LISTE ABREVIATIONS

ACP	Analyse en Composantes Principales.
AGRHYMET	centre AGRo-HYdroMETrique, hébergé à Niamey (Niger)
BP	Before Present
CIRAD	Centre de Coopération Internationale de Recherche Agronomique pour le Développement
CLCPRO	Commission FAO de Lutte Contre le Criquet Pèlerin en Région Occidentale, Alger
CNLA	Centre National de Lutte Antiacridienne de Mauritanie, Nouakchott
DEM	Digital Elevation Model (MNT en français)
DLIS	Desert Locust Information Service, service de la FAO à Rome
EMPRES	Emergency Prevention System for Transboundary and Plant Pest Diseases
EOS	Earth Observing System
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus
FAO	Food and Agriculture Organisation, Rome
FFEM	Fond Français pour l'Environnement Mondial
GPS	Global Positioning System
HDF	Hierarchical Data Format (format standard de donnée des produits d'observation de la terre de la NASA)
LANDSAT	Land Satellite
MNT	Modèle Numerique de Terrain
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MRT	MODIS Reprojection Tool
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
ONM	Office National de la Météorologie en Mauritanie
RGB	Red Green Blue
SIG	Système d'Information Géographique
SILAT	Système d'Information Localisé pour l'Aménagement du Territoire
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission

TABLE DES MATIERES

LISTE ABREVIATIONS 3
LISTE DES FIGURES 5
LISTE DES TABLEAUX 5
INTRODUCTION 6
CHAPITRE 1. Matériels et Méthodologie de l'étude 11
1.1 La zone d'étude 11
1.2 Matériel et principes méthodologiques 13
1.3 Acquisition et structuration des données 14
1.3.1 Acquisition de données satellitaires 14
1.3.2 Acquisition de données de terrain 16
1.3.3 Acquisition de données climatologiques 17
1.3.3 Structuration de données 17
CHAPITRE 2. Traitement des données 18
2.1 Traitement des images satellites 18
2.1.1 Classification de la scène Landsat ETM+ 18
2.1.2 Extraction du réseau hydrographique 19
2.1.3 Création et traitement des séries temporelles NDVI 19
2.2 Traitement des données de terrain 20
2.2.1 Les données de la mission de terrain 20
2.2.2 Les données acridiennes 20
CHAPITRE 3. Résultats et discussion. 22
3.1 Croisement des données 22
3.2 Carte des biotopes acridiens (limites spatiales) 22
3.3 Les séries temporelles 23
3.3.1 Classification des images multi date de Modis Terra 23
3.3.2 Profils temporels des unités morpho-pédologiques (limites temporelles des biotopes): 24
3.4 Le potentiel acridien 27
CONCLUSION 28
BIBLIOGRAPHIE 30
SITES CONSULTES 31
REMERCIEMENTS 32
ANNEXES 33

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Cycle biologique et dynamique phasaire du Criquet pèlerin 7
Figure 2 : Superficies prospectées (en hectares), infestées et traitées lors de campagnes antiacridiennes de 2003 à 2005 en Mauritanie. 9
Figure 3 : Zones de distribution du criquet pèlerin au niveau mondial (A), ses zones de reproduction en Mauritanie (B) et la zone d'étude (c). 11
Figure 4 : Diagramme de pluies enregistrées en 2000 et 2003-2005(station d'Akjoujt) 12
Figure 5 : Diagramme de pluies enregistrées en 2000 et 2003-2005(station d'Atar) 12
Figure 6 : Itinéraire méthodologique du projet 14
Figure 7 : Caractéristiques techniques du Modèle Numérique de Terrain utilisé. 16
Figure 8 : Limite spatiale des biotopes acridiens. 22
Figure 9 : Zones végétalisées en 2003 Figure 10 : Zones végétalisées en 2004 24
Figure 11 : Zones végétalisées en 2005 24
Figure 12 : Comparaison des superficies végétalisées de 2003 à 2005. 24
Figure 13 : Profil temporel NDVI (Modis) de pixels mixtes à l'échelle de résolution Landsat. 25
Figure 14 : Profil temporel NDVI (Modis) de pixels homogènes 25
Figure 15 : Profil temporel NDVI (Modis) de pixels homogènes à l'échelle de résolution Landsat ... 26
Figure 16 : Profil temporel NDVI (Modis) de pixels homogènes 26

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Caractéristiques de l'image Landsat utilisée 15
Tableau 2 : Caractéristiques des images Modis Terra. 15
Tableau 3 : Surfaces des entités délimitées avec Landsat 23

Introduction

Le Criquet pèlerin *Schistocerca gregaria* (Forskål, 1775) est un insecte Orthoptère de la famille des *Acrididae* et de la sous famille des *Cytacanthacridinae*. Il constitue une menace permanente pour l'agriculture et les pâturages de plus de 60 pays couvrant près de 25 % des terres émergées et habitées par le dixième de la population mondiale (Steedman 1988). En période d'invasion, les populations grégaires de Criquet pèlerin peuvent contaminer des territoires sur plus de 29 millions de kilomètres carrés de la côte occidentale de l'Afrique jusqu'à l'Inde (Popov *et al.* 1991). En période de rémission les populations solitaires restent cantonnées dans les parties les plus désertiques de l'aire (Sahara Arabie, Asie du sud-ouest), soit environ de 16 million de km². Les conséquences socioéconomiques et environnementales de ce fléau sont considérables dans ces pays arides et semi-arides où la sécurité alimentaire est déjà incertaine et l'environnement fragile. La dernière invasion de 2003 – 2005 a lourdement pesé sur les ressources agro-pastorales du pays dont vivent plus de 60% de la population. La FAO a estimé le coût de cette invasion à plus de 350 millions de $ EU (Brader *et al.*, 2006).

Le Criquet pèlerin est un locuste, c'est-à-dire qu'il à la capacité de se présenter sous deux phases extrêmes, **solitaire** lorsqu'il vit dispersé, ou **grégaire** s'il vit groupé. La phase *transiens* représente l'intermédiaire entre les deux. Le facteur déclenchant la transformation phasaire est la densité. Parmi les locustes, le Criquet pèlerin est l'espèce la plus grégariapte (Pasquier, 1950), du fait de son seuil de grégarisation (densité à partir de laquelle la transformation phasaire est déclenchée) très bas : ± 500 imagos /ha (Duranton & Lecoq 1990). Des changements de comportement, de couleur, de physiologie, de morphométrie, d'anatomie et d'écologie caractérisent les deux phases de ce locuste :

- **Phase solitaire** : Les individus sont verts ou bruns. Ils sont adaptés à leur micro-environnement, et ne se rapprochent de leurs congénères que pour se reproduire.
- **Phases grégaire** : Les individus sont jaunes, ou rouges vifs selon la maturité sexuelle. Ils vivent en masse : bandes larvaires ou essaims qui font des ravages sur la végétation. Par ailleurs, ils sont beaucoup plus tolérants que les solitaires à des conditions éco-météorologiques variées. Aussi leur aire de répartition est beaucoup plus étendue.

Comme tous les autres acridiens, le Criquet pèlerin, qu'il soit solitaire ou grégaire, passe par trois états phénologiques successifs : embryonnaire (dans le sol), larvaire (saut et marche sur de petites distances) et imaginale (capable de vol sur de grandes distances) (figure 1). Son cycle biologique ne comporte pas de diapause, arrêt de développement obligatoire, pour se protéger des conditions défavorables (Popov *et al.*, 1991) mais il est capable de rentrer en quiescence (imaginale ou embryonnaire). Sa stratégie de survie est principalement basée sur sa grande capacité migratoire (d'où son nom) qui lui permet de trouver les zones compatibles avec son développement. A l'état solitaire, les populations du Criquet pèlerin sont dispersés dans les aires grégarigènes : ensemble de territoires écologiquement complémentaire où un locuste trouve les conditions propices à sa survie à l'état solitaire, voire à la grégarisation lorsque les conditions écologiques deviennent favorables.

La transformation phasaire a lieu dans des zones particulières des zones grégarigènes : les foyers de grégarisations où les solitaires trouvent des conditions favorables provoquant une élévation de leur densité au-delà du seuil de grégarisation : 500 imago/ha pour le Criquet pèlerin).

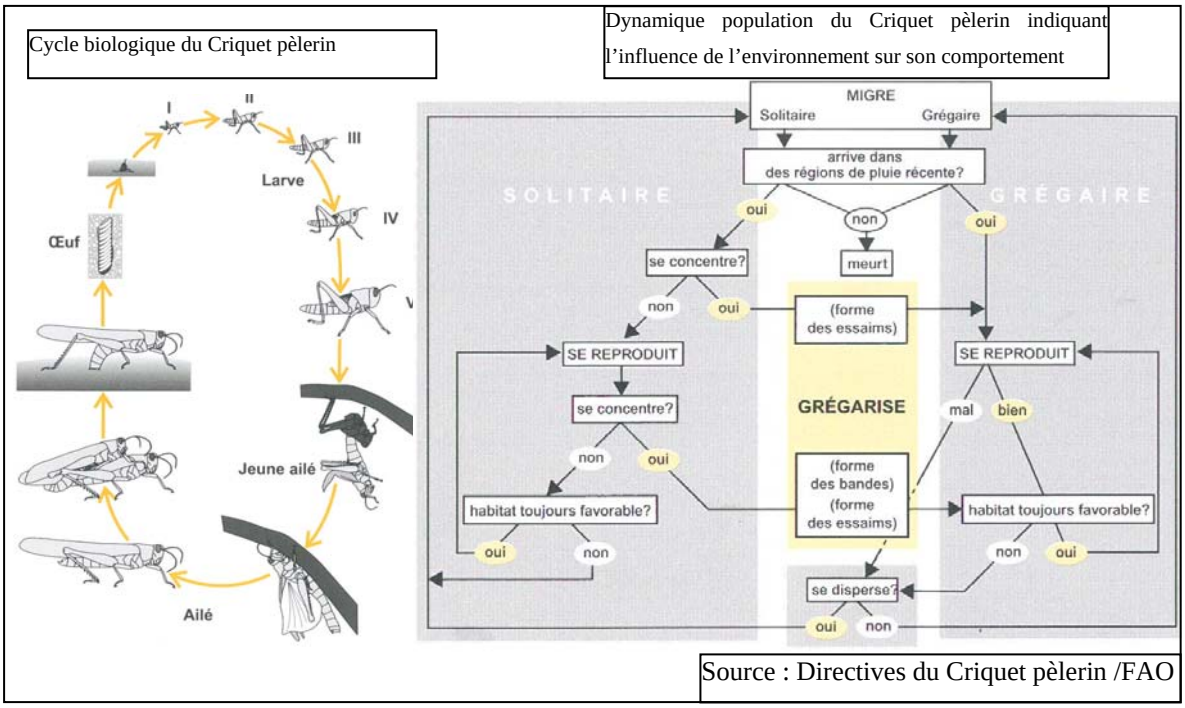


Figure 1: Cycle biologique et dynamique phasaire du Criquet pèlerin

Le Criquet pèlerin a de nombreux foyers de grégarisation dans le nord des pays du Sahel et dans la Corne de l'Afrique sur les bords de la Mer Rouge. En Afrique de l'ouest, les principaux foyers se situent à proximité des massifs montagneux sud-sahariens dans les pays dit la ligne de front (Tchad, Niger, Mali et Mauritanie).

La Mauritanie offre au Criquet les région saisonnièrement complémentaires qui assurent une présence permanente de l'insecte sur son territoire (Ould Babah 2001; Ould Ahmedou 2002). Elle a fait face à deux invasions durant les 20 dernières années, à une recrudescence majeure et à plusieurs reproductions d'échelles variables avec des intervalles de deux à trois ans (Ould Babah 1997).

Pour lutter contre le Criquet pèlerin, la Mauritanie a adopté une stratégie de lutte préventive qui consiste à surveiller en permanence les zones favorables aux populations solitaires susceptibles de permettre la transformation phasaire et le départ d'invasions généralisées. Cette mise en œuvre est coordonnée au niveau régional par la CLCPRO (Commission FAO de Lutte Contre le Criquet Pèlerin en Région Occidentale) à travers le programme EMPRESS et soutenue par différents partenaires, dont la France (Roy, 2001). La lutte préventive nécessite des moyens humains, logistiques et financiers afin d'identifier les sites favorables, localiser les premières pullulations et intervenir rapidement dès que le seuil de grégarisation est atteint. Toutefois, cette stratégie est nettement moins couteuse aussi bien économiquement qu'écologiquement que la lutte curative contre les bandes larvaires et les essaims migrants qui ravagent tout, bien au-delà des limites des aires grégarigènes. La problématique antiacridienne en Mauritanie doit tenir compte des composantes suivantes : tout le territoire n'est pas à prospecter en permanence, les apports hydriques ou mieux les disponibilités

hydriques sont des facteurs discriminantes pour le couvert végétal et la réussite de la reproduction du criquet ; d'où la nécessité de localiser, le plus précocement possible, les sites propices aux insectes afin d'orienter les équipes de terrain. Le choix d'itinéraires de prospection constitue l'une des problématiques clef pour les responsables de la lutte préventive : **Où, quand et comment doit on effectuer la prospection ?**

Des moyens d'observation de la Terre permettant de suivre avec une précision opérationnelle l'état de la surface et les conditions éco-météorologiques ont été testés depuis plus de vingt ans à travers plusieurs applications pour tenter de prévenir ce fléau (Hielkema, 1991). Nouvelles technologies sont déjà appliquées à la lutte préventive :

- Un SIG dénommé RAMSES (Reconnaissance And Monitoring System of the Environment of *Schistocerca*) mis au point par la FAO permet de saisir et de synthétiser les informations de manière homogène dans tous les pays touchés par le Criquet pèlerin (Cherlet, 1993).
- Un système de transmission de données terrain en temps réel via satellite, appelé eLocust2 est opérationnel au point depuis 2005 (Site internet DLIS (Desert Locust Information Service) de la FAO (Food and Agriculture Organisation)).
- Des séries temporelles brutes des images satellites Modis Terra sont mises à disposition des Centre Nationaux de Lutte Antiacridienne depuis 2005 par le DLIS-FAO pour guider les équipes de prospections (Ceccato *et al.*, 2007).

La Mauritanie souhaite utilise tous les outils disponibles pour aider à la planification des prospections et prédire les scénarios de l'évolution de la situation écologique et acridienne. L'espoir porte notamment sur l'utilisation de la télédétection par satellite pour repérer les zones végétalisées dans l'ensemble de l'aire de distribution de l'insecte (Ghaout 1990).

La figure 2 montre la superficie prospectée pour localiser les superficies infestées et traitées durant la dernière invasion (2003-2005). Le rendement des prospections par rapport aux superficies réellement infestées varie de 1 à 35% selon la période d'invasion (2003) ou de rémission (2005). En période de rémission, l'imagerie satellitaire pourrait être utilisée pour mieux orienter les équipes de prospection afin d'optimiser leur rendement.

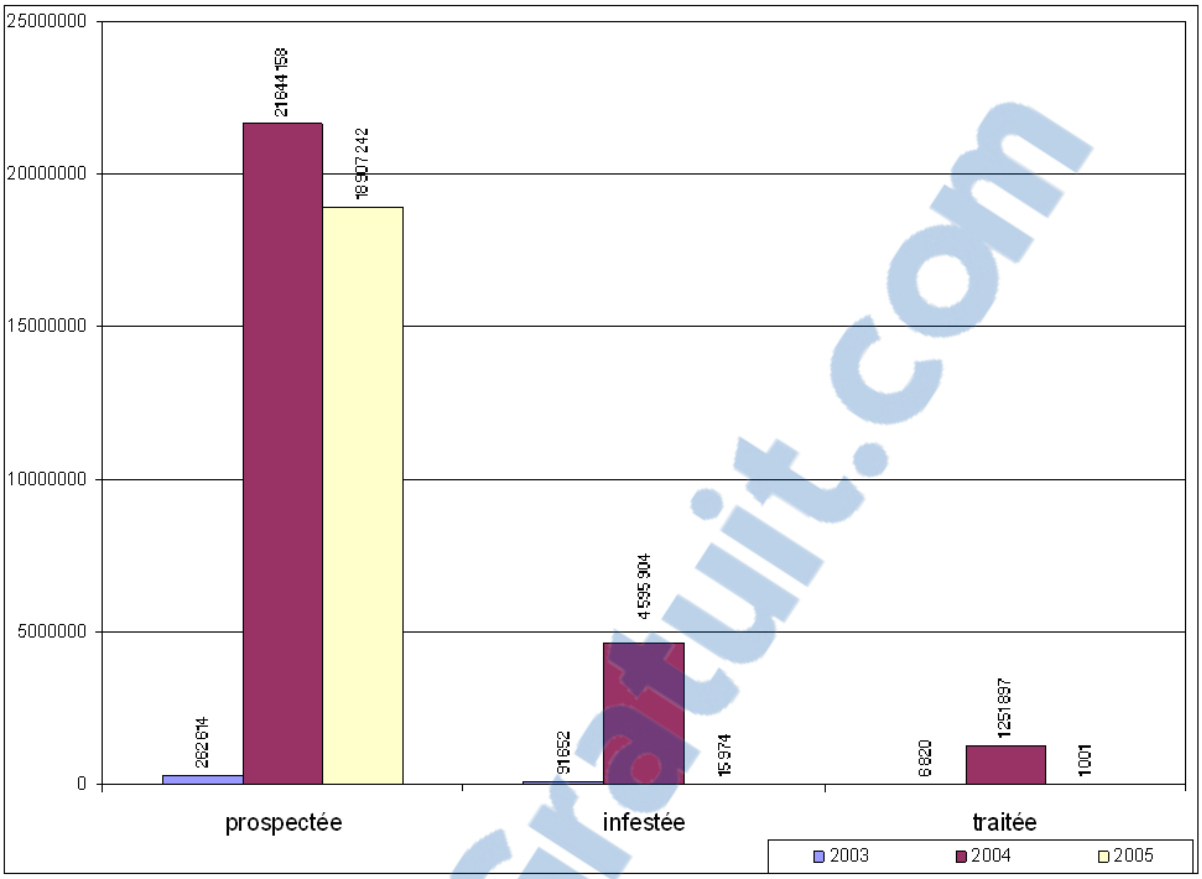


Figure 2 : Superficies prospectées (en hectares), infestées et traitées lors de campagnes antiacridiennes de 2003 à 2005 en Mauritanie.

La réussite de la lutte préventive contre le Criquet pèlerin se heurte depuis toujours à l'étendue des zones à surveiller, à leur accessibilité difficile et récemment aux problèmes d'insécurité (même si la Mauritanie est relativement épargnée par ce problème), et à la hausse mondiale du prix du carburant : en Mauritanie il a augmenté de 175% entre février 05 et juin 2008 (M. H. HENDAH com. pers.). Dans ce cadre, les satellites paraissent particulièrement adaptés pour appuyer les efforts de surveillance. Les seuls satellites fournissant des informations régulières sont au mieux à moyenne résolution (250 m X 250 m). Les séries temporelles issues de ces satellites et mises à disposition par le DLIS-FAO sont grossières et difficiles à interpréter en zone désertique. Mais le Criquet ne se répartit pas au hasard dans son environnement, il va sélectionner certains biotopes qui représentent à peine 10% de son aire de dispersion (Popov *et al.*, 1991). Nous proposons donc une approche utilisant dans un premier temps la haute résolution (30 m X 30 m) pour constituer une couche statique **des limites spatiales des biotopes acridiens**, puis la moyenne résolution multi-date pour obtenir des informations dynamiques sur l'activité du couvert végétal (**limites temporelles des biotopes**). L'idée est de nuancer les informations grossières de Modis en fonction des biotopes réellement disponibles au sol, soit directement (biotopes de grandes dimensions) soit indirectement pour les biotopes de surface inférieure à 250x250 m. Il s'agit donc de mettre en place un modèle bimensuel (tous les 16 jours) de suivi des zones propices au Criquet pèlerin construit par deux niveaux d'informations : une cartographie statique du potentiel acridien des biotopes du Criquet pèlerin et une couche dynamique issue de données satellitaires à moyenne résolution qui permettent d'évaluer régulièrement le

Rapport-Gratuit.com

potentiel exprimé de chaque biotope. Afin de tester cette nouvelle approche, une zone d'étude a été choisie au Nord-ouest de la Mauritanie et précisément entre les deux régions d'Adrar et d'Inchiri (Figure 3). Les objectifs suivants sont visés dans ce travail :

1. Cartographie des biotopes du Criquet pèlerin dans une zone pilote (Grarat Levras) en utilisant de l'imagerie satellitaire haute résolution (Landsat ETM+) ;
2. Utiliser des données multi-dates de moyenne résolution pour évaluer le potentiel acridien sur des périodes connues dans la zone d'étude.
3. Évaluation du risque acridien, en combinant les données satellites et les données terrain.

Ce rapport de projet présente dans le chapitre I une description détaillée de la zone d'étude, des principes méthodologiques, des types de données utilisées et leurs étapes d'acquisition. Le chapitre II est consacré aux traitements des données. Dans le chapitre III, les résultats des travaux sont présentés et discutés. Les principaux résultats et les perspectives offertes font l'objet de la conclusion.

CHAPITRE 1. Matériels et Méthodologie de l'étude

1.1 La zone d'étude

La zone d'étude choisie est située dans la partie Nord-ouest de la Mauritanie. Elle est à cheval entre les régions de l'Adrar et de l'Inchiri où se passe la reproduction hiverno-printanière du Criquet pèlerin (Figure 3, B).

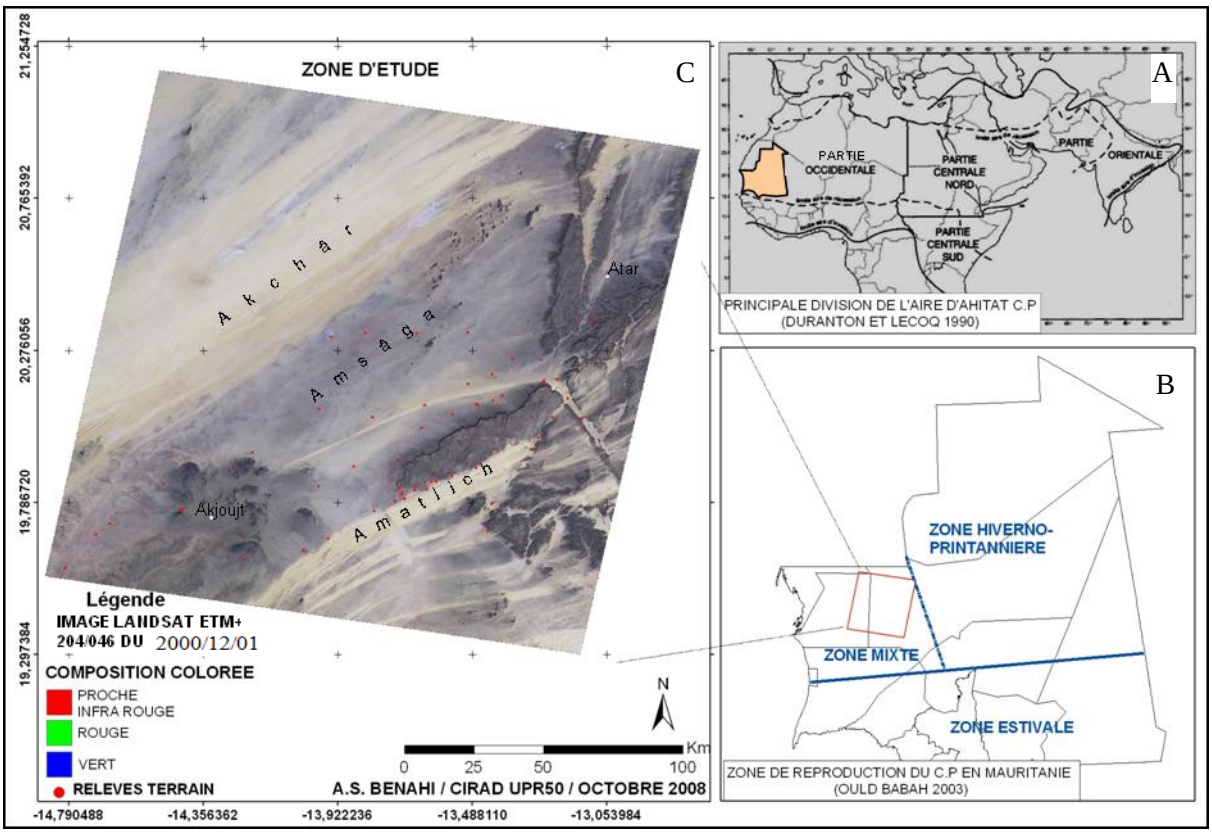


Figure 3 : Zones de distribution du criquet pèlerin au niveau mondial (A), ses zones de reproduction en Mauritanie (B) et la zone d'étude (c).

Cette zone est limitée au nord-ouest par l'Akchar, un vaste massif dunaire orienté NE/SO datant de l'Ogolien, période sèche (20 000 ans BP). Entre ce massif de l'Akchar et l'Amatlich se trouvent successivement les formations quaternaires marines de l'Inchiri entrecoupées de formations rocheuses intrusives du Précambrien. La vaste plaine Amsâga allant vers Atar à l'Est repose aussi sur des granites du Précambrien. Enfin au Nord, avant les dernières dunes de l'Amatlich, apparaissent les formations complexes infra-cambrienne et cambro-ordovicienne de calcaires et dolomites suivies par les grès de la série de Chinguiti et Oujeft. (De Wispelaere & Mougenot, 2003).

Le climat est aride de type désertique, où les pluies sont rares et irrégulières. Cette zone est sous l'influence des deux climats : le climat saharo-sahélien et le climat sahélien. Les précipitations sporadiques sont provoquées par les flux de la mousson pendant l'été (août-septembre) et par le climat à caractère pseudo-méditerranéen pendant la période hiverno-printanière (novembre – janvier). Les figures 4 et 5 permettent de confronter la pluviométrie en 2000 (année de prise de l'image

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Landsat, Cf. partie 1-3) et les années 2003-2005, (années d'études de l'évolution de la situation acridienne).

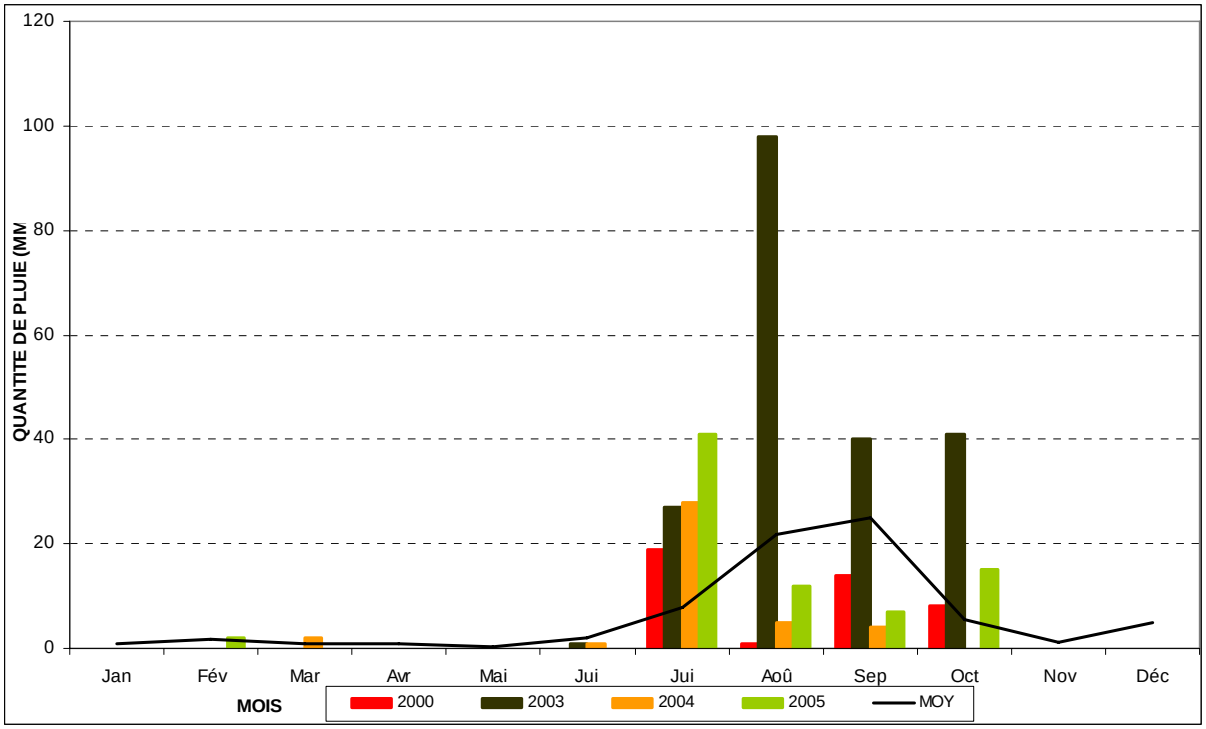


Figure 4 : Diagramme de pluies enregistrées en 2000 et 2003-2005(station d'Akjoujt)

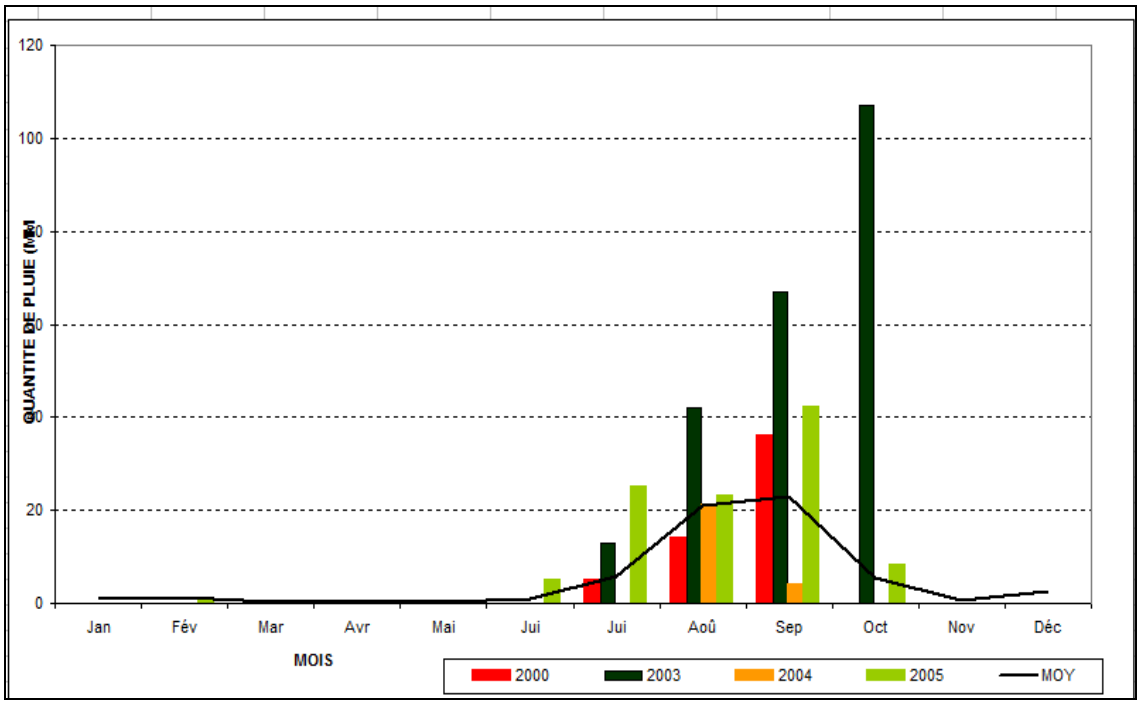


Figure 5 : Diagramme de pluies enregistrées en 2000 et 2003-2005(station d'Atar)

La comparaison des deux stations éloignées d'environ 160 km montre aussi le caractère localisé des pluies. Les deux stations ne sont pas forcement arrosées durant les mêmes mois. L'année 2000 est relativement sèche : Le cumul pluviométrique de juillet à décembre est seulement 55 mm.

L'année 2003 à été une année exceptionnelle aussi bien pour la répartition spatiale que temporelle des pluies. Le total pluviométrique de 2003 dépasse la normale de 73 mm à Atar et de 63 mm à Akjoujt.

L'année 2004 a été une année déficitaire par rapport à la normale et aussi par rapport à l'année 2000. Tandis que pour 2005 on note une nette augmentation par rapport à l'année 2000.

Généralement, les formations végétales dans cette zone sont des steppes ou des pelouses localement arbustive. Les dunes sont parsemées quelques graminées désertiques (*Stipagrostis pungens*, *Panicum turgidum*) et autres plantes (*Maerua crassifolia*). Les oueds accumulent les eaux des reliefs et les concentrent dans des cuvettes cultivées ou les perdent dans les sables. Les arbres et les arbustes sont limités aux oueds et dépressions. Dans le lit de ces oueds sont présents des groupements à *Acacia raddiana* dans l'Akchar, et d'autres à *Tamarix senegalensis* dans les terres salées et à *Commiphora africana* dans la partie méridionale de la zone. Les zones herbeuses sont clairsemées dans la région de l'Inchiri, et deviennent plus denses dans la zone de l'Adrar où elles sont localisées au niveau des oueds et des oasis (De Wispelaere & Mougenot, 2003). Suite à l'aridification récente, le manque de végétation permet au vent de mobiliser des dunes autrefois fixées par cette maigre biodiversité végétale. Dans la zone d'étude, comme partout en zone désertique, les organes photosynthétiques sont souvent éphémères et se développent en quelques semaines en fonction de pluies erratiques et localisées qui déclenchent l'activité de photosynthèse.

La présence conjointe de reliefs, de grands sables (l'Amatlich et l'Akchar) et de regs caillouteux plus ou moins ensablés, le tout entrecoupé d'oueds plus ou moins larges, offre une diversité de biotopes acridiens relativement large. La majorité des types de biotopes dont dispose le Criquet pèlerin en Mauritanie est présente dans cette zone d'étude.

D'un point de vue biogéographique, cette zone présente enfin l'intérêt particulier de se situer entre deux zones de reproduction du Criquet pèlerin : reproduction estivale et reproduction hiverno-printanière (figure 3, B). Elle offre aux individus solitaires après la reproduction estivale, des conditions parfois suffisantes pour une deuxième génération sur place et/ou le passage vers des zones favorables situées au nord (Ould Ahmedou, 2002).

1.2 Matériel et principes méthodologiques

Un biotope peut être décrit comme un milieu caractérisé par son climat, son modelé morpho pédologique, son contexte hydrique (bilan des apports et des pertes structurelles) et sa structure et composition floristique du tapis végétal. Ces caractéristiques déterminent les limites géographiques du biotope. Elles sont complétées par des limites temporelles dépendantes des ressources hydriques effectivement disponibles (conditions météorologiques) qui révèlent toutes ou partie le potentiel écologique du milieu pour l'acridien durant un laps de temps plus ou moins long.

Dans une première étape nous avons utilisé l'imagerie à haute résolution (Landsat ETM+) et des données recueillies lors d'une mission de terrain pour délimiter spatialement les biotopes acridiens : Unités Territoriales Ecologiquement Homogènes d'un point de vue de la morpho-pédologie et de la végétation. Ensuite, en utilisant l'imagerie à moyenne résolution spatiale mais à très haute résolution temporelle (16 jours), nous avons suivi l'évolution des conditions écologiques au niveau de ces unités

durant la durée d'étude allant de 2003 à 2005. Cette démarche est reprise dans la figure 6 (voir aussi annexe E).

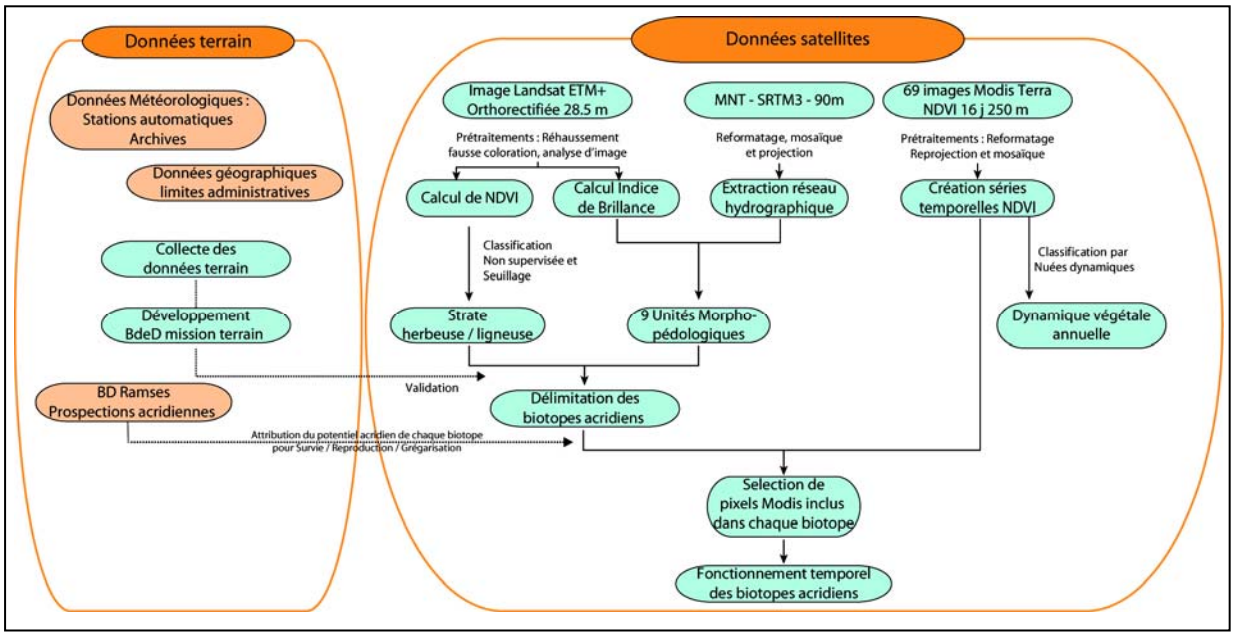


Figure 6 : Itinéraire méthodologique du projet

Dans le cadre de ce travail, les logiciels Erdas Imagine, ArcGIS9.2, MRT (Modis Reprojection Tool), MS Access et MS Excel ont servi respectivement au traitement des images satellitaires, au croisement des informations géoréférencées, à la structuration et l'archivage des données et à l'analyse statistique des données.

Durant la mission de terrain nous avons utilisé du matériel mis à notre disposition par le CNLA : GPS, stations météorologiques automatiques et matériel logistique de terrain (campement, communication et véhicule tout terrain). L'annexe A détaille le chronogramme des taches effectuées et la conduite générale de ce stage.

1.3 Acquisition et structuration des données

1.3.1 Acquisition de données satellitaires

Afin de mettre en place une méthode facilement reproductible à moindre coût et après avoir examiné les différentes sources d'informations satellitaires, le choix des données numériques a été limité à celles disponibles gratuitement sur Internet. Nous avons besoin, d'une part, d'images à haute résolution pour pouvoir identifier et délimiter les biotopes, et d'autre part d'images à résolution temporelle opérationnelle permettant le suivi du couvert végétal sur une grande étendue.

1.3.1.1 Images Landsat ETM+

L'instrument ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus), porté sur Landsat 7, est un capteur passif qui mesure, sur un andain de 185 km de large (segmenté en scènes de 185 km de côté), le rayonnement solaire réfléchi ou émis par la surface de la Terre. Ce capteur possède huit bandes spectrales avec des

longueurs d'onde de rayonnement visible, infrarouge et infrarouge thermique. Les Caractéristiques techniques sont détaillées dans le tableau 1 et l'annexe E).

Une image Landsat téléchargée à partir du site de Global Land Cover Facility (GLCF) (http://glovis.usgs.gov) a été utilisée. Elle couvre l'ensemble de la zone d'étude et ne comporte aucun nuage. Aucune conversion de format ou de projection n'a été effectuée. Les caractéristiques de cette image sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1: Caractéristiques de l'image Landsat utilisée

Type :	Image Ortho-rectifiée LANDSAT E.T.M+
Date d'acquisition	01/12/2000 :11:09:49.
Path/Row	204/046
Centre de l'image	20.23000N -13.81880W
Nombre de canaux (bandes) :	9 (B1, B2, B3, B4, B5, B6.1, B6.2 et B7)
Taille du pixel	28,5m (57m pour B6.1 et B6.2)
Système de projection	UTM, WGS 84 Zone 28
Hauteur du soleil	41.9731941
Azimut	149.9915161

1.3.1.2 Images Modis terra

Dans le cadre de notre étude, nous avons utilisé l'indice de végétation NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) issue du système MODIS (voir Annexe E). Cet indice est disponible sous forme de synthèse temporelle de 16 jours avec des résolutions varient entre 1, 0,5 et 0,25 km. Nous avons choisi la meilleure résolution, il s'agit de " vegetation indices 16-Day L3 Global 250m SIN Grid". Les caractéristiques techniques de ce produit sont reportées dans le tableau 2 et en Annexe E.

Deux sites mettent ces images en ligne, le site de LPDAAC (Land Processes Distributed Active Archive Centre) http://lpdaac.usgs.gov/main.asp et le site de IRI (International Research Institute) http://portal.iri.columbia.edu. Les données du premier nécessitent une préparation des données (reproduction et reformatage avec l'outil MRT et mosaïque de deux scènes pour couvrir la zone d'étude) Alors que le deuxième ne demande pas ce genre de traitement car il dispose un outil de zoom sur la zone d'intérêt et aussi les données déjà prétraitées. Finalement nous avons choisi le site d'IRI pour nous nous procurer des données facilement utilisables.

Tableau 2 : Caractéristiques des images Modis Terra.

Emprise de l'image	2330 km²
Dimension	4800 lignes & 4800 colonnes
Taille de fichier	507 MB
Taille du pixel	250 mètres de coté
Système de projection	Sinusoïdal
Format natif	HDF-ESO
Nombre de paramètres	11

1.3.1.3 Le Modèle Numérique de Terrain

Le Modèle Numérique de Terrain (MNT) pour la zone d'étude a été téléchargé à partir du site http://srtm.csi.cgiar.org. Pour couvrir la zone d'étude avec la meilleure résolution disponible, nous avons téléchargé le SRTM3 (90 m X 90 m) en deux scènes. Les caractéristiques techniques sont détaillées sur la figure 7 et aussi l'annexe E.

Description	Scène 1	Scène 2
Produit	SRTE 90m version4	SRTE 90m version4
Nom du fichier	Srte_34_08.zip	Srte_34_09.zip
Latitude min	Min : 20 N max : 25 N	Min : 15 N max : 20 N
Latitude max	Min : 15 O max : 10 O	Min : 15 O max : 10 O
Point central	Lat : 22.50 Long : 12.50	Lat : 17.50 Long : 12.50

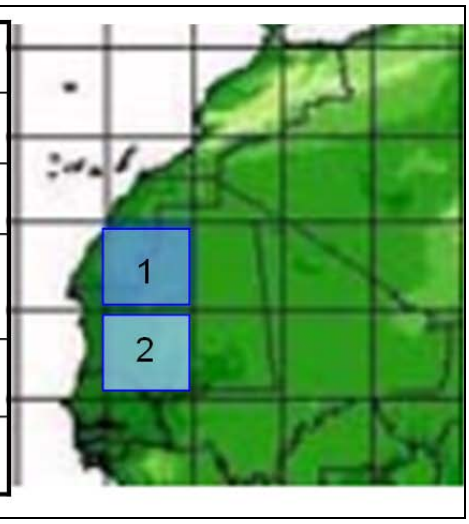


Figure 7 : Caractéristiques techniques du Modèle Numérique de Terrain utilisé.

Les altitudes sur la zone d'étude varient entre 0 et 790 m au maximum.

1.3.2 Acquisition de données de terrain

1.3.2.1 Base de données du CNLA

Le Centre National de Lutte Antiacridienne (CNLA) dispose d'une base de données calquée sur le modèle RAMSES considérée parmi l'une des plus grandes à travers le monde en la matière. Cette base de données est en croissance continue avec l'apport régulier de données issues des équipes de prospection et de lutte. Cette base dépasse les 53 000 enregistrements couvrant une période de 1965 à 1968 et de 1988 à nos jours. Elle contient toutes les informations relatives à la situation acridienne et les conditions environnementales du terrain (annexe C). Pendant la mission de terrain en Mauritanie, le CNLA à bien voulu mettre l'ensemble de ces données historiques à notre disposition.

1.3.2.2 Déroulement de la mission de terrain

Une mission terrain s'est déroulée entre le 01 mai et le 06 juin 2008 dans la zone d'étude. Il s'agissait de confronter l'image Landsat utilisée datant de plus de 7 ans avec la réalité du terrain. Cela nous a permis d'avoir une connaissance détaillée des grandes unités morpho-pédologiques existantes dans la zone et des principaux biotopes acridiens. Cette connaissance a aussi été comparée avec les travaux de cartographie de Voss (1992). Cependant nous avons noté quelques changements dus à l'extension de l'exploitation agro-sylvo-pastorale d'une part, et au déplacement de dunes d'autre part.

Les objectifs de cette mission étaient les suivants :

- Collecter des informations pour divers points de terrain dans des biotopes acridiens caractéristiques et les décrire à l'aide d'une fiche de description de l'environnement (Annexe D) ;
- Collecter diverses données sur la zone d'étude : données acridiennes, climatiques, découpage administratif ;
- Installer huit stations météorologiques pour démarrer des prélèvements automatiques, qui seront exploitées dans le cadre du projet FFEM.

Au final 52 points GPS et autant de fiches de description ont pu être relevés. Malheureusement pendant cette mission de terrain la végétation était extrêmement sèche. L'apport des connaissances d'un prospecteur (M. Sidi Ould JIDDOU) du CNLA a été indispensable pour compléter les descriptions. Nous avons aussi hiérarchisé, sur une échelle de 4 niveaux, le potentiel de chaque biotope pour la Survie, la Reproduction et la Grégarisation du Criquet pèlerin (Tableau 2 en annexe C).

1.3.3 Acquisition de données climatologiques

Des données pluviométriques nous ont été généreusement fournies par l'OMN (Office National de la Météo) et l'AGRHYMET (centre AGRo-HYdroMETrique, hébergé à Niamey - Niger) Elles couvrent la période de 1991 à 2006 pour les deux stations synoptiques présentes sur notre zone d'étude : Akjoujt 19°45'N / 14°23'O et Atar 20°30'N / 13°03'O. Elles détaillent les températures, le vent et la pluviométrie. C'est ce dernier facteur qui a été traité dans le cadre de cette étude car c'est le facteur qui explique le mieux l'apparition de la végétation. Ces données permettent de relativiser la situation du mois de décembre 2000 date de la prise de vue Landsat (figure 3 et 4).

1.3.3 Structuration de données

A l'issue de cette étude, toutes les données géographiques et données descriptives ont été organisées dans un SIG pour en faciliter les traitements thématiques. Les relations entre les objets graphiques (points de relevés acridiens, points de la mission terrain et des cartes thématiques) et les données attributaires enregistrées dans les deux bases de données (acridienne et mission terrain) ont été faites dans ArcGIS 9.2. La structuration de données (Figure 1 dans l'annexe F) devra évoluer afin de contenir d'autres données telles que les images de prévision et d'estimation des quantité de pluies ainsi les données des stations météo mises en fonction. La migration de l'ensemble des données dans une Géodatabase est envisagée pour la poursuite de ce travail.

CHAPITRE 2. Traitement des données

2.1 Traitement des images satellites

2.1.1 Classification de la scène Landsat ETM+

Démarche méthodique :

Après l'acquisition de l'image de Landsat ETM+ nous avons amorcé des analyses de caractéristique spectrale des objets identifiables sur l'image (Unité morpho-pédologique et types végétation). Ceci a commencé par rehausser l'image pour la rendre plus interprétable visuellement. Ensuite nous avons pris la signature spectrale des objets et étudié la séparabilité des classes (annexe E).

A l'issue de ces travaux, nous avons vu que les canaux 3 et 4 (Rouge et proche infrarouge) sont les deux canaux vecteurs d'information nécessaire pour discriminer d'une part la végétation et d'autre part les types de sols. Ainsi, nous avons utilisé ces deux canaux pour calculer l'indice de végétation (NDVI) et l'indice de brillance (IB) en mettant en œuvre les techniques de la classification par seuillage et de la classification non supervisée respectivement pour les deux images de sortie de deux néocanals (voir annexe E).

Classification en deux étapes

Dans la zone d'étude, la détection du couvert végétal souvent dispersé reste délicate sur l'image Landsat, toutefois la structure géomorpho-pédologique du paysage est facilement délimitable. Nous avons donc choisi de délimiter dans un premier temps les entités morpho-pédologiques homogènes, puis de distinguer la végétation au sein de ces entités (voir aussi la figure 6). Pour ce faire, nous avons utilisé l'indice de brillance pour discriminer 8 unités morpho-pédologiques rencontrées dans la zone d'étude : Montagne, Cailloux, Reg graveleux, Reg graveleux ensablé, Ensablement (erg), Cordons dunaires, Zone inondable, Sebkha[1]. Pour compléter cette classification, il reste à classer les oueds[2], ce qui a été fait grâce à l'utilisation d'un MNT (Cf. 2.1.2).

Dans un deuxième temps, la végétation a été extraite en utilisant l'indice du NDVI calculé à partir de l'image Landsat avec un seuillage de 0.14, seuil fixée pour les images SPOT pour distinguer la végétation et le sol nu (DLIS/FAO), et l'interprétation d'image (voir annexe E). Au sein de chacune de ces entités morpho-pédologiques, grâce à une classification non supervisée, les pixels de végétation ont été séparés en deux classes : végétation ligneuse et herbeuse. Au final nous avons obtenons les 24 classes présentées dans le tableau 3.

---

[1] Bassin occupant le fond d'une dépression à forte salinité dans des régions arides

[2] Cours d'eau temporaire

2.1.2 Extraction du réseau hydrographique

Un MNT a été utilisé afin d'obtenir le tracé des oueds, Nous avons utilisé les algorithmes de la boite à outil hydrologie d'Arc Tool Box à partir des pentes pour extraire le réseau hydrographique à partir du MNT. Ce réseau reste théorique en zone désertique, mais son tracé nous a aidés à apprécier la redistribution et les apports en eau au sein de la zone d'étude.

Notre zone d'étude étant à cheval sur deux scènes du SRTM3 nous avons commencé par la conversion de son format natif (.tif) en format .img ensuite nous avons fait une mosaïque des deux scènes. Pour éviter les effets de bord dans les calculs nous avons suivi les étapes du modèle Hydrologie de Spatial Analyst d'ArcGIS sur toute l'image mosaïquée avant l'extraction de la zone d'intérêt (voir annexe E).

Pour arriver à tracer les véritables oueds (souvent délimités par une bordure arbustive), le réseau hydrographique théorique a été confronté avec les données de la mission de terrain et surtout l'interprétation visuelle de l'image Landsat en fausse coloration (RGB : PIR/R/V). Nous avons donc supprimé tous les cours d'eau jugés incorrects sillonnant les grands sables et avons corrigé les autres. Visuellement il est beaucoup plus facile de tracer les cours d'eau car le cerveau et l'œil savent interpoler entre les points où il n'y a pas d'eau et qui sont composés de mixels. (Girard & Girard, 1999).

Au final, comme le confirme Ould BABAH (2001), le réseau hydrographique dans l'Inchiri à l'ouest est constitué d'oueds larges et peu profonds orientés vers le sud-ouest. Dans l'Adrar à l'Est, le réseau est plus apparent et constitué de vallées et d'oueds grands et petits coulant dans différentes directions. Afin d'obtenir l'entité surfacique des oueds, nous avons choisi un buffer de 15 mètres de part et d'autres des lignes d'écoulement en tant que surface moyenne de ces unités du réseau hydrographique.

2.1.3 Création et traitement des séries temporelles NDVI

2.1.3.1 Création des Séries temporelles 2003 - 2005

Dans une première étape, il a fallu télécharger 49 synthèses de NDVI d'image MODIS TERRA, et en suite les organiser dans une seule image multi-date. Ici, nous avons utilisé l'algorithme de *stacking* disponible sous ERDAS IMAGINE pour faire ces images pour la période d'étude 2003-2005 (voir le tableau 1 correspondance entre numéro image et date de la quinzaine, annexe E).

Cependant, l'évaluation de ces images nous a montré quelques anomalies qui sont généralement dues à l'atmosphère et/ou au traitement de synthèse de NDVI. Faute de temps et de techniques nécessaires (correction atmosphérique pour les canaux rouge et proche infra rouge), nous avons utilisé les images telles quelles, ce qui peut influencer les résultats.

2.1.3.2 Comparaison de l'évolution du couvert durant 2003 - 2005

A ce niveau nous avons effectué une classification par nuées dynamiques pour comparer l'étendue et l'évolution du couvert végétal durant la période d'étude. Cette opération, nous a permis de comparer

le fonctionnement végétatif de la zone d'étude détecté avec la résolution des images Modis (250 m) (figures 9, 10 et 11).

2.1.3.3 Profits temporels des valeurs NDVI

Le but de cette approche consiste à suivre l'évolution des classes, délimitées à l'aide de la haute résolution spatiale, avec l'utilisation des données de haute résolution temporelle (image Modis Terra). Nous avons tout d'abord éliminé tous les pixels Modis qui sont à cheval entre deux classes Landsat et gardé seulement ceux qui sont à l'intérieur de nos classes. C'est-à-dire que nous avons utilisé notre classification issue de l'image Landsat ETM+ comme une grille de lecture des données issues des images MODIS Terra. Par la suite, nous avons fait l'analyse statistique permettant de suivre l'évolution temporelle de ces classes (voir Annexe E).

C'est à l'échelle bimensuelle, et avec le profil temporel de deux quinzaines (période sèche et période humide) que nous montrons l'aspect opérationnel de cette méthode dans le suivi du fonctionnement écologique des entités morpho-pédologiques. Ainsi, nous mettons en évidence ces profils temporels de MODIS lors des campagnes antiacridiennes 2003-2004 et 2004-2005 qui ont connu une invasion de grande envergure.

2.2 Traitement des données de terrain

2.2.1 Les données de la mission de terrain

Les données issues de la mission terrain ont été enregistrées dans une base de données MS Access. Cette base a été conçue conformément à la fiche d'enquête terrain (Annexe D). Le modèle conceptuel et le modèle logique sont reportés en Annexe G.

Le traitement de ces données de terrain a consisté à les hiérarchiser pour mettre en évidence les principaux biotopes rencontrés et leur répartition au sein des entités morpho-pédologiques de la zone d'étude. Nous avons pu aussi lister les principales espèces végétales correspondant à chaque biotope.

2.2.2 Les données acridiennes

Les données acridiennes relatives à la zone d'étude ont été extraites par croisement géographique de la base de données acridiennes (RAMSES) de Mauritanie. Ces données ont été analysées de façon géo-chrono-référencée.

La première analyse spatiale effectuée, vise à caractériser le comportement du Criquet pèlerin dans chaque biotope. Les données sur la présence de larves et d'imagos ainsi que des trois phases ont été codées. Une analyse de l'occurrence entre les phéno-phase du Criquet pèlerin et les unités morpho-pédologiques est détaillée en Annexe C.

C'est avec l'analyse temporelle que nous avons regroupé les périodes qui ont connu le même type de situation acridienne (Tableau 1, annexe C). L'intérêt étant d'isoler les périodes liées à la présence de criquets *transiens*, coïncidant avec la transformation phasaire. Pour ce faire, nous avons utilisé les

Analyse en Composantes Principales (ACP) pour expliquer la variabilité de la situation acridienne au cours de la période d'étude avec un pas de temps mensuel en mettant en exergue les principales populations présentes et leurs phéno-phases.

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

CHAPITRE 3. Résultats et discussion.

3.1 Croisement des données

La structuration de données conçue dans le cadre de ce travail a pour objectif principal d'avoir l'ensemble de données géographique et attributaires qui nous permettent de comprendre l'évolution de la situation acridienne en suivant les facteurs conditionnant son développement. Vu le temps imparti à ce travail, nous n'avons pas pu utiliser les données météo disponibles par l'imagerie satellitale, toutefois les données disponibles au suivi opérationnel de ce phénomène étaient suffisantes et ont été traitées. Les résultats de ces traitements peuvent être présentés comme suit :

3.2 Carte des biotopes acridiens (limites spatiales)

A l'issue de la classification de l'image Landsat ETM+, nous proposons une délimitation des Unités territoriales Ecologiquement Homogènes (UTEH). La figure 8 illustre ce résultat.

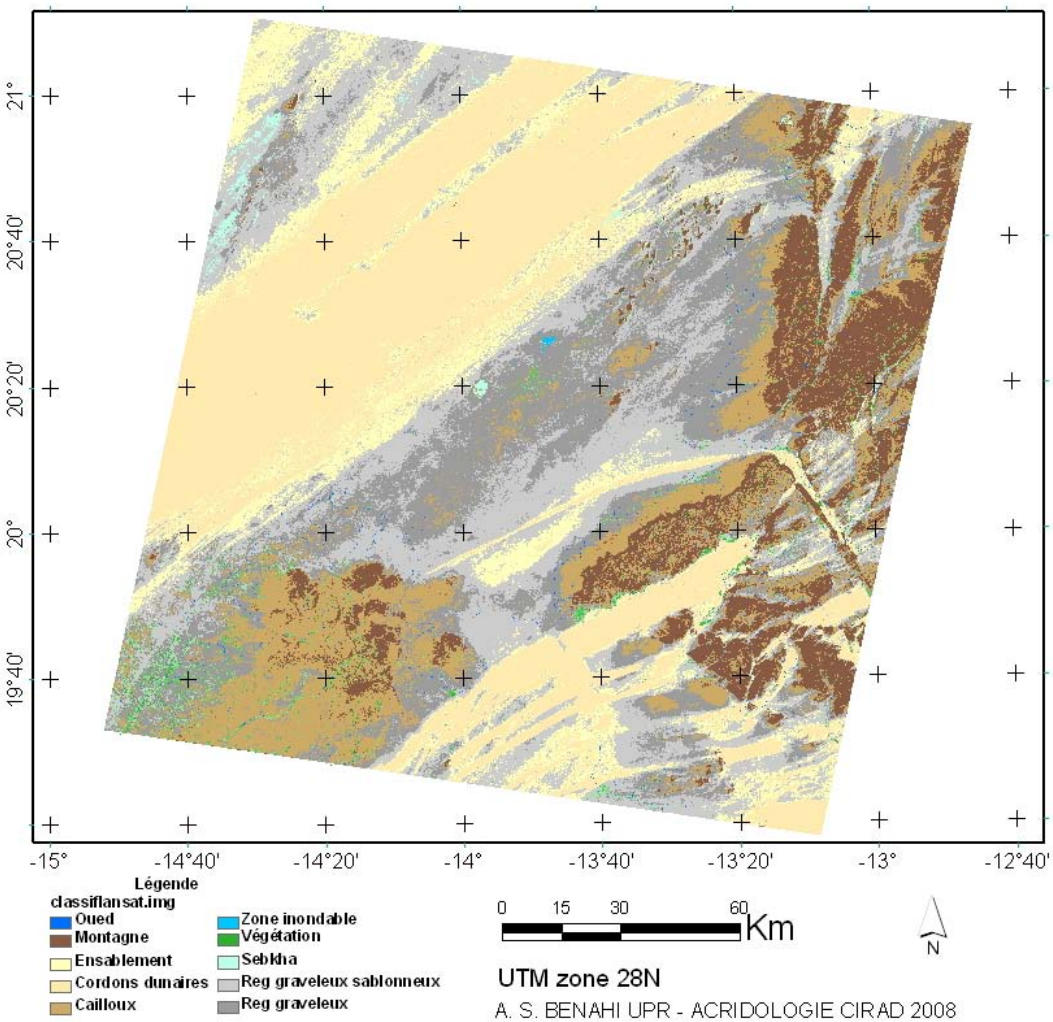


Figure 8 : Limite spatiale des biotopes acridiens.

Le tableau 3 présente ces différentes classes et leur surface respectives

Tableau 3 : Surfaces des entités délimitées avec Landsat

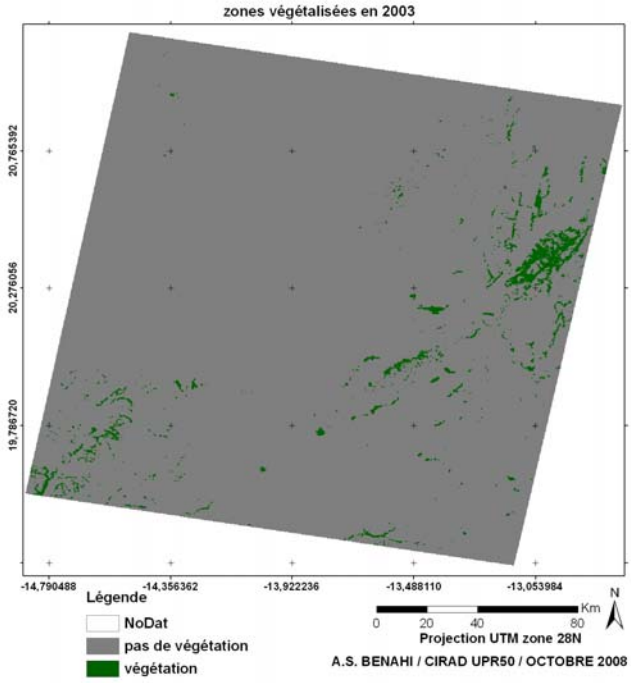
Code	Classe	Surface en he
10	Montagne	320866,04
11	Vég arbustive sur montagne	1013,69
12	Vég herbeuse sur montagne	2068,96
20	Cailloux	428358,56
21	Vég arbustive sur Cailloux	4018,36
22	Vég herbeuse sur Cailloux	6887,88
30	Reg graveleux	612272,75
31	Vég arbustive sur reg gravelle	10932,24
32	Vég herbeuse sur reg gravelle	13229,93
40	Reg graveleux sableux	737283,87
41	veg arbustive sur reg gravel sableux	4922,88
42	Vég herbeuse sur reg gravele sable	6446,02
50	Ensablement	343780,59
51	Vég arbustive sur ensablement	181,94
52	Vég herbeuse sur ensablement	192,34
60	Cordons dunaires	857210,96
61	Vég arbustive sur cordons dunaires	46,79
62	Vég herbeuse sur cordons dunaaire	41,59
70	Zone inondable	795,36
71	Vég arbustive sur zone inondable	0,00
72	Vég herbeuse sur zone inondable	0,00
80	Sebkha	11504,06
81	Vég arbustive sur sebkha	0,00
82	Vég herbeuse sur sebkha	0,00
90	Oued	7548,08
91	Vég arbustive sur oued	982,50
92	Vég herbeuse sur oued	1018,89

La totalité de la zone végétalisée est de l'ordre de 1,54% de l'étendue de l'image. Ce pourcentage faible peut être expliqué par le manque de pluie durant la saison pluviale en 2000 (année de prise de vue) ainsi que le choix d'un seuil de NDVI assez élevé (0.14). Autant la classification des unités géomorpho-pédologiques est facile autant la classification de la végétation nécessite encore des ajustements de l'indice avec des mesures radiométrique sur terrain et surtout l'utilisation d'autres images obtenues dans des conditions de pluviométriques et donc de développement du tapis végétal différents.

3.3 Les séries temporelles

3.3.1 Classification des images multi date de Modis Terra

Comme le montre les figures 9, 10, 11, et 12 la classification par nuées dynamiques avec une interprétation de l'image MODIS nous permettent de suivre, de manière annuelle, l'étendu des zones végétalisées détectables sur ces images



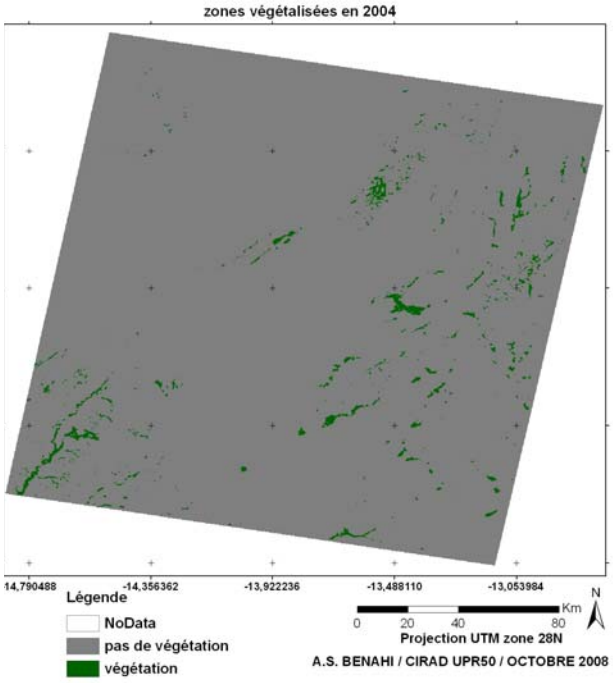
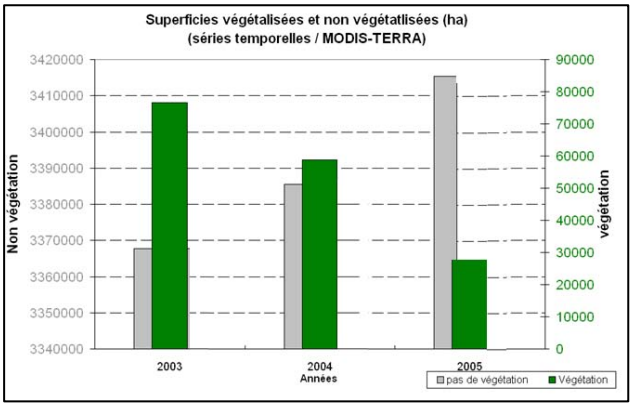


Figure 9 : Zones végétalisées en 2003

Figure 10 : Zones végétalisées en 2004



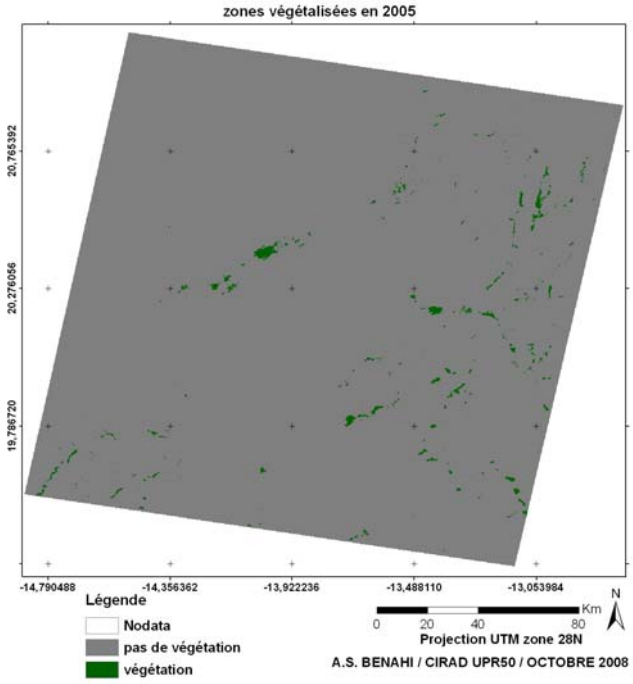


Figure 11 : Zones végétalisées en 2005

Figure 12 : Comparaison des superficies végétalisées de 2003 à 2005.

3.3.2 Profils temporels des unités morpho-pédologiques (limites temporelles des biotopes):

Nous avons utilisé les limites spatiales des entités identifiées avec la haute résolution pour faire une comparaison entre deux types de traitement statistique sur les valeurs numériques des pixels Modis,

en premier lieu nous avons pris les profils des objets, mais en ignorant si les pixels Modis recoupent des entités morpho-pédologiques différentes définies par la haute résolution. En deuxième lieu nous n'avons retenu que les pixels Modis ne recoupant qu'un seul type d'entité.

Les deux figures 13 et 14 montrent les résultats des profils temporels en 2003.

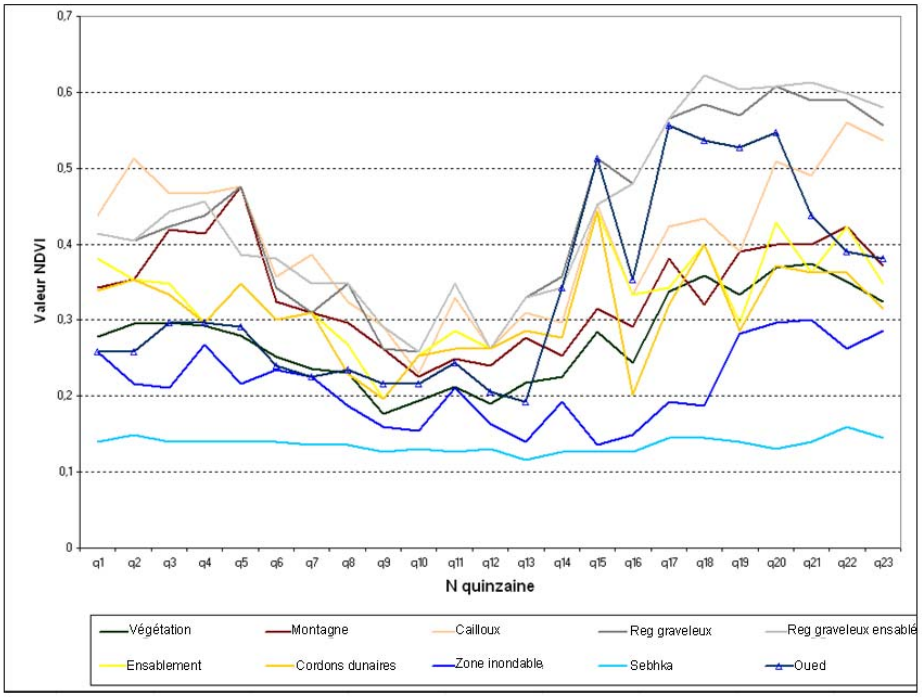


Figure 13 : Profil temporel NDVI (Modis) de pixels mixtes à l'échelle de résolution Landsat.

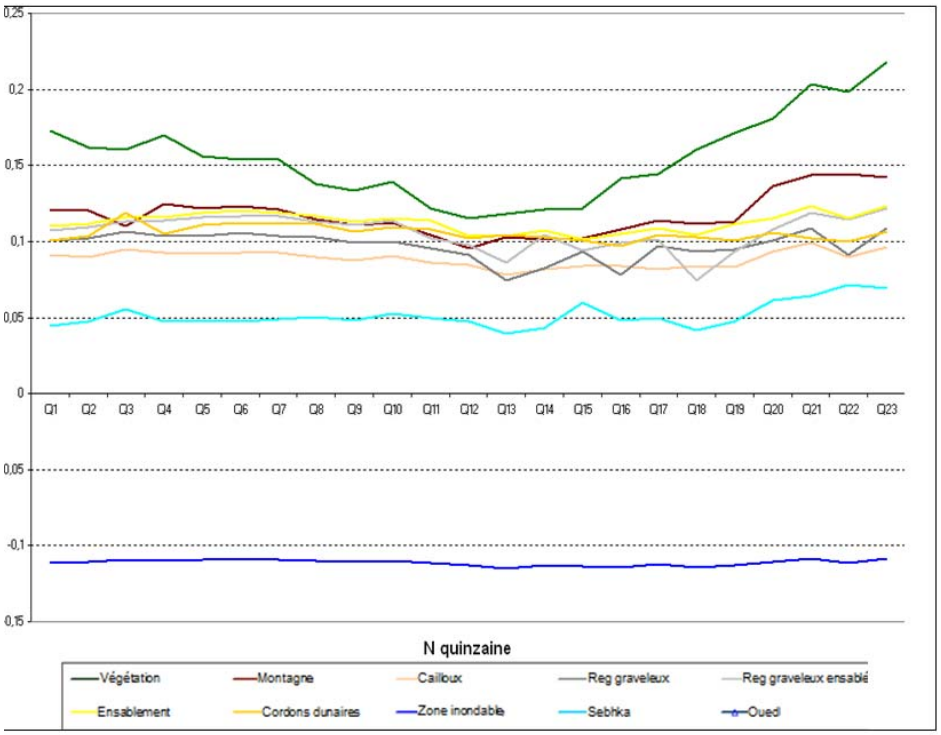


Figure 14 : Profil temporel NDVI (Modis) de pixels homogènes

Le principe méthodologique précédemment expliqué a été respecté pour comparer cette fois-ci une quinzaine sèche (Q9 : 9 mai 2003) avec une quinzaine humide (Q17 : 14 septembre 2003) comme le montre la figure 15.

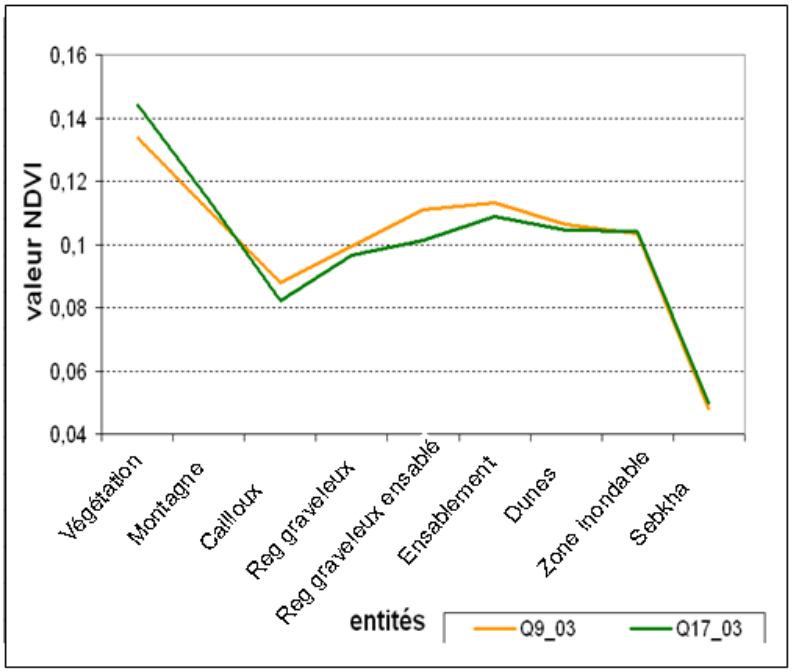


Figure 15 : Profil temporel NDVI (Modis) de pixels homogènes à l'échelle de résolution Landsat

Enfin pour se replacer dans le contexte acridien, nous avons regroupé les données en fonction des campagnes acridiennes. C'est ainsi que la période d'étude a été divisée en deux campagnes 2003-2004 et 2004-2005.

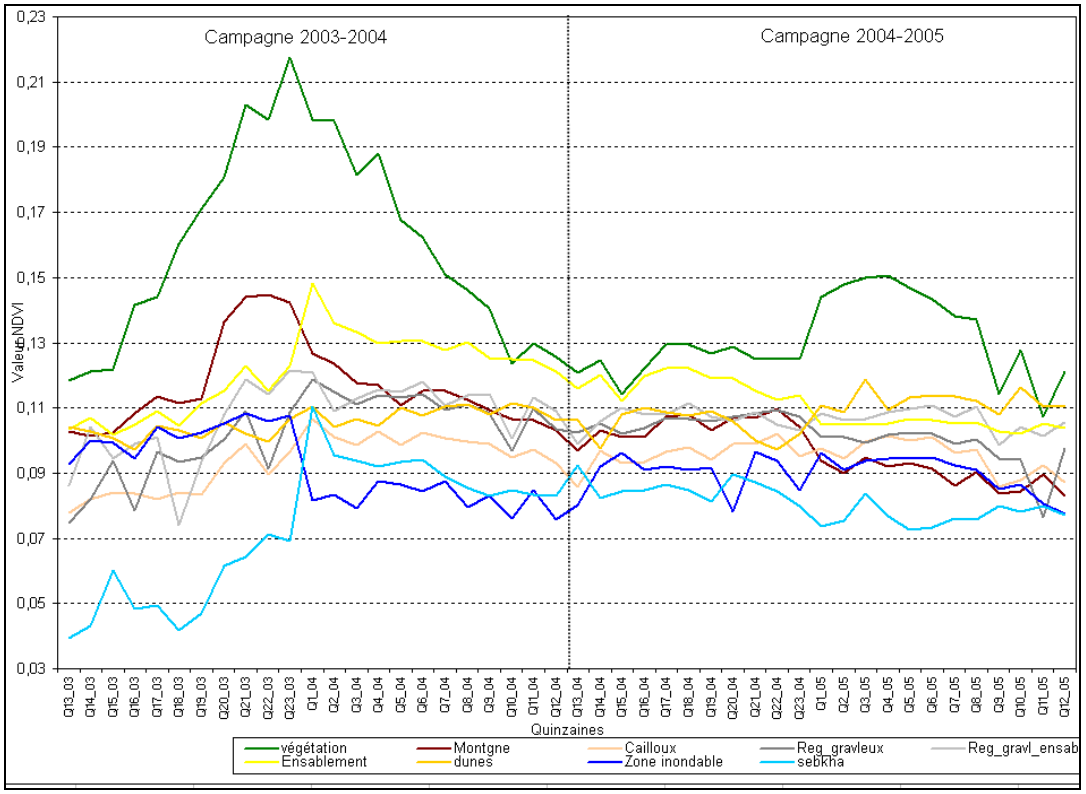


Figure 16 : Profil temporel NDVI (Modis) de pixels homogènes.

Le résultat de la classification d'image Modis par nuées dynamiques montre l'importance du moment de la chute des pluies dans la zone d'étude. Des pluies tardives ont un effet déterminant sur le

maintien du couvert végétal. Bien que l'année 2004 soit déficitaire par rapport à 2005 et beaucoup plus qu'en 2003, on constate que l'étendue des superficies végétalisées en 2003 est de 2,22%, en 2004 de 1,71% et en 2005 est de l'ordre de 0,84%.

La comparaison entre deux approches spatiales de la même image Modis (figures 13 et 14), pour la même période mais en retenant ou non l'homogénéité de biotope Landsat montre l'intérêt du nettoyage préalable, en particulier pour **les biotopes de grande taille pour lesquels la pluviosité a une incidence directe**. Par contre, pour **les biotopes de petite taille il reste à trouver une relation fonctionnelle indirecte pour suivre leur dynamique phénologique**. Or ces biotopes de petite taille sont fondamentaux pour la dynamique du Criquet pèlerin : rebord des petits oueds, zones d'épandages. Le traitement du NDVI des pixels Modis grossiers dans ces biotopes spécialisés et de petites tailles est un obstacle encore à franchir.

Le suivi à l'échelle bimensuelle avec la correction reste opérationnel car nous pouvons interpréter les valeurs numériques de NDVI de chaque unité morpho-pédologique séparément. Il reste à dégager des dynamiques fonctionnelles pour les biotopes trop petits pour signer directement sur les pixels Modis.

Enfin, la figure 15 nous montre l'évolution de la végétation durant les deux campagnes antiacridiennes. La relation entre ces profils et l'analyse statistique des données acridienne montre une corrélation entre le départ de d'invasion de 2003 à 2004 et le développement de la végétation dans cette zone.

3.4 Le potentiel acridien

Les données acridiennes collectées par les équipes terrain œuvrant dans la zone d'étude pendant cette période ont été analysées statistiquement pour caractériser les populations acridiennes présentes dans la zone selon leur phéno-phase (Annexe C). Du point de vue géographique nous avons croisé les données acridiennes avec les unités morpho pédologique selon leur évolution temporelle obtenue avec les images multi date de MODIS. (Annexe C).

CONCLUSION

L'intérêt de cette étude consiste à utiliser les images de haute résolution pour spatialiser et délimiter la nature du substrat et l'étendue et la nature des zones végétalisées et/ou végétalisables, afin d'obtenir une délimitation spatiale des Unités Territoriales Ecologiquement Homogènes (UTEH). Cette délimitation spatiale a ensuite servit de masque pour affiner le suivi de l'évolution de la végétation.

L'opérationnalité de cette démarche repose sur une dure réalité : là où la haute résolution n'est pas capable de discriminer la végétation dispersée (par nature dans les milieux désertiques), la moyenne résolution l'est encore moins. De part ce principe, nous avons utilisé l'image Landsat ETM+ pour en faire un référentiel écologique de la zone d'étude, bien entendu au moment de la prise de vue. Par la suite nous nous en sommes servis pour sélectionner les pixels de la moyenne résolution qui discriminent les zones écologiquement homogène à l'échelle de 30 m. La nature sporadique de la pluviométrie dans la zone d'étude rend la création de ce référentiel assez délicate, d'où la nécessité de traiter plusieurs images de haute résolution prises dans des conditions pluviométriques optimales et différentes (répartitions spatiale et temporelle).

Les biotopes acridiens élémentaires qui représentent la maille la plus fine du découpage écologique des entités perçue par le criquet pèlerin, n'ont pas pu être mis en évidence sur l'image Landsat. En effet, les 9 unités morpho-pédologiques délimitées lors de ce projet incluent chacune une large diversité de biotopes élémentaires.

Pour aboutir à une spatialisation des biotopes plus précise, deux voies sont envisageables :

- délimitation spectrale basée sur la morphologie et la pédologie plus avant des 9 entités actuelles grâce à des classifications sur la réflectance du substrat et en améliorant le traitement du MNT (pour une délimitation détaillée du chevelu des oueds). Cette option oblige de lier les unités morpho-pédologiques avec un fonctionnement végétatif pour aboutir à des biotopes. Une seule image haute résolution est nécessaire dans ce cas là.
- délimitation spatiale avec la détection de la végétation. Cette option, compte tenu du caractère erratique et localisé des pluies, nécessite le traitement de plusieurs scènes haute résolution. Une scène de fin 2003 (année pluviométrique exceptionnelle) serait particulièrement utile.

La délimitation temporelle a été esquissée en utilisant le NDVI délivré par Modis. Plusieurs problèmes se sont posés et restent à résoudre. Le pas de temps sur 16 jours est peu approprié à la lutte antiacridienne, il serait optimal d'obtenir des données décadaire (10 jours). Les zones réellement végétalisées semblent sous estimées par le NDVI de Modis. Les biotopes de petite taille (oued, zones d'épandage et dépression) fondamentaux pour la reproduction du Criquet pèlerin sont difficilement à suivre directement avec la résolution de 250m.

Pour résoudre ces problèmes, plusieurs voies sont envisageables :

- obtenir une synthèse des données Modis sur 10 jours,

- faire varier le seuil de détection de la végétation en fonction des biotopes concernés. Ceci suppose un calibrage entre la dynamique phyto-phénologique et le rendu du NDVI.
- utiliser d'autres capteurs (thermiques) qui permettent de délimiter les zones concernées par des pluies.

Le facteur hydrique en zone désertique conditionne le développement du couvert végétal. Il est recommandé d'exploiter les données météo satellitaires et les calibrer avec les données du service météo national, eux mêmes à compléter par l'installation de stations météo automatiques d'ores et déjà programmée dans la cadre projet FFEM. Ainsi, il semblerait que la mise en relation entre les données pluviométriques d'une part, et les mesures radiométriques au sol, d'autre part, soit une base technique solide pour le choix et la calibration des indices qui constituent l'étape cruciale dans la mise au point de la démarche.

Enfin, l'apport technique de cette démarche mérite d'être validé et automatisé pour pouvoir se doter d'une méthode de suivi opérationnel du fonctionnement des biotopes du Criquet pèlerin afin d'orienter les équipes terrain pour mieux assoir la lutte préventive.

Rapport-Gratuit.com

BIBLIOGRAPHIE

Brader, L., Djibo, H., Faye, F. G., Ghaout, S., Lazar, M., Nguala, P. M. & Ould Babah, M. A., 2006. *Towards a More Effective Response to Desert Locusts and their Impacts on Food Insecurity, Livelihoods and Poverty. Independent Multilateral Evaluation of the 2003-05 Desert Locust Campaign*. - FAO : Rome. 113p.

Ceccato, P., Cressman, K., Giannini, A. & Trzaska, S., 2007. The Desert locust uspsurge in West Africa (2003-2005): information on Desert locust early warning system and the prospects for seasonal climate forecasting. - *International Journal of Pest Management*, **53**(1) : 7- 13

Cherlet, M. R., 1993. *RAMSES : Reconnaissance and Management System of the Environment of Schistocerca (Desert Locust). Programme Outline on Future Requirements in Remote Sensing and Modelling and their Integration using GIS to Improve Desert Locust Forecasting*. - FAO : Rome. 49p.

Cressman, K. & Symmons, P. M., 2001. *Directives sur le Criquet pèlerin. 1. Biologie et comportement*. Food an Agriculture Organization of the United Nations (FAO) : Rome. - 2e éd., éd. orig.: 1994 + vi +43p.

De Wispelaere, G. & Mougenot, B., 2003. *Détection précoce des gîtes potentiels à Criquets pèlerins par télédétection spatiale. Rapport scientifique*. - CIRAD-EMVT : Montpellier. - **03-05** 34p.

Duranton, J.-F. & Lecoq, M., 1990. *Le criquet pèlerin au Sahel*. Coll. : Acridologie opérationnelle-Ministère des Affaires Etrangères des Pays-Bas, CIRAD-PRIFAS . 183p.

Ghaout, S., 1990. - *Contribution à l'étude des ressources trophiques de Schistocerca gregaria (Forskål) (Orthoptera, Acrididae) solitaire en Mauritanie occidentale et télédétection de ses biotopes par satellite*. Docteur es sciences, spécialité Sciences de la vie - Paris XI (Orsay-France). - XII +241 p.

Girard, M.-C. & Girard, C., 1999. *Traitement des données de télédétection*. Dunod : Paris. 529p.

Hielkema, J. U., 1991. Desert locust monitoring with satellite remote sensing. - *ITC Journal*, **4** : 387-417

Ould Ahmedou, M. L., 2002. - *Analyse écologique des formations grégaires de larves du Criquet pèlerin Schistocerca gregaria (Forsk., 1775) et leur impact sur les ressources végétales en Mauritanie*. Faculté des sciences d'Agadir (Maroc). - VI +114 p.

Ould Babah, M. A., 2003. *Biogéographie du Criquet pèlerin en Mauritanie. Fonctionnement d'une aire grégarigène et conséquences sur l'organisation de la surveillance et de la lutte anti-acridienne*. - Coll. : Stations de recherche acridienne sur le terrain. Séries techniques. - FAO : Rome. - **AGP/DL/TS/31** - XII + 104p.

Ould Babah, M. A., 1997. - Strategy for controlling the desert locust in Mauritania. **IN** : Krall, S., Peveling, R. & Ba Diallo, D. (Ed. Sc.). - *New strategies in Locust Control*. - - Birkhauser Verlag : Basel (Switzerland) : 487-491.

Ould Babah, M. A., 2001. - *Biogéographie du Criquet pèlerin en Mauritanie. Fonctionnement d'une aire grégarigène et conséquences sur l'organisation de la surveillance et de la lutte anti-acridienne*. EPHE : Montpellier (soutenance : 17/09/2001). - XII + 103 p.

Pasquier, R., 1950. Sur une des causes de la grégarisation chez les acridiens : la densation. - *Annales de l'Institut Agricole et des Services de Recherches et d'Expérimentation Agricoles de l'Algérie*, **5**(9) : 1- 9

Popov, G. B., Duranton, J.-F. & Gigault, J., 1991. *Etude écologique des biotopes du criquet pèlerin Schistocerca gregaria (Forskål, 1775) en Afrique Nord Occidentale. Mise en évidence et description des unités territoriales écologiquement homogènes*. Coll. : Les Acridiens- CIRAD-PRIFAS : Montpellier. xlii+744p.

Roy, J., 2001. *Histoire d'un siècle de lutte anti-acridienne en Afrique. Contributions de la France*. Coll. : Les Acteurs de la Science- L'Harmattan : Paris. 278p.

Steedman, A., 1988. *Locust handbook*. Overseas development Natural Resources Institute : London. 191p.

Voss, F. & Krall, S. - *Principaux biotopes du criquet pèlerin dans la région Akjoujt-Atar (Mauritanie)*. Echelle : 1/ 200 000. Dressée en 1993. - Projet de lutte antiacridienne, GTZ : Eschborn (Allemagne).

SITES CONSULTES

CIRAD UPR-Acridologie	http://locust.cirad.fr/
DLIS	http://www.fao.org/ag/locusts
Georéso	http://georezo.net/
IRI (Août 08)	http://portal.iri.columbia.edu
Land Processes Distributed Active Centre (Avril 08)	http://lpdaac.usgs.gov/main.asp
Science for a cherching word (septembre 08)	http://glovis.usgs.gov
site FTP ecs,nasa (septembre 08)	ftp://e4ftl01u.ecs.nasa.gov/MOLT/MOD13Q1.005/
Site SRTM (août 2008)	http://srtm.csi.cgiar.org

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tous ceux qui sont contribués de près ou de loin ou à ce travail en Mauritanie et en France qui est avant tout un travail d'équipe. Plusieurs institutions ont coopéré pour me permettre de bénéficier de la formation dans le Master SILAT.

Je suis donc particulièrement reconnaissant au Fonds Français de Solidarité Prioritaire d'appui à la lutte contre le Criquet pèlerin, à la Commission de lutte contre le Criquet pèlerin en Région occidentale (CLCPRO) et au Cirad qui ont cofinancé cette formation.

Je remercie également l'UPR d'Acridologie du Cirad qui a accepté d'encadrer mon stage pratique et m'a accueilli de façon fort conviviale lors de mon séjour en France.

J'adresse mes très sincères remerciements à l'équipe du SILAT pour la qualité de l'enseignement prodigué et l'encadrement personnalisé dont j'ai bénéficié, sans oublier la bienveillante hospitalité de la Maison de la Télédétection.

Enfin, je souhaite exprimer ma profonde gratitude à mon employeur, le CNLA de Mauritanie qui a bien voulu m'autoriser et m'a encouragé à suivre le Master SILAT et m'a accordé toutes facilités lors des travaux de terrain.

Je ne saurais terminer sans adresser mes remerciements les plus sincères à ma famille pour leur soutien inconditionnel.

ANNEXES

Annexe A : Chronogramme des travaux du projet..... 34
Annexe B : Les satellites d'observation de la Terre utilisées dans cette étude..... 35
Annexe C : Traitement statistique des données acridiennes..... 37
Annexe D : Fiches de collecte de données terrain. 40
Annexe E : Traitement des images 41
Annexe F : Structuration de données utilisées dans la cadre de ce projet..... 46
Annexe G : Modèle conceptuel et modèle logique de la base des données relevées sur le terrain..... 47

Annexe A : Chronogramme des travaux du projet.

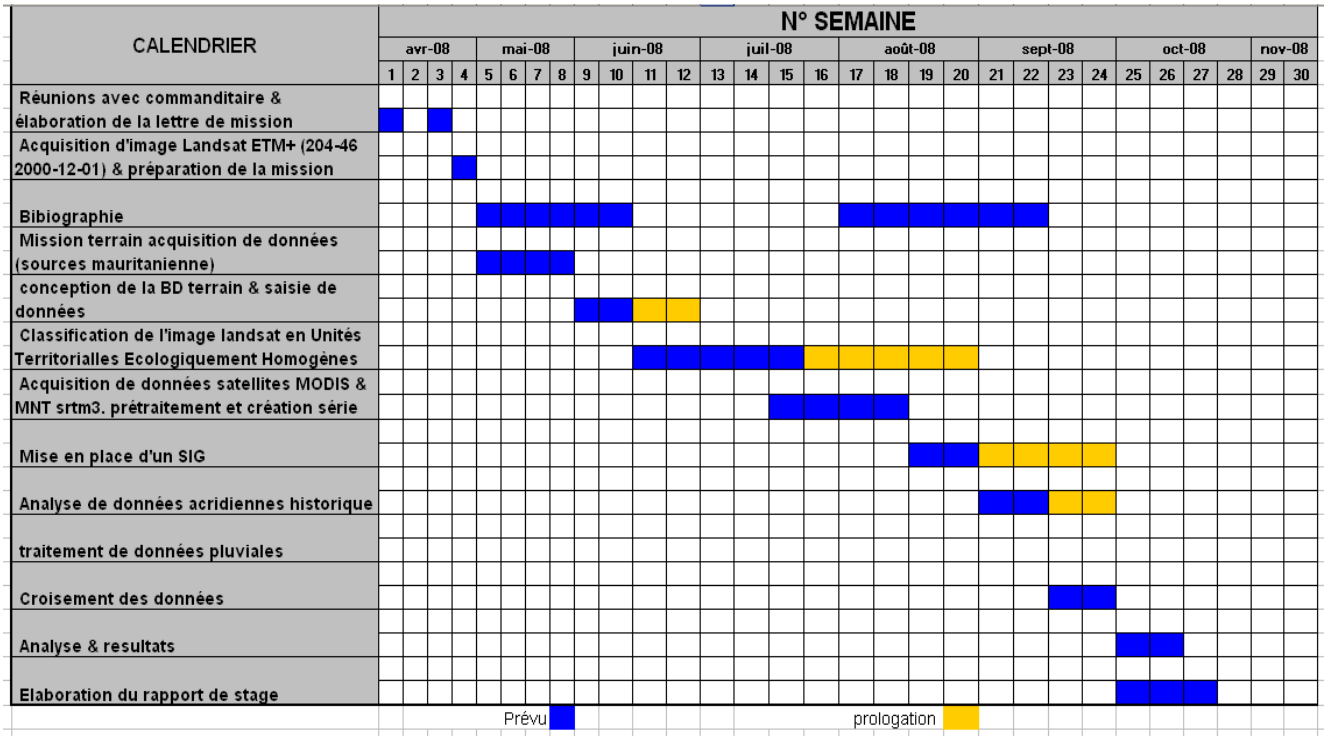


Tableau 1 : Diagramme de Gantt du projet professionnel du SILAT.

Pour la conduite déroulement de ce projet, nous avons été en contact dès le début avec les différents intervenants dans ce projet il s'agit de :

- UPR d'Acridologie du Cirad, commanditaire et encadreur,
- Maison de la Télédétection (MTD), lieu de stage et encadrement technique,
- Centre National de Lutte Antiacridienne (CNLA), mon employeur.

La première phase a été consacrée à la définition de la lettre de commande ainsi qu'à l'analyse des besoins et le traitement de l'image Landsat pour la préparation de la mission terrain. Cette mission a eu lieu en Mauritanie entre 01 mai et 06 juin 2008. C'est avec l'appui du CNLA que nous avons pu effectuer cette mission et installer 8 stations météo automatiques qui seront utilisées dans ses futurs projets de recherche sur l'exploitation d'imagerie satellitale dans la lutte préventive contre le Criquet pèlerin.

Les résolutions des difficultés techniques et la disponibilité des logiciels de traitement de données ont été assurées par la MTD.

Ce projet a été déroulé dans les meilleures conditions techniques et relationnelles.

Annexe B : Les satellites d'observation de la Terre utilisées dans cette étude

Système Landsat :

Landsat est le système d'observation de la surface terrestre par satellite le plus ancien des Etats-Unis. Il a été lancé le 23 juillet 1972 pour objectif de suivre le changement de la surface terrestre au travers l'archivage de images satellites à haute résolution. Ce système a connu au fil du temps plusieurs évolutions dont la plus récente est le lancement de Landsat 7, qui à été mis en orbite le 15 avril 1999 à 750 Km d'altitude. Il lui faut 98 minutes 52 secondes pour faire le tour de la terre, si bien qu'il décrit 14.5 révolution par jour. Un cycle orbital complet dure 16 jours (M. Houles; 2006).

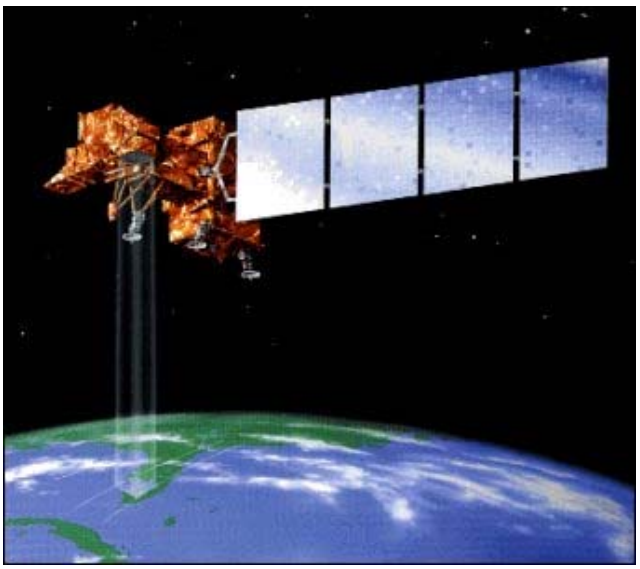


Figure 1 : Satellite Landsat (source USGS)

Système MODIS TERRA :

Embarqué sur les deux satellites TERRA et AQUA de la NASA, le système MODIS permet depuis février 2000 et mars 2002 d'observer le globe 1 à 2 fois par jour dans 36 bandes spectrales co-registrées et étalonnées dans le domaine spectral de 04 à 14.4 µm. Il a pour objectif de fournir des informations sur la température de surface des terres et des océans, la productivité primaire, la couverture des terres, les nuages, les aérosols, la vapeur d'eau, les profils de température et les feux. La mission de TERRA est orientée sur l'étude de l'évolution de la végétation et l'extension de désert (M. Houles; 2006).

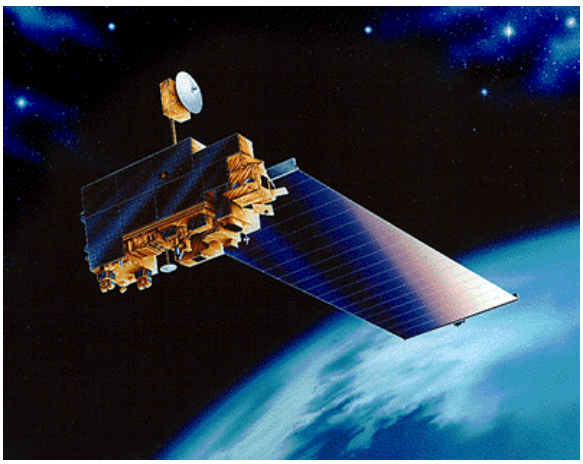


Figure 2 : Satellite Modis Terra (source USGS):

Système données SRTM3 :

Afin nous procurer un MNT pour la zone d'étude, nous avons utilisé la source internet (http://srtm.csi.cgiar.org/) constituant un moteur de recherche et de téléchargement de données MNT

issu de la mission conjointe entre the National Imagery and Mapping Agency (NIMA) et the National Aeronautics and Space Administration (NASA), qui a pour objectif d'établir MNT pour environ 80% du globe s'étalant entre 56°S et 60°N. Cette navette lancée févier 2000, envoi des ondes et reçoit les ondes réfléchies avec deux antennes ce qui permet de faire une image strioscopique de la terre. Il existe trois type de MNT :

- SRTM1 : résolution de 31 m à l'équateur couvre uniquement les États-Unis d'Amérique et ses dépendances ;
- SRTM3 : résolution 93 m avec une couverture mondiale ;
- SRTM30 : résolution 926 m couverture mondiale, sorte de mise à jour du format GTOPO30.

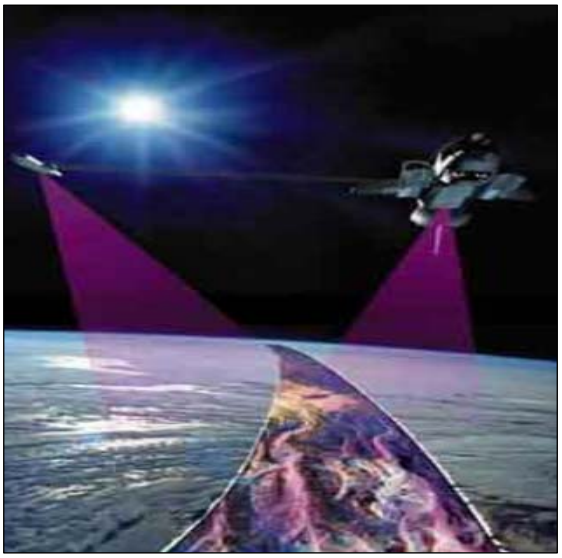


Figure 3 : Système de SRTMS source : http://srtm.usgs.gov/

Annexe C : Traitement statistique des données acridiennes

Les données acridiennes de la base de données du CNLA ont été traitées dans MS Access afin de nous procurer d'une table de données croisées qui nous permettent de faire des analyses statistiques. Les points d'observations ont été regroupés selon les mois et les types d'infestations qui sont présentes, (Tableau 1).

Tableau 1 : Données acridiennes regroupées selon le mois et la composition d'état phénologique et de la phase (2003-2005)

MOIS	A_G	A_S	A_ST	A_STG	A_T	A_TG	L_G	L_S	L_SG	L_ST	L_STG	L_T	LA_G	LA_S	LA_ST	LA_STG	LA_TG	RAS
oct-03	0	7	8	0	0	0	0	1	0	5	0	0	0	2	0	0	0	3
nov-03	0	0	39	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5	0	0	12
déc-03	1	0	33	0	0	0	1	0	0	11	0	0	0	0	42	0	0	2
janv-04	24	0	74	2	0	5	0	0	8	3	0	1	2	0	45	1	8	1
févr-04	26	1	61	5	0	0	1	0	7	2	1	0	31	0	16	2	3	3
mars-04	2	2	75	0	0	0	3	0	5	1	0	0	12	0	14	1	0	32
avr-04	18	0	66	11	0	0	0	0	0	2	0	0	7	0	1	0	0	11
mai-04	20	1	31	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	8	0	0	127
juin-04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87
juil-04	7	0	8	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45
août-04	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31
sept-04	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
oct-04	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
nov-04	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	65
déc-04	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	73
janv-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	83
févr-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90
mars-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
avr-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67
mai-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69
juin-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	48
juil-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	51
août-05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35
sept-05	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	95
oct-05	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	101
nov-05	0	14	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	71
déc-05	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	58

A: ailé
L: larve
RAS: rien n'a signalé

S : *solitaire*
L : *Transiens*
G : *Grégaire*

Les graphiques suivants montrent les résultats de l'analyse en composante principale (ACP) qui a été faite sur ces données pour mieux comprendre la variabilité entre ces données aussi bien du point de vu composition des populations acridiennes que sur un pas de temps mensuel pendant toute la période d'étude.

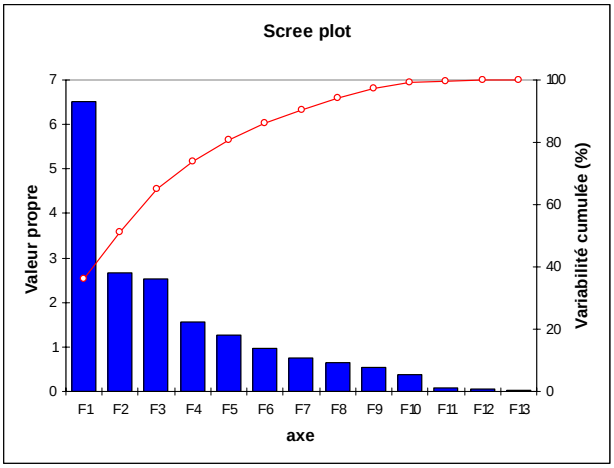


Figure 1 : Axes factoriels de l'ACP

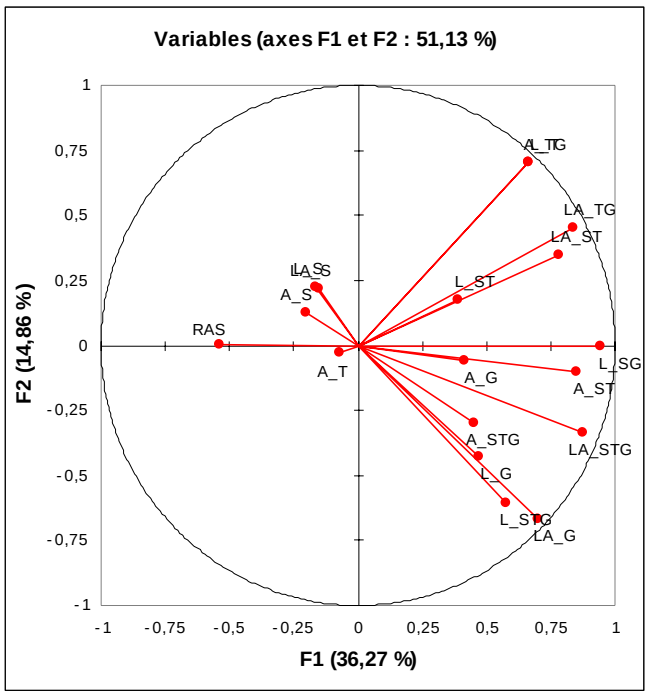


Figure 2 : projection des observations sur axes F1 et F.

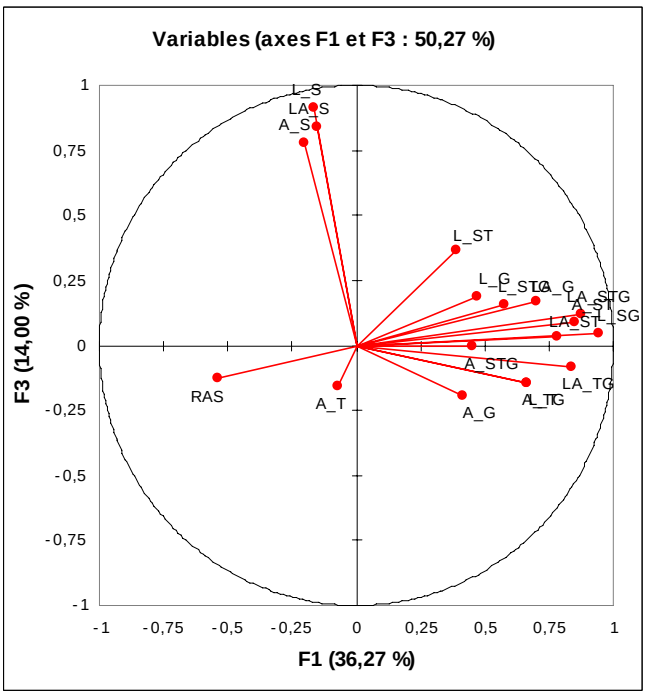


Figure 3 : projection des observations sur axes F1 et F2.

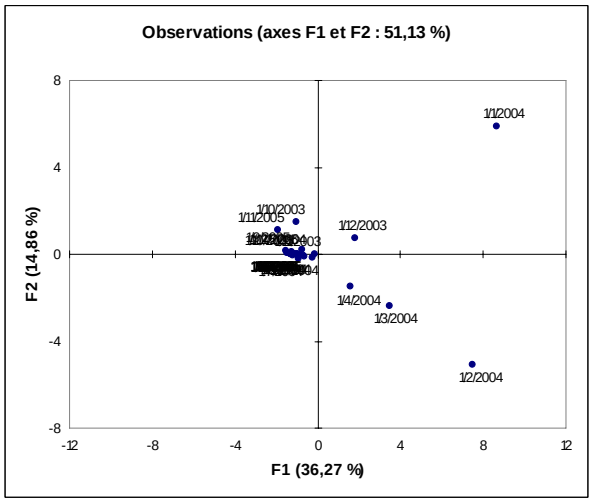


Figure 4 : projection des périodes sur axes F1 et F.

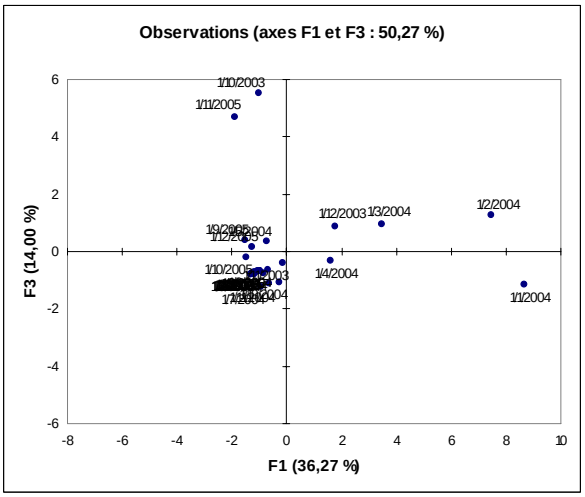


Figure 5 : projection des périodes sur axes F1 et F2.

De part la contribution des principales variables pour les 3 axes discriminant (plus de 65 % de la variabilité) nous pouvons retenir les résultats suivant :

- La présence de larves et d'ailés solitaires, transiens et grégaires contribue positivement à l'axe F1. Les points avec aucune observation acridienne (RAS) contribuent négativement à l'axe F1.
- La présence de larves et d'ailés t*ransiens* contribue positivement à l'axe F2. La présence de larves et ailés grégaires contribuent négativement à l'axe F2.
- La présence de larves et d'ailés solitaires contribue positivement à l'axe F3. La présence d'ailés grégaires contribue négativement à l'axe F3.
- Ces résultats confirment que la zone étudiée constitue un zone de transformation phasaire et que la période de décembre 2003 à avril 2004 fut la plus infestée durant cette invasion de 2003 – 2005.

Tableau 2 : Hiérarchisation des types de biotope rencontrés durant la mission terrain.

Type biotope	catégorie	Fréquence durant mission terrain
Biotope de survie	1	1
	2	7
	3	32
	4	12
Biotope de reproduction	1	9
	2	10
	3	31
	4	2
Biotope de grégarisation	1	18
	2	31
	3	3
	4	0

-

Rapport-Gratuit.com

Annexe D : Fiches de collecte de données terrain.

NUM :

Prospecteur : _____ Photo num :_____ Date : _____Heure : No relv : _____

PAYS : MAURITANIE Rég:_____ Com : _____ Latitude : _____o_____'_____" NLongitude : ___o____ ' ____" O

Alt : ____m SBT : _____ ha SRE : m² Biotope : NbBA : ____ NmBA :

Géologie	ORG	CRI VLC SEC DTR ALL MET
	NAT	GRE SBL CLC MRN ARG SAL CRI VLC ARN LIM
Géomorphologie	**PYR**	PLA PLT COL MNT PNT DUN REG
Paysage	**PYL**	IFL CRT BTT FAL RPL EBL REG DU1 DU2 IDU GLC EPA VAL COL VO THW OAS
Topographie	**TOP**	H-P M-P RPL P8P BFD TRA BRG LIT DEP RAV
	PEN	PNTf PNTf T+/-P
Hygrotrophie	**HYG**	EXX EX XX X MX M MH H HH T
Pédologie	**STR**	HOM HET FE1 FE2
	GRM	R B C G Sgr Sf L A
	%SNU	%
	%NUm	%
	DNUm	Mois
	%NUM	%
	DNUM	Mois
Fctr énergétique	**VEN**	VE0 VE1 VE2 VE3
Hydrologie	**RHrlv**	A END EXO
	ECL	OE ET EP
	MAR	OM MT MP
	NAP	ON NT NP
Fctr hydrique	**OAP**	PP RS IF
Fctr biotique	**ANTH**	F CMA ARB HV IRR GSP ELVp ELVt
Végétation	**FSNU**	0 Tf f M F TF
	TEM	JMS RAR REG CON
	RC s1	DSC HUM0 HUM1 HUM2 HUM4 HUM6
	RC s2	PDV TFA FAI OUV DEN CON
	HOM	U1SP U+SP P

Form. Veg : _____

Végétation		**AR**	**HT(m)**	**Taxo (espèce dominantes)**			
				1ier	**2ième**	**3ième**	**4ième**
S H	a						
	v-pt						
	v-mt						
	v-gt						
	Lh						
S L	B						
	BB						
	A						
	AA						
	AAA						
	L						
	Plm						

Estimation du potentiel de reproduction : 0 1 2 3 4

Estimation du potentiel de grégarisation : 0 1 2 3 4

Estimation du potentiel de Survie : 0 1 2 3 4

Remarque :

Annexe E : Traitement des images

E.1 Image Landsat ETM+ :

E.1.1 Analyse spectrale

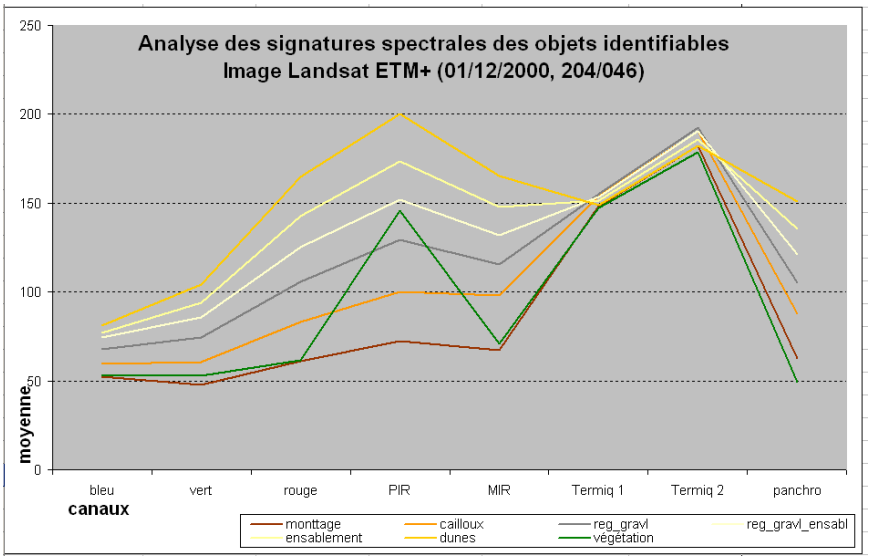


Figure 1 : Résultat de l'analyse spectrale des objets sur l'image Landsat ETM+

E.1.2 Signatures spectrale des classes

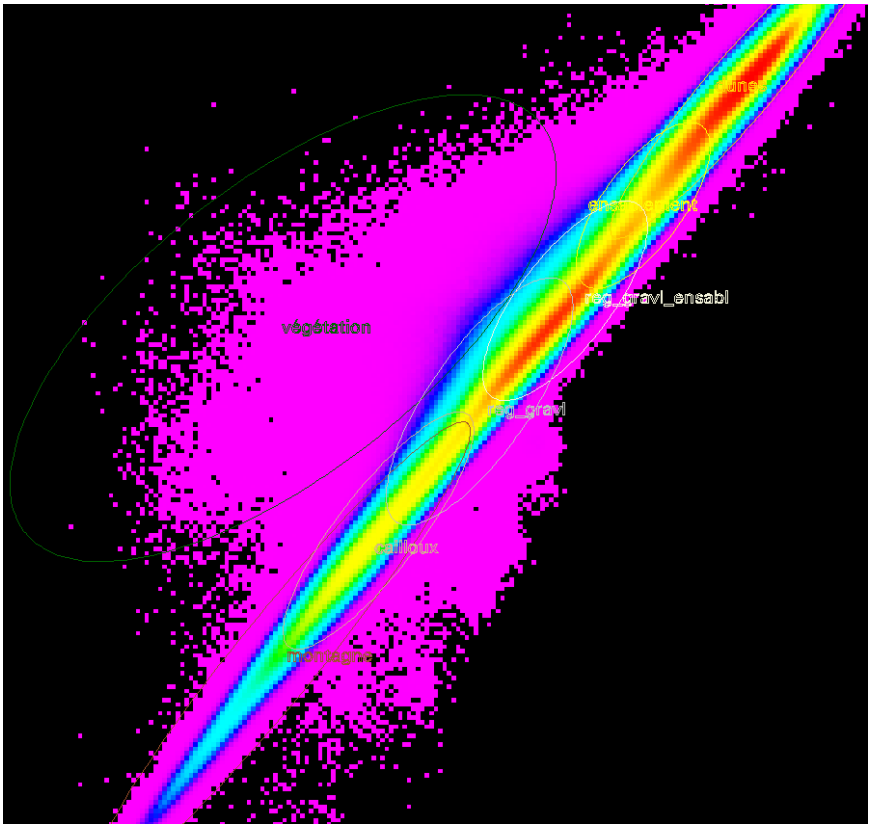


Figure 2 : Projection de l'image dans les Axes R en X et PIR en Y :

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

E.1.3 Classification

L'analyse des corrélations entre les 8 canaux de l'image Landsat nous a conduits à mettre en évidence deux axes principaux vecteurs de l'information. Ces des axes agissent différemment vis-à-vis la végétation et du sol, deux entités, à caractériser dans le cadre de cette étude pour faire sortir les grandes Unités Territoriales Ecologiquement Homogènes (UTEH). Ici, la végétation est caractérisée par l'axe qui a une faible valeur dans le canal rouge (absorption maximale) et une forte valeur dans le canal infrarouge (réflectance maximale). Toutefois les types de sols sont discriminés avec l'axe présentant une régression linière (appelée droite des sols) entre les deux canaux. Nous avons mis en contribution ces deux canaux pour calculer les deux indices suivants : NDVI et IB.

1.3.1 L'indice de Végétation (NDVI) caractérise les types de végétation déterminés empiriquement à partir des réflectances obtenues dans les bandes rouge et infrarouge (Girard et Girard, 1999). Cet indice à été calculé avec le Model Maker dans Erdas Imagine avec la formule suivant :

$$\mathrm{NDVI} = \frac{\mathrm{PIR} + \mathrm{R}}{\mathrm{PIR} - \mathrm{R}}$$

$$\mathrm{PIR} : \text{procheinfrarouge} \ \text{ et } \ \mathrm{R} : \text{rouge.}$$

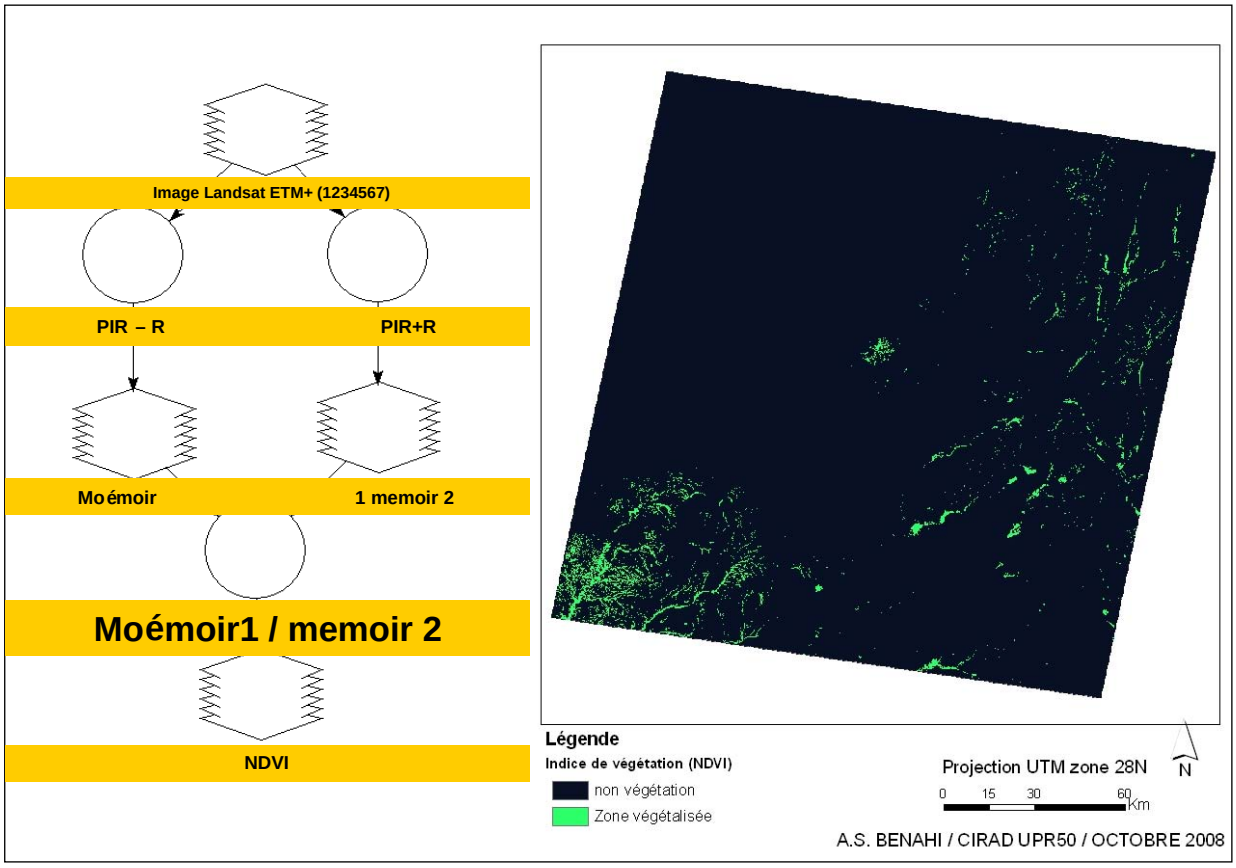


Figure 3 : Modèle de calcul de NDVI et la classification de l'image de sortie par seuillage.

Ses valeurs oscillent entre -1 et 1 : pour l'activité chlorophyllienne il tend vers 1 et pour les sols nus donne des valeurs proches de zéro.

Ces avec l'interprétation visuelle du terrain que nous avons fait un seuillage (0,14) pour distinguer la zones végétalisées et les sols nus.

1.3.2 L'indice de brillance (IB) a pour application principale la pédologie. Il permet de mettre en évidence les différents types de sol selon leur clarté. Le passage des teintes sombres aux teintes claires s'accompagne d'une augmentation des valeurs radiométriques dans les deux canaux (M. DUBUCQ 1989).

Comme l'indice précédent, nous avons utilisé le Model Maker d'Erdas Imagine pour calculer cet indice selon la formule suivante :

$$IB = \sqrt{PIR^2 + R^2}$$

$$\text{PIR : procheinfrarouge et R : rouge.}$$

Le résultat de cet indice ressemble à une image en panchromatique (figure 4)

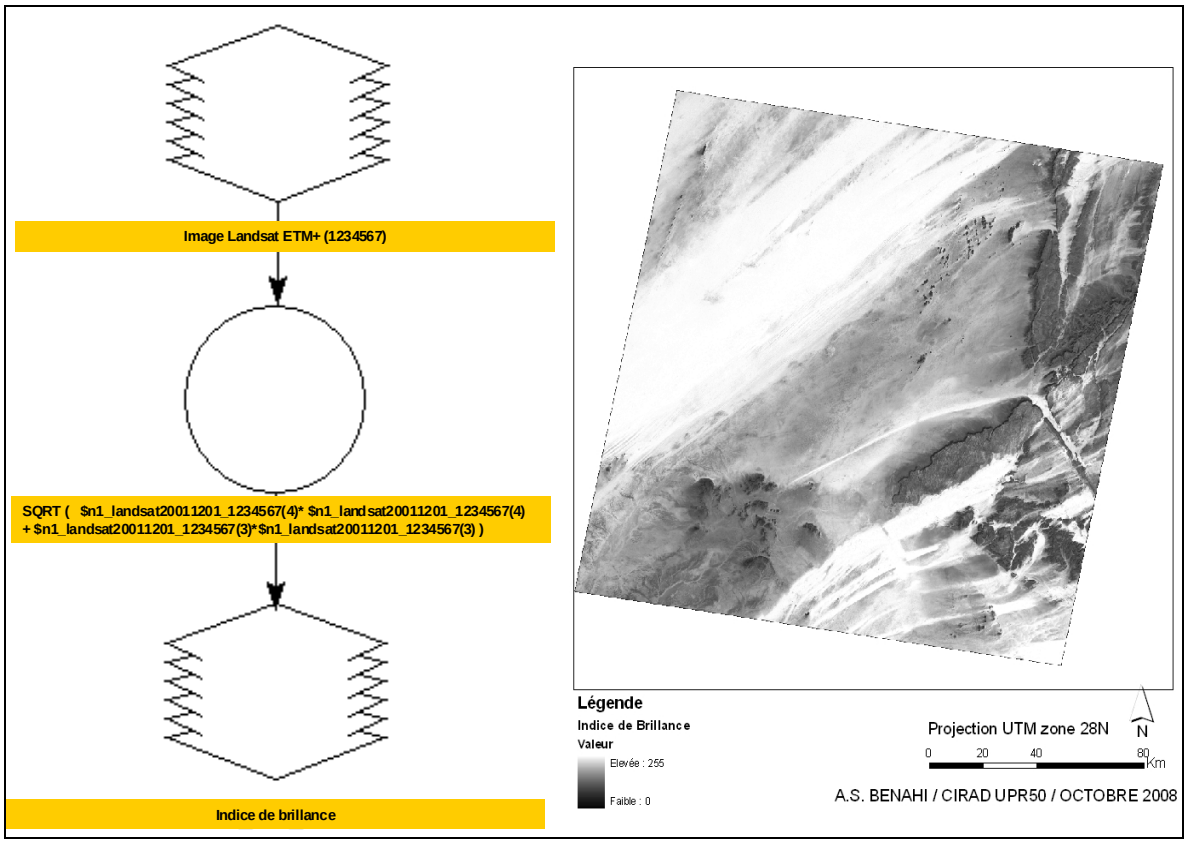


Figure 4: Modèle de calcul d'Indice de Brillance à partir d'image Landsat ETM+ et son résultat

La méthode repose sur l'utilisation de la technique de classification non supervisée avec la méthode barycentrique (facile à mettre en œuvre). Partant de 12 classes, nous avons regroupé quelques classes en se basant sur l'interprétation de l'image, assistée par ordinateur et la connaissance de la réalité du terrain. Au final nous avons obtenu les 9 classes suivantes : montagne, cailloux, reg graveleux, reg graveleux ensablé, ensablement, dunes, oued, zone inondable et sebkha.

Pour arriver à la classification finale nous avons croisé la classification des types de végétation (végétation herbeuse et végétation arbustive) issus du seuillage des valeurs NDVI avec le résultat de la classification des unités morpho-pédologiques issues de l'indice de brillance.

2 Image MODIS TERRA :

Tableau 1 Correspondance entre numéro de quinzaine et sa date de début

Numéro de la quizaine	début quinzaine		
Q1	1 janvier 2003	1 janvier 2004	1 janvier 2005
Q2	17 janvier 2003	17 janvier 2004	17 janvier 2005
Q3	2 février 2003	2 février 2004	2 février 2005
Q4	18 février 2003	18 février 2004	18 février 2005
Q5	6 mars 2003	5 mars 2004	6 mars 2005
Q6	22 mars 2003	21 mars 2004	22 mars 2005
Q7	7 avril 2003	6 avril 2004	7 avril 2005
Q8	23 avril 2003	22 avril 2004	23 avril 2005
Q9	9 mai 2003	8 mai 2004	9 mai 2005
Q10	25 mai 2003	24 mai 2004	25 mai 2005
Q11	10 juin 2003	9 juin 2004	10 juin 2005
Q12	26 juin 2003	25 juin 2004	26 juin 2005
Q13	12 juillet 2003	11 juillet 2004	12 juillet 2005
Q14	28 juillet 2003	27 juillet 2004	28 juillet 2005
Q15	13 août 2003	12 août 2004	13 août 2005
Q16	29 août 2003	28 août 2004	29 août 2005
Q17	14 septembre 2003	13 septembre 2004	14 septembre 2005
Q18	30 septembre 2003	29 septembre 2004	30 septembre 2005
Q19	16 octobre 2003	15 octobre 2004	16 octobre 2005
Q20	1 novembre 2003	31 octobre 2004	1 novembre 2005
Q21	17 novembre 2003	16 novembre 2004	17 novembre 2005
Q22	3 décembre 2003	2 décembre 2004	3 décembre 2005
Q23	19 décembre 2003	18 décembre 2004	19 décembre 2005

E.3. Image SRTM3

La méthodologie mise en œuvre pour obtenir le réseau hydrographique théorique de la zone d'étude, à partir de MNT SRTM3, consiste à l'utilisation du modèle Hydrologie de Spatial Analyst d'ArcGIS 9.2. Nous avons effectué toutes les étapes nécessaires pour le calcul et l'extraction du réseau hydrographique théorique. La première étape, sert à remplir les trous observés dans l'image (Figure 5). Ces trous sont le plus souvent formés sur des zones d'eau car l'écho de l'onde radar envoyée par la navette ne lui revient pas, générant des pixels de valeurs incohérentes, -3364m par exemple (Guilhem DALY-ERRAYA, 2007). Dans la deuxième étape, nous avons procédé a calculer les directions des flux. Ce calcul est fait pour chaque cellule vers son voisin de plus grande pente descendante (Figure 6). Ensuite, en troisième étape, nous avons calculé les accumulations des flux des eaux. C'est-à-dire que l'algorithme, à partir des directions des flux déjà calculés, crée un raster de flux cumulé sur chaque cellule avec comme valeur le nombre de cellules en aval en délimitant le passage de l'eau écoulé (Figure 7). A ce niveau, nous avons extrait le réseau hydrographique théorique en utilisant les rasters précédemment calculés et pour une superficie du bassin versant minimale de 2000 cellules. Cette superficie (93m X 93m X 2000 pixels = 17.2 km²) a été choisie par rapport à la nature de la zone d'étude qui est plus ou moins plane dans sa plus grande partie et après plusieurs essais pour arriver à un réseau proche de la réalité terrain. Le réseau hydrographique utilisé dans la caractérisation des biotopes acridiens est présenté dans la figure 8.

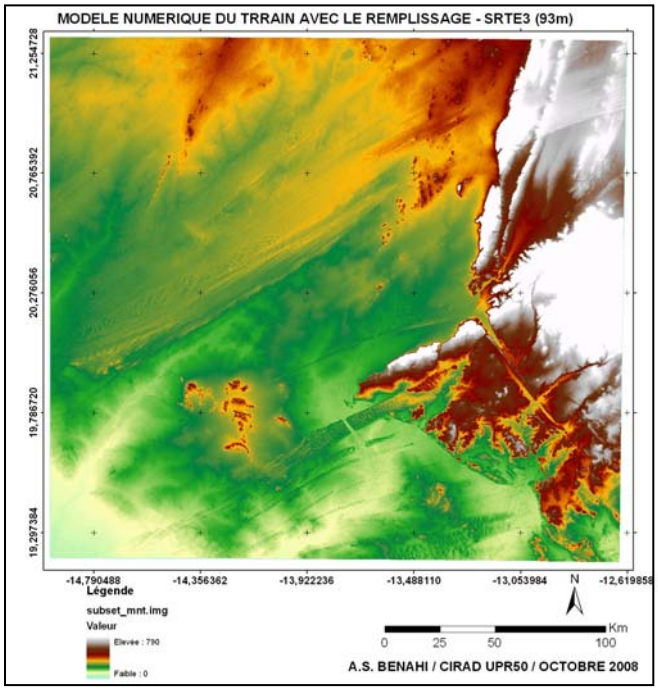


Figure 5 : MNT après remplissage des trous

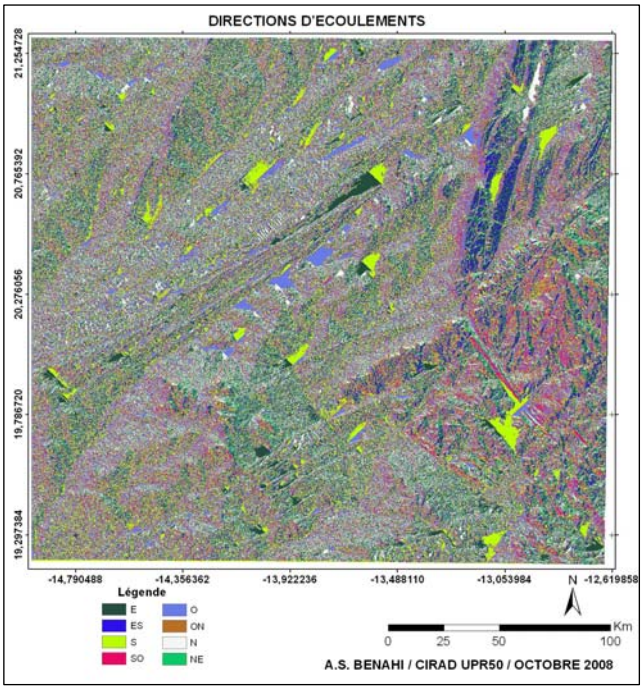


Figure 6 : Directions des flux dans la zone d'étude

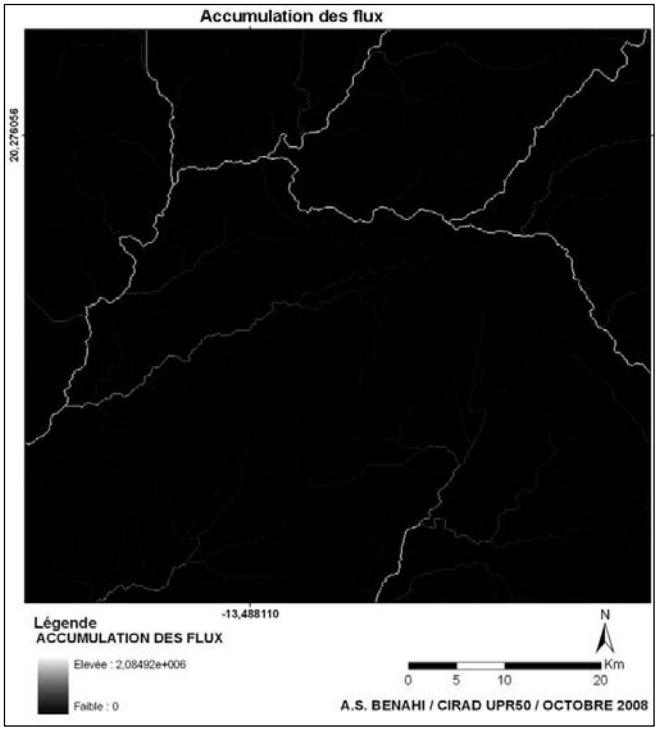


Figure 7 : Calcul d'accumulation des flux des eaux

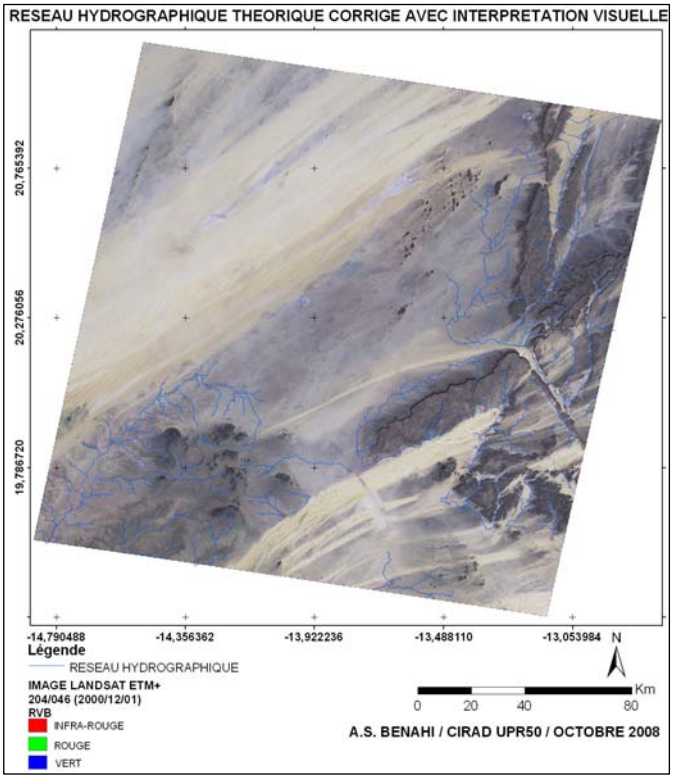


Figure 8 : Réseau hydrographique corrigé

Annexe F : Structuration de données utilisées dans la cadre de ce projet

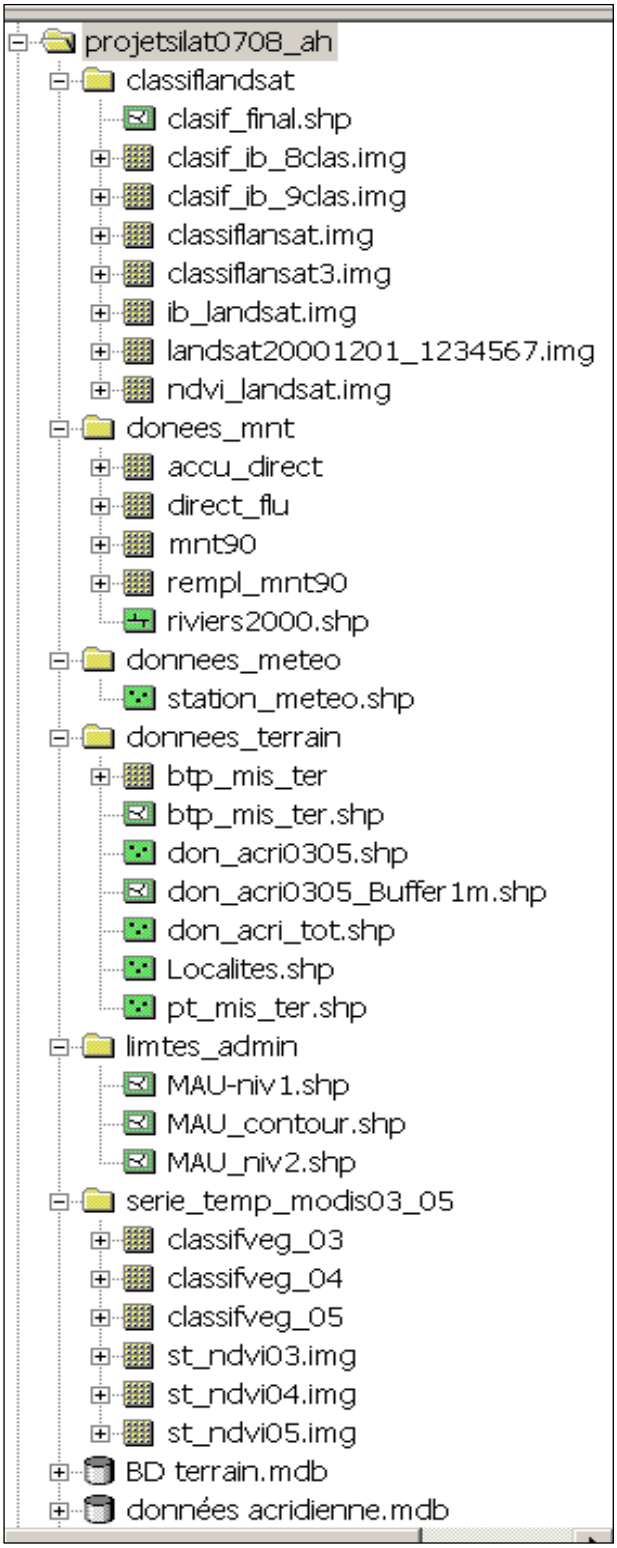


Figure 1 : Structuration de données utilisées dans la cadre de ce projet

Annexe G : Modèle conceptuel et modèle logique de la base des données relevées sur le terrain.

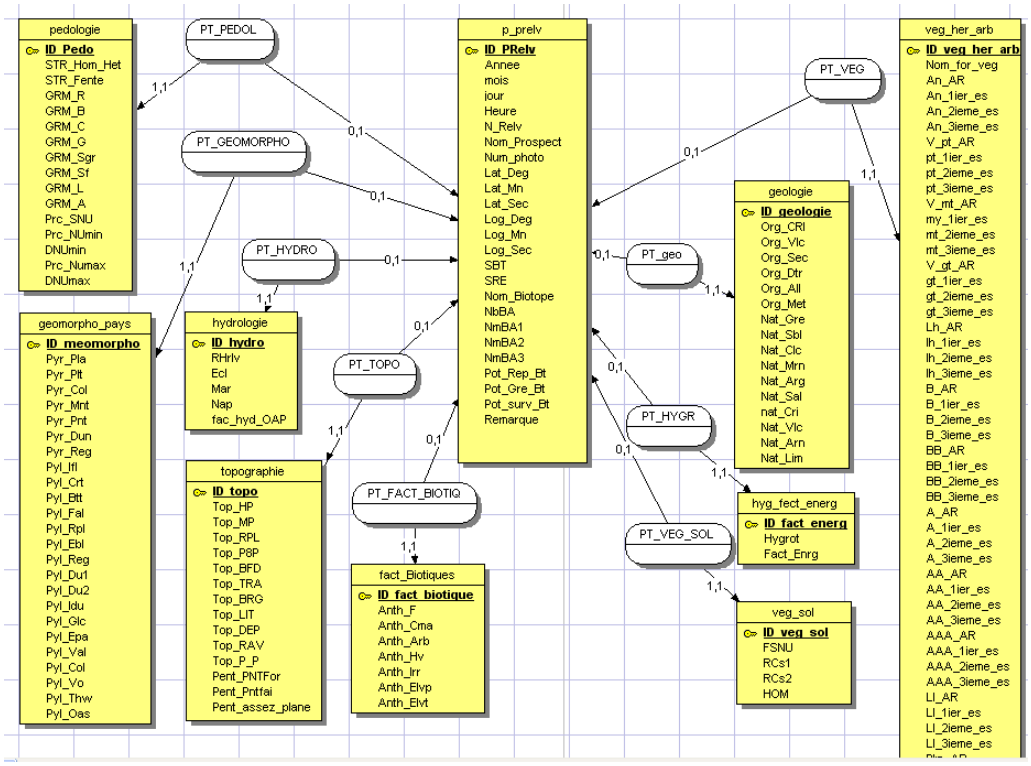


Figure 1 : Modèle conceptuel de la base de données de la mission terrain.

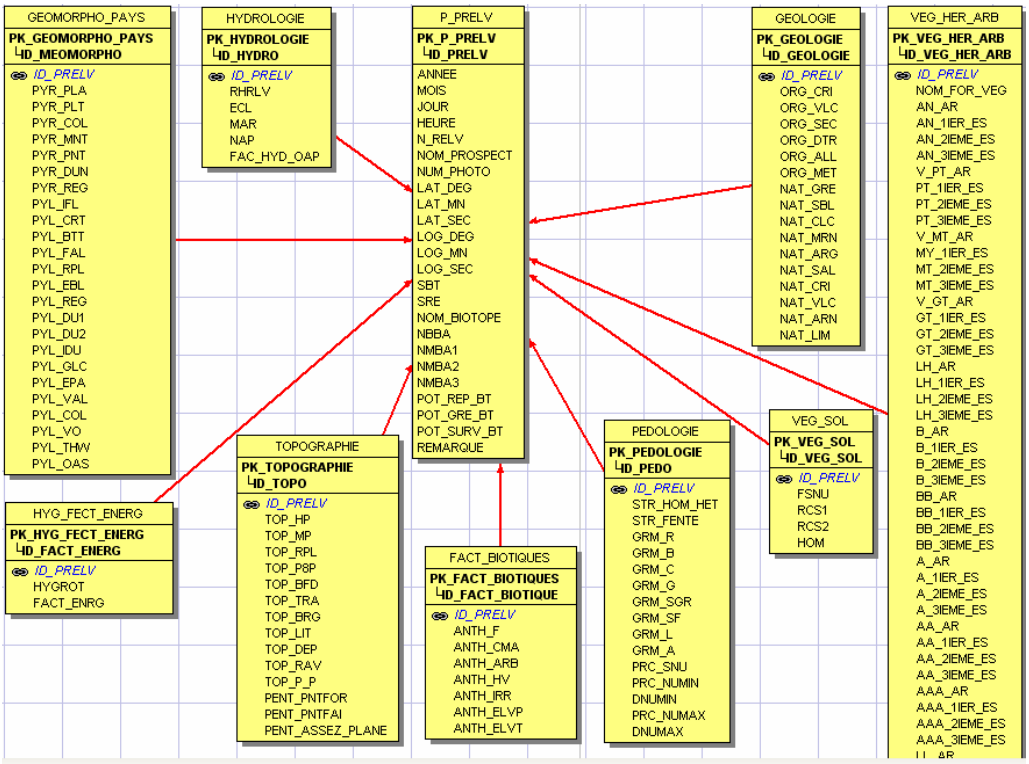


Figure 1 : Modèle logique de la base de données de la mission terrain.

RESUME

La Mauritanie est sous la menace permanente d'un fléau acridien majeur : le Criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria* Forsk., 1775. Pour lutter contre ce fléau le pays met au point progressivement une stratégie de lutte préventive qui repose sur une surveillance continue du territoire or il convient d'accroitre la productivité de cette surveillance pour en minimiser le coût. L'objectif de ce travail est d'utiliser les ressources de la télédétection pour détecter les milieux écologiquement favorables au développement acridien. Les investigations se sont déroulées en deux temps. Une zone pilote a été choisie entre Akjoujt et Atar au nord-ouest en raison de son écodiversité. Les principaux types de biotopes ont été identifiés et délimités grâce à l'analyse d'une image haute définition (Landsat ETM+), par la suite l'évolution phénologique saisonnière du tapis végétal a été suivie sur un pas de temps de 16 jours par le biais des images Modis Terra (moyenne résolution 250x250m). Si l'interprétation du croisement des deux couches est aisée et immédiate pour les biotopes de grande taille, elle est beaucoup plus complexe pour les biotopes de petites dimensions pour lesquelles une relation de dépendance reste à mettre au point. Il est montré qu'une évaluation du potentiel effectif des biotopes est possible et susceptible d'être exploitée pour orienter rationnellement la conduite des prospections de surveillance acridienne.

Mots clés : Criquet pèlerin, *Schistocerca gregaria*, lutte préventive, biotope, télédétection, délimitation spatiale, série temporelle, Landsat, Modis Terra, Unité Territoriale Ecologiquement Homogène, Mauritanie

ABSTRACT

Mauritania is under a permanent threat of a locust plague: the Desert locust *Schistocerca gregaria* (Forsk, 1775), due to its seasonal migratory movements. The country has progressively implemented a strategy to control this plague based on continuous surveys of the territory. It is necessary to increase the productivity of these field surveys to decrease its cost. The objective of this work was to use remote sensing data to identify favorable environments suitable for the development of locust. The investigation was performed in two steps. A pilot area was selected between Akjoujt and Atar in the North-East for its ecological diversity. The main habitat were identified and delimited based on the analysis of a high resolution satellite imagery (Landsat ETM+). Then the seasonal evolution of the vegetation cover was monitored based on a 16 days time interval using images provided from MODIS TERRA (medium resolution 250x250m). The interpretation and cross-analysis of the two data layers was straightforward for large-sized habitats. Conversely, this was more complex for small-sized habitat for which a dependence relation should be established. It was demonstrated that the evaluation of the actual potential of habitat is possible and could be exploited for a rational guidance of locust's surveys.

Key words: Desert locust, *Schistocerca gregaria*, preventive control, habitat, remote sensing, spatial delimitation, time series Landsat, Modis terra, Ecoregion, Mauritania