **CHAPITRE VII : PREDETERMINATION DES CRUES DU BASSIN VERSANT**

L'estimation de la crue décennale est importante dans les bassins versants surtout si ces bassins sont susceptibles d'abriter des activités agricoles. La crue décennale est définie comme étant la crue provoquée par une pluie décennale (hauteur égalée ou dépassée tous les dix ans). Toutes les autres conditions étant celles observées le plus fréquemment lors de fortes averses (humectation du sol, état de la végétation, forme et répartition spatiale de la pluie)

Il existe plusieurs méthodes d'estimation des crues en Afrique de l'ouest allant des méthodes dites anciennes (méthodes ORSTOM, méthode CIEH) à celles modernes faites à l'aide de la modélisation actuelle (GR2M, GR4J).

Le bassin versant n'est pas suivi, ainsi il ne se prête pas à la modélisation. Les méthodes de prédétermination de la crue décennale telles que celle de ORSTOM et celle CIEH dont on se réserve ici le choix d'expliquer les processus de calcul qui sont donnés en détail dans l'ouvrage de la FAO intitulé "crues et apports, 1996". L'estimation est réalisée par la méthode CIEH.

### **I. La méthode ORSTOM**

La méthode ORSTOM (1965) s'applique à des bassins dont la superficie se situe entre quelques dizaines d'hectares et plus de 1500 km<sup>2</sup>, en distinguant néanmoins les bassins sur lesquels la crue décennale n'est généralement pas unitaire. Elle n'est pas applicable sur les franges littorales (10 à 20 km de la côte).

La méthode repose sur une estimation globale de la capacité d'infiltration du bassin, organisée en six classes. Cette capacité, associée à un domaine climatique, à une classe de relief et à la surface, autorise à l'utilisateur de se référer à des abaques pour estimer l'ensemble des paramètres de la crue de projet (DIENG S., 2009).

La méthode favorise l'estimation du volume ruisselé ainsi que les temps de montée et de base, paramètres indispensables à la conception de certains aménagements retenues, réservoirs, contrôle de zones d'épandage, etc (FAO, 1996).

C'est une méthode déterministe à modèle global pluie-débit fondée sur la théorie de l'hydrogramme unitaire. On considère que le bassin versant constitue une entité homogène, tant en ce qui concerne les apports pluviométriques que ses caractéristiques physiques. Les nombreuses études hydrologiques effectuées en région sahélienne et tropicale sèche ont

permis de dégager les principaux facteurs explicatifs des crues : la hauteur et la forme de l'averse génératrice, la superficie du bassin versant, l'infiltrabilité du sol et le relief.

La méthode requiert une bonne connaissance des caractéristiques physiques du bassin versant : superficie, indice global de pente (périmètre, indice de compacité, longueur du rectangle équivalent), infiltrabilité, aspect du réseau hydrographique (y compris les phénomènes de dégradation), pourcentage de zones cultivées, présence d'ouvrages et aménagements. Cette première phase doit s'accompagner d'une reconnaissance de terrain.

Dans la méthode, le débit de pointe correspondant au ruissellement superficiel de la crue décennale est défini par la relation :

$$Qr10 = A * P10 * Kr10 * \&10 * S/Tb10$$

Avec, A= le coefficient d'abattement

P<sub>10</sub>= la hauteur de pluie journalière décennale

Kr<sub>10</sub>= le coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale

\&10= le coefficient de ruissellement correspondant à la crue décennale

S= la superficie du bassin versant

Tb<sub>10</sub>= le temps de base correspondant à la crue décennale

Ces différents paramètres sont déterminés à l'aide d'abaques ou de formules. Seul (\&10) peut, dans de nombreux cas, être assimilé à une constante.

## II. La méthode CIEH (PUECH-CHABI GONI)

C'est une méthode statistique mise en œuvre en 1984. Elle est même utilisable sur les bassins de superficie supérieure à 200 km<sup>2</sup>

Son application nécessite la connaissance des paramètres que sont :

- La pluviométrie moyenne annuelle
- Surface du bassin versant
- Et l'indice global de pente

C'est pourquoi, la détermination de la surface du bassin versant et de l'indice global de pente sont des facteurs déterminants de la méthode, d'où la nécessité de délimiter de façon précise le bassin afin de calculer les valeurs du rectangle équivalent et de l'indice global de pente

La formulation retenue pour retrouver l'expression du débit de pointe  $Q_{10}$  est basée sur un schéma de régression multiple et se présente sous la forme :

$$Q_{10} = a \cdot S^s \cdot \bar{P}_{an}^p \cdot I_g^i \cdot Kr_{10}^k \cdot Dd^d \dots$$

Où : **a, s, p, i, k, d...** sont des coefficients à déterminer et

**S** : surface du bassin (km<sup>2</sup>)

**Ig** : indice global de pente (m/km)

**Pan** : pluie annuelle moyenne (mm)

**Kr10** : coefficient de ruissellement décennal (%)

**Dd<sup>d</sup>** : densité de drainage saisonnière (km-l).

Dans le bassin versant de Toucar à Kotiokh : **S** : 91,28, **Ig** : 0,92m/km, **Pan** : 504,6mm, **Dds** : 0,258m/Km. Cette méthode nécessite aussi le calcul de la hauteur d'averse ponctuelle décennale ( $P_{10}$ ) qui représente la pluie journalière de même fréquence. Elle est égale à 82,9 mm (voir récurrences humides des pluies journalières).

Le passage de la pluie journalière décennale à la pluie décennale moyenne sur le bassin ( $P_{m10}$ ) se fait suivant la formule :

$$Pm_{10} = A \cdot P_{10}$$

Avec

$$A = 1 - \left[ \frac{161 - 0,042 * Pan}{1000} * \log(30) \right]$$

$P_{m10}$  est égale à 77,04mm

Le coefficient de ruissellement décennal ( $Kr_{10}$ ) se calcule après évolution en fonction de la géologie et de la précipitation annuelle sur sable suivant la formule :

$$Kr_{10} = 2 \cdot 10^7 Pan^{-2,2}$$

$K_{r10}$  est égale à 22,62%.

Ainsi la méthode CIEH peut être estimée suivant deux méthodes :

- Suivant le découpage en zone climatique avec ou sans  $K_{r10}$
- Le découpage par pays et groupe de pays

Ainsi les équations 5 pour le découpage en zone climatique et 33 pour le découpage par pays et groupe de pays du tableau des coefficients de l'équation de la crue décrites dans le livre de la FAO, 1996 seront utilisées

Pour l'équation 5 on a :

$$Q_{10} = 1,83 * 91,28^{0,620} * 0,92^{0,618} * 0,26^{0,121}$$

$$Q_{10} = 24,25 \text{ m}^3/\text{s}$$

Pour l'équation 33 elle est égale à :

$$Q_{10} = 0,195 * 91,28^{0,471} * 0,92^{0,239} * 22,62^{1,046}$$

$$Q_{10} = 41,84 \text{ m}^3/\text{s}$$

**Tableau 8 : Paramètres et valeurs de la crue décennale du bassin selon la méthode CIEH**

B.V. de Toucar à Kotiokh	S(Km2)	Ig m/km	Dds km/k m	Pan (mm)	P10 (mm)	Pm10 (mm)	Kr10 %	EQUATION	Q10 m/S
	91,28	0,92	0,26	504,6	82,9	77,04	22,62	5	24,25
								33	41,84
B.V de THYSSE KAYMOR STATION DE NDIBA	18	3,8		800	125	105,7	22		60

La connaissance de cette crue est déterminante surtout pour le dimensionnement des ouvrages, la construction de réservoirs et la protection de zones d'épandages. On peut l'étendre à la pluie centennale qui est égale à 964mm et même bicentennale.

Ces résultats, comparés aux résultats obtenus par la méthode ORSTOM au niveau du bassin versant des Thysse Kaymor situé dans le Sine Saloum aux latitudes : 13°44' et longitudes : 15°30' nous donne un aperçu sur la validité de la méthode. Le bassin versant de Thysse

Kaymor se trouve plus au sud vers la Gambie que notre bassin. Il reçoit donc plus de précipitations et par conséquent, son débit doit être plus élevé que celui trouvé dans notre bassin. Ce que confirment affectivement les résultats au niveau de ce bassin versant (voir tableau 8).

### **III. La crue de projet**

Toute stratégie de mise en valeur nécessite la détermination de la crue de projet. Ainsi, aussi bien la méthode ORSTOM que la méthode CIEH propose une démarche favorisant le passage de la crue décennale à la crue centennale à l'aide d'une simple relation utilisant un coefficient de passage.

Ces coefficients varient de 1,5 pour les réseaux hydrographiques en arête de poisson à 3 pour le réseau de type radial. Ils donnent au concepteur d'un ouvrage hydraulique d'accroître sa marge de sécurité par rapport à la crue décennale.

Le passage s'effectue suivant la formule :

$$Q_{100} = C \cdot Q_{10}$$

Le réseau hydrographique du bassin versant de Toucar à Kotiokh est de type arête de poisson donc le coefficient **C** est égale à 1,5. Donc **Q<sub>100</sub>** est égale à **1,5\*24,25m<sup>3</sup>/S ou 1,5\* 41,84m<sup>3</sup>/s**

**Q<sub>100</sub>**= 36,4m<sup>3</sup>/S ou 62,8 m<sup>3</sup>/S suivant les deux formules

Cependant, la détermination de la crue décennale et de projet restent capitales dans le bassin versant. Ce bassin est sous la menace progressive de la salinisation dans sa partie sud. Le calcul de cette crue permettra aux décideurs et aux entrepreneurs d'avoir un aperçu sur la nature et la qualité de l'ouvrage à construire pour arrêter la progression de la langue salée.

### **IV. Discussion de la méthode de prédétermination**

Bien qu'empirique, cette méthode reste la plus facile à aborder pour parvenir à nos ambitions de prédétermination des paramètres hydrologiques du bassin versant. Les résultats obtenus restent très discutables ; ceci lié au fait que la prédétermination liée à la zone climatique induit toujours des nuances. Aussi, celle par pays ou groupe de pays induit aussi des erreurs car à l'intérieur de ces pays, il peut ne pas y avoir une homogénéité climatique.

Notre souci étant dans un premier temps d'estimer les potentialités hydrologiques du bassin versant et dans un second temps de connaitre le débit du bassin afin d'avoir une idée sur le dimensionnement des ouvrages hydrologiques. Dans cette optique cette méthode reste la seule qui s'offrait à nous vus les moyens et le temps dont nous disposions.

Malgré donc les incertitudes qu'elle induit, elle reste une nécessité pour nos pays sous équipés en matériels hydrologiques modernes indispensable pour la réalisation d'une étude impliquant l'application de la modélisation.

## CONCLUSION

Le bassin versant de Toucar à Kotiokh présente des caractéristiques physiographiques et des écoulements particuliers. La caractérisation des paramètres physiques et climatiques qui déterminent l'écoulement montre que le bassin s'inscrit dans un environnement où les altitudes sont faibles et les roches perméables d'où la faiblesse des écoulements. Aussi, le problème majeur du bassin versant n'est pas seulement lié au manque d'eau et d'écoulement mais à la dérive d'une multitude de facteurs dus à des actions anthropiques mais aussi à l'intervention des causes naturelles aggravées par les carences des systèmes de gestion. Cette forte anthropisation contribue à l'aggravation du phénomène de dégradation des rivières et de leur végétation (ensablement, déforestation).

L'estimation de la crue décennale nécessite une caractérisation détaillée des paramètres physiques et climatiques des bassins. Ces paramètres influent sur la forme de l'hydrogramme de crue. En zone sahélienne et tropicale sèche, le choix de la crue décennale comme « crue projet » est fréquent.

Ce travail constitue une première dans le bassin versant d'où la difficulté de trouver des données nous permettant de faire la modélisation mais aussi le crédit horaire qui nous ait alloué ne permet pas de faire recours à des abaques pour la détermination et l'estimation de certains paramètres. Toutefois ce travail constitue un excellent baromètre des ressources hydriques du bassin versant. Vu la complexité des paramètres de la méthode ORSTOM, la méthode CIEH a été appliquée et les résultats obtenus démontrent que le bassin regorge un potentiel hydrique saisonnier important.

Cela démontre l'intérêt que portent les populations à l'exploitation agricole surtout hors saison du bassin versant.

Ainsi pour répondre aux OMD<sup>17</sup> dans le bassin versant, on devra mener des actions de restauration et de réhabilitation des cours d'eau, lutter contre l'ensablement de la vallée, maîtriser les écoulements et l'aménagement d'ouvrages anti-sel à l'aval du bassin. Il est aujourd'hui important aussi, d'améliorer l'accès en eau potable des populations dans la mesure où la plupart des nappes du sous sol est riche en sel et en fluor. L'agriculture maraîchère se pratiquant à la force manuelle doit être redynamisée afin de participer

---

<sup>17</sup> Objectifs du Millénaire pour le Développement

activement à la consommation alimentaire. Toutes ces stratégies ne seront favorables qu'avec la participation des populations locales.

Toutefois, nous ne prétendons pas avoir apporté tous les éléments de réponse à la complexité des problèmes posés. Ainsi, dans les travaux futurs que nous projetons : d'affiner l'analyse du relief à l'aide d'images satellitaires à résolution fine, de procéder à des mesures hydrométriques avec l'implantation de stations hydrométriques et pluviométriques (en amont et en aval du bassin) ce qui permettrait une meilleure analyse des relations pluie-débit. Cela permettra dans les recherches futures d'appliquer la modélisation hydrologique en vue d'améliorer les informations disponibles.

## BIBLIOGRAPHIE

**ALBERGEL J. (Ed.), Lamachère J.M. (Ed.), Lidon B. (Ed.), Mokadem A. (Ed.), Van Driel W. (Ed.),** 1993. Mise en valeur agricole des bas-fonds au Sahel. Typologie, fonctionnement hydrologique, potentialités agricoles. Rapport final d'un projet CORAF-R3S. Ouagadougou, Burkina Faso, CIEH, 335 p.

**BODIAN A. (2006)** : caractérisation physiographique et estimation des écoulements de surfaces des bassins versant de l'axe Matam Bakel, mémoire de DEA, UCAD. 48 pages.

**CHARREAW CI. (IRAT - BAMBEY) et FAWCK R. (O R S T B M – BAKAR) (1965)** : les sols du Sénégal, Extrait de ÉTUDES SÉNÉGALAISES pl0 9, Fascicule 3, C.R.D.S-SENEGAL. Saint Louis du Sénégal.

**COLY A., (1996)** : Le système fluvio-lacustre du Guiers : étude hydrologique et gestion quantitative intégré Thèse 3ème cycle, UCAD, 308 pages.

**CARITAS SENEGAL., 2008**, Enquête épidémiologique : impact du fluor ingéré via les eaux de boisson sur la santé des populations de cinq communautés rurales du Sénégal (Ngueniene, Ndiaganiao, Ndiop Niakhar, Patar), Journal des Sciences et Technologie –2008 Vol. 7 n° 2 pp. 7 – 12

**DACOSTA H., (1989)** : Précipitation et écoulements sur le Bassin de la Casamance. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle, département géographique, FLSH, UCAD, 278 pages.

**DACOSTA H., (1992)** : Économie de l'eau. DRS sur les bassins versants de Thyssé-Kaymor.

**DELVILLE Ph. L., Boucher L. et Vidal L.,** (1996), "Les bas-fonds en Afrique tropicale humide : stratégies paysannes, contraintes agronomiques et aménagements" in Pichot et al eds. Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides, actes du séminaire international, CIRAD, pp. 148-161.

**DIENG S. (2009)** : caractérisation et prédétermination des crues dans le bassin versant de Passamar à Makacoulibantang. DEA, UCAD. 55 pages.

**DUBREUIL P. (1974)** : initiation à l'analyse hydrologique (dix exercices corrigées), 120, bd saint germain paris VI. Paris.

**DUBREUIL P., VUILLAUME G. (1975)** : influence du milieu physico-climatique sur l'écoulement des petits bassins intertropicaux Symposium AISH Tokyo, décembre 1975, in les caractéristiques des bassins fluviaux, publication AISH N° 117.

**FAO, 1996** : Crues et apports, Manuel pour l'estimation des crues décennales et des apports annuels pour les petits bassins versants non jaugés de l'Afrique sahélienne et tropicale sèche. Rome.

**LAAROUBI H., (1997)** : Les bassins versants urbains de Rufisque : caractéristiques morphométriques et prédétermination des écoulements de surface. Mémoire de DEA, UCAD, 51 pages.

**LABORDE J. P., (2000)** : COURS d'hydrologie, Université de Nice, 204 pages

**Mbodji, M., Becker A. 1999 in LERICOLLAIS A., 1999** : Paysans sereer : dynamiques agraires et mobilités au Sénégal, Paris, IRD, 668 pages.

**MENDY A ; (2010)** : ressources en eau des bassins versants de la Nema et de Médina Djikoye : perceptions, caractérisation de la vulnérabilité et perspectives de gestion durable, thèse de doctorat de troisième cycle. Ucad, flsh. 325 pages.

**MICHEL P., (1973)** : Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie : Étude géomorphologique. Mémoires ORSTOM n° 63-3tomes-752 pages-Paris.

**MUSSY A., (2010)** : Cours d'hydrologie. 195 pages

**RODIER J. A. (1975)** : évaluation de l'écoulement dans le sahel tropical. Travaux et documents de l'ORSTOM, paris. 121 pages

**RODIER J., Auvray C., (1965)** .Estimation des débits de crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km<sup>2</sup> en Afrique Occidentale. Paris, CIEH- ORSTOM 46pages.

**ROCHE M., (1963)** : Hydrologie de surface. ORSTOM and Gauthier Villars, Paris, 430 pages.

**SAGNA P. (2007)** : caractéristiques climatiques ; atlas du Sénégal. Paris, Les Éditions J. A. première édition : pages 66 à 69.

**Sylla A., (2005)** : Caractérisation physiographique et estimation des écoulements de surface du bassin versant urbain de Thiès Mémoire de DEA, département de géographie, FLSH, UCAD, 46pages

**SOW A.A., (1984)** : Pluie et Écoulements Fluviale dans le Bassin du Fleuve Sénégal. Thèse 3<sup>ème</sup> cycle de Géographique Physique. Université de Nancy II. 442 pages.

**SYNTHÈSE HYDROLOGIQUE 1983-1988**. Dakar, ORSTOM-ISRA-CIRAD : 126 pages.

**PELISSIER P. (1966)** : les paysans du Sénégal : Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance. Saint-Yrieix, Fabrègue : 939 p.

## TABLE DES MATIERES

SOMMAIRE .....	3
AVANT PROPOS.....	4
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	5
a) Contexte et justification .....	5
b) Objectif principal .....	8
c) Les objectifs spécifiques .....	8
d) Hypothèses .....	8
e) Méthodologie.....	9
PREMIERE PARTIE : .....	11
CARACTÉRISATIQUES PHYSIQUES ET HUMAINES DU BASSIN VERSANT .....	11
INTRODUCTION .....	12
CHAPITRE I : LES CARACTERISTIQUES BIOPHISIQUES DU BASSIN VERSANT .....	13
A. LES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES.....	13
3. Géologie et hydrogéologie.....	16
B. LA MORPHO-PÉDOLOGIE DU BASSIN VERSANT .....	17
2. Sols et occupation du bassin versant (carte de la DTGC).....	18
CHAPITRE II : LES CARACTÉRISTIQUES MORPHOMÉTRIQUES DU BASSIN VERSANT .....	22
A. LES CARACTÉRISTIQUES DE FORME DU BASSIN VERSANT .....	22
4. L'indice de pente global .....	24
CHAPITRE III : LES FACTEURS THERMIQUES DU BASSIN VERSANT .....	27
1. Les vents .....	28
2. Les températures .....	29
3. L'humidité relative.....	29
4. L'insolation .....	29
5. Évaporation et Évapotranspiration Potentielle (Penman).....	30
CHAPITRE IV : LA POPULATION ET LEURS ACTIVITÉS DANS LE BASSIN VERSANT .....	31
I. La population du bassin versant .....	31
II. Les activités pratiquées dans le bassin versant .....	33
B. L'élevage et activités annexes .....	34
DEUXIEME PARTIE : ETUDE DE LA PLUVIOMETRIE ET DE LA PREDETERMINATION DE LA CRUE DECENNALE DANS LE BASSIN VERSANT .....	36
CHAPITRE V : ÉTUDE DE LA PLUVIOMÉTRIE DANS LE BASSIN VERSANT .....	37

<b>I.</b>	<b>L'état des données .....</b>	38
<b>II.</b>	<b>La répartition spatiale des pluies annuelles dans le bassin versant .....</b>	38
<b>III.</b>	<b>Répartition spatio-temporelle des pluies mensuelles.....</b>	42
<b>IV.</b>	<b>La répartition spatiotemporelle des pluies journalières dans le bassin.....</b>	44
<b>CHAPITRE VI : LES ECOULEMENTS DANS LE BASSIN VERSANT .....</b>		47
<b>I.</b>	<b>L'écoulement de surface ou ruissellement de surface .....</b>	47
<b>II.</b>	<b>L'écoulement subsurface .....</b>	47
<b>CHAPITRE VII : PREDETERMINATION DES CRUES DU BASSIN VERSANT .....</b>		48
<b>I.</b>	<b>La méthode ORSTOM .....</b>	48
<b>II.</b>	<b>La méthode CIEH (PUECH-CHABI GONI).....</b>	49
<b>III.</b>	<b>La crue de projet .....</b>	52
<b>IV.</b>	<b>Discussion de la méthode de prédétermination .....</b>	52
<b>CONCLUSION.....</b>		54
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>		56
<b>TABLE DES MATIERES .....</b>		58
<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS.....</b>		60
<b>Liste des cartes.....</b>		60
<b>Liste des tableaux .....</b>		60
<b>Liste des figures .....</b>		60

# TABLE DES ILLUSTRATIONS

## Liste des cartes

Carte 1: présentation du bassin versant de Toucar à Kotiokh .....	13
Carte 2 : délimitation du bassin versant .....	14
Carte 3 : bassin versant de Toucar à Kotiokh.....	15
Carte 4 : pédologique du bassin versant .....	19
Carte 5 : occupation du sol du bassin versant .....	20
Carte 6 : le MNT du bassin versant.....	23
Carte 7 : Ordonnancement du réseau hydrographique .....	26
Carte 8 : la répartition des densités de la zone de Niakhar.....	32
Carte 9: Localisation des stations hydrométriques.....	37

## Liste des tableaux

Tableau 1 : durée d'observation des paramètres climatiques .....	27
Tableau 2 : Station de Fatick ; paramètres climatiques .....	28
Tableau 3 : Station de Diourbel ; paramètres climatiques.....	28
Tableau 4 : Caractéristiques des stations d'étude.....	38
Tableau 5 : fréquences et récurrences des stations d'études .....	39
Tableau 6 : pluies moyennes mensuelles du bassin.....	42
Tableau 7 : pluies journalières fréquentielles à l'échelle du bassin versant .....	44
Tableau 8 : Paramètres et valeurs de la crue décennale du bassin selon la méthode CIEH .....	51

## Liste des figures

Figure 1 : courbe hypsométrique .....	24
Figure 2 : principaux paramètres climatiques des stations de Fatick et de Diourbel.....	30
Figure 3 : évolution de la population de la zone de Niakhar de 1984 à 2009 .....	33
Figure 4 : ajustement statistique sur des pluies moyennes annuelles. ....	40
Figure 5 : Formes caractéristiques de répartition spatiale des pluies moyennes annuelles .....	40
Figure 6: variations interannuelles de l'indice pluviométrique .....	41
Figure 7 : répartition mensuelle des pluies et du double de la température mensuelle .....	42
Figure 8 : Répartition des pluies mensuelles moyennes sur le bassin en 1968 .....	43
Figure 9 : Répartition des pluies mensuelles moyennes sur le bassin en 2009 .....	43
Figure 10 : distribution statistique des pluies journalières du bassin .....	45
Figure 11 : forme caractéristique de répartition de la pluie journalière du 13 Aout 1965.....	46

## **RESUME**

Le bassin versant de Toucar à Kotiokh présente des caractéristiques physiographiques et des écoulements particuliers. La caractérisation des paramètres physiques et climatiques qui déterminent l'écoulement montre que le bassin s'inscrit dans un environnement où les altitudes sont faibles et les roches perméables d'où la faiblesse des écoulements. Aussi, le problème majeur du bassin versant n'est pas seulement lié au manque d'eau et d'écoulement mais à la dérive d'une multitude de facteurs dus à des actions anthropiques mais aussi à l'intervention de causes naturelles aggravées par les carences des systèmes de gestion. Cette forte anthropisation contribue à l'aggravation du phénomène de dégradation des rivières et de leur végétation (ensablement, déforestation).

L'estimation de la crue décennale nécessite une caractérisation détaillée des paramètres physiques et climatiques des bassins. Ces paramètres influent sur la forme de l'hydrogramme de crue. En zone sahélienne et tropicale sèche, le choix de la crue décennale comme « crue projet » est fréquent.

Ainsi pour répondre aux OMD<sup>18</sup> dans le bassin versant, on devra mener des actions de restauration et de réhabilitation des cours d'eau, lutter contre l'ensablement de la vallée, maîtriser les écoulements et l'aménagement d'ouvrages anti-sel à l'aval du bassin. Il est aujourd'hui important aussi, d'améliorer l'accessibilité en eau potable des populations dans la mesure où la plupart des nappes du sous sol est riche en sel et en fluor. L'agriculture maraîchère se pratiquant à la force manuelle doit être redynamisée afin de participer activement à la consommation alimentaire.

**Mots clés :** bassin versant, hydrologie, crue décennale,

---

<sup>18</sup> Objectifs du Millénaire pour le Développement