



HAL
open science

Sécheresse climatique, dynamique actuelle et perspectives des activités agropastorales dans le Ferlo et la moyenne vallée du Fleuve Sénégal (Région de Matam).

Djibrirou Daouda Ba

► To cite this version:

Djibrirou Daouda Ba. Sécheresse climatique, dynamique actuelle et perspectives des activités agropastorales dans le Ferlo et la moyenne vallée du Fleuve Sénégal (Région de Matam).. Géographie. Université Gaston Berger de Saint-Louis, 2018. Français. NNT: . tel-03150616

HAL Id: tel-03150616

<https://hal.science/tel-03150616>

Submitted on 23 Feb 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Université Gaston BERGER(UGB) de Saint-Louis / Sénégal
École Doctorale des Sciences de l'Homme et de la Société (SHS)
Formation Doctorale de géographie, Laboratoire Leïdi « DTD »
Parcours : *Écosystèmes et environnement*



Sécheresse climatique, dynamique actuelle et perspectives des activités agropastorales dans le Ferlo et la moyenne vallée du Fleuve Sénégal (Région de Matam).



Station de trappes à sédiments (Matam)

Thèse pour le doctorat unique
Présentée par
Djibrirou Daouda BA

Soutenue publiquement devant le jury composé de :
Monsieur Oumar DIOP (Professeur titulaire), UGB, Président
Monsieur Moussa GIBIGAYE (Maître de Conférences), UAC, Rapporteur
Monsieur Ibouaïma YABI (Maître de conférences), UAC, Rapporteur
Monsieur Guilgane FAYE (Maître de Conférences), UCAD, Examineur
Monsieur Boubou Aldiouma SY (Professeur titulaire) UGB, Directeur de thèse

Le 28 février 2018 à l'UGB

Résumé

Cette étude consiste en une analyse de la sécheresse climatique et de la dynamique actuelle dans la Région de Matam en interrelation avec le développement des activités agropastorales. Or la région s'inscrit dans un ensemble écogéographique plus vaste : le Sahel. Mais comment promouvoir les activités agropastorales dans une zone caractérisée par la dégradation des ressources ? Inversement les paysages qui ont déjà souffert de l'action de l'homme ne connaîtront-ils pas une plus grande péjoration pour les besoins de l'agriculture et de l'élevage ? En effet, les résultats de plusieurs études sur la variabilité pluviométrique au Sahel confortés par les données météorologiques, allant du début des années 1960 jusqu'en 2015, montrent une tendance à la baisse en dépit de quelques années relativement humides. Ce déficit pluviométrique dans un contexte tropical caractérisé par des températures élevées voire de réchauffement climatique a entraîné une situation de stress hydrique tant hydrologique que pluviométrique que tous les indices d'aridité (Indice de LANG, indice de LAMB, indice de SY, indice de GAUSSEN, indice de DEMARTONNE...) confirment.

Les traitements des sols renseignent sur les caractéristiques physico-chimiques des sédiments. Pour l'érosion éolienne, la distribution de la taille des grains à l'intérieur des sédiments est privilégiée. La granulométrie des fractions comprises entre les mailles 2 mm et 0,02 mm est opérée. Elle permet de comprendre le degré de sensibilité des horizons superficiels exposés aux agents d'érosion. Les paramètres granulométriques sont complétés par l'isolement des fractions fines : les limons, les argiles *en sus* de la détermination du pH et de la CE. L'analyse granulométrique révèle une forte prédominance des sols limon léger sableux. Les sols de texture fine, généralement favorables à l'agriculture et à l'élevage sont très sensibles à l'érosion. De même, les résultats de la CE montrent que les sols ne sont pas salés. Les valeurs obtenues ont un niveau de tolérance acceptable pratiquement à toutes les cultures. Ceci s'expliquerait par le fait que ces sols n'ont jamais subi l'influence des phénomènes d'intrusion marine comme dans le Delta du Fleuve Sénégal (Transgression Nouckchotienne). Tandis que, les sols sont acides dans le *Daande Mayo*, soit $5,45 < \text{pH} < 5,56$; et faiblement acides à neutres dans le *Diéri* et dans le Ferlo : $5,985 < \text{pH} < 6,652$. Ceci peut être dû aux effets de l'engrais qui acidifie le sol. Les analyses des sols de la Région de Matam confirment toutes le paradoxe d'un milieu favorable à l'aménagement rural, dans le contexte de l'approfondissement de la gouvernance locale, mais en dégradation.

De même l'étude de la dynamique actuelle est prédominée par les actions mécaniques et des mutations physiques et socioéconomiques des paysages sous l'action de facteurs tant naturels qu'anthropiques. Tout cela permet de cerner les perspectives des activités agropastorales partagées entre vulnérabilité et désir de modernité.

Abstract

This study consists in an analysis of the drought and the present dynamic in the region of Matam in interrelation with the development of agro pastoral activities. But the region of Matam belongs to a larger eco geographical area : the Sahel.

In fact the results of main studies on the rainfall vulnerability in the Sahel reinforced by the weather data from the 1960s to 2015 reveal a low tendency despite a few relatively wet years. This rainfall deficit in a tropical context characterized by high temperature or even global warming has brought about a water stress situation as hydrological than rainy confirmed by all the aridity indexes. But how can one promote the agro pastoral activities in an area already characterized by a degradation of resources.

The treatments of the soil inform on the physicochemical characteristics of the sediments for the wind erosion, the distribution of the grain size inside their sediment is preferred. The granulometry of the fractions between the meshes 2 mm and 0.02 mm is operated. It helps to understand the degree of sensitivity of superficial horizons exposed to the erosion agents. The granulometric parameters are completed by the isolation of the fine fractions: the silts, the clays on the top of the determination of the pH and the CE. The granulometry analysis reveals a strong predominance of light sandy silt soils. The fine texture soils are particularly sensitive to wind erosion. Like wise the results of the CE show that the soils are not salty. The gained advantages have an acceptable level of tolerance to all cultivations. This would be explained by the fact that these soils have never undergone the marine influence intrusion phenomenon in the delta of the Senegal river (Nouakchottan transgression). While the soils are acid in the Dande Mayo $5.45 < pH < 5.56$ and weakly acid to neutral in the Diery and in the Ferlo $5.985 < pH < 6.652$. This can be caused by the effects of fertilizer which acidifies the soil. The analyses of the Matam region soils confirm all the paradox of a favorable environment nevertheless in degradation.

Finally the management strategies and the activities in the future are object to questioning. The study of the present dynamic is predominated by mechanic actions and ongoing changes of the landscapes because of the effects of the natural as well as anthropogenic factors. All this allows identifying the perspectives of activities shared between vulnerability and the desire of modernity.

Dédicace

A tous ceux qui m'ont connu et soutenu.

Aux parents et amis d'enfance.

A mes frères et sœurs.

Ce travail est spécialement dédié à :

- mon père Daouda Séga qui durant toute mon enfance ne m'a demandé que d'étudier pour moi-même. Que la Grâce et la Clémence Divines soient sur son âme;
- ma chère mère Aissata Mamadou, qui a su mener mes premiers pas vers la dignité, la sociabilité, la rigueur et l'endurance ;
- ma très tendre et aimable épouse Aissata BA, qui encourage et soutient nos entreprises ;
- mes enfants Daouda, Issa et Salamata.

Remerciements

« Quelle que soit la valeur du présent fait à un homme, il n'y a qu'un mot pour témoigner la reconnaissance inspirée par la libéralité, et ce mot c'est merci. »

« Merci est un bien modeste petit mot mais il ne sort de la bouche que sous l'effet d'un acte qui inspire de la gratitude. »

Amadou Hampaté BA (1979). *L'étrange destin de Wangrin*. Paris : UGE, 381 p.

C'est avec plaisir que je profite de ces quelques paragraphes pour témoigner ma gratitude et exprimer mes vifs remerciements à toutes les personnes qui ont apporté leur concours à l'aboutissement de ce travail de recherche. Je remercie particulièrement mon Directeur de thèse, Pr Boubou Aldiouma SY. Sa disponibilité particulière, son attention et son soutien constants, ses conseils avisés et ses critiques constructives furent très précieux pour moi tout au long de ces années de recherche.

Un grand merci à tous les professeurs de la section de géographie qui m'ont initié à la recherche et ont guidé mes premiers pas à l'université. Des remerciements chaleureux vont également à l'endroit de tous les professeurs qui ont pris part à l'évaluation finale de ce document : Pr Oumar DIOP le Président, les rapporteurs Pr Moussa GIBIGAYE et Pr Ibouaraïma YABI de l'UAC et Pr Guilgane FAYE, Maître de Conférences à l'UCAD. Merci à tous les membres du Laboratoire Leïdi « Dynamiques des territoires et développement (DTD) » pour leur sympathie et leur aide. Mention spéciale à tous les doctorants et jeunes Docteurs de cette institution qui m'ont assisté au plan technique et psychologique.

Ma reconnaissance va aussi à ma directrice de stage Dr Ramatoulaye NDIAYE qui m'a réservé un accueil très chaleureux dans son laboratoire, à l'ISRA de Saint-Louis. Merci pour la confiance. Avec elle Mme Tégaye DIOP allocataire de recherche à l'ISRA. Merci aussi au Dr Djibril DIOP de l'ANIDA pour sa disponibilité et sa contribution à la documentation. J'exprime également ma profonde gratitude à M. Ibrahima BA de la DNM. Il a toujours répondu avec diligence et parfois avec abnégation à mes sollicitations diverses et variées depuis mes travaux de maîtrise.

J'exprime également ma profonde gratitude à l'endroit de tous ceux qui m'ont accueilli, guidé et /ou soutenu lors des laborieuses activités de terrain : Oumar SOW qui m'a accueilli lors de tous mes déplacements à Dakar dans le cadre de ce travail en plus de son aide à interroger les populations

avec Aliou SOW, Oussoye DIALLO à Tiguéré Yéné, Yéro SOW à Bow et sa famille de Ranérou, Mohamed LAH à Kanel, son cousin Mamoudou Niane, Ibrahima NDIAYE et Demba SOW qui ont eu à m'héberger à Ranérou avec une mention spéciale à Mamadou Anne de Boïnadji et sa famille. A Mamadou Ndaw DIOP et Khadim DIALLO aussi je merci pour leur disponibilité, les précieux documents techniques et leur accueil chaleureux lors des enquêtes au service régional de l'agriculture et à la DREEC de Matam. Pareil pour Capitaine SALL du service des eaux et forêts de Ranérou et mes tuteurs Ibrahima NDIAYE et Bocar DIALLO.

Je ne saurais terminer sans un mot à l'endroit du personnel du lycée Charles de Gaulle dont le soutien multiforme a été très utile ; sans la compréhension du proviseur Bassirou TALL le nécessaire travail de terrain aurait été plus difficile à effectuer compte tenu de nos obligations professionnelles. C'est, d'ailleurs, l'occasion de remercier les collègues de la cellule d'histoire-géographie dudit lycée pour le soutien et la solidarité jusque dans l'exercice de nos devoirs collectifs. Tous les collègues ont pleinement joué leur partition. Ma gratitude concerne particulièrement Mame Cheikh DIOUF pour son assistance technique dans la mise en page et les précieuses corrections de forme de même que les collègues Ibrahima SECK et Moubaran SOW pour la traduction en anglais du résumé de la présente thèse.

Sommaire

| | |
|---|-----|
| Introduction générale | 1 |
| 1. Le contexte de l'étude..... | 1 |
| 2. L'intérêt du sujet..... | 4 |
| 3. La situation administrative et géographique de la Région de Matam | 5 |
| Chapitre 1 : Cadre théorique, opératoire et méthodologique | 8 |
| 1. Le cadre théorique..... | 8 |
| 2. Le cadre opératoire..... | 11 |
| 3. L'approche méthodologique | 17 |
| Chapitre 2 : Matam, une région à fortes potentialités malgré les contraintes climatiques et hydrologiques | 37 |
| 1. La géologie et la variété des unités morphopédologiques de la Région de Matam | 37 |
| 2. Un climat sahélien et des perturbations du cycle hydrologique..... | 49 |
| 3. Un cycle hydrologique caractérisé par des irrégularités interannuelles | 71 |
| Chapitre 3 : Analyse d'indices d'aridité, d'échantillons des sols et des données sur la dégradation des rendements et de l'environnement | 86 |
| 1. L'étude de la sécheresse et de l'aridité..... | 86 |
| 2. L'interprétation et la discussion des résultats sur l'aridité et la sécheresse | 96 |
| 3. Les résultats des analyses de sols | 106 |
| 4. La prédominance des actions mécaniques dans la dynamique actuelle | 112 |
| Chapitre 4 : Stratégies de gestion et perspectives du secteur agro-pastoral dans la Région de Matam | 125 |
| 1. La dynamique des paysages et les pressions anthropiques | 125 |
| 2. Les perspectives des activités agro-pastorales dans la région..... | 138 |
| 3. La gouvernance foncière dans la modernisation des activités agropastorales | 144 |
| 4. La variabilité climatique globale : risque et adaptation | 152 |
| 5. Les résultat sur les contraintes de l'agriculture et la vulnérabilité du secteur..... | 169 |
| Conclusion générale | 177 |

Liste des acronymes et des sigles

ADM : Agence pour le Développement Municipal
ADT : Aménagement du Territoire
AFD : Agence française de développement
AGRHYMET : Agro-Hydro-Météorologie
ANACIM : Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie
ANCAR : Agence National du Conseil Agricole et Rural
ANIDA : Agence Nationale de l'Insertion et du Développement de l'Agriculture
ARDM : Agence Régional de Développement de Matam
ASAMM : Amélioration de la Sécurité Alimentaire et d'Appui à la Mise en Marche dans la Région de Matam
ASC : Association Sportive et Culturelle
AVSF : Agronomes et Vétérinaires Sans Frontières
BCI : Budget Consolidé d'Investissement
BP : Before Present
BRGM : Bureau de Recherche Géologique et Minière
CDI : Charte du Domaine Irrigué
CE : Conductivité Electrique
Cfa : Confédération Financière Africaine
CIEH : Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques
CILSS : Comité permanent Inter-états de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel
CLA : Couche Limite Atmosphérique
CNCAS : Caisse Nationale de Crédit Agricole du Sénégal
CNRF : Commission Nationale de Réforme foncière
CNT : Conseil National de Transhumance
CR : Communauté Rurale ou Commune Rurale
CRM : Conseil Régional de Matam
CSAO : Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest
CSE : Centre de Suivi Ecologique
DEA : Diplôme d'Etudes Approfondies
DNM : Direction Nationale de la Météorologie
DRDR : Direction Régionale de Développement Local

DREEC : Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés
E : Est
ENE : Est-nord-est
ESE : Est-sud-est
ETP : Evapotranspiration potentielle
ETR : Evapotranspiration Réelle
FAO : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
FIT : Front Intertropical
FNC : Fonds National Climat
FNRA : Fonds National de Recherche agricole et Agro-forestier
FOREMA : Forum (pour le développement) de la région de Matam
GIGC : Géochimie isotopique et géodynamique chimique
GMV : Grande Muraille Verte
GNAP : Groupement national des associations pastorales (Mauritanie)
GOANA : Grande Offensive Agricole pour la Nourriture et l'Abondance
GPS : Global Positioning System
GRIP : Groupe de recherche et d'information sur la paix et la sécurité
GRN : Gestion des Ressources Naturelles
Ha : hectare
IB : Indice bioclimatique de Leborgne
ICD : Intercontinental Discontinuité
IDA : Association internationale de développement
IEC : Information Education Communication
IREF : Inspection Régionale des Eaux et Forêts
ISRA : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
ISY : Indice d'aridité de Boubou Sy
JEA : Jet Est Africain
JET : Jet d'Est Tropical
JMES : Journal of Materials and Environmental Science
LOASP : Loi d'Orientation Agro-sylvo-pastorale
LLS : Limons Légers Sableux
Ma : Millions d'années
MATCL : Ministère de l'Aménagement du Territoire et des Collectivités Territoriales.
MDP : Mécanisme de Développement Propre

MEPN : Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature
N : Nord
NDVI : Indice par Différence Normalisé de Végétation
NE : Nord-est
NNE : Nord – nord-est
NNW : Nord-nord-ouest
NOAA : National Océanic and Atmospheric Administration
NPA : Nouvelle Politique Agricole
OCB : Organisation Communautaire de Base
OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economique
OMM : Organisation Mondiale de la Météorologie
OMVS : Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal
ONG : Organisation Non Gouvernementale
PAPEL : Programme d'appui à l'Elevage
PAS : Politiques d'Ajustement Structurel
PDRM : Projet de Développement Rural de Matam
PEPAM : Programme d'eau potable et d'assainissement du millénaire
PGIR : Plan de Gestion Intégrée Régional
pH : Potentiel Hydrogène
PIR : Proche infrarouge
PIV : Périmètre irrigué villageois
PNAE : Plan National d'Action pour l'Environnement
PNUE : Programme des Nations Unies Pour l'Environnement
PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement
POAS : Plan d'Occupation et d'Affectation des Sols
POS : Plan d'Occupation des Sol
PRDI : Plan Régional de Développement Intégré
PRDR : Programme Régional pour le Développement Rural
PRODAM : Programme de Développement Agricole de Matam
PPS : Petite Phase Sèche
PSE : Plan Sénégal Emergent
PUDC : Programme d'Urgence de Développement Communautaire

R : Rouge

RGPHAE : Recensement Général de la Population de l'Habitat et des Activités Economiques

RSP : Réserve Sylvo-pastoral

S : Sud

SAED : Société Nationale d'aménagement et d'Exploitation des Terres du Delta du fleuve Sénégal et de la Falémé.

SE : Sud-est

SGAE : Système Global d'Action Eolienne

SIG : Systèmes d'Information Géographique

SRA : Services Régionales de l'Agriculture de Matam

SSC : Saison Sèche Chaude

SSE : Sud-sud-est

SSF : Saison Sèche Froide

SIPA : Société d'Intensification de la Production Agricole

SSW : Sud-sud-ouest

TER : Travail d'Etude et de Recherche

TPN : Transect – puits – niveau

UAC : Université d'Abomey-Calavi

UCAD : Université Cheikh Anta Diop de Dakar

UFR : Unité de Formation et de recherche

UGB : Université Gaston Berger

UICN : Institut International pour la Conservation de la Nature

UNA : Université d'Antsirana

UP : Unité Pastorale

UQM : Université du Québec à Montréal

W : Ouest

WNW : Ouest-nord-ouest

WSW : Ouest-sud-ouest

ZCIT : Zone de Convergence Intertropicale

ZSP : Zone Sylvo-Pastorale

Liste des cartes

| | |
|--|-----|
| Carte 1 : Localisation de la Région de Matam | 6 |
| Carte 2 : Géographie des sites d'échantillonnage des sols et des trappes à sédiments | 25 |
| Carte 3 : Les localités visitées pour les enquêtes et les entretiens | 33 |
| Carte 4 : Réseau hydrographique du bassin du Ferlo | 47 |
| Carte 5 : Vue sommaire des sols de la Région de Matam..... | 48 |
| Carte 6 : Le réseau hydrographique de la Région de Matam | 76 |
| Carte 7 : Potentiel aquifère du Département de Ranérou Ferlo | 82 |
| Carte 8 : Les débits de l'aquifère du Maastrichtien dans le Département de Ranérou Ferlo | 83 |
| Carte 9 : Carte des isohyètes du Sénégal de 1980 à 2000..... | 99 |
| Carte 10 : Evolution du couvert végétal de la Région de Matam | 129 |
| Carte 11 : Programme d'aménagements hydro-agricoles dans la région..... | 139 |
| Carte 12 : Espèces végétales dominantes dans la Région de Matam | 167 |

List des figures

| | |
|--|-----|
| Figure 1 : Modèle d'analyse de la problématique de recherche..... | 9 |
| Figure 2 : Principales alternances de phases glaciaires et de phases chaudes..... | 38 |
| Figure 3 : Croquis géomorphologique du site du tissu urbain de Matam..... | 40 |
| Figure 4 : Schéma du mécanisme climatique de l'Afrique de l'Ouest..... | 50 |
| Figure 5 : Schéma de la circulation des vents en Afrique de l'Ouest..... | 51 |
| Figure 6 : Moyennes mensuelles de la pluviométrie de 1981 à 2010..... | 53 |
| Figure 7 : Cumuls pluviométriques annuels de 1981 à 2010..... | 55 |
| Figure 8 : Indice de LAMB appliqué à la pluviométrie de 1961 à 2010..... | 56 |
| Figure 9 : Moyennes quinquennales de la pluviométrie annuelle à Matam de 1961 à 2010..... | 57 |
| Figure 10 : Moyennes décennales du cumul pluviométrique en mm de 1961 à 2010..... | 58 |
| Figure 11 : Schéma du cycle des alizés en Afrique de l'Ouest..... | 62 |
| Figure 12 : Températures moyennes mensuelles de 1961 à 2010 à la station de Matam..... | 69 |
| Figure 13 : Schéma type des différents mécanismes hydrologiques sur un bassin versant..... | 73 |
| Figure 14 : Les côtes Moyennes journalières à Bakel..... | 78 |
| Figure 15 : Comparaison des débits maximums entre Bakel (amont) et Matam..... | 80 |
| Figure 16 : Tendances de la pluviométrie à Matam de 1961 à 2010..... | 89 |
| Figure 17 : Fréquence directionnelle des vents de saison sèche à Matam de 1961 - 2010..... | 101 |
| Figure 18 : La rose de la trappe des sédiments à Tiguéré et à Bow..... | 102 |
| Figure 19 : Moyenne des proportions de sédiments déplacés par tranche horaire à Bow..... | 103 |
| Figure 20 : Proportions de sédiments déplacés par tranche horaire à Tiguéré Yéné..... | 103 |
| Figure 21 : Fréquence directionnelle des vents dominants en saison des pluies..... | 105 |
| Figure 22 : Schéma des flux de l'air au dessus d'une surface (F.A.O., 1960)..... | 118 |
| Figure 23 : Entraînement des particules et mode de transport..... | 119 |
| Figure 24 : Modèle de caractérisation des paysages-sociétés..... | 126 |
| Figure 25 : Systèmes de vulnérabilité selon HELLENDORFF (2012)..... | 154 |
| Figure 26 : Schéma des cycles biogéochimiques..... | 157 |
| Figure 27 : Récapitulation des principales contraintes de l'agriculture..... | 161 |
| Figure 28 : Forêt à <i>Acacia nilotica</i> , vétivéraie et forêt mixte marginale de la Moyenne vallée..... | 168 |
| Figure 29 : Les contraintes répertoriées par les éleveurs de Matam..... | 173 |

Liste des photographies

| | |
|--|-----|
| Photo 1 : Campagnes de trappe à sédiments à Tiguéré (Matam, janvier 2017) | 23 |
| Photo 2 : Séchage d'échantillons à l'étuve..... | 27 |
| Photo 3 : Passage des échantillons sur colonne de tamis agitée..... | 27 |
| Photo 4 : Balance électronique pour le pesage des échantillons | 28 |
| Photo 5 : Des flacons contenant des échantillons de sol avec de l'eau distillée | 29 |
| Photo 6 : Agitateur métallique de flacons | 29 |
| Photo 7 : pH-mètre | 30 |
| Photo 8 : Conductimètre..... | 32 |
| Photo 9 : Le Balel un défluent du Sénégal à hauteur de Tiguéré | 43 |
| Photo 10 : Culture de décrue dans un Falò à Bow dans le Département de Kanel..... | 44 |
| Photo 11 : Le plateau à revêtement cuirassé démantelé du continental Terminal à Agnam..... | 46 |
| Photo 12 : Vue des deux rives du Sénégal à Bow et à Matam..... | 75 |
| Photo 13 : Le Ballel à hauteur de Tiguéré Yéné, en période de crue..... | 79 |
| Photo 14 : Vue du Djoulol en février 2005, saison sèche | 79 |
| Photo 15 : Le <i>Kolaangal</i> à hauteur de Garli, pendant l'hivernage..... | 109 |
| Photo 16 : Vue partielle de Wendu Thiangu à Tiguéré Yéné | 113 |
| Photo 17 : Le Yara, une vallée fossile à Tiguéré dans le Département de Matam | 114 |
| Photo 18 : Aire de déflation dans le Département de Matam | 116 |
| Photo 19 : Aire d'accumulation de débits solides éoliens dans le Ferlo | 116 |
| Photo 20 : Troupeaux de petits ruminants et de bovins au repos | 134 |
| Photo 21 : Campement de pasteurs transhumants dans le Ferlo | 137 |
| Photo 22 : Casier rizicole de Matam (à gauche) et du Bosséa (à droite) | 140 |
| Photo 23 : Vaccination de caprins à Bow | 142 |
| Photo 24 : Pépinière de la GMV dans le Département de Ranérou | 155 |
| Photo 25 : Vente de bois à Samba Doguel près de Ranérou | 164 |
| Photo 26 : Feu de brousse à Louguéré Thiolly (2012)..... | 164 |
| Photo 27 : Fabrication de briques en banco aux abords du fleuve à Soubalo Matam..... | 172 |

Liste des tableaux

| | |
|---|-----|
| Tableau 1 : Définition opérationnelle des concepts..... | 16 |
| Tableau 2 : Choix des localités pour les enquêtes..... | 24 |
| Tableau 3 : Villes et villages ciblés..... | 25 |
| Tableau 4 : Classification du pH..... | 31 |
| Tableau 5 : Classification de la CE..... | 32 |
| Tableau 6 : Classification des indices NDVI..... | 35 |
| Tableau 7 : Composition granulométrique des Terrasses de Kanel et Boyinadji en % | 42 |
| Tableau 8 : Lignes de grains recensées au Sénégal..... | 63 |
| Tableau 8 : Moyennes mensuelles de l'insolation par jour et en heures de 1971 à 2010..... | 67 |
| Tableau 10 : Segmentation d'HUBERT de la pluviométrie à Matam de 1961 à 2010 | 88 |
| Tableau 11 : Analyse d'ISY (2008) à Matam de 2011 à 2015..... | 90 |
| Tableau 12 : Tableau d'interprétation du facteur de pluie de LANG..... | 91 |
| Tableau 13 : Analyse du Facteur de pluie de LANG (1986) à Matam et Linguère de 1970 à 2010..... | 92 |
| Tableau 14 : Indice bioclimatique LE BORGNE de Matam | 93 |
| Tableau 15 : Typologie des climats selon l'indice d'aridité de DE MARTONNE (IDM) | 94 |
| Tableau 16 : IDM de la station de Matam de 1971 à 2010..... | 94 |
| Tableau 17 : Analyse de l'indice ombrothermique de GAUSSEN (1994) à Matam (1981 - 2010)..... | 95 |
| Tableau 18 : Précipitations à Matam en 1980..... | 99 |
| Tableau 19 : Les principaux types de grains | 107 |
| Tableau 20 : Les principales fractions des grains..... | 107 |
| Tableau 21 : Structure des sols de la Région de Matam en % des particules | 108 |
| Tableau 22 : Granulométrie des sols de Ranérou..... | 109 |
| Tableau 23 : Part en % des différents grains dans les sols de Ranérou Ferlo | 110 |
| Tableau 24 : Conductivité électrique et pH des sols | 111 |
| Tableau 25 : Analyse granulométriques des levées de Bow (Département de Kanel)..... | 113 |
| Tableau 26 : Calibre/mm des particules déplacées, station de Tiguéré (janvier 2017) | 120 |
| Tableau 27 : Synthèse des valeurs de NDVI dans la région de Matam..... | 131 |
| Tableau 28 : Répartition du cheptel par département..... | 133 |
| Tableau 29 : Les UP dans la Région de Matam | 135 |
| Tableau 30 : Forêts classées et réserves de la région par département..... | 136 |
| Tableau 31 : Les principales espèces végétales de la Région de Matam..... | 169 |
| Tableau 32 : Les difficultés de l'agriculture | 170 |
| Tableau 33 : Superficies cultivables par zone écogéographique et par département..... | 171 |

Avant-propos

C'est à la suite de mes mémoires de maîtrise et de DEA que j'ai porté mon choix sur le Ferlo et la Moyenne Vallée du Sénégal. Cette thèse aborde, ensemble, les différentes aires éco-géographiques : le Walo, le Djéri et le Ferlo, qui forment, par leur continuité, le même environnement naturel intéressant mais insuffisamment étudié.

Les suggestions et échanges avec de nombreux chercheurs m'ont alors permis de retenir, l'intitulé du présent travail : Sécheresse climatique, dynamique actuelle et perspectives des activités agropastorales dans le Ferlo et la Moyenne Vallée du fleuve Sénégal (Région de Matam). Le choix du sujet devait répondre à l'une de mes motivations principales : élargir mes recherches précédentes à toute la région dont la nature est si complexe et dont les composantes (physiques, physico-chimiques, biologiques et humaines) sont interdépendantes et interactives. Elle caractérise des problèmes environnementaux du Sahel et des problèmes socio-économiques du monde rural. Elle soulève aussi des questions de gouvernance locale et de mutation des territoires dans le cadre de l'approfondissement de la décentralisation au Sénégal.

Le présent TER procède également des contacts très fructueux que j'ai pu mener avec beaucoup de structures intervenant dans la zone. Bien des points ont été abordés, relatifs entre autres, à l'évolution dans le temps des données climatiques et à leurs incidences dans les milieux physiques sahéliens et ses interrelations avec la production agropastorale. Ces différentes questions introduisent un problème essentiel de la géographie « applicable », pour reprendre l'expression de TRICART (1978), à l'aménagement du territoire. Par conséquent, ce TER peut aider à caractériser de manière plus précise les milieux semi-arides à arides pour aider les acteurs et les décideurs impliqués dans l'aménagement rural au Sénégal et en Afrique.

Introduction générale

En domaine sahélien les activités agricoles dépendent essentiellement des pluies. La sécheresse qui sévit depuis les années 1970 bloque le développement de l'agriculture (NDIAYE, 2006). Dans tout le domaine sahélien les pluies ont globalement diminué au cours des dernières décennies. Cette situation a des repercussions sur les activités agricoles et sur l'environnement de la Région de Matam.

1. Le contexte de l'étude

Les sécheresses sont à l'origine d'importants dégâts socio-économiques dans beaucoup de pays notamment en Afrique subsaharienne. Le Sénégal, surtout la Région de Matam, se trouve dans cet environnement plutôt contraignant. En fait, l'eau douce ne constitue que 2,5 % du volume total de l'eau de la planète contre 97,5 % d'eau salée. Elle subit une forte pression pour la satisfaction des besoins de la population (IBRAHIM, 2012). La pression sur cette ressource va encore augmenter avec la forte croissance démographique, la nécessaire croissance de la production agro-alimentaire, le développement industriel et l'amélioration des conditions de vie. Malheureusement, tout ceci se passe dans un contexte climatique où la pluviométrie, principale pourvoyeuse de l'eau douce, présente de forte variabilité spatio-temporelle et une tendance à la baisse en Afrique sahélienne (SY, 2008 ; MADOUGOU, 2010 ; IBRAHIM, 2012). Cette mince bande de transition entre le Sahara aride, au nord, et la zone soudanienne humide, au sud, se trouve dans une situation de sécheresse continue caractérisée par une baisse importante de la pluviométrie annuelle (MADOUGOU, 2010 ; SY, 2013).

La Région de Matam est caractérisée par des totaux pluviométriques annuels irréguliers et par une longue saison sèche (SY, 1995 et 2008 ; NDIAYE, 2006 ; BA, 2007) avec une courbe pluviométrique révélant l'existence de quelques années où la pluviométrie est relativement abondante (BA, 2007). Donc la région « connaît une alternance de sécheresses et d'occurrences humides avec une tendance à l'assèchement, marquant les temps historiques et la période actuelle » (SY, 2008). Les années 1972, 1973, 1974 et 1992 ont été des exemples types de péjorations climatiques (NDIAYE, 2006). La sécheresse climatique actuelle (celle qui a commencé dans la seconde moitié du XX^e siècle) a durement frappé l'agriculture et l'élevage qui sont les principales ressources du pays (MICHEL, 1990). Matam est entièrement située dans la zone sahélienne ; la

moyenne de la pluviométrie annuelle au cours des cinq dernières décennies (1960-2009) tourne autour de 364 mm ; la période 1975 – 2004 enregistre une moyenne des températures à la station de Matam de 30,3° C. (BA, 2007). Les moyennes des températures sont respectivement de 25°C. durant l'hiver et 40° C. En été (KAERE, 2004). Les effets de la sécheresse ont touché différentes cultures, surtout celles sous pluies qui sont très affectées. Dans beaucoup de localité du *Walo* les paysans ne pratiquent plus les cultures sous pluies (NDIAYE, 2006).

Toutefois, le retour à une relative abondance pluviométrique est noté avec une moyenne pluviométrique de 438 mm au cours de la dernière décennie (2001-2010). L'harmattan balaie la région pendant une très bonne partie de l'année et la saison des pluies n'y dure que trois mois environ. Le phénomène représente un sérieux handicap à la réalisation des politiques de développement. Il entraîne des difficultés pour l'occupation et la mise en valeur de beaucoup d'espaces ruraux et urbains au Sénégal (BA, 2007 et 2008). Cette situation a placé le domaine sahélien au cœur du débat scientifique sur la recherche d'une meilleure connaissance des interactions entre le sol et l'atmosphère à travers des problématiques touchant à la dynamique et à la péjoration climatique en rapport avec les activités économiques (WU, 2003 ; WADE, 2008 ; SY, 1995 et 2008 ; IBRAHIM, 2012 ; SY, 2013).

Dans tous les cas, au-delà des moyens financiers et techniques nécessaires, l'environnement occupe une place primordiale à la réalisation des politiques de développement. Ainsi, le concept de développement durable a été évoqué et était au centre de l'attention du monde au Sommet de la Terre de Rio en 1992. Depuis la notion de développement durable est devenue une réalité à tous les niveaux de décision et implique nécessairement la prise en charge des problèmes environnementaux. Ce sommet a constitué une étape décisive de l'histoire de l'humanité, car il a permis de reconnaître l'existence de défis et de problèmes communs à l'ensemble de la planète. Il a essayé de définir les cas dans lesquels une responsabilité commune pouvait être établie. Il a ainsi considérablement étendu le champ des problèmes mondiaux, pour y inclure des questions comme la pauvreté, la santé et l'environnement. Dans ce cadre, François André THIERRY (2005) disait : « les forêts précèdent les hommes, le désert les suit¹».

¹ Rapport 2005 sur le développement humain au Mali: Gestion de l'environnement.

C'est ainsi que, dans l'esprit de la conférence de Rio de 1992, la décentralisation a été renforcée². Cette dernière est un procédé politique et administratif qui retourne aux populations la prise en charge de leur destinée. Elle vise à « transférer une partie du pouvoir à des entités politiques ou administratives d'échelon inférieur » (LEVY et LUSSAULT, 2003 cité par THIAM, 2006). Les finalités de la décentralisation sont essentiellement le développement économique et le progrès social des régions ainsi que le rapprochement de l'administration avec les administrés de même qu'une certaine autonomie des collectivités locales (BA, 2007). Ceci doit à la longue promouvoir le développement local qui peut être défini comme étant la valorisation des ressources du territoire par les acteurs locaux en vue de créer des richesses grâce à leur synergie (PIVETEAU, 2005). En principe les collectivités locales doivent participer *a priori* à la valorisation et au développement de leurs territoires. Mais faute de ressources propres, le rôle des collectivités locales est souvent limité à l'identification des besoins et à la programmation des investissements locaux (PIVETEAU, 2005). Cette recherche s'inscrit donc dans un contexte multidimensionnel : climatique, environnemental, socioéconomique, institutionnel.

La sécheresse se répercute aussi bien sur le bilan de l'écoulement superficiel et souterrain des eaux que sur la nature et la densité du couvert végétal, affectant ainsi de façon directe et indirecte la morphogénèse (MICHEL, 1973). Or l'organisation morphologique des sols est un élément fondamental de leur fertilité ; elle exprime de multiples aspects (physique, chimique et biologique) des relations possibles entre le sol et la plante (RUELAN et DOSSO, 1993). Le façonnement de la vallée dépend avant tout de la crue annuelle. Mais le comportement du fleuve n'est sans doute pas le même selon que la crue est abondante ou faible ; son action érosive, la prise en charge des matériaux, etc. varie (MICHEL, 1973). En plus, à chaque crise l'assèchement des rivières et la baisse significative des nappes phréatiques, l'éclaircissement extrême du tapis végétal, la dégradation mécanique des sols, le ruissellement ravageur et l'inondation à la reprise des pluies sont notés ; d'où pour les hommes la raréfaction du bois de cuisine, baisse des récoltes de moitié et la mort d'une partie du bétail -surtout les bovins- etc. La sécheresse de 1977-1985 s'est accompagnée de problèmes plus sérieux que celle de 1912-1915, par exemple. Cette situation est due à l'accroissement de la population, partant des surfaces cultivées et surtout irriguées (DEMANGEOT, 1996).

² Les lois 69-06 et 96-07 du 22 mars 1996 portant respectivement régionalisation et transfert des compétences aux collectivités locales et à leurs organes.

Par ailleurs, l'économie du Sénégal souffre de l'importation de l'essentiel de ses denrées de première nécessité tel le riz, le lait en poudre, etc. (MAGRIN, 2008). Dès lors des concepts comme l'autosuffisance ou la souveraineté alimentaire sont de plus en plus agités comme viatique à l'inflation et à la dépendance économique. C'est dans ce contexte, que beaucoup de programmes et projets ambitieux de modernisation des secteurs de l'agriculture et de l'élevage ont été mis en place. Un des plus récents et des plus illustratifs a été la Grande Offensive Agricole pour la Nourriture et l'Abondance (GOANA) lancée en avril 2008 par les autorités. La GOANA prévoyait la production de 2 millions de tonnes de maïs, de 3 millions de tonnes de manioc, de 2 millions de tonnes pour les autres céréales, comme le mil, le sorgho, et le fonio et de 500 000 tonnes de riz. Elle vise également à produire par année 400 millions de litres de lait et 43 500 tonnes de viande. Pour atteindre ses objectifs, la GOANA prône l'intensification de l'élevage à travers la subvention des aliments de bétail et l'insémination artificielle (DIA, 2008) notamment dans le Ferlo. Actuellement cette même politique est poursuivie dans le cadre du Plan du Sénégal Emergent (PSE), notamment par le biais du programme d'urgence de développement communautaire (PUDC). Ce contexte confère à ce travail un intérêt particulier.

2. L'intérêt du sujet

La Région de Matam est située en amont de la Moyenne Vallée du fleuve Sénégal. Elle est confrontée à une grande précarité liée à sa position géographique et à son mode d'occupation et de mise en valeur de l'espace. Elle donne ainsi un bel exemple des difficultés liées à la sécheresse et à la dégradation du milieu. « En tant que fraction de la terre, les régions composent à la manière d'un puzzle, l'espace géographique. Elles constituent à cet effet un excellent laboratoire d'observations scientifiques favorisant l'explication très fine d'articulations sociospatiales, compte tenu de phénomènes propres à des territoires de base proches des entités locales ».

A ces sinistres, il faut ajouter l'effet des sécheresses et de leurs corollaires comme l'érosion des sols sur la vie sociale et économique de la Région de Matam. Ces problèmes affectent la région et limitent son développement économique à travers notamment les premiers secteurs d'activités que constituent l'agriculture et l'élevage. Face à une telle situation, la réussite de toute politique de développement ou de mise en valeur des potentialités économiques de la région passe nécessairement par une étude approfondie du phénomène de la sécheresse et de la dynamique

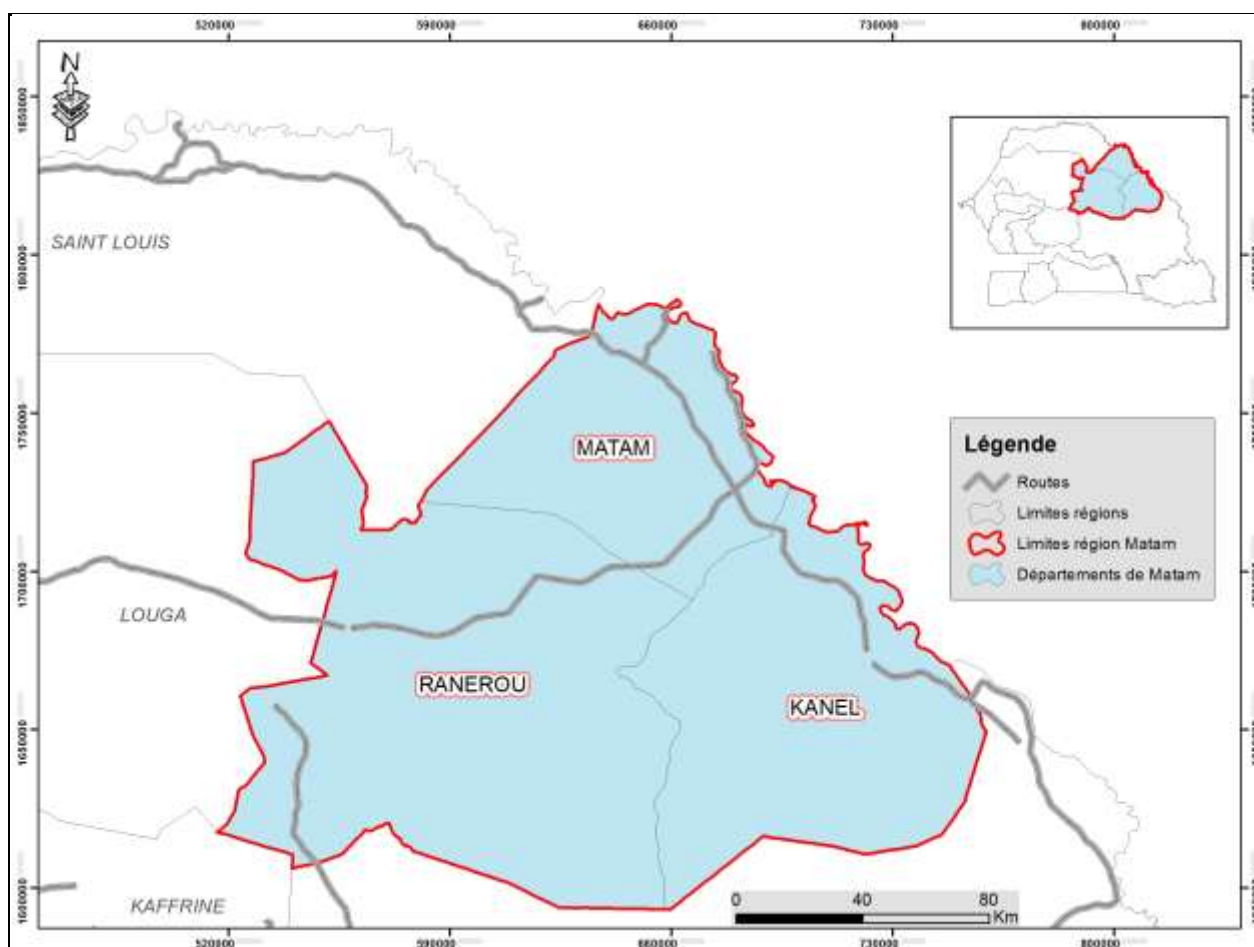
actuelle. De même, elle prend en considération leurs conséquences sociales et écologiques et les stratégies d'adaptation qui tiennent compte de sa situation géographique.

3. La situation administrative et géographique de la Région de Matam

La Région administrative de Matam est créée par la loi 2002-198 du 15 février 2002 et le décret 2002-166 du 21 février 2002. Avec une superficie d'environ 29 615,5 km², elle couvre l'ancien Département de Matam, de la Région de Saint-Louis, auquel on a ajouté les communautés rurales de Louguéré Thiolly (arrondissement de Dodji) et de Vélingara (arrondissement de Barkédji) de la Région de Louga (NDIAYE, 2006). La région s'étendait sur trois départements, cinq arrondissements – Orkodjéré, Wouro Sidy, Agnam Civol, Ogo et Vélingara et vingt quatre communes et dix sept communautés rurales. Mais avec l'Acte 3 de la décentralisation, instaurant la communalisation intégrale, la région compte vingt et une communes, sans modification des différentes collectivités locales qui existaient. La population était estimée à 541 032 habitants (ANSD, 2013), soit une densité de 19 habitants au kilomètre carré. La population est, selon la direction régionale de l'ANCAR, rurale à 85 % avec 55 % de femmes et 66 % de jeunes.

La région est située entre 14°20 et 16°10 de latitude Nord et 12°40 et 14°60 de longitude Ouest. Elle est à cheval sur les régions de Saint-Louis, Louga et la Région mauritanienne de Gorgol, qui constituent respectivement ses limites nord-ouest, ouest et est. Au sud, Matam est limitée par la Région de Tambacounda (carte 1).

Carte 1 : Localisation de la Région de Matam



Le ressort territorial actuel est fixé par le décret du 10 septembre 2008, qui abroge toutes les dispositions antérieures contraires. A partir de Bakel, le fleuve entre dans son bassin inférieur empruntant un parcours sinueux dans la vallée alluviale plate et inondable. Ce bassin inférieur peut être subdivisé en 4 unités hydrologiques : la Haute vallée, la Moyenne vallée, la Basse vallée et le Delta. Seule la moyenne vallée est concernée par la présente étude.

La topographie y est marquée par une platitude d'ensemble. La vie économique de la région est dominée par les activités agropastorales (KANE, 1977 ; KAERE, 2004). Cette région administrative correspond essentiellement à deux aires écogéographiques : la Vallée du Sénégal et le Ferlo. Et les contraintes climatiques font d'elle une région agricole marginale (pour l'agriculture sous pluies) compensée par les grands aménagements hydroagricoles et les cultures de décrue dans le Walo.

La végétation est de type arbustif où dominent les épineux adaptés à la forte chaleur et au stress hydrique. Le fleuve Sénégal, qui ceinture la région sur environ 200 km, déverse ses crues sur toute

la zone qui correspond au lit majeur, favorisant ainsi le développement d'activités agricoles en saison sèche : c'est la zone du Walo. Le Diéri constitué par la partie non inondable de la vallée du Sénégal est le lieu le plus approprié pour le développement de l'agriculture sous pluies. Il assure la transition entre la vallée alluviale et le Ferlo, qui est une zone écogéographique particulière, correspondant dans la région, au Département de Ranérou, principal domaine du pastoralisme.

La Région de Matam dispose d'un potentiel énorme pour les activités pastorales. L'élevage y est de type traditionnel extensif et occupe près de 70 % de la population (CRM, 2004). Dans la zone sylvopastorale du Sénégal, le bovin reste l'animal de référence mais l'élevage de petits ruminants, notamment du mouton constitue une activité de plus en plus importante avec l'accroissement des possibilités de vente. La contribution des productions animales essentiellement sous la forme de vente d'animaux sur pied et de lait s'est beaucoup renforcée. Mais elle demeure liée aux disponibilités en ressources naturelles : eaux et pâturages naturels (DIOP, 2007). Ce contexte fait que l'élevage est très sensible à l'évolution morphoclimatique du milieu et est étroitement lié aux autres formes de mise en valeur. C'est pour cette raison que Matam, malgré les spécialités de ses zones écogéographiques, ne doit pas « être considéré comme un espace découpé mais plutôt comme une unité d'espaces hétérogènes dépendant les uns des autres » (BENJAMINSEN, 1996).

Elle est caractérisée par la fragilité qui explique et justifie les mouvements migratoires étant donné son incapacité à retenir les jeunes gens en leur offrant du travail. Ces départs s'expliquent, d'une part, par la quasi absence du secteur secondaire et, d'autre part, par le fait que le secteur primaire qui procure à la région l'essentiel de ses revenus est de moins en moins rentable (KANE, 1977). Cette situation n'a pas considérablement changé. Les cycles de sécheresses, notamment du dernier siècle, et la tendance générale à l'aridification de la région ont considérablement modifié les paysages avec des impacts négatifs sur les activités agropastorales et partant sur la vie sociale et économique des habitants. Le rappel du contexte de « l'espace des sociétés » où elle s'inscrit pour en comprendre l'évolution dans le temps et dans l'espace permet de bien cerner la problématique.

Chapitre 1 : Cadre théorique, opératoire et méthodologique

L'étude couvre toute la Région de Matam et porte sur ses deux principales activités économiques. Ce chapitre constitue la clef d'entrée de la recherche. Il se compose du cadre théorique, du cadre opératoire et de l'approche méthodologique. Vu l'étendue et les spécificités des terroirs, une méthodologie de travail sur des échelles réduites représentatives de la région est adoptée.

1. Le cadre théorique

Le cadre théorique englobe la problématique, les objectifs, les hypothèses et les questions de recherche.

1.1. La problématique

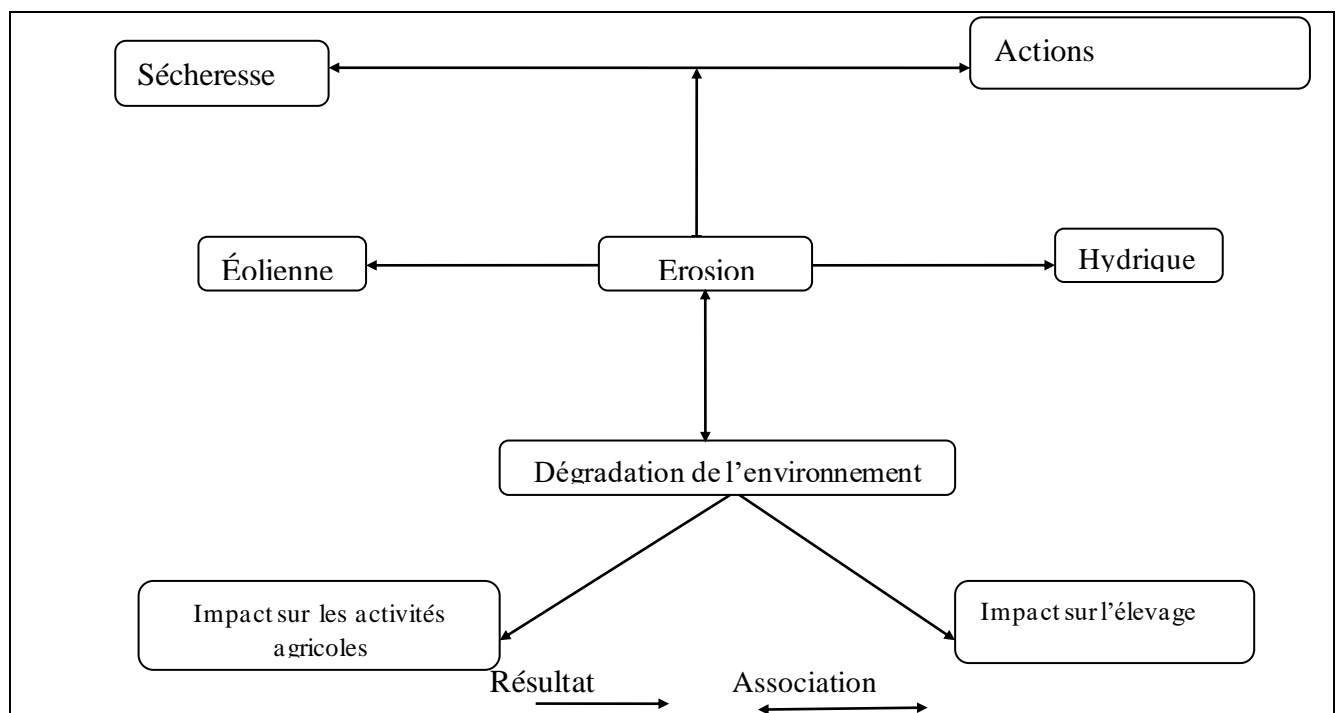
Les activités anthropiques ont des impacts négatifs sur l'environnement ; elles entretiennent et exacerbent la dégradation progressive du cadre de vie. C'est compte tenu de l'ampleur des impacts négatifs des activités anthropiques sur l'environnement que l'homme apparaît de plus en plus responsable du processus de dégradation des écosystèmes fragiles, entraînant inmanquablement la détérioration de la diversité biologique et les chaînes alimentaires dont il fait partie. La Région de Matam où l'essentiel des sols est nu avec la disparition prononcée du couvert végétal est un exemple caractéristique du Sahel. L'agriculture et l'élevage peuvent contribuer au processus de développement de Matam. Toutefois, cela doit se faire dans la prise en compte des spécificités environnementales d'une région caractérisée par la péjoration climatique et écologique. La croissance des superficies de culture s'est accélérée avec le développement de l'irrigation avec notamment les cultures du riz et du maïs. Cet essor est la conséquence de la crise pluviométrique qui se traduit par une extension des périmètres et l'adoption d'autres types de cultures pour permettre une production alimentaire pour une population de plus en plus grandissante.

Pendant ce temps l'action des vents sur les paysages se fait réellement sentir. Le vent n'est pas un agent d'érosion spécifique à la région. Néanmoins, deux facteurs le rendent particulièrement efficace : sa quasi quotidienneté et l'ouverture, voire l'absence de la végétation dans certaines parties de la région. Il n'y a pas suffisamment d'obstacles qui entravent sa course, même modérée, si bien qu'il semble plus fort et plus continu qu'il ne l'est en réalité (BA, 2007).

En effet, le cumul des années sèches a placé la vallée du fleuve Sénégal et le Ferlo dans un milieu semi-aride. La pluviométrie enregistrée à la station de Matam est dans l'ensemble assez faible avec des moyennes annuelles dépassant et même atteignant très rarement les 500 mm.

Or la pluviométrie est aussi un facteur essentiel pour le maintien et la régénération du couvert végétal. La sécheresse a eu pour certaines espèces un effet catastrophique. L'impact du phénomène sur les paysages se manifeste par une érosion marquée par la prépondérance des actions mécaniques. Cette situation engendre un sérieux handicap à la mise en valeur des terres pour le développement des activités agropastorales. Mais cela ne signifie pas que la surexploitation des ressources, donc l'action de l'homme, ne constitue pas un problème pour les activités agropastorales. L'agriculture et l'élevage jouent un rôle primordial dans l'économie de la région, un des principaux foyers du pays. Dans la vallée du Sénégal et le bassin du Ferlo la dégradation climatique conjuguée aux actions anthropiques ont favorisé le tarissement précoce des mares d'hivernage, perturbé la recharge des nappes phréatiques dont l'emprise est progressivement soustraite du volume racinaire des ligneux. Le phénomène de sécheresse et la dynamique qu'il entraîne constituent ainsi un obstacle sérieux pour le développement des activités agropastorales dont l'analyse permet de faire ressortir un modèle d'analyse de la problématique spécifique de recherche (figure 1).

Figure 1 : Modèle d'analyse de la problématique de recherche



La figure 1 simplifie la compréhension théorique de l'étude. Dans la Région de Matam la sécheresse et l'érosion concernent des entités spatiales différentes du point de vue de leur morphologie et de leur fonctionnement : *Daande Mayo*, *Diéri*, *Ferlo*. Divers agents morphodynamiques opèrent de façon interactive sur ses entités spatiales. Le vent, la température, la pluviométrie, la topographie, la morphologie, les activités humaines impactent concomitamment sur l'environnement. La conjugaison de ces éléments physiques et humains engendre des risques se traduisant par différents niveaux d'enjeux : socio-économiques et environnementaux.

Les activités socio-économiques notamment les aménagements hydro agricoles et les charges pastorales occupent une grande place dans les phénomènes d'érosion éolienne et hydrique dont l'efficacité est favorisée par la dégradation accentuée du couvert végétal. Les vents efficaces, leurs fréquences et leurs intensités exercent, surtout en saison sèche. En hivernage l'eau des ruissellements et des pluies est le principal agent d'érosion. C'est pourquoi l'étude ces dynamiques ainsi que les perspectives des activités agropastorales revêt un intérêt particulier.

1.2. Les objectifs, les questions de recherche et les hypothèses

Les objectifs, les questions de recherche et les hypothèses sont étroitement liés.

1.2.1 Les objectifs de recherche

L'objectif général est d'analyser les interrelations entre les dynamiques physiques et les activités agropastorales dans la Région de Matam. Les objectifs spécifiques consistent à :

- construire un système de suivi dynamique des changements environnementaux ainsi que leur cause au cours des dernières décennies ;
- comprendre l'impact de l'activité humaine sur l'environnement et la réponse du milieu ;
- comprendre les caractéristiques de la dynamique actuelle pour une gestion durable des ressources naturelles.

Ces objectifs ont suscité un certain nombre de questions de recherche.

1.2.2. Les questions de recherche

Comment promouvoir les activités agropastorales dans une zone déjà caractérisée par la dégradation des ressources ? Inversement, ces objectifs n'entraîneront-ils pas une plus grande dégradation des

paysages qui ont souffert des pressions anthropiques ? Il en découle les questions spécifiques suivantes :

- quelles sont les principales contraintes climatiques et hydrologiques de la Région de Matam ?
- comment la surexploitation des ressources dont dépendent les activités agropastorales peut-elle influencer sur ces mêmes activités ?
- quelles stratégies pour des activités agropastorales productives et complémentaires dans un contexte environnemental et social en déséquilibre ? Ces questions justifient la formulation des hypothèses de recherche.

1.2.3. Les hypothèses

Les hypothèses sont de deux catégories : l'hypothèse principale et les hypothèses secondaires.

L'hypothèse principale : les activités agropastorales sont tributaires des dynamiques physiques et anthropiques en cours. De cette hypothèse principale découlent les hypothèses secondaires :

- **hypothèse secondaire 1**, la Région de Matam présente d'importantes potentialités mais elle est soumise à de fortes contraintes physiques ;
- **hypothèse secondaire 2**, la surexploitation des ressources et leur gestion mettent face à face plusieurs acteurs avec des stratégies différentes qui perturbent les activités agropastorales;
- **hypothèse secondaire 3**, il existe une gestion durable des ressources naturelles si les stratégies des différents acteurs sont intégrées entre elles et avec l'environnement.

2. Le cadre opératoire

Le cadre opératoire permet de mieux comprendre l'articulation des différents éléments de la thématique de recherche. Ainsi il porte sur la sécheresse, la dynamique actuelle et les perspectives des activités agropastorales dans la Région de Matam. Cet exercice s'articule essentiellement autour de la définition conceptuelle et de l'opérationnalisation des concepts.

2.1. Les définitions conceptuelles

Un concept est un mot ou une expression que les chercheurs ont empruntée au vocabulaire courant ou construit de toute pièce pour désigner ou circonscrire des phénomènes de la réalité observable qu'ils désirent étudier scientifiquement. C'est une représentation abstraite d'une réalité observable

(MACE, 1991). Dans ce cadre, divers concepts structurent notre objet de recherche dont la sécheresse.

La sécheresse est toujours embarrassante à définir, et ne se conçoit qu'en fonction de l'objectif visé. C'est une notion relative qui se définit, selon les lieux et les modes de production, par l'écart à la normale pluviométrique habituellement enregistrée. C'est pourquoi, plusieurs paramètres s'associent pour l'expliquer (MAINGUET, 1995 ; SY, 2008) car elle change en fonction des préoccupations, selon qu'il s'agit d'autres secteurs ou «de l'agriculture et de l'évolution des milieux naturels, où il est nécessaire de distinguer les sécheresses biologiques des sécheresses météorologiques » (LE BORGNE, 1988).

La sécheresse est, en conséquence, un état lié au manque d'eau. Elle peut être atmosphérique : l'air absorbe plus d'eau qu'il n'en fournit à la surface du sol. Cette sécheresse atmosphérique en persistant génère la sécheresse pédologique qui peut aller jusqu'à provoquer le flétrissement des plantes. La sécheresse pédologique génère à son tour la sécheresse potamologique ou étiage, voire le tarissement complet des cours d'eau ; à terme, les nappes souterraines sont au plus bas, ne sont plus atteintes par les puits et on parle de sécheresse géologique puisque le manque d'eau atteint le substratum (GEORGE et VERGER, 2004). D'après ces auteurs, il existe donc différents types de sécheresse étroitement liés les uns aux autres.

La définition de la région résulte de la synthèse de plusieurs aires d'influence. Or la notion d'aire d'influence est complexe car elle peut être culturelle, économique, administrative ou physique. La région est un des concepts de base de la géographie. C'est un « mot valise » ... chacun y met ce qu'il veut. Pour JUIN-RIALLAND (2003) il existe plusieurs approches possibles du concept. La première approche consistant à en faire un espace intermédiaire entre la nation ou l'Etat et le local sa nature pouvant être d'origine variée. Ce qui conduit à reconnaître des découpages aux configurations multiples et contradictoires. L'une des figures les plus connues est la région administrative, reconnue comme collectivité territoriale. Une autre approche est celle des régions fonctionnelles. Elle est le fruit des réflexions menées dans les années cinquante (en France) sur la prise en compte des réalités économiques, sur l'armature urbaine... Le maître mot devient l'effet de mobilité qui vient parasiter ou contrarier les effets de lieux, de culture ou de classe. Une autre approche très répandue est celle des héritages historiques et des sentiments d'appartenance. Elle concerne les territoires dont la personnalité, les traits humains et les types de comportements des

populations sont les héritages de l'histoire. C'est donc une « portion d'espace ayant une unité du fait de ses caractères physiques, de son passé historique, de ses capacités économiques et éventuellement de la volonté organique de l'Etat » soutiennent GEORGE et VERGER (2004). Ces derniers poursuivent plus loin que « le géographe est moins préoccupé d'écologie que du dynamisme d'une vie régionale et des processus d'un devenir régional, débouchant sur des perspectives d'aménagement du territoire ». Dans cette optique l'acception de « la région géographique » la plus pertinente par rapport à notre étude épouse les contours de la région administrative de Matam.

Le concept « région » appelle automatiquement la régionalisation, le régionalisme. Ce concept polysémique, peut s'éclairer par recours à l'échelle : micro et macro-région, par des relations de solidarité comme cadre reconnu compris à l'échelle du temps. C'est un territoire repère, support de solidarités (physiques, culturelles, ou économiques). Qu'elle soit dite naturelle, physique, urbaine polarisée on en connaît que rarement les limites, la taille, les contours exacts. Aussi artificielle soit elle, dans certains pays la région entre dans les mœurs des populations et des géographes (BAILLY et FERRAS, 2001).

Au Sénégal il y a eu beaucoup d'études régionales depuis le lendemain de l'indépendance. Et pour la Région de Matam, Kane Ahmadou est le pionnier pour notre zone d'étude avec sa thèse intitulée *Matam et sa région* (KANE, 1977). Cette région est depuis caractérisée comme une région essentiellement agro-pastorale.

La pluviométrie dans le Sahel, globalement médiocre, se concentre sur juillet, août et septembre (SY, 2008). D'ailleurs, ces dernières années le mois de juillet enregistre peu ou pas de pluies. Donc la saison des pluies semble se raccourcir davantage surtout à Matam (BA, 2008). La fréquence et l'intensité de l'harmattan conjuguée à une importante évapotranspiration qui dépasse les cumuls annuels. Cette situation entraîne une intensification de la moprodynamique éolienne, donc le colmatage du réseau hydrographique fonctionnel. Dès lors, la sécheresse fragilise de manière significative les sociétés à travers les contraintes qui frappent les activités agropastorales (RISER, 1999 ; SY, 2008), ce qui diminue la production de la biomasse végétale.

La Dynamique vient étymologiquement du grec « duna » (capacité) et « do » (faire) (BRUNET et al., 2006). Elle est une branche de la physique dont l'objet est de relier les mouvements et les déplacements des objets aux forces qui les provoquent (BREUIL, 2010). Elle renvoie aux changements et aux évolutions que l'on peut repérer dans un espace (BRUNET, 2006). Elles peuvent

être positives (la dynamique peut être comprise ici comme le changement lieu qui se met à attirer) ou négatives (un lieu en déclin, endéprise). Ainsi, les localisations des populations et de leurs activités varient, transformant la hiérarchie et les liens entre les parties du territoire, transformant son organisation (CHARBONNIER, 2010). La dynamique est comprise, dans ce travail, comme « le changement résultant d'un jeu de forces » (BRUNET, 2006) ; et au plan géomorphologique elle peut s'interpréter dans le sens de l'érosion.

Le mot « érosion » vient de "*erodere*", verbe latin qui signifie "ronger" (Le Petit Larousse, 2005). Il désigne l'ensemble des phénomènes extérieurs à l'écorche terrestre (ou phénomènes exogènes) qui contribuent à modifier les formes créées par les phénomènes endogènes (tectonique et volcanisme). Cette modification se fait par enlèvement de matières (sols et roches) : c'est l'érosion proprement dite, mais aussi par accumulation. Le mot érosion (malgré l'étymologie : action de ronger) couvre habituellement les deux phénomènes précédents. Pour les seuls phénomènes d'usure, on peut préférer au terme d'érosion quelque peu ambivalent, le terme de glyptogenèse qui évoque la sculpture du relief, et pour l'ensemble érosion + accumulation celui de géomorphogenèse (GEORGE et VERGER, 2004).

En réalité, c'est un processus naturel qui, certes, abaisse les sols mais, en même temps, l'érosion engraisse les vallées, forme les riches plaines qui nourrissent une bonne partie de l'humanité. Il n'est donc pas forcément souhaitable d'arrêter tous les processus érosifs, mais de les réduire à un niveau acceptable et tolérable. Les éléments qui contribuent à la géomorphogenèse sont les agents d'érosion. On oppose l'érosion linéaire dite parfois érosion verticale, qui a pour agent l'écoulement concentré des cours d'eau et s'exerce uniquement le long des talwegs, d'où son appellation d'érosion fluviale ou érosion fluviale et l'érosion aréolaire dite aussi érosion latérale, qui s'exerce sur de vastes surfaces. « L'action mécanique qui s'exerce sur une pente forte conduit à un détachement immédiat de blocs et à leur chute sur la pente », c'est ce que DERRUAU (1989) appelle « la chute des éboulis ». La première crée un modelé de dissection, la seconde un modelé d'aplanissement. L'érosion fluviale s'opère sur les berges d'un cours d'eau et tend à élargir ou déplacer son lit ordinaire. La combinaison des processus d'érosion spécifiques d'un milieu bioclimatique donné a été nommée système géomorphogénétique : créateur des formes.

C'est le cycle de l'érosion qui « façonne les ensembles structuraux » où on distingue trois temps : la désagrégation des roches (ou décomposition, érosion chimique qui dissout ou altère les minéraux

composant les roches ou préparant le travail de l'érosion mécanique), le transport des débris (sédiments, alluvions, etc.) et le dépôt des débris (cours d'eau, cuvette, mer, etc.). L'efficacité des systèmes d'érosion/morphogénique varie en fonction de la pente, du climat et de la nature des roches (BOILLY et LOISON, 2006). L'érosion au sens large est l'action de dégradation qui s'exerce à la surface des continents (REFFAY, 1996). REFFAY (1996) désigne sous le nom « d'érosion anthropique » l'action de l'homme en tant que facteurs plutôt qu'agent d'érosion : par ses activités et notamment par la dégradation et la destruction de la végétation, soit il provoque une érosion accélérée en dynamisant l'action d'agents existants, soit il favorise l'introduction de nouveaux agents étrangers au milieu considéré. Cette forme d'érosion est étroitement liée aux perspectives des activités agropastorales dans la région de Matam.

Le mot « perspective » se définit comme ce que l'on aperçoit en projetant le regard en avant (LACOSTE, 2013). Perspective signifie également ce que l'on aperçoit tel qu'on l'aperçoit dans l'espace, ce qui se dessine devant nous dans le temps, ce que l'on attend ou que l'on imagine (BRUNET et *al.*, 2006). Le terme « perspective » peut alors être synonyme de prospective c'est-à-dire tournée vers l'avenir (LACOSTE, 2003) ; par exemple, à Matam, l'avenir des activités agropastorales.

La notion d'équilibreagro-pastoral a été mise en lumière par les botanistes des régions sensibles aux dégradations de la végétation, opérées par les troupeaux, les feux, etc. Elle a été reprise et précisée par les agronomes et les géographes : pour assurer une bonne agriculture, une juste proportion est nécessaire entre les terres de parcours et l'agriculture (GEORGE et VERGER, 2004). Pour le Ferlo on utilise même, souvent, l'expressionagro-sylvo-pastoral. Dans l'agriculture modernisée et intensifiée cette notion perd de son intérêt (rôle des engrais et déclin du pacage extensif). Cet équilibre est lié à la dégradation de l'environnement, donc à la dynamique actuelle.

L'agro-pastoral est un mode de production qui combine la culture et l'élevage avec l'utilisation d'espace de pâture : prés, pacages, friches. Il se combine parfois avec l'utilisation de la forêt (système agro-sylvo-pastoral) on parle aussi d'« équilibres agro-(sylvo)-pastoraux » qui règlent l'usage respectif des deux ou trois domaines, mais n'ont de sens que dans les milieux peu artificialisés (BRUNET, 2006). La notion implique une approche systémique d'où le concept d'agrosystème, surface destinée à un usage agricole. C'est soit un champ destiné à la production végétale soit une prairie utilisée pour la production animale (BREUIL, 2010). Ainsi, la notion

d'équilibre agropastoral a été affirmée il y a quelques décennies par certains botanistes et agronomes méditerranéennes. Ils estimaient qu'il fallait respecter une juste proportion entre les périmètres cultivés et les parcours de troupeaux (LACOSTE, 2003).

2.2. L'opérationnalisation des concepts

L'opérationnalisation des concepts est un exercice de description qui consiste à définir de façon opérationnelle certains concepts qui ne peuvent pas s'observer dans la réalité. Elle permet de traduire une théorie abstraite et une hypothèse générale en phénomènes concrets et précis qui peuvent être observés et mesurés (COLY, 2009). Elle comprend trois parties : la définition opérationnelle des concepts, la délimitation des variables et/ou dimensions des concepts et la détermination des indicateurs de mesure. Pour mieux clarifier nos hypothèses, nous avons utilisé un certain nombre de concepts opérationnalisés (tableau 1).

Tableau 1 : Définition opérationnelle des concepts

| Concepts | Variables | Indicateurs |
|---------------|--|---|
| Sécheresse | Aridité (zone hyper-aride, zones arides, zones semi-arides, zones subhumides sèches) | $0,05 < P/ETP < 0,65$. |
| | Sécheresse climatique, hydrologique, pédologique | Pluviométries annuelles faibles, températures relativement élevées, déficit hydrique |
| Dynamique | Positive ou négative (glyptogenèse ou ablation) | Colmatage, érosion éolienne, ravinement, sapement des berges et présence des croûtes de battance. |
| | Accumulation (dépôts de sédiments, sédimentation) | Fréquence des poussières, structure granulométrique des sols |
| Perspectives | Ce que l'on aperçoit dans l'espace. | Extension des surfaces emblavées, nombre de têtes de bétail en hausse, insémination artificielle, variétés à cycle court. |
| | Ce qui se dessine devant nous dans le temps. | Caractère de plus en plus intensif, introduction de nouvelles espèces, introduction de nouvelles techniques. |
| Agro-pastoral | Culture | Agriculture (culture sous pluies, culture irriguée et culture de décrue) |
| | Elevage | Elevage (des bovins, des ovins et des caprins) |

Le tableau 1 traduit la relation entre les concepts et les variables ; une variable est un indicateur mesurable. L'indicateur est un aspect qui caractérise un phénomène, mais il n'est pas le phénomène lui-même. C'est aussi un instrument de mesure de la variable.

Le cadre théorique a posé les bases de la recherche. Le cadre méthodologique traduit en aval, les différentes étapes de collectes et de traitement des informations nécessaires à la vérification du problème posé en amont.

3. L'approche méthodologique

Cette partie met en relief les méthodes adoptées, les moyens utilisés et les diverses activités menées. La méthodologie combine l'enquête diagnostique sur la sécheresse et la dégradation des sols, l'étude et la caractérisation des sols de la Région de Matam et l'étude de ses effets. Cette méthodologie s'articule autour de trois phases : la documentation, l'activité de terrain et le traitement des données.

3.1. La recherche documentaire

La phase documentaire consiste à l'exploitation de travaux portant sur Matam comme étude régionale (KANE, 1977) ou même à un ou quelques aspects seulement relatifs à la zone. A cet effet, nos travaux de maîtrise et de DEA respectivement intitulés « *La problématique des inondations dans la Commune de Matam* » (BA, 2007) et « *Décentralisation et gestion de l'environnement : les problèmes liés aux inondations et à l'érosion fluviale dans la Commune de Matam (Moyenne Vallée du Sénégal)* » (BA, 2008). Dans la même logique d'autres travaux d'étudiants permettent de mieux connaître la commune et/ou la région de Matam dans différents domaines: agriculture (DIALLO, 2006), urbanisme et développement local (DIA, 2008), les crues du Sénégal (KAERE, 2004), la variabilité pluviométrique (NDIAYE, 2006), la question du foncier (TAMBOURA, 2008 ; DAHOU et NDIAYE, 2005 et 2009 ; ANSD/SRSD, 2015)) et même des explications historiques de la situation économique actuelle depuis l'époque coloniale (NGEME, 1994).

Cette prise de contact bibliographique a permis de replacer Matam dans son contexte géographique, en l'occurrence la vallée du Sénégal et le Sahel. Aussi, s'est-on intéressé à tout ce qui permet de comprendre la situation climatique et la dynamique en cours dans la zone (DEMANGEOT, 1996 ; SOW, 1984 ; DERRUAUX, 1989 ; LE BORGNE, 1989 ; MAINGUET, 1995 ; MBODJE, 1978 ; MICHEL, 1973 ; 1988 et 1990 ; NDIAYE, 1992 ; RISER, 1999 ; SY 1990,1995 et 2008 ; WU,

2003). Il en ressort d'emblée que la très forte variabilité climatique caractéristique de cette région renvoie plus précisément à l'aléa pluviométrique (FALL, 2014).

Les experts sont persuadés que la variabilité climatique et le changement climatique rendront plus récurrentes les phénomènes météorologiques extrêmes comme les sécheresses, qui à leur tour impacteront les activités économiques dont l'agriculture et le pastoralisme ; cela favorise des initiatives paysannes d'adaptation (AGRHYMET, 2009). SAGNA (1988), MADOUGOU (2010) et IBRAHIM (2012) ont fait une analyse intéressante du climat dans la région ; cependant, le premier ne s'intéresse qu'au vent notamment les lignes de grains et les deux derniers ont une approche généraliste du climat en Afrique de l'Ouest. Par contre, VALENTIN (1994) après avoir rappelé certaines données sur la sécheresse au Sahel, a abordé les conséquences de ce phénomène sur les changements de structure à la surface ainsi que l'érosion hydrique et éolienne qui présentent de fortes interactions.

Les travaux, surtout les ouvrages généraux, traitant de l'écoulement et de l'hydrologie, en général, ont aussi été étudiés (NDIAYE, 2006 ; BRAVARD et Petit, 2000 ; FRECAUT et PAGNEY, 1979 ; GAUTIER et TOUCHARD, 1999 ; KAERE, 2004 ; KANE, 1977 ; LOUP, 1974 ; MANE, 1996 ; SIGHOMNOU, 2004.) pour mieux comprendre tout ce qui est relatif à l'écoulement et aux cours d'eau car ces facteurs jouent un rôle fondamental tant sur la morphogénèse que sur les activités agropastorales de la Région de Matam.

Ainsi, des documents concernant l'élevage, notamment dans le Sahel, sont consultés (BKEMAN et RIDER – sous la direction de – 1991 ; DIA, 2008 ; DIAKITE, 1985 ; DIOP, 2007 ; PAUL, 2005 ; WANE et *al.*, 2006). Cela a permis de se rendre compte de l'importance du secteur dans une région qui est une zone d'élevage par excellence mais aussi de comprendre ses interrelations avec l'équilibre des paysages et les activités agricoles. Mais le pastoralisme est une réalité complexe qui suppose l'accès à une gamme variée de ressources naturelles (TOURE, 2014).

Par conséquent, une recherche bibliographique sur l'agriculture à Matam s'impose (DIALLO, 2006 ; FALL, 2007) avant de l'inscrire dans le contexte général de transformations socio-économiques du Sénégal et des pays de l'Afrique de l'Ouest (TOULMIN et GUEYE, 2003). Dans cet ordre d'idée un certain nombre de documents juridiques permettent de mieux élucider le sujet comme les lois 96-06 et 96-07 (portant respectivement régionalisation et transfert des compétences), la loi 2013-10 du 28 décembre 2013 portant code général des collectivités locales (en remplacement

des textes précités) ou la loi 2001-01 (du 15 janvier 2001 portant code de l'environnement du Sénégal, la loi portant domaine national (1964) la loi d'orientation agro-sylvo-pastorale (2004). Ce travail déjà entamé s'est poursuivi tout le temps que dure la recherche. Dans ce cadre, des écrits de divers centres de documentation, d'instituts de recherche, des bibliothèques (UCAD, UGB, UICN, Archives nationales, etc.) ont été exploités. Des services nationaux ou régionaux comme, la Direction de la météorologie nationale du Sénégal pour analyser les facteurs climatiques grâce aux statistiques récoltées ; l'objectif de cette analyse du climat est de comparer les totaux annuels par rapport à une moyenne pour apprécier les tendances à l'échelle pluriannuelle. La Direction des Eaux et forêts et chasse ainsi la Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés ont été visités afin d'avoir des informations à la fois qualitatives et quantitatives relatives au thème d'étude et fondamentales dans la compréhension du problème : le suivi de l'évolution des écosystèmes dans le temps, les politiques en cours, les informations et les travaux officiels déjà disponibles. Et les données fournies par les directions régionales de l'hydraulique de Matam et de Saint-Louis permettent de suivre les crues du fleuve Sénégal sur plusieurs décennies ; ces données sont pertinentes à la fois pour les activités agropastorales (culture de décrue et culture irriguée surtout) et pour l'érosion hydrique.

Les impacts de la sécheresse climatique sur l'environnement sont généralement analysés comme un processus de détérioration des milieux, assimilé au terme de dégradation des sols et de destruction du couvert végétal (NDONG, 1995 et 1996). La science s'intéresse à la relation entre la désertification et les changements globaux. Ces derniers se traduisent par une forte irrégularité des précipitations qui accélérerait la dégradation du couvert végétal et favoriserait l'érosion des sols, déclenchant ainsi les mécanismes de désertification (HOUNTONDI, 2008). Les données existantes sont recensées, des spécialistes impliqués dans l'étude de l'environnement et des activités concernées pour analyser l'empreinte de l'homme et des facteurs naturels sur le milieu. Si les photographies aériennes sont autant de sources d'information que des supports de représentation pour la création de nouvelles cartes, les cartes préexistantes également. Des cartes topographiques, des cartes pédologiques et plusieurs autres cartes de synthèse seront mises à profit.

En définitive, il ressort de la recherche documentaire que les milieux sont soumis à la double pression physique et anthropique, expliquant la prédominance des actions mécaniques. Mais, la sécheresse et l'érosion dans leur interrelations avec les activités agropastorales n'a pas été suffisamment étudiée de manière prospective. C'est cette lacune que le présent TER vise à combler.

La recherche bibliographique s'est poursuivie tout le temps qu'a duré notre étude, complétée par un autre procédé de collecte de l'information : les activités de terrain.

3.2. La phase de travail de terrain

L'activité de terrain cible la collecte des informations ainsi que les procédés et outils de collectes.

3.2.1. La collecte et le traitement des données climatiques

La sécheresse climatique étant un aspect central de notre thème, il fallait d'abord collectionner des données relatives à tous les éléments du climat dans la région de Matam. Ces données ont fait l'objet de différents traitements. La collecte des données climatiques a nécessité plusieurs déplacements à Dakar.

A la BU les études relatives aux climats de la région et de la zone ont permis de les contextualiser dans leur cadre climatique général. Ces caractères climatiques généraux étaient certes, importants mais insuffisants. C'est ce qui justifie la collecte des données climatiques brutes propres à la Région de Matam. Ces données ont été d'abord fournies par le service de la météo de Matam ; mais les informations fournies par le service local sont très limitées dans le temps, ne dépassant pas en général plus de 10 ans. Pour avoir des données climatiques pertinentes³ seules les archives de la DNM permettent de collecter des informations relatives à tous les éléments du climat. Les données collectées concernent la pluviométrie, la température, les vents, l'insolation et l'humidité.

Les relevés sur plusieurs décennies de ces éléments ont été traités à l'aide du tableur Excel. Ce traitement a permis de dégager des cumuls, des moyennes mensuelles et des moyennes annuelles ou décennales des cumuls annuels pour la pluviométrie. Pour la température également le même procédé a été utilisé pour avoir la moyenne des maxima, la moyenne des minima et la moyenne mensuelle des températures. Cela a pour but de pouvoir, à la fois, classer la Région de Matam selon son degré d'aridité (dans les zones semi-arides) et de calculer les différents indices d'aridité.

Dans la même logique, le logiciel khronostat a servi à mieux traiter les données pluviométriques de la région des années 1950 à 2015. A l'aide de ce logiciel les tendances et les ruptures dans la série pluviométrique sont révélées.

³ En climatologie, il faut avoir des données sur une durée d'au moins trente ans pour faire des déductions scientifiques ou caractériser la région concernée.

3.2.2. La procédure de traitement des données pluviométrique par kronostat

La procédure de BUIHAND(1982) est un test basé sur les écarts cumulés : la statistique du test est définie à partir du maximum de la somme cumulée des écarts à la moyenne et à la médiane. Ce test fait référence au modèle simple qui suppose un changement de la moyenne de la série. Pour tout changement de moyenne survenant au milieu de la série, la statistique U du test s'avère performante.

BUIHAND (1982) démontre que la série S_k/O suit une loi normale de moyenne nulle et de variance $k(n-k) \sigma^2/n$ (sous l'hypothèse de stationnarité). Le but de ce test est de détecter un changement de la moyenne dans une série chronologique après m observations :

$$E(x_i) = \mu \quad i=1,2,3 \dots m$$

$$E(x_i) = \mu + \Delta i = m + 1, m + 2, \dots n$$

Où μ est la moyenne avant le changement et Δ est le changement de moyenne. Les écarts cumulatifs des moyennes sont calculés comme suit :

$$S'_0 S'_k = \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})k = 1,2,3 \dots m$$

Les sommes partielles ajustées et remesurées sont obtenues en divisant les valeurs de S_k^* par l'écart type :

$$S^* k^* = S_k^* / S_k^* / D_x$$

$$D_k^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n}$$

La formule statistique du test est par conséquent : $Q = \max S''_k$.

La représentation graphique des résultats du test trace des intervalles de confiance de ces écarts cumulés. Le fait qu'un ou quelques points sortent des intervalles de confiance n'est pas compatible avec l'hypothèse de stationnarité. Pour une série stationnaire, les variables prennent des valeurs proches de 0; au contraire de grandes valeurs des variables traduisent un comportement non stationnaire. Les résultats de la statistique U de Buishand sont présentés sous forme d'ellipse appelée «ellipse de Bois» (BOIS, 1971) dont le grand côté correspond à l'axe des abscisses, le petit côté est parallèle à l'axe des ordonnées.

Une détection de la persistance des années sèches et humides a été opérée grâce à l'indice d'anomalie standardisé de LAMB (l'écart à la moyenne normalisé par l'écart type) ; il s'exprime par:

$$IP = \frac{Xi - Xm}{\delta}$$

Où IP = Indice pluviométrique ; Xi (mm) = pluviométrie annuelle pour une station pendant une année i ; Xm (mm) = Moyenne annuelle de la pluviométrie à la station pendant la période d'étude et δ = Ecart-type de la pluviométrie de cette période.

Le traitement des données pluviométriques exige également l'application d'une série de tests de détection de tendances et de rupture : les tests d'homogénéisation. Ils sont complétés par la segmentation d'HUBERT. Cette méthode est adaptée à la recherche de multiples changements de moyenne. Son principe est de découper la série en m segment ($m > 1$) de telle sorte que la moyenne de chaque segment soit considérablement différente de celle du segment ou des segments voisins. Toute partition de la série initiale en m segment est une segmentation. A partir d'une segmentation particulière d'ordre m pratiquée sur une série initiale, on définit :

i_k , $k = 1, 2, \dots, m$ rang dans la série initiale de l'extrémité terminale du $k^{ième}$ segment ;

\bar{x}_k la moyenne du $k^{ième}$ segment ;

D_m , l'écart quadratique entre la série et la segmentation considérée,

$$D_m = \sum_{k=1}^{k=m} d_k \text{ avec } d_k = D_m = \sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} (x_i - \bar{x}_k)^2$$

Cette dernière a l'avantage de mieux ressortir la tendance en comparant les séquences. Le test de buishand et la segmentation d'HUBERT sont réalisés à l'aide de l'application khronoStat de l'IRD. Pour traiter une série il faut, au préalable enregistrer le fichier en format « .esv » puis valider par « oui », « oui » avant d'ouvrir un fichier « texte » dans le même dossier. Ensuite, ouvrir le fichier « .csv » préalablement créé. Après on ouvre, le fichier « texte » s'affiche, par défaut, cliquer sur la fenêtre « tous les fichiers ». A partir de là il convient d'ajouter trois lignes de texte ; exemple : années, pluviométrie et Matam. Après avoir respecté ces instructions, nous avons indiqué les bornes chronologiques de la série, ici 1961 et 2010. Par la suite le reste de la série est enregistré en indiquant à chaque fois l'année et la valeur concernée tout en les séparant par un point-virgule (;).

Dès lors il ne reste qu'à enregistrer le fichier format « texte » d'abord, ensuite, modifier l'extension en « ksi » et enfin revenir à khronostat et aller à fichier pour sélectionner tout. Le traitement des données pluviométriques est complété par l'analyse des vents.

3.2.3. La méthodologie d'analyse des vents

A la DNM, les vents de 1961 à 2010 sont collectés. La vitesse des vents et leur fréquence directionnelle sont privilégiées. Ces deux paramètres ont fait l'objet d'une étude théorique et d'une étude pratique. Cela a permis de faire la corrélation entre la direction des vents dominants et leur compétence, d'où des campagnes de trappes à sédiments sont réalisées (photo 1).

Photo 1 : Campagnes de trappe à sédiments à Tiguéré (Matam, janvier 2017)



Les campagnes de trappe à sédiments permettent de suivre l'ampleur et la vitesse moyenne de la déflation éolienne. Dans la Région de Matam, les paysages sont partagés entre aires de déflation et espaces peu protégés par les forces de frottement (végétation notamment). De vastes espaces sont parfois dénudés. Les paramètres texturaux apportent des précisions sur les modes de transport et sur la taille des grains. Le traitement statistique des vents permet de procéder à la typologie des classes de vitesse à l'échelle des saisons et d'apprécier leur capacité de déflation, ce travail étant associé au traitement d'échantillons des sols au laboratoire de fertilité des sols de l'Institut Sénégalais de recherche Agricole (ISRA) de Saint Louis.

3.2.4. L'étude et la caractérisation des sols

L'étude et la caractérisation des sols nécessitent un travail de terrain, des traitements en laboratoire et l'interprétation des résultats.

3.2.4.1. L'échantillonnage des sols

L'échantillonnage occupe une place centrale lors de nos activités de terrain. Pour un échantillonnage pertinent le choix des localités n'a pas été fortuit. De ce fait, la méthode d'échantillonnage stratifié a été utilisée. Ce type d'échantillonnage divise la population d'étude en sous-groupes d'intérêt homogènes : villages et quartiers selon les critères (tableau 2).

Tableau 2 : Choix des localités pour les enquêtes

| Critères | Description | Appréciation |
|--|---|---------------------|
| Accessibilité | La voie est en bon état, très proche du milieu urbain compte tenu de l'intensité élevée des activités de terrain | Bonne |
| | La voie est assez bonne, un peu éloigné du milieu urbain compte tenu de l'intensité élevée des activités de terrain | Assez bonne |
| | Absence de pistes, très éloigné du milieu urbain compte tenu de l'intensité élevée des activités de terrain | Mauvaise |
| Production | A partir de 6 Tonnes/ha | Bonne |
| | 4-5 Tonnes/ha | Assez bonne |
| | De 3 à 1 tonnes/ha | Mauvaise |
| Système d'exploitation agro-pastorale | Où l'agriculture et/ou l'élevage sont combinés ou annuel | Bon |
| | Où un seul type d'activité est pratiqué de façon saisonnière | Mauvais |

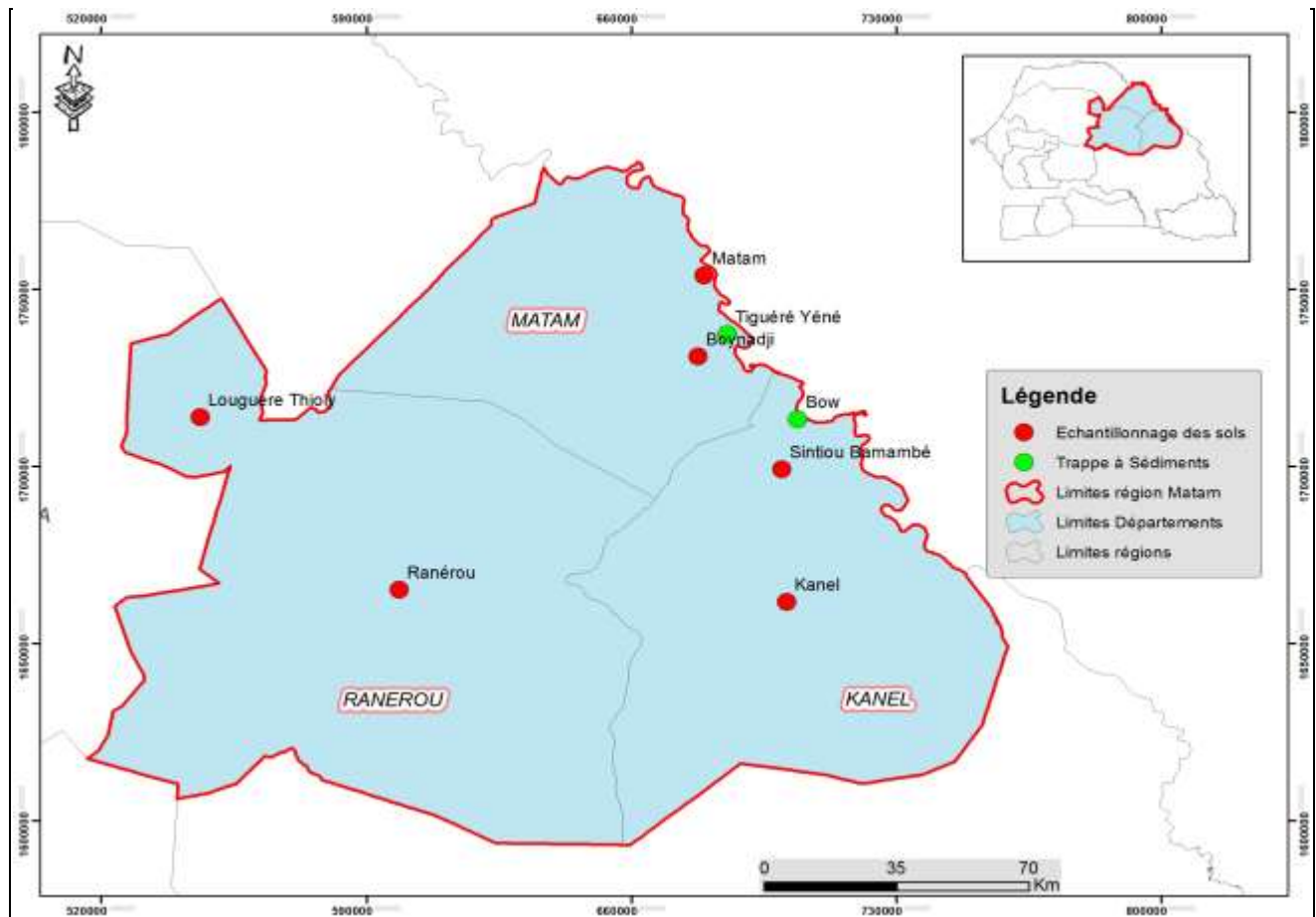
Les variables d'intérêt (de stratification) doivent être simples à utiliser, faciles à observer, étroitement liées au thème de l'enquête. Dès lors, les villages cibles ont été choisis en fonction de l'accessibilité, l'importance de la production agricole et/ou pastorale, l'existence de réseaux d'irrigation ou de forage pour le bétail (tableau 3).

Tableau 3 : Villes et villages ciblés

| | Bonne production/bonne accessibilité/bon système d'exploitation | Assez bonne accessibilité/ assez bon système d'exploitation/ assez bonne production | Bonne production / mauvaise accessibilité/ bon système d'exploitation |
|---------|---|---|---|
| Matam | Matam | Boinadji | Tiguéré |
| Kanel | Sinthiou Bamambé | Kanel | Bow |
| Ranérou | | Ranérou | Louguéré Thiolly |

Le prélèvement d'échantillons est fait dans des sites d'observation choisis dans les départements de Matam, de Kanel et de Ranérou pour analyser la nature du sol (carte 2).

Carte 2 : Géographie des sites d'échantillonnage des sols et des trappes à sédiments



Le choix du site est fonction de plusieurs critères : le souci d'équilibre entre les départements, les potentialités économiques de la localité et la nature des différentes unités géomorphologiques et leur localisation écogéographique : *Diéri, Djédjéngol ou Walo*. Dans chaque site il y a deux transects. Sur chaque transect il a été creusé cinq puits puis chaque puits est découpé en trois niveaux à partir

de la surface : niveau 1 de 0 à 10 cm, niveau 2 de 10 à et 20 cm et niveau 3 de 20 à 30 cm. Ensuite, sur chaque niveau on fait un prélèvement d'au moins 100 grammes que l'on met dans des sachets plastiques en indiquant le lieu, le transect, le puits et le niveau.

Pour prélever les échantillons différents matériaux sont utilisés. Il s'agit, entre autres, d'une règle graduée, permettant de marquer la profondeur d'horizon sur la tarière avant échantillonnage, d'un couteau qui permet de tailler les particules débordantes sur la tarière ou ne faisant pas partie de l'échantillon de sol, d'un plat pour récupérer l'échantillon de sol contenu dans la tarière et des sachets en plastique dans lesquels on introduit les échantillons de sol avec leur identification.

Pour une identification correcte des échantillons, chaque sachet doit porter les informations suivantes : nom de la parcelle, le lieu de prélèvement, l'horizon en cm, la date de prélèvement. La profondeur (généralement 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm) du sol à échantillonner, est dictée par l'épaisseur réelle susceptible d'être exploitée par les racines qui vont s'y développer. Les échantillons des sols de différents niveaux ont fait l'objet de traitements divers pour l'analyse de leurs propriétés chimiques et physiques.

3.2.4.2. La phase traitement des données

Le traitement est réalisé sur les données obtenues des questionnaires et de l'échantillonnage. Pour le questionnaire, nous utilisons des méthodes graphiques dont la lecture édifie sur le phénomène dominant. La pluviométrie participe du bilan hydrique. L'étude de cet élément permet de différencier les séquences sèches des années humides. Leur fréquence et leur continuité temporelle permettent de caractériser la sévérité des sécheresses qui constituent les facteurs explicatifs essentiels des mécanismes de l'érosion et ces interactions avec les activités agropastorales.

3.2.4.2.1. L'analyse granulométrique

L'analyse granulométrique cible, la détermination du pourcentage des particules de chaque catégorie depuis les sables grossiers jusqu'aux argiles en passant par les limons. Cela suppose, d'abord, le pesage d'échantillons de 100 g, ensuite, leur séchage (photo 2).

Photo 2 : Séchage d'échantillons à l'étuve



Le séchage se fait à l'étuve pendant 18 heures. Les échantillons sont placés dans des boîtes de pétrie depuis la veille. Généralement ils sont mis dans l'étuve à 15 heures pour être récupérés le lendemain à 9 heures. Après ils sont placés sur un vibreur électrique et isolés par tamisage avec une colonne de 7 tamis (photo 3).

Photo 3 : Passage des échantillons sur colonne de tamis agitée



Le contenu de chaque boîte séchée à l'étuve est versé sur une colonne de tamis, reposant verticalement sur un agitateur électrique. La colonne est agitée pendant 05 mn à l'amplitude 10. Le contenu des différents tamis correspondant, dans l'ordre, aux sables grossiers (2 à 1 mm), aux sables moyens (1 à 0,5 mm), aux sables fins (0,5 à 0,25 mm), aux limons grossiers (0,25 à 0,1 mm), aux

limons moyens (0,1 à 0,05 mm), aux limons fins (0,05mm à 0,02 mm) et aux argiles (en deçà de 0,02 mm). Les différents prélèvements de 100 grammes par échantillon sont pesés à la balance électronique (photo 4) puis reportés sur une fiche de tamisage.

Photo 4 : Balance électronique pour le pesage des échantillons



Les résultats sont représentés sous la forme de tableaux et de diagrammes de fréquence. Ils peuvent aussi être exprimés en indices complétant les données de l'enquête.

Ce traitement renseigne sur les caractéristiques physico-chimiques des sédiments. Pour l'érosion éolienne, la distribution de la taille des grains à l'intérieur des sédiments est privilégiée. La granulométrie des fractions comprises entre les mailles 2 mm et 0,02 mm est opérée. Elle a permis de comprendre le degré de sensibilité des horizons superficiels exposés aux agents d'érosion. Les paramètres granulométriques sont complétés par l'isolement des fractions fines : les limons, les argiles *en sus* de la détermination du pH.

3.2.4.2.2. La mesure du pH

Des échantillons de sols des trois départements de la Région de Matam (Matam, Ranérou et Kanel) correspondant à différentes unités morphopédologiques ont été analysés. La mesure du pH requiert un mode opératoire spécifique.

3.2.4.2.2.1. Mode opératoire

Le mode opératoire consiste d'abord peser 20 g de l'échantillon de terre à la balance électronique et le transférer dans un flacon de 100 ml (photo 5).

Photo5 : Des flacons contenant des échantillons de sol avec de l'eau distillée



Ensuite, on ajoute 100 ml d'eau distillée bouillie et refroidie, mettre un barreau aimanté dans le bécher et agiter pendant 30 minutes à l'aide d'un agitateur magnétique ou 2 heures (photo 6).

Photo 6 : Agitateur métallique de flacons



Après être bien serré le flacon de mélange est mis dans un tube qui peut en contenir quatre. Ainsi, un agitateur de dix tubes bien chargés des flacons est régulièrement mis en marche. Il a l'avantage de favoriser le gain de temps car d'un seul coup quarante échantillons sont prêts à l'analyse.

Enfin, le tout est agité pendant deux heures puis on laisse reposer la solution avant de mesurer en étalonnant le pH-mètre avec les solutions-tampon de pH 7 et 4, sorties du frigo 2h avant utilisation, en rinçant les électrodes avec de l'eau distillée avant de sécher au papier Joseph et introduire les électrodes dans le surnageant pour relever le pH après une minute après stabilisation du pH-mètre. Après usage les électrodes sont avec l'eau distillée et séchés au papier Joseph. Le pH-mètre est régulièrement étalonné après échantillons.

Ce mode opératoire suppose l'existence du matériel adéquat dont le pH-mètre (photo 7).

Photo 7 : pH-mètre



En sus, du pH-mètre des flacons de 100 ml, une éprouvette de 25 ml, des barreaux aimantés de 5 cm, un agitateur magnétique et un chronomètre sont nécessaires.

Divers réactifs sont utilisés.

3.2.4.2.2. Les réactifs utilisés

L'étude du pH des sols au laboratoire nécessite l'utilisation de plusieurs réactifs. Il s'agit de l'eau distillée bouillie et refroidie, d'un étalon pH titrisol à pH = 4 et 7, à sortir au réfrigérateur 2h avant l'emploi, du chlorure de potassium.

Les sols peuvent être classés d'Acide à Alcalins en fonction de leur pH (tableau 4).

Tableau 4 : Classification du pH

| Acide | Légèrement acide | Neutre | Légèrement alcalin | Alcalin |
|---------|------------------|-----------|--------------------|----------|
| 2.5 à 5 | 5 à 6.5 | 6.5 à 7.5 | 7.5 à 8.5 | 8.5 à 14 |

Source : DIOP (2017)

L'étude du pH est complétée par celle de la conductivité électrique (CE).

3.2.4.2.3. La mesure de la CE

La CE désigne l'aptitude d'un matériau ou d'une solution à propager la chaleur ou le courant électrique. Son unité de mesure est le micro siemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$). Elle est déterminée sur un conductimètre à mesure directe (photo 5).

Pour mesurer la conductivité des échantillons de sol, la suspension doit être au 2/5, soit 20 g de « terre fine » mélangée à 150 ml d'eau distillée bouillie refroidie. La mesure de la conductivité électrique également selon un procédé précis qui nécessite du matériel spécifique et des réactifs.

3.2.4.2.3.1. Le mode opératoire

Pour le mode opératoire, on mélange 20 g de sol tamisé à 2 mm avec 50 ml d'eau distillée bouillie refroidie. La solution ainsi composée, d'abord, est agitée pendant 30 minutes à l'aide de l'agitateur magnétique ou 2 heures si c'est en grand nombre avant de laisser reposer pendant 30 mn. Ensuite, le surnageant est transvasé dans des béchers de 100 ml et la cellule de mesure rincée avec l'eau distillée et séchée au papier Joseph. Enfin, la conductivité de l'échantillon peut être mesurée. Ce procédé requiert un matériel approprié et des réactifs.

3.2.4.2.3.2. Le matériel nécessaire et les réactifs

L'appareil de mesure de la conductivité est le conductimètre (photo 8) ;

Photo 8 : Conductimètre



En plus du conductimètre, le matériel et les réactifs nécessaires sont constitués d'une solution tampon de KCl, de l'eau distillée bouillie et refroidie et d'un thermomètre. Les sols sont classés en quatre principales catégories selon leur salinité (tableau 5).

Tableau 5 : Classification de la CE

| Extrêmement salé | Salé | Légèrement salé | Non salé |
|-------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|
| > 4000 μ S | 4000 à 1500 μ S | 1500 à 900 μ S | \leq 900 μ S |

Source : DIOP (2017)

Ces deux paramètres permettent d'apprécier les degrés d'acidité susceptibles d'influer la productivité des sols mais aussi d'accentuer le rôle des sels dans l'érosion éolienne. Cette dernière est étroitement liée à la composition granulométrique.

3.2.5. Les observations directes et l'enquête diagnostique

Les observations directes et l'enquête diagnostique sur la sécheresse, en relation avec la dynamique actuelle sont étroitement liées.

3.2.5.1. Les observations directes

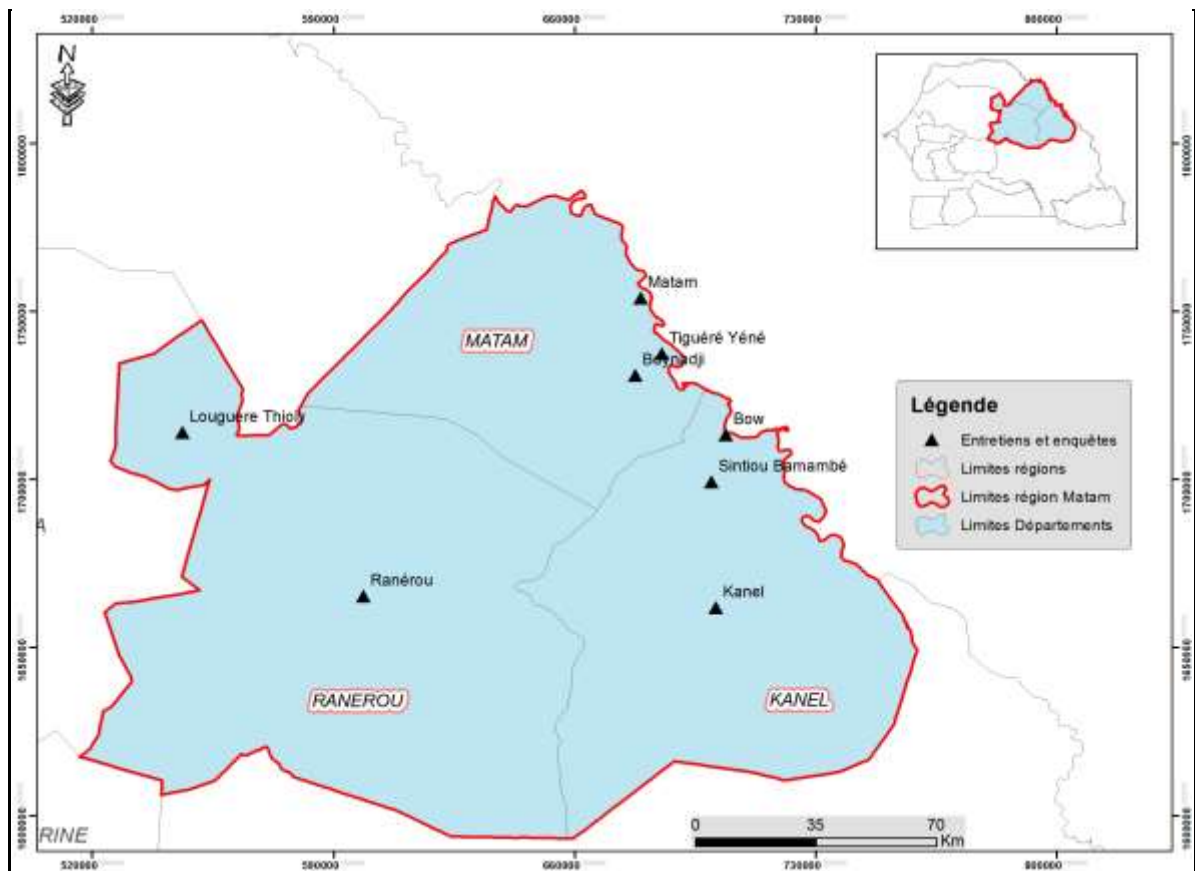
Les observations directes consistent principalement à recueillir les interprétations des acteurs sur les enjeux de la gestion de l'environnement, sur le processus d'intégration des activités, sur le

déroulement des initiatives et les difficultés rencontrées et les manières possibles de la rendre plus efficace. Ce procédé permet aussi de prendre, souvent des photographies pour illustrer les phénomènes étudiés. Cela concerne surtout la dynamique en cours dans la région et l'évolution des activités agropastorales. Ces observations peuvent être présentées comme un diagnostic des activités agropastorales dans un contexte de dégradation des écosystèmes, en même temps qu'on questionne les acteurs.

3.2.5.2. L'enquête diagnostique sur la sécheresse et la dynamique actuelle

Une enquête diagnostique sur l'impact de la sécheresse climatique et de la dynamique actuelle sur les activités agropastorales dans la Région de Matam a été menée. De ce fait, nous avons fait recours au questionnaire et aux entretiens avec les personnes ressources. Ces procédés ont pour finalité des enquêtes complémentaires auprès des populations des différents départements (carte 3).

Carte 3 : Les localités visitées pour les enquêtes et les entretiens



Les localités visitées dans le cadre des enquêtes sont situées dans les trois départements. Nous avons été tour à tour à Ranérou, à Louguéré Thioly, à Kanel, à Bow, à Sinthiou Bamambé, à Matam, à

Boyinadji et à Tiguéré Yéné où, en tout, cinq cents personnes sont interrogées. La répartition des personnes enquêtées dépend à la fois des activités exercées et de leur lieu de résidence : deux cents (200) dans le Département de Matam, deux cents (200) dans le Département de Kanel et cent (100) dans le Département de Ranérou Ferlo.

Le questionnaire s'intéresse à l'origine de la dégradation environnementale et à ses manifestations. Le questionnaire porte également sur les activités agro-pastorales : les informations sur les techniques précises des acteurs et leur propre perception des phénomènes ne peuvent être obtenues que par une enquête individuelle parce que leur variabilité est forte et qu'elles n'ont de sens que si on les met en rapport avec un contexte précis.

Il s'agit de savoir le statut de l'occupant (propriétaire, locataire, contractuel, etc.) la superficie et la localisation de la parcelle occupée, l'usage ou l'activité, les modalités d'accès, d'occupation ou d'appropriation de la terre (affectation officielle, héritage, don, « prêt », etc.). L'on peut après déterminer avec précision l'activité prédominante dans une zone écogéographique, les superficies affectées de façon régulière et officielle, les superficies irrégulièrement occupées selon les différents usages, le disponible foncier et les pratiques en matière de gestion foncière.

Le questionnaire est complété par d'autres procédés de collecte d'information pour recueillir les perceptions des différents acteurs sur la présence d'espaces agricoles et sur les stratégies. Ces procédés sont variés.

- Les entretiens avec les personnes ressources et des praticiens, comme les chefs de projets et services : la DREEC, les services de l'agriculture, les services des eaux et forêts, le service de l'élevage, ou les directions régionales de l'hydraulique. Ils permettent de comprendre l'évolution de la problématique et la façon dont elle est gérée, de suivre les mutations de l'environnement et des activités, de dresser une typologie des systèmes de production, des pratiques culturelles, de décrire les itinéraires techniques des filières, de décrire les circuits de distribution et les relations entre les agriculteurs et éleveurs, les pratiques commerciales, etc.

- Le focus groupe est un procédé qui consiste à rassembler des personnes d'un âge avancé pour leur poser des questions relatives à la dégradation du milieu. Ces personnes sont surtout des acteurs de l'agriculture et/ou de l'élevage. Cette activité a aussi permis de recueillir des témoignages de « spécialistes » sur l'évolution des rendements, des techniques, etc.

3.3. L'analyse de la dynamique de la végétation et les traitements cartographiques

L'étude de la dynamique de la végétation est réalisée sur trois années : 1985, 2010, 2017. Le choix de ces années s'explique par la disponibilité des images et la prise en considération de la variabilité climatique, surtout la variabilité pluviométrique. En effet, l'année 1985 est choisie pour analyser l'effet de la sécheresse des années 1970 sur la végétation. L'année 2010 constitue un repère pour détecter l'effet du retour pluviométrique sur la végétation. Et 2017 permet de voir le comportement actuel de la végétation dans la Région de Matam. Pour déterminer l'évolution de la végétation durant ces années, l'indice par différence normalisé de végétation (NDVI) a été appliqué. L'indice NDVI est construit à partir des canaux rouge (R) et proche infrarouge (PIR) selon la formule suivante :

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

Les valeurs de NDVI varient de -1 à 1. Plus ces valeurs sont proches de 1 plus la végétation est dense. Les valeurs négatives représentent généralement les surfaces humides. Dans le cadre du présent TER, les valeurs de NDVI obtenues sont rangées sur la base de la classification de SONAWAME et *al.* (2017). Les classes définies sont alors au nombre de cinq (tableau 6).

Tableau 6 : Classification des indices NDVI

| Classes | NDVI |
|-----------------------------|-------------|
| Pas de végétation | < 0 |
| Très faible couvert végétal | 0 – 0,15 |
| Couvert végétal faible | 0,16 – 20 |
| Couvert végétal moyen | 0,21 – 0,30 |
| Couvert végétal modéré | 0,31 – 0,50 |

Cette classification s'applique sur les indices obtenus à l'aide des images satellites. Elle permet de suivre la dynamique spatio-temporelle du couvert végétal car le manque de données de terrain dans les régions tropicales fait de la télédétection spatiale, un outil privilégié pour le suivi des transformations de la végétation (HOUNTOUNJJI, 2008).

Les résultats sont présentés sous formes de cartes.

Pour le traitement cartographique des outils ont été empruntés aux Systèmes d'Information Géographique et à la géomatique. Des levés GPS sur certains sites ont été utilisés. Ces derniers permettent de situer les aménagements, les sites où les enquêtes sont menées. Il s'agit essentiellement des sites enquêtés, de la cartographie dynamique de la végétation et de la localisation des principaux aménagements agricoles. L'utilisation des outils de SIG et de la télédétection a donc été primordiale dans ce travail. Pour produire des résultats, des logiciels tels qu'Arc Gis et QGis sont mis en application. Ce traitement couvre l'intégration des données collectées sur le terrain.

Concernant les figures, la saisie des données collectées a été effectuée essentiellement à l'aide du tableur Excel et du logiciel Sphinx. Les graphiques ont été effectués sur Excel avec la table des moyennes issue de l'analyse de variance.

Conclusion

Le cadre théorique et opératoire a permis de décliner la problématique et son intérêt. Et l'approche méthodologique a identifié les moyens et les méthodes à mobiliser pour justifier les hypothèses avancées plus haut. Toute la méthodologie se résume donc aux outils et procédés pour étudier la péjoration du cadre physique et les perspectives des activités agropastorales dans la région.

Cette méthodologie a conduit aux différents résultats relatifs aux éléments du climat, aux propriétés des sols ou aux activités agropastorales dans la Région de Matam avec ses atouts et ses contraintes.

Chapitre 2 : Matam, une région à fortes potentialités malgré les contraintes climatiques et hydrologiques

Le Ferlo et la Moyenne Vallée du fleuve Sénégal, dans lesquels s'inscrit la Région de Matam appartiennent au milieu sahélien. « Cette bande s'étend depuis le nord du Sénégal jusqu'au nord de l'Éthiopie à travers toute l'Afrique. D'un point de vue climatique, la région est marquée par des précipitations irrégulières (qui peuvent s'écarter de 30 à 40 % de la moyenne) par une saison sèche écologique de 8 à 9 mois » (SY, 2008). DEMANGEOT (1996) rappelle que dans cette zone se produisent assez régulièrement de fortes sécheresses naturelles : les dernières datent de 1912-1915, 1940-1944, 1968-1973, 1977-1985.

Le régime pluviométrique conditionne, à la fois, le système hydrologique et le cycle végétatif, donc la morphogenèse actuelle. « Deux facteurs jouent un rôle primordial : la hauteur des précipitations annuelles, la longueur de la saison sèche » (MICHEL, 1973).

Dans ce cadre, il semble pertinent d'appréhender, d'une part, la dégradation des milieux à travers la géologie et les unités morphopédologiques, d'autre part, le climat tant du point de vue du système auquel il appartient que sous l'angle de la péjoration des données climatiques. Enfin, les perturbations hydrologiques qui affectent les eaux continentales et les eaux souterraines sont analysées.

1. La géologie et la variété des unités morphopédologiques de la région

L'histoire géologique et morphopédologique est très liée aux fluctuations climatiques de la région. Pour bien cerner la géologie et la morphopédologie de la Région de Matam sont étudiés, respectivement, les paléoclimats de la région, les unités morphopédologiques de la vallée et les caractéristiques du Ferlo.

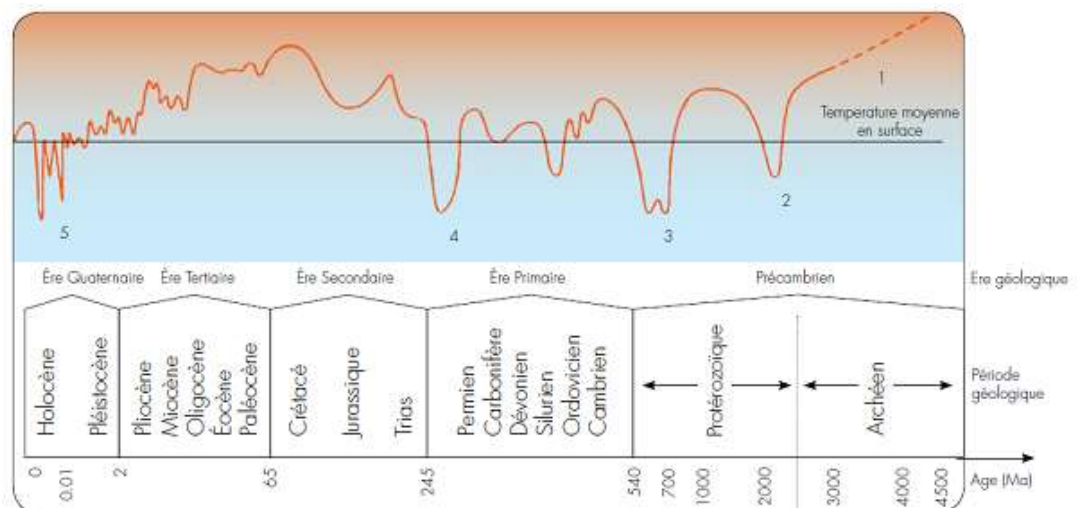
1.1. Les paléoclimats de la région

L'étude des paléoclimats de la région est caractérisée par une alternance de pluviaux, de phases arides et de fluctuations eustatiques qui sont à l'origine des unités morphopédologiques actuelles. L'assèchement de cet espace, qui remonte à 7000 ans BP est de plus en plus constaté. C'est un long cycle de péjoration climatique qui remonte à la fin du pluvial Tchadien (8 000 ans BP). Le Tchadien

est suivi de la Petite Phase Sèche (PPS), de 8 000 à 7 500 ans BP. Depuis lors, la tendance générale est à l'assèchement malgré les occurrences humides (MICHEL, 73 ; SY, 1995 et 2008).

Le climat connaît dans son évolution normale des phases de réchauffement et de refroidissement (MICHEL, 1973 ; IBRAHIM, 2012). Son évolution est caractérisée à l'échelle globale à travers l'évolution de la température moyenne de la terre déterminée pour les périodes passées à partir des traceurs isotopiques des calottes glaciaires et des fossiles géologiques, et des mesures directes pour l'époque récente. Selon IBRAHIM (2012) de l'époque précambrienne (-800 Ma) au quaternaire, le climat a connu plusieurs fluctuations thermiques et hydrologiques (MICHEL, 1973 ; IBRAHIM, 2012). Au total, cinq phases glaciaires et cinq phases chaudes sont recensées par IBRAHIM (2012), figure 2.

Figure 2 : Principales alternances de phases glaciaires et de phases chaudes



Source : IBRAHIM (2012)

La figure 2 montre que les phases glaciaires sont plus courtes que les interglaciaires, qui sont les phases chaudes. D'ailleurs, l'évolution du climat récent (climat du Quaternaire) se caractérise par deux phases, une phase froide (du 1,8 Ma -Million d'années- à 0,01 Ma) et une dernière phase chaude. Le Quaternaire a été marqué par des cycles glaciaires-interglaciaires d'une durée de 100 000 ans environ qui furent mis en évidence d'abord sur les continents puis dans les sédiments océaniques et les glaces polaires (RISER, 1999 et IBRAHIM, 2012).

Le dernier maximum glaciaire se situe dans la tranche de 21 000-17 000 ans BP. Plus spécifiquement pour l'Afrique de l'Ouest, plusieurs phases paléoclimatiques sont connues comme le témoignent les différentes ères géologiques. Tout a commencé il y a 16 milliards d'années avec la naissance de notre galaxie, suivie de celle du soleil qui remonte à 4,7 milliards. Puis au sein du système solaire, les débuts de l'histoire géologique remontent à 4,6 milliards d'années (RISER, 1999) avec la formation de la terre. La dynamique actuelle nous situerait au maximum Tafolien (2000 ans à l'Actuel). Cette séquence correspond à une saison astronomique aride susceptible de durer 20 000 ans et dont le début se situe à 7000 / 6 000 ans BP.

La géologie de la région est donc caractérisée par l'alternance de phases humides et de phases sèches ou arides (MICHEL, 1973 ; LEBORGNE, 1988 ; RISER, 1999 ; SY, 2008 ; IBRAHIM, 2012). IBRAHIM (2012) distingue pour l'Afrique quatre principales ères :

- une phase humide pendant le troisième niveau isotopique (1000 BP) ;
- une phase aride pendant le deuxième niveau isotopique qui marque l'extension de la ceinture du Sahara ;
- une phase humide pendant le premier niveau isotopique marquée par une extension des lacs, mais il y a eu un début de la détérioration des conditions climatiques aux environs de 7000 BP ;
- et l'installation de la phase aride depuis l'ère ogolienne.

Les unités morphopédologiques sont assez différentes dans la région. Mais elles peuvent être classées principalement en deux catégories : les unités de la vallée alluviale et celles du bassin du Ferlo.

Le réseau hydrographique et le relief permettent donc de distinguer dans la région deux zones éco-géographiques :

- la vallée du fleuve constituée de dépressions et de micro reliefs appelés communément « *Dandé Mayo* » est prolongée par le Diéri qui est une zone intermédiaire ;
- le Ferlo, latéritique dans la majeure partie de son espace et sableux dans sa partie occidentale, vers Louguéré Thiolly et Vélingara (SENE, 2009).

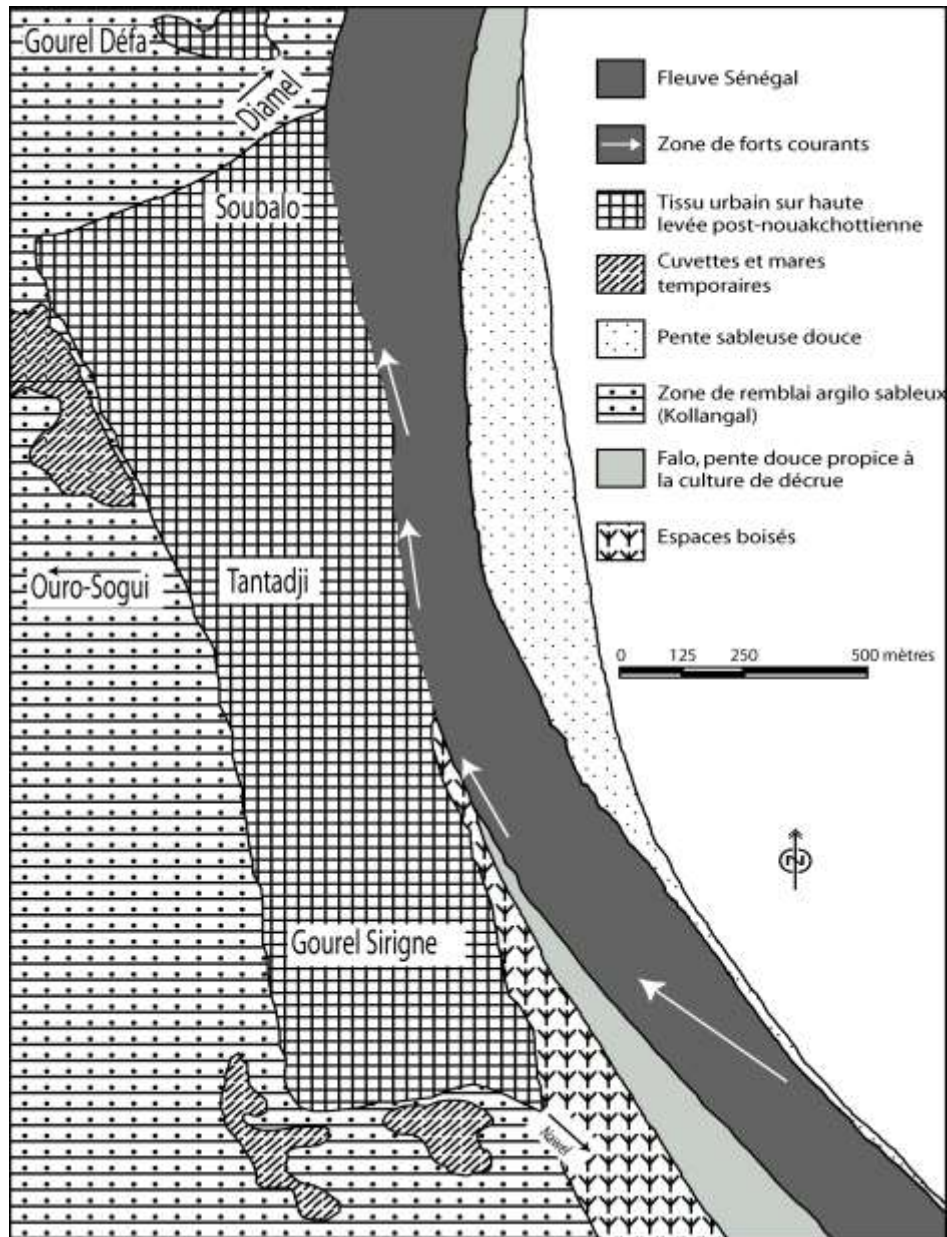
1.2. La Vallée du Sénégal, une aire façonnée par le fleuve

La Vallée du Sénégal est une plaine alluviale encadrée par des régions semi-arides à arides. Elle s'allonge de Saint-Louis à Dagana sur une largeur variant en général entre 10 et 20 km. Les sols sont généralement fertiles grâce aux limons, argiles et sables fins apportés par la crue annuelle du fleuve.

Ces particules fines alimentent les nombreuses cuvettes argileuses de décantation appelées Walo le long du fleuve (MICHEL, 1973 ; KAERE, 2004).

Dans cette zone- même les formes de surfaces sont hétérogènes (figure 3).

Figure 3 : Croquis géomorphologique du site du tissu urbain de Matam



Les premières contraintes du site communal sont d'ordre environnemental avec l'érosion persistante des berges du fleuve, notamment à Soubalo et à Diamel. La contrainte spatiale est aussi réelle du fait de la topographie de la commune –faiblesse des superficies non inondables.

Cela constitue un sérieux obstacle à l'évacuation des eaux pluviales. Les principales unités sont les levées, les cuvettes de décantation et les terrasses, surtout du premier remblai.

1.2.1. Les levées

Les unités géomorphologiques caractéristiques de la zone écogéographique du domaine alluvial sont les levées, les dépôts fluviodeltaïques, les terrasses azoïques et fossilifères et les cuvettes.

Les levées sont des bourrelets de berges construits par le fleuve lui-même à partir de piégeage de sédiments. Suivant leur âge et leur étendue, deux générations de levées sont identifiées le long du fleuve et de ses tributaires : les hautes levées et les levées subactuelles ou petites levées.

Les hautes levées, forment un puissant système de bourrelets de berges qui s'allongent et se ramifient dans la vallée alluviale de Bakel à Boghé où ils passent à des formations fluviodeltaïques. Ces levées forment l'un des éléments topographiques majeurs dans la vallée et le Delta du fleuve. Ces levées sont, avec les cuvettes argileuses, le principal support de la mise en valeur agricole des terres dans le Delta et la Vallée du fleuve Sénégal ; elles sont constituées de sables fins, de limons et d'argiles (DIAKHATE, 1988). « Cette unité a été mise en place à la suite d'une sédimentation en nappe à la montée des crues : les eaux abandonnent l'essentiel de leur charge solide en suspension lorsqu'elles inondaient le lit majeur ». Les levées se formaient là où les conditions hydrodynamiques sont calmes. Les berges s'étaient exhausées progressivement. Leur hauteur diminue d'amont en aval en fonction de la pente du fleuve (MICHEL, 1970 cité par SY, 2008) et probablement aussi en relation avec la modification de la condition de l'accumulation alluviale du fait de la diminution de la charge solide. De 23 m à Bakel, leur hauteur passe à 16 m à Matam.

Les levées sont constituées de sables fins, de limons et d'argiles. L'analyse de leur matériel montre une certaine homogénéité des populations granulométriques : 40 à 60 % de fractions grossières, 20 à 40 % de limons, 10 à 30 % d'une argile formée d'un mélange de Kaolinite et de montmorionite, des fractions fines. Cette composition granulométrique des levées explique le caractère sensible des berges face aux sapements.

1.2.2. Les terrasses sablo-argileuses

Deux types de terrasses sont distingués dans la vallée et ses environs : les terrasses du premier remblai sablo-argileux et celles déposées au cours de la petite phase sèche (PPS). Ce sont les

premières qui intéressent le plus la Région de Matam. Ces unités sont composées de sables hétérométriques argilo-limoneux avec, parfois, des gravillons ferrugineux et des débris émoussés de cuirasse (SY, 2008). Ces caractéristiques granulométriques sont confirmées par l'analyse des échantillons de Kanel et de Boyinadji (tableau 7)

Tableau 7 : Composition granulométrique des terrasses de Kanel et Boyinadji en %

| Sites | Taille des grains en millimètres | | | | | | |
|--------------------|----------------------------------|-----------|----------------|------------------|-------------|------------------|---------|
| | Sable grossier | Sable fin | Sable très fin | Limons grossiers | Limons fins | Limons très fins | Argiles |
| Boyinadji 1 | 1,3 | 8,42 | 22,719 | 40,238 | 18,859 | 10,33 | 0,452 |
| Boyinadji 2 | 1,508 | 8,17 | 21,904 | 37,191 | 18,908 | 7,819 | 0,533 |
| Kanel | 1,314 | 9,32 | 20,887 | 39,331 | 19,327 | 7,752 | 0,54 |

L'analyse granulométrique des sols des terrasses, au laboratoire de l'ISRA, révèle 32 % de sable, 66,67 % et 66,41 % de limons et quelque 0,5 % d'argiles avec une prédominance des sables fins et des limons.

Ainsi, le triangle structural des terrasses de Kanel et de Boyinadji révèle une texture limono-sableuse. La forte prédominance des limons, soit 66 %, sur les sables qui représentent 33 % fait que les sols sont qualifiés de limono-léger-sableux.

Au maximum de l'aridité ogolienne (19 000 à 18 000 ans BP), de grands cordons dunaires ont barré les vallées du Sénégal et du Gorgol inférieur. Le premier barrage s'édifie à Kaédi (16°9'N-13°30'W) où le Sénégal, très affaibli, se perd dans les dunes à 500 km de la mer. Son régime devient endoréique et le cours d'eau alluvionne le premier remblai sablo-argileux, en amont du barrage (MICHEL, 1968 cité par SY, 2008). Cet ancien dépôt colluvio-alluvial s'intercale entre le bas glaciaire, au pied des buttes du Continental Terminal, et divers terrains du lit majeur avec une pente d'environ 3 %. Cette nappe est visible jusqu'en amont de Hammaadi Hunaare. Elle est très étendue dans la Région de Matam où elle peut s'élargir de 2 à 8 km avec une puissance de 9 à 10 m. Plus continu sur la rive gauche, le premier remblai est réduit en lambeaux, de dimensions variables sur la rive droite.

Synchrone de l'aridité ogolienne, la sédimentation du premier remblai a été interrompue par le Pluvial Tchadien qui s'achève par la Petite Phase Sèche (PPS), qui est responsable de l'accumulation du deuxième remblai (SY, 2008) un peu plus élevé que les cuvettes de décantation.

1.2.3. Les cuvettes de décantation

Les cuvettes sont des dépressions topographiques où l'alluvionnement durant les épisodes morphoclimatiques antérieures a été moindre. Ces unités ont été le siège d'une décantation fine. La plaine alluviale est parsemée d'une multitude de chenaux et de dépressions dans lesquelles se déversent annuellement d'importantes quantités d'eau et de limon (photo 9).

Photo 9 : Le Balel un défluent du Sénégal à hauteur de Tigué



Le Balel ou Diamel est comme le Dioulol un des principaux bras du fleuve Sénégal dans la Région de Matam. Chaque année, durant l'hivernage (saison des hautes eaux), les cuvettes du *Daande Mayo* sont inondées par la crue du fleuve. Aussi, de vastes surfaces (*kolangal*) sont submergées par les eaux du fleuve et de ses défluent. Ce phénomène joue un rôle important dans l'équilibre économique et écologique de la région. Du point de vue économique il permet de pratiquer les cultures de décrue qui contribuent considérablement à satisfaire les besoins des populations : maïs, niébé, cultures maraichères, etc. En plus, les herbes et les plantes cultivées constituent des réserves précieuses d'aliments pour le cheptel, puis après les récoltes les animaux paissent dans les champs du Walo au moment où, ailleurs, même l'herbe sèche se raréfie.

Au plan écologique, les eaux des crues en même temps qu'elles permettent le développement de certaines plantes pérennes comme l'espèce *Acacias Seyal* favorisent la fertilité des sols. En effet, les

eaux de crues, chargées de particules en suspension, en faveur des conditions hydrodynamiques calmes accumulent grain à grain, les éléments limoneux et argileux, ce qui explique la nature quasi azoïque de ces dépôts (MICHEL, 1973 ; DIOP, 2004 ; BA, 2008). La décrue s'opère progressivement de novembre à janvier. Ces cuvettes fertiles, objet de toutes les convoitises, faisaient la prospérité des habitants de la vallée depuis des siècles et organisaient le mode de vie des populations. Avec la révolution Toroodo au 18e siècle, elles ont fait l'objet d'un partage entre les grandes familles régentes du Fouta par ce qui fut le *fecere Fuuta*, ou partage du Fouta (DIOP, 2004).

Et jusqu'à nos jours, au fur et à mesure que l'eau se retire, les populations mettent en valeur les dépressions inondables et les *Falo* (photo 10).

Photo 10 : Culture de décrue dans un *Falo* à Bow dans le Département de Kanel



En effet, un phénomène géomorphologique qui se joue sur le fleuve fait que des transferts de sédiments s'effectuent en direction du côté convexe, en l'occurrence la rive gauche dans les *Falo* du lit mineur. Ces terres sont généralement mises en valeur pour les cultures de décrue : maïs, niébé, patate, oseille de Guinée etc.

Actuellement, le fleuve est entrain d'engloutir progressivement des espaces importants. Dans le profil environnemental de la Ville de Matam, cette dernière aurait perdu quelque 69 m, entre 1905 et 1976, et le recul du trait de côte se poursuit. Sur les cartes, ce phénomène est très nettement perceptible entre les cartes de 1950 et celles de nos jours (Profil environnemental de la ville de Matam cité par BA, 2007).

En définitive, elles forment des unités de transition entre les hautes levées et les versants (TRICART, 1954 cité par SY, 2008). Leur forme et leurs dimensions varient d'une région à l'autre.

De vastes cuvettes de plusieurs kilomètres carrés bien individualisées sont bien typiques de la région de Hooré Fondé et de Kaédi (SY, 2008).

1.3. Le Ferlo, aire des vallées mortes et zone d'élevage

Le Ferlo appartient au bassin sédimentaire sénégal-mauritanien (DIENE, 1995). Il correspond à un immense bas plateau qui s'étend au sud de la vallée alluviale du Sénégal, depuis Bake1 jusqu'à Linguère et au lac de Guiers. Il est constitué par des grès argileux du Continental terminal, souvent recouverts d'une cuirasse ferrugineuse, et légèrement entaillés par un réseau ramifié de vallées mortes très évasées (MICHEL, 1973 et 1988). Le Ferlo présente des caractéristiques naturelles et socio-spatiales spécifiques. Il se différencie par sa vocation pastorale et par son histoire liée aux forages en zone sylvopastorale. Pour autant, il demeure une partie d'un ensemble agro-pastoral plus large qui le relie au lit majeur du fleuve, et à l'espace pastoral de la rive droite du fleuve Sénégal, côté mauritanien et participe donc à une dynamique transfrontalière plus large (KAMIL et LARBODIERE, 2010). Ce territoire est par excellence le domaine de l'élevage. Dans la Région de Matam, le Ferlo correspond en grande partie au Département de Ranérou Ferlo qui appartient à un bassin pastoral beaucoup plus vaste.

1.3.1. La géomorphologie du bassin du Ferlo

Les forages hydrauliques, creusés dans les années 1950 ont beaucoup contribué à la connaissance de la stratigraphie de la région (DIENE, 1995). En effet, tous les niveaux depuis le Crétacé Supérieur sont représentés dans le bassin sénégal-mauritanien, notamment dans le Ferlo. Plusieurs écrits renseignent sur l'histoire géologique de la région (MICHEL, 1973 ; DIENE, 1995 ; SY, 2008). Des sondages pétroliers réalisés dans le Ferlo fournissent des informations sur l'ensemble du Crétacé et de son substratum (DIENE, 1995). L'essentiel des unités géomorphologiques en présence vont du Maastrichtien au Quaternaire.

1.3.2. Le Maastrichtien

Le bassin pastoral est situé entre les latitudes 14°50', Sud et 16°50', Nord. Il s'étend sur quelque 56 270 km² (29 % du territoire national). « Cette zone éco-géographique est essentiellement tournée vers le pastoralisme, qui occupe 96 % de sa superficie ». Elle empiète en même temps sur les Régions de Saint Louis, de Louga et de Matam – la seule qui nous préoccupe dans cette étude. Le Ministère de

l'Environnement et de la Protection de la Nature (MEPN) à travers son schéma directeur de la zone sylvopastorale, s'est appuyé sur des critères morphopédologiques pour découper le Ferlo en sous-secteurs écogéographiques (SY, 2008). Mais en dehors de la commune de Louguéré Thiolly seul le Ferlo-Est latéritique rentre dans le cadre de cette étude.

Cette partie couvre 30 390 km². Il s'agit du Sud de la Région de Matam et vers l'intérieur : les anciennes communautés rurales de Hooré Foondé, de Pété, de Agnam Ciwol, de Thilogne, de Bokidiawé, de Nabadji Ciwol, de Ogo, de Kanel, de Semme, de Sinthiou Bamambé, de Hoorkodjéré, de Ranérou et la communauté rurale de Galoya toucouleur (SY, 2008). Avant l'implantation des premiers forages dans la zone sylvopastorale, les contraintes d'abreuvement faisaient que le Ferlo était une région de parcours et de terrain de culture uniquement pendant la saison des pluies ou tout au plus tard deux à trois mois après (DIOP, 1989). Les déplacements des éleveurs dans le Nord du Sénégal étaient donc liés à la présence de l'eau. Le Ferlo se vidait de sa population et de son cheptel, dès l'assèchement des mares qui représentaient les seules sources d'abreuvement (DIOP, 1989).

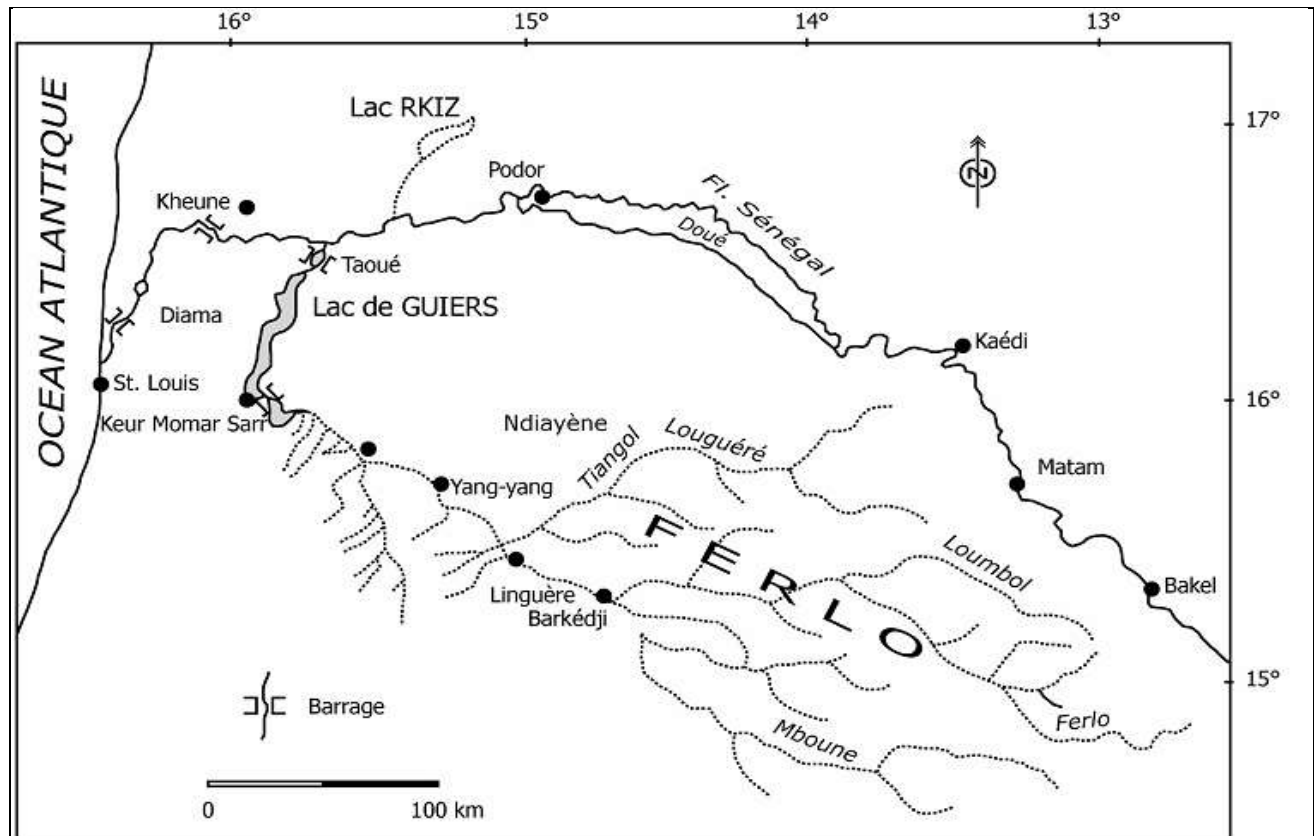
Généralement, le Ferlo est occupé par une couverture dunaire discontinue sur fond de cuirasse du plateau du Continental Terminal (photo 11).

Photo 11 : Le plateau à revêtement cuirassé démantelé du continental Terminal à Agnam



Le relief est relativement plat par rapport au reste du pays et est caractérisé par une vaste plaine incisée de vallées. Il appartient au cadre global du bassin du Ferlo et est lié au réseau hydrographique (carte 4).

Carte 4 : Réseau hydrographique du bassin du Ferlo



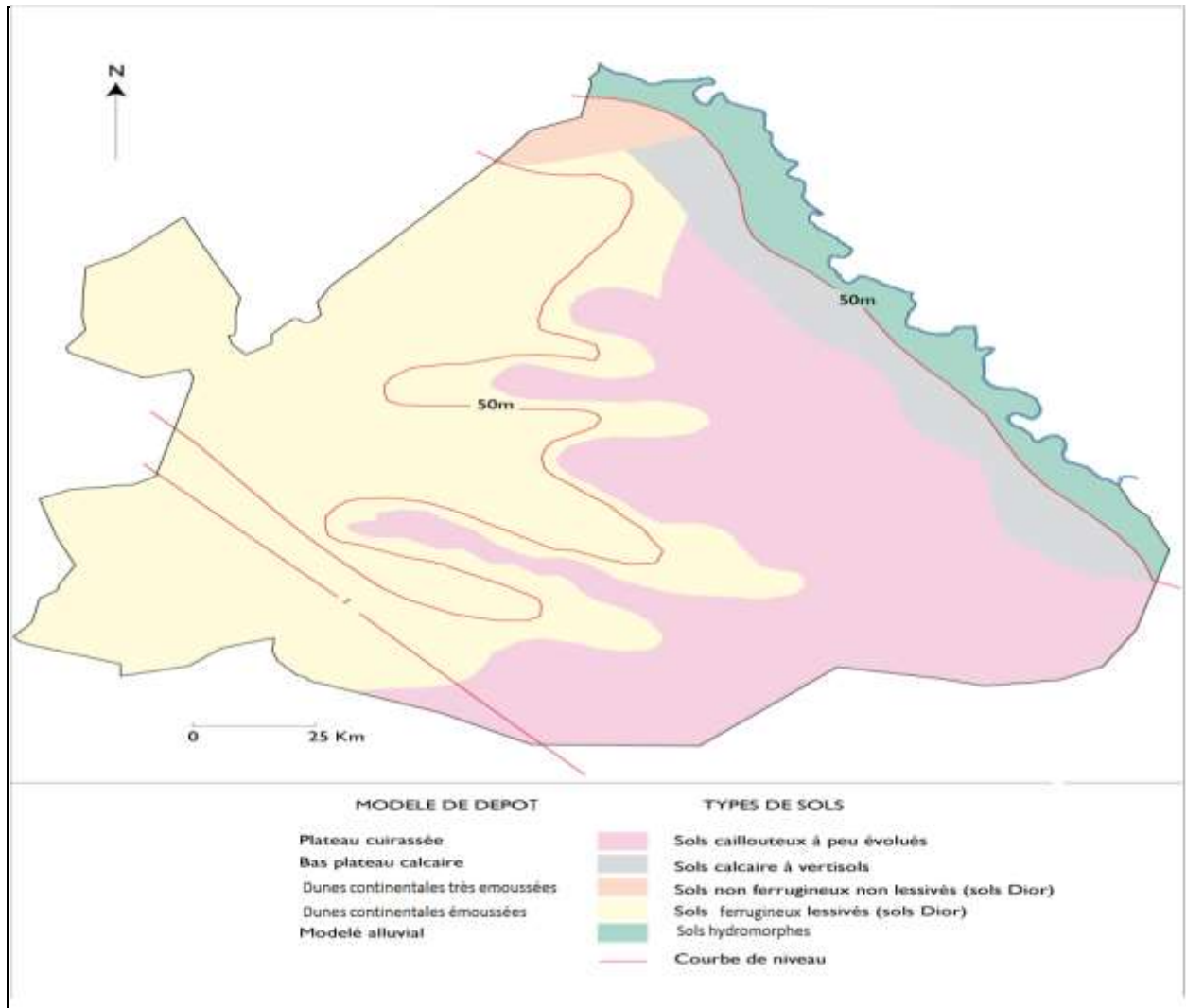
Source : COLY (1996 cité par SY, 2008)

Le réseau hydrographique du bassin du Ferlo est certes dense dans l'ensemble mais, en dehors de la partie appartenant à la vallée du Sénégal, il est faible dans la région. C'est pourquoi le Ferlo est connu pour être moins arrosé actuellement. C'est surtout le domaine des vallées fossiles, ce qui -en partie- rend les activités agricoles très marginales dans le Département de Ranérou Ferlo. Et ces vallées colmatées sont, pour la plupart des parcours pastoraux mieux pourvus en herbes à côté de plateaux dont la cuirasse ferrugineuse affleure souvent totalement dénudé de toute végétation.

1.3.3. Les différents types de sols dans la région de Matam

Sur le plan morphopédologique, en partant du fleuve, diverses catégories de sols sont associées aux unités géomorphologiques (carte 5).

Carte 5 : Vue sommaire des sols de la Région de Matam



Source : DIOP (2004)

La Région de Matam est dans l'ensemble une surface plate constituée de plaines et de plateaux dont l'altitude tourne autour de 50 m. Plusieurs ensembles pédologiques y sont distingués en fonction des types de sols et de leur mode de dépôt :

Les Palé (singulier falo) hébergent des sols alluviaux qu'on trouve sur les talus des berges du lit mineur du fleuve et de ses principaux défluent. Ce sont des espaces de cultures maraîchères où l'on cultive en haut de pente maïs (*zea mays*), patate douce (*Ipomoea batatas*), tomate-cerise (*Solanum lycopersicum*), haricot-niébé (*Vigna unguiculata*), pastèque (*Citrullus lanatus*), gombo (*Abelmoschus esculentus*), bissap (*Hibiscus sabdariffa*) etc.

Les **fondé** ce sont les bourrelets des berges des principaux cours d'eau, les levées, qui sont à l'abri des faibles crues où le sol est sablo-argileux. Ils constituent environ 10 % des terres de la région. Ils servent de zone de culture sous-pluies dans la partie *Walo*, (espace inondable) ou de culture de décrue après certaines crues exceptionnelles.

Les **hollaldé** sont des sols lourds formés par l'accumulation des dépôts fluviaux lors de la décantation des eaux et des limons déposés annuellement par la crue. Ils constituent environ 30 % des terres. Ils peuvent subir une longue durée de submersion au moment de la crue. Ils constituent les zones de pratique de la culture de décrue après le retrait de la crue en contre-saison sèche froide (entre octobre et février). Ces cuvettes appelées *kolaade* (*kolangal* au singulier).

Les **sols Dior** sont ferrugineux lessivés ou non lessivés des dunes du *Jeeri* et du Ferlo de texture essentiellement sableuse avec un taux d'argile faible (5 %). Dans le Ferlo, ils sont en grande partie recouverts de la cuirasse latéritique du Continental Terminal.

Grosso modo, le domaine alluvial du Sénégal, est occupé par des dépôts fluviaux du Quaternaire constitués de sables, de limons et d'argiles sous des formes variées : les levées, les terrasses et les cuvettes de décantation. Mais dans le Ferlo c'est la cuirasse ferrugineuse datant du secondaire et du tertiaire qui apparait ; il est caractérisé par une prédominance du pastoralisme transhumant, de l'agriculture vivrière et de la cueillette. Et comme le souligne MATCL/ARDM (2013) ces principales activités sont en perpétuelle transformation à cause des effets des changements climatiques ainsi que des différentes politiques d'adaptation dans la Région de Matam.

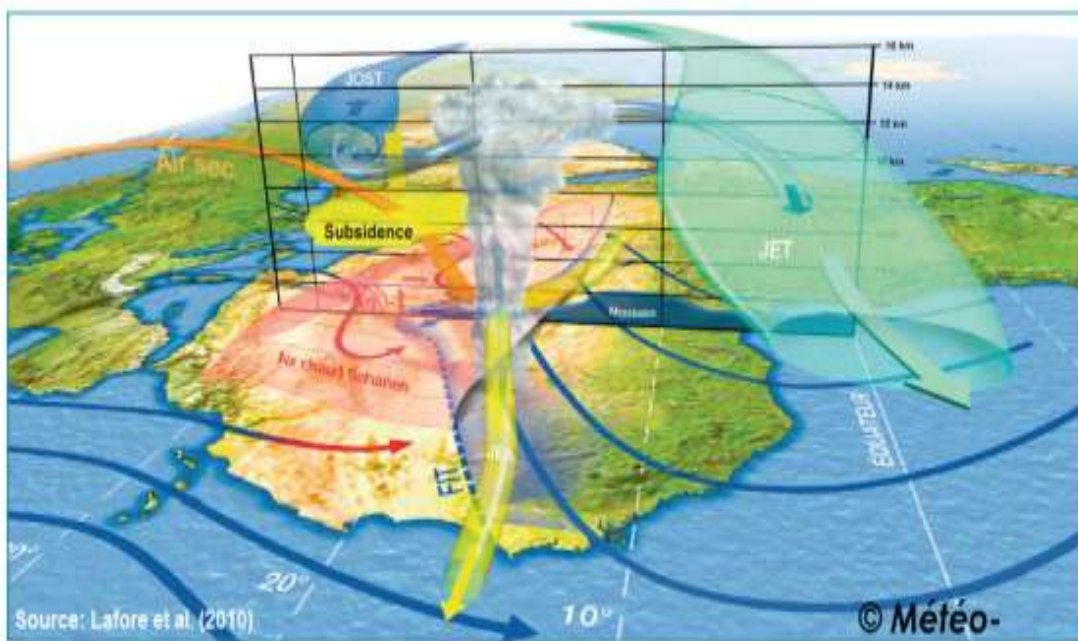
2. Un climat sahélien et des perturbations du cycle hydrologique

Le climat de la Région de Matam s'inscrit totalement dans le contexte du Sahel. Pour bien l'appréhender cette étude s'intéresse à divers aspects relatifs au climat de l'Afrique de l'Ouest, de la circulation atmosphérique et de l'analyse des différents éléments du climat à Matam.

2.1. La circulation atmosphérique générale en Afrique de l'Ouest

Les mécanismes pluviogénétiques sont complexes dans le Sahel (KAMARA, 2013). Ils se traduisent par une variabilité spatiotemporelle dont les tentatives d'explication par divers auteurs ne permettent pas encore d'en saisir l'essence selon (ALI, 2004 cité par KAMARA, 2013). Dans la Région de Matam, comme dans toute l'Afrique de l'ouest, un JEA fort et un JET faible entraînent des saisons de pluies avec une faible pluviosité alors que les saisons de pluies avec un faible JEA et un fort JET sont marquées par une forte pluviosité (IBRAHIM, 2012). La figure 4 montre le mécanisme du climat en Afrique de l'Ouest.

Figure 4 : Schéma du mécanisme climatique de l'Afrique de l'Ouest



Source : LAFORE et al., (2010 cité par IBRAHIM, 2012)

La situation météorologique dans la Région de Matam dépend essentiellement des mouvements des alizés-Harmattan, alizés marins- et des vents thermiques -Jet d'Est Africain, Jet d'Est Tropical, Jet d'Ouest Subtropical (MAINGUET, 2015 ; AGUIAR, 2009 ; MADOUGOU, 2010). Ils entraînent avec eux des flux d'air sec ou humide donnant naissance à d'importants changements saisonniers (MADOUGOU, 2010). La circulation atmosphérique intertropicale s'explique donc par l'inégalité de la répartition du rayonnement solaire entre les Pôles et l'Équateur géographique (AGUIAR, 2009 ; IBRAHIM, 2012). Le bilan radiatif de l'ensemble Terre-Atmosphère (la différence entre l'énergie reçue par la terre et l'énergie rayonnée vers l'espace) est positif entre 35°N et 35°S (zone tropicale),

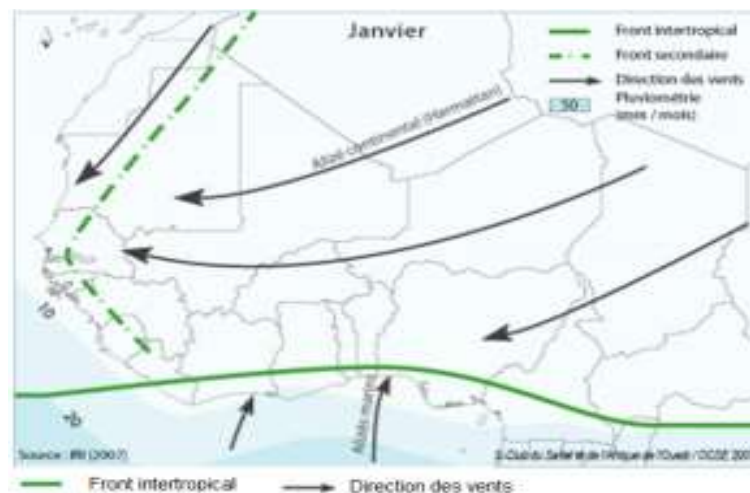
et négatif au-delà (LEROUX, 2001 cité par AGUIAR, 2009). Les flux d'alizé et de mousson constituent les principales composantes de la circulation atmosphérique en Afrique de l'Ouest, du moins dans les basses couches de l'atmosphère (AGUIAR, 2009).

Dans ce cadre, vient s'ajouter l'action des lignes de grains (LG) à l'origine de près de 75 % des précipitations dans la zone sahélienne (SAGNA, 1988 ; MADOUGOU, 2010). L'importance climatique de ces flux au Sénégal s'explique par le fait qu'ils sont les principaux utilisateurs de l'humidité de la mousson aux latitudes Sahéliennes qui correspond à la position la plus septentrionale de la ZITC (AGUIAR, 2009). A noter également l'importance de la convection avec des formations nuageuses, qui peut avoir pour origine la situation synoptique (JEA et JET) ou des particularités géographiques comme le relief (IBRAHIM, 2012).

2.2. Zone de Convergence Intertropicale (ZCIT ou ICTZ) - Front intertropical (FIT)

La ZCIT est définie comme la zone dans laquelle se déplacent les flux convergents issus des anticyclones subtropicaux (AGUIAR, 2009). En effet, les alizés de l'hémisphère Nord (provenant de l'anticyclone des Açores et Saharo-Libyen) et ceux de l'hémisphère Sud (provenant de l'anticyclone de Sainte-Hélène) se rencontrent dans les régions équatoriales formant un flux convergent (AGUIAR, 2009 et MADOUGOU, 2010). Cette bande de convection, à orientation presque zonale, dessine l'équateur météorologique (MADOUGOU, 2010). Elle présente, parfois, des ondulations méridiennes nord - sud significatives (figure 5).

Figure 5 : Schéma de la circulation des vents thermiques en Afrique de l'Ouest



Source : Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest/OCDE (2007), image satellite NOAA-2000

En fonction de l'intensité des alizés, la ZCIT se déplace du sud vers le nord, du mois de février à mi-août où elle atteint sa position la plus septentrionale à 20° Nord et dans le sens inverse, du nord vers le sud, du mois août à mi-janvier où elle atteint sa position la plus méridionale à 5° Nord (MADOUGOU, 2010 ; IBRAHIM, 2012). Cette migration sud-nord de la ZCIT, qui suit le mouvement zénithal du soleil avec un retard d'environ six semaines, est favorisée par le réchauffement progressif de la zone continentale saharienne d'avril à juillet (MADOUGOU, 2010). Au sud de la ZCIT, les alizés de l'Atlantique Sud, chargés de vapeur d'eau et dirigés par les hautes pressions de l'anticyclone de Sainte Hélène, se déplacent vers le nord du golfe de Guinée sous l'effet de la force de Coriolis. De l'autre côté, au nord de la ZCIT, souffle l'Harmattan, de secteur nord-est, chaud et sec pendant l'été, un peu moins chaud et intense durant l'hiver boréal. La trace au sol de la discontinuité entre ces deux masses d'air est appelée Front Intertropical (FIT), MADOUGOU (2010). Le FIT est donc la ligne de convergence au sol entre l'Harmattan caractérisé par l'air sec du nord-est et la mousson chargée d'air humide du sud-ouest.

C'est ce déplacement de la ZCIT qui détermine l'alternance entre la saison des pluies et la saison sèche en Afrique de l'Ouest (AGUIAR, 2009 ; IBRAHIM, 2012). La ZCIT marque le contact dynamique des circulations atmosphériques des deux hémisphères. Son déplacement latitudinal détermine la pluviosité en Afrique de l'Ouest et plus spécifiquement au Sénégal (AGUIAR, 2009) avec une saison sèche dans les zones situées au nord de la ZCIT (IBRAHIM, 2012). Les lignes de grains qui portent le potentiel précipitable passent au sud de la ZCIT, qui est poussée vers le nord par les flux de mousson ; la fréquence (nombre) des LG dépend de la durée du séjour de la ZCIT, au nord. Plus le séjour est long, plus le domaine sahélien est susceptible d'enregistrer des totaux pluviométriques annuels significatifs (SY, 2008).

Le FIT est un des éléments les plus significatifs pour les prévisions pluviométriques au Sahel. Ainsi, lorsque le FIT passe au nord d'une région, l'épaisseur d'air humide (mousson) dans cette zone devient plus grande et les pluies très probables, même si l'épaisseur de la mousson n'est pas toujours synonyme de pluies abondantes (SAGNA, 2017)⁴. Lorsque le continent se réchauffe, en été, il attire l'air qui s'est chargé en humidité au dessus du golfe de Guinée. Ce flux d'air humide remonte vers le nord dans le Sahel où il forme un système orageux (AGUIAR, 2009 ; IBRAHIM, 2012). Au contraire, en hiver le flux de mousson peu intense n'intéresse que la frange côtière du Golfe de Guinée (MADOUGOU, 2010).

⁴Communication UGB mars 2017 sur Mousson et précipitation en Afrique de l'Ouest : le cas du Sénégal

C'est donc dans ce contexte de l'Afrique de l'Ouest, en général, et du Sahel, en particulier, que s'inscrit la Région de Matam dont les données climatiques sont caractérisées par la dégradation du climat se manifestant à travers ses différents éléments (pluviométrie, température, insolation, humidité et vents).

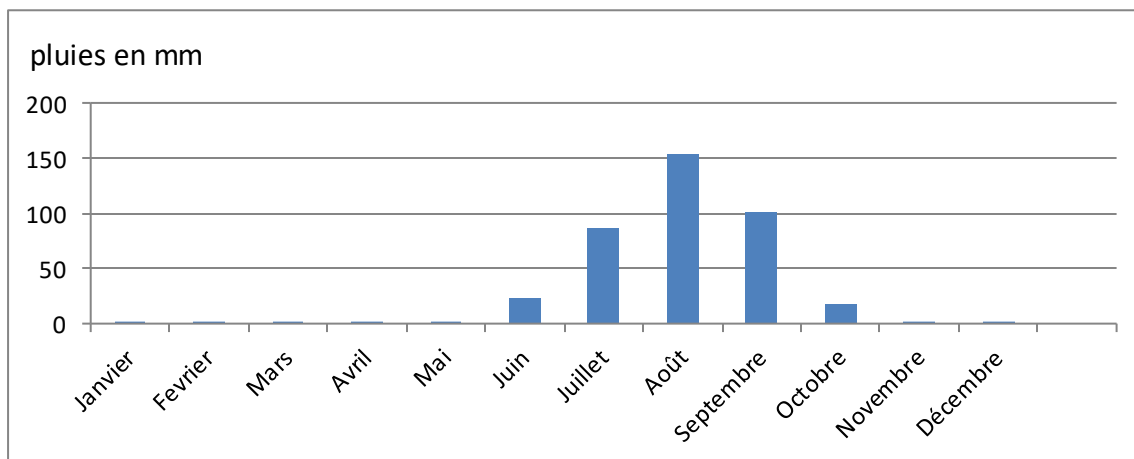
2.3. Les données climatiques de Matam et la fréquence des déficits

La Région de Matam située en zone tropicale, entre le tropique du Cancer et l'équateur est confrontée à d'importantes contraintes climatiques. Se trouvant au nord du Sénégal, elle appartient à la zone sahélienne. C'est un domaine écologique tropical que caractérisent une longue saison sèche et la concentration en une saison courte des pluies peu abondantes et surtout irrégulières. Les températures moyennes sont généralement élevées et cachent de fortes amplitudes.

2.3.1. La pluviométrie entre irrégularité et déficit

Le climat est ici essentiellement caractérisé par le régime des précipitations. « La répartition de celles-ci trouve son origine dans la remontée progressive vers le nord, du front de mousson ou zone de convergence intertropicale (ZCIT). La saison pluvieuse ou hivernage est de plus en plus courte en remontant vers le nord en direction du Tropique » (RISER, 1999). De ce fait, la pluviométrie ne concerne qu'une partie de l'année (figure 6).

Figure 6 : Moyennes mensuelles de la pluviométrie de 1981 à 2010

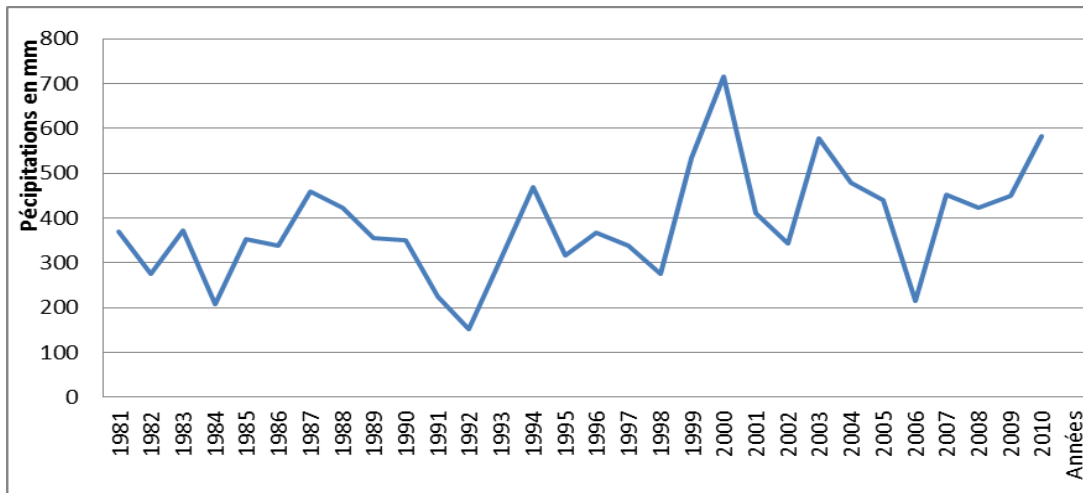


A l'instar de tout le Sahel la zone est marquée par l'alternance d'une longue saison sèche d'octobre à juillet et une saison des pluies relativement courte de juillet à septembre/octobre ; août reste le mois le plus pluvieux avec un cumul mensuel moyen de 142 mm au cours des 56 dernières années (1960 et 2015). Il convient de noter aussi que le passage d'une saison à une autre ne se fait pas brutalement. Mais il s'opère progressivement d'où il faut relativiser la durée de la saison sèche car quelques millimètres sont enregistrés pendant le mois de juin (d'ailleurs, même pour le mois de mai la moyenne n'est pas nulle). Le mois de novembre aussi, bien que faisant partie généralement de la saison sèche, a une moyenne avoisinant 3 mm. Cette situation s'explique par le fait que pour certaines années, l'hivernage s'installe particulièrement tôt ; c'est notamment le cas de 1976 (3 mm en avril, 22 mm en mois de mai) et de 1997 (23 mm en mai). A l'inverse, certaines années sont aussi marquées par une saison des pluies qui se prolonge jusqu'au mois de novembre, c'est le cas de 1978 (46 mm en novembre) et 1984 (15 mm en novembre). Cependant, il faut souligner que de telles situations ne signifient pas forcément une abondance des pluies car les années soulignées comme exemple sont au contraire toutes déficitaires par rapport à la moyenne (BA, 2007).

2.3.1.1. Des déficits fréquents et une tendance générale à l'aridification

Matam se situe dans le domaine sahélien et soudano-sahélien (partie Sud) avec une pluviométrie relativement faible dépassant rarement les 500 mm/an. Dans le courant des 50 dernières années, l'année 1958 a été marquée par une pluviométrie particulièrement abondante : plus de 380 mm rien que pour le mois d'août, soit la moyenne annuelle des 30 dernières années. De ce fait, c'est pendant cette année que les inondations ont causé le plus de dégâts. Cette situation entraîne souvent une sorte d'effet de surprise avec des eaux qui envahissent leurs anciens lits occupés pendant les années de déficit, causant des inondations. Un déficit pluviométrique important est noté au cours de ces dernières années (figure 7).

Figure 7 : Cumuls pluviométriques annuels de 1981 à 2010



La pluviométrie enregistrée y est dans l'ensemble assez faible avec des cumuls annuels dépassant et même atteignant très rarement les 500 mm. La moyenne de la période des 3 dernières décennies est de 383,47 mm. Cependant, cette moyenne cache des inégalités significatives. Ces dernières sont étudiées avec l'indice de LAMB (IL) :

$$IL = \frac{X_i - X_m}{\delta}$$

Avec : *IL* = Indice de LAMB

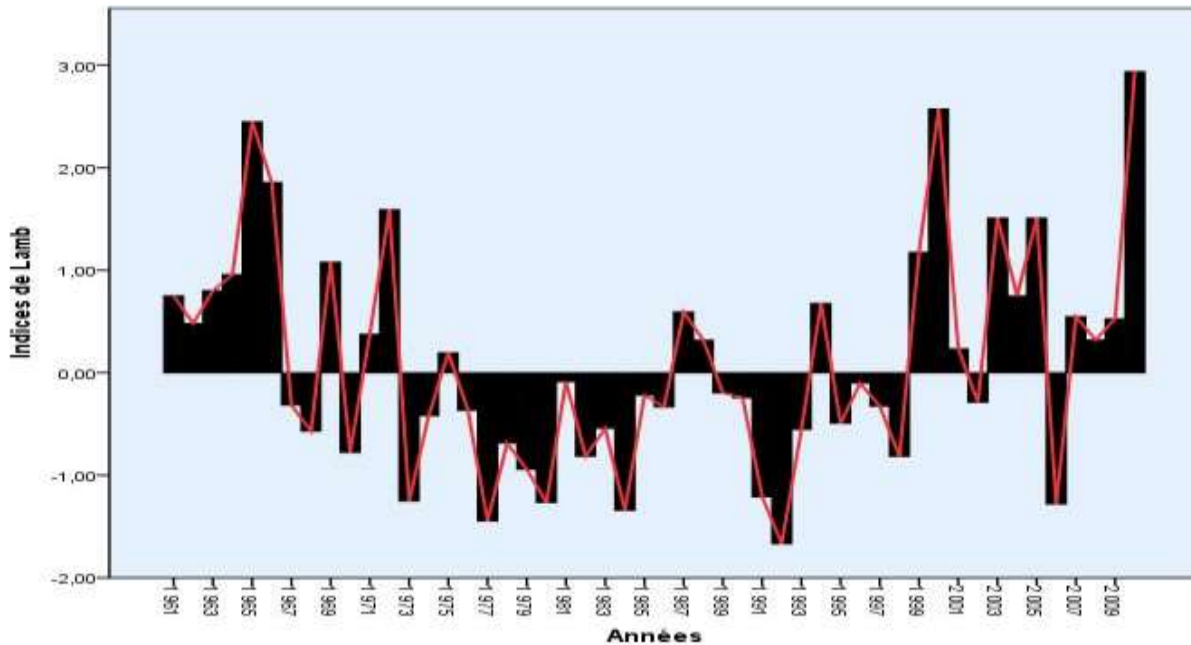
X_i (mm) = pluviométrie annuelle pour une station pendant une année *i* ;

X_m(mm) = Moyenne annuelle de la pluviométrie à la station pendant la période d'étude et

δ = Ecart-type de la pluviométrie de cette période.

L'indice de LAMB permet d'apprécier la variabilité interannuelle de la pluviométrie dans la région, en isolant les années sèches et humides (figure 8).

Figure 8 : Indice de LAMB appliqué à la pluviométrie de 1961 à 2010



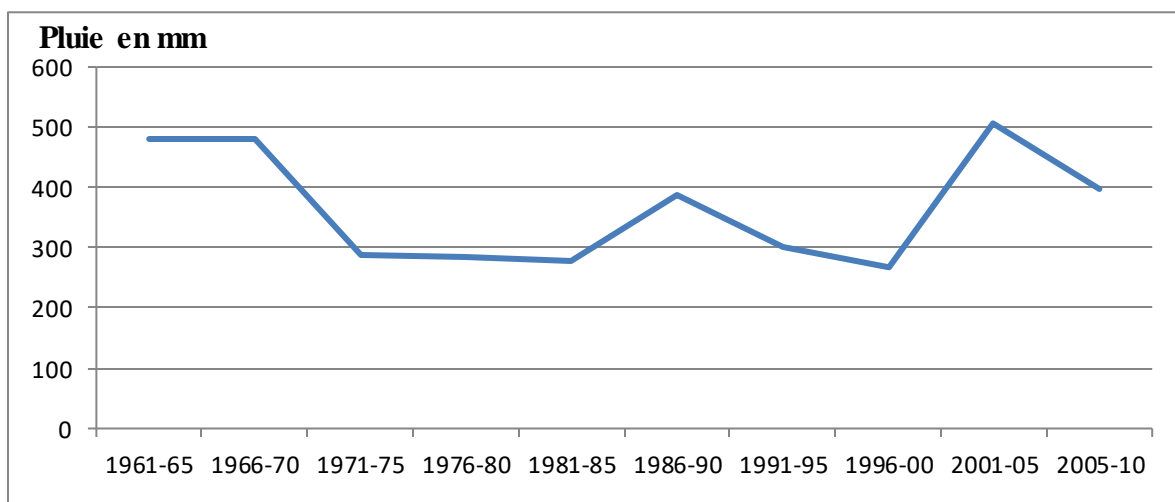
L'étude d'anomalie pluviométrique de LAMB montre que certaines années sont caractérisées par une pluviométrie relativement abondante. L'année 2000 en constitue l'exemple le plus patent avec ses 714,5 mm. Les années 2010, 2003 et 1999 qui dépassent 500 mm sont également parmi les plus pluvieuses avec respectivement : 582,2 mm, 578,6 mm et 535,1 mm. Ces années sont aussi celles des plus importantes crues et sont marquées par une bonne production agropastorale.

Malgré la tendance généralement sèche et l'aridité qui caractérisent la région, certaines années sont particulièrement humides. Mais ces occurrences sont des exceptions dans le domaine sahélien où certaines années sont connues pour être particulièrement sèches. La figure 8 montre que sur cinquante ans (1961-2010), les vingt sept sont déficitaires avec un indice négatif. En effet, 1992 est considérée comme un extrême avec seulement 150,1 mm de pluies enregistrés soit un IL de -1,78. Avec respectivement 207,6 mm ; 215,4 mm ; 223 mm 276,1 mm et 276,2 mm 1984, 2006, 1991, 1982 et 1998 suivent et complètent le lot des six (6) années les plus déficitaires durant cette séquence. Ce sont les seules où la pluviométrie est en deçà des 300 mm. Ces périodes de forts déficits pluviométriques sont connues pour être en même temps celles de crises marquées par de faibles rendements de l'agriculture (sous pluie et irriguée) et manques de fourrages pouvant entraîner de pertes importantes du cheptel. Pour toutes les autres elle est plus ou moins proche de la moyenne et oscille entre 310 mm et 479,7 mm. Aussi, la courbe évolue-t-elle en dents de scie

révélant tantôt une pluviométrie relativement abondante tantôt des déficits qui rappellent que la sécheresse notée dans le Sahel depuis de nombreuses décennies par plusieurs chercheurs (SY, 1995 et 2008 ; MICHEL 1973 ; WU, 2003) n'est pas terminée. Selon les populations interrogées, ce caractère irrégulier de la pluviométrie est en partie à l'origine du recul de l'agriculture sous pluie noté dans beaucoup de zones.

D'ailleurs, au cours de la dernière moitié du siècle écoulé, le Sahel a connu une baisse considérable de la pluviométrie qui peut être constatée à la station de Matam (figure 9).

Figure 9 : Moyennes quinquennales de la pluviométrie annuelle à Matam de 1961 à 2010

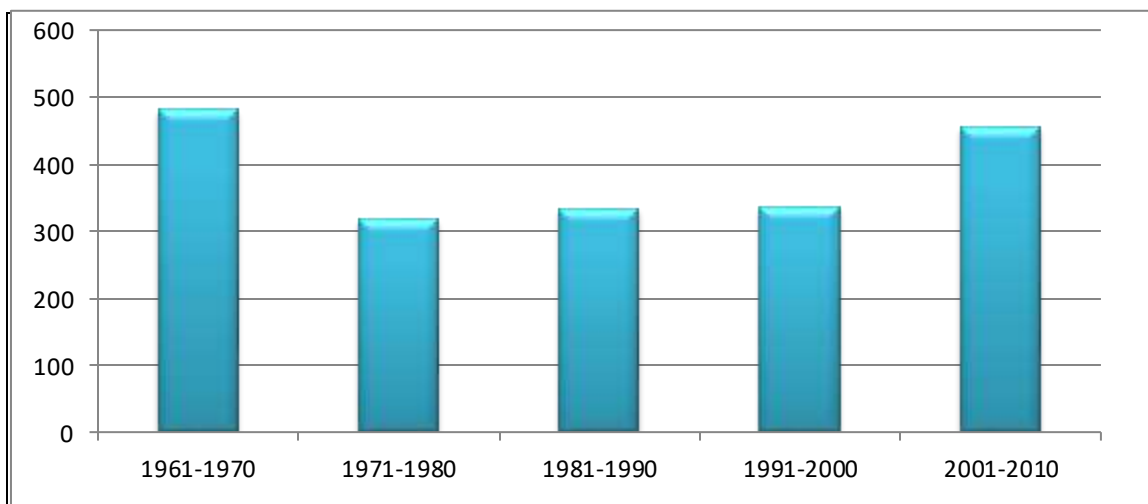


La tendance globale des pluies était à la baisse surtout dans les années 1970 et 1980. Cependant, il faut noter que la courbe pluviométrique évolue en dents de scie. Entre 1965 et 1995, au milieu des années généralement déficitaires, la courbe est parfois ascendante, ce qui s'explique par l'existence de quelques années où la pluviométrie est relativement abondante. Ainsi, les deux premiers quinquennats enregistrent une pluviométrie supérieure à la moyenne avec respectivement 480 mm et 498 mm. A partir de 1970 la pluviométrie évolue négativement, en deçà de la moyenne (313 mm). Cette évolution négative se poursuit continuellement pour se situer à 288 mm entre 1975 et 1979 baissant jusqu'à 277 mm entre 1980 et 1984. L'année 1983 a été une des années les plus déficitaires. Cette évolution correspond à une sécheresse très sévèrement sentie dans toute la vallée du fleuve Sénégal.

Or l'évolution des rendements agricoles montre une relation forte entre la production et les totaux pluviométriques annuels. Lors des années où on a enregistré des quantités de pluies inférieures à la moyenne les rendements avaient baissé (NDIAYE, 2006).

Après cette baisse continue la période déficitaire est interrompue pendant le quinquennat de 1985 à 1989 avec une situation pluviométrique qui globalement dépasse la moyenne. Mais cette évolution positive est de courte durée pas car dès le quinquennat suivant (1989 à 1994), elle baisse à nouveau, soit 301 mm. Mais au cours des dernières années, il est noté une nouvelle montée de la pluviométrie qui revient pratiquement à la normale pour la période de 1995 à 1999. Cette évolution positive se confirme nettement durant le dernier quinquennat (2000 à 2004). La moyenne de 506,44 mm est largement supérieure à la moyenne générale de 378,23 mm enregistrée depuis 1960. Le dernier quinquennat aussi, bien que moins pluvieux que le précédent, n'a connu qu'une seule année déficitaire, 2006 avec 215.4 mm. De plus en plus, en dépit d'une évolution en dents de scie, il est noté un retour à une pluviométrie de niveau comparable à celle des années 1960 (figure 10).

Figure 10 : Moyennes décennales du cumul pluviométrique en mm de 1961 à 2010



Cette baisse se manifeste par une migration des isohyètes du nord vers le sud. De ce fait, la moyenne pluviométrique de cette période tourne autour de 364 mm comme l'illustre bien la courbe des moyennes décennales de la pluviométrie. Cette moyenne cache d'ailleurs des disparités : la première décennie (1960-1969) est marquée par une pluviométrie importante très en dessus de la moyenne et avoisinant 500 mm (489 mm). La figure révèle une baisse considérable pendant la décennie suivante ce qui est fort compréhensible car elle correspond, surtout dans sa seconde moitié, aux années de

sécheresse (les années 1970). La moyenne décennale va chuter jusqu'à 301 mm avant de remonter faiblement pour ensuite se stabiliser durant les années 1980 et 1990 avec 332 mm et 334 mm. La tendance générale de la pluviométrie était donc à la baisse. Néanmoins, cette situation s'inverse progressivement.

Le retour à une certaine humidité se perçoit à travers la moyenne décennale du cumul pluviométrique. Si la décennie 1970- 1979 est la moins humide suivie de celle 1980-1989, ces deux décennies correspondant en grande partie à la dernière grande sécheresse dans la région, le constat est que la dernière décennie est la plus humide depuis la fin des années 1960. Mais ce retour à la pluviosité est à relativiser car au même moment, dans le Sahel, les isohyètes 200-600 mm ont migré vers le sud sur plusieurs centaines de km ; cette situation entraîne une diminution nette et généralisée des pluies annuelles sur l'ensemble de la région (SIGHOMNOU, 2004).

Toutefois, les relevés pluviométriques semblent indiquer un retour à une pluviométrie moyennement abondante ; le niveau actuel des précipitations au Sénégal peut être comparé à celui des années 1950-1960. Selon le CSAO/OCDE (2008) depuis le milieu des années 1990, on assiste à un retour à de meilleures conditions pluviométriques au Sahel qui s'accompagne d'une plus forte variabilité interannuelle. C'est même une des causes des inondations constatées dans toutes les régions, chaque hivernage depuis quelques années.

Dans ce cas, le concept de sécheresse dans le contexte actuel pourrait être remis en cause. Le lot de désolation ne doit pas cacher les irrégularités entre les années : tantôt des cultures sont détruites par des pluies fortes accompagnées, généralement, d'importantes crues, tantôt la sécheresse agricole affectent l'agriculture irriguée comme celle sous-pluies. Les années 2011 et 2012 respectivement très déficitaires et très pluvieuses illustrent cette situation. Donc pour certaines années on peut dire qu'il n'y a pas de sécheresse. Cependant, depuis la dernière décennie le retour à une pluviométrie relativement importante (BA, 2008) est à l'origine d'importantes crues qui ont souvent fait des dégâts dans les rizicultures irriguées notamment en 2011 et en 2012. Mais à côté des crues qu'elles entraînent indirectement, les pluies peuvent directement causer de dégâts par le ruissellement qui s'accompagne d'une forte érosion hydrique.

2.3.1.2. L'érosion hydrique

Le domaine sahélien en général, Matam en particulier, est aussi très marqué par l'érosion hydrique. En effet, la vallée est façonnée par la crue annuelle du fleuve. Cependant, par suite de l'importante diminution des débits du fleuve l'inondation des terres de la vallée a été presque toujours faible ou nulle depuis 1968 (MICHEL, 1988). Mais ces dernières années le retour à une certaine normale de la pluviométrie entraîne des crues relativement importantes.

Dans le lit mineur, les eaux sapent les berges concaves des méandres à la montée de la crue. Elles abandonnent le matériel sableux au bord de la rive convexe de la boucle suivante. Ainsi, les méandres du fleuve continuent à s'agrandir. Cette érosion latérale se chiffre en moyenne de 1 à 1,50m par an d'après diverses observations (MICHEL, 1973). En matière d'érosion, la tolérance a d'abord été définie comme la perte en terre tolérée car elle est équilibrée avec la formation du sol par l'altération des roches. Mais cette approche nie l'importance de l'érosion sélective des nutriments et des colloïdes assurant le potentiel de fertilité des sols. Donc la tolérance peut également se définir comme l'érosion qui ne provoquerait pas de baisse sensible de la productivité des terres. Mais là aussi, il existe des obstacles majeurs. On connaît encore mal la perte de productivité des différents types de sol en fonction de l'érosion et, pour certains sols profonds les pertes en terre élevées sur les versants n'entraînent que peu de baisse de la productivité du sol, mais par contre, provoquent des dégâts intolérables en aval par la pollution des eaux douces et l'envasement des barrages.

Il convient de préciser que les terrains de la plaine alluviale sont presque tous inondés au maximum de la crue. Seules les levées, notamment les hautes levées sont émergées. Les cuvettes sont submergées pratiquement durant toute la période hivernale. Les eaux y décantent alors les limons et des éléments minéraux qui plus tard fertilisent le sol. « L'épaisseur des dépôts d'argile est de 1 à 1,50 m dans les cuvettes bien vidangées, mais dépasse 3 m dans les bas-fonds où l'eau stagne plus longtemps ». Ces terrains argileux se fissurent tandis que les hautes levées sont soumises à la déflation éolienne en saison sèche. Le domaine tropical de l'hémisphère boréal est caractérisé par *l'alternance de deux grandes saisons annuelles : la saison des pluies d'été et la saison sèche d'hiver*. Ce régime pluviométrique, à la fois simple et très contrasté, conditionne aussi bien l'hydrologie et le rythme végétatif que la morphogenèse actuelle. *Deux facteurs jouent un rôle primordial : la hauteur des précipitations annuelles, la longueur de la saison sèche*. La première diminue progressivement alors que la seconde s'allonge de plus en plus (MICHEL, 1973).

Il est constaté que l'action du vent se conjugue avec celle de l'eau pour éroder les sols. De ce fait, une surface dépourvue de couvert végétal et dénudée par l'abrasion du vent est plus vulnérable à l'érosion hydrique. Les dépôts de sédiments asséchés sont exposés à l'érosion éolienne. Les effets de l'érosion hydrique se font sentir très loin en aval, de même les particules charriées par le vent remontent à des milliers de mètres dans l'atmosphère avant de se déposer, parfois très loin sous forme de poussières et de lithométéores (RISER, 1999 ; SY, 2008). Selon des études récentes, ce phénomène a des incidences sur le régime des pluies et peut être une cause ou tout au moins un facteur aggravant de l'aridité (RISER, 1999 ; WU, 2003).

L'irrégularité de la pluviométrie est l'élément tyrannique du climat des régions sahéliennes : années déficitaires et années excédentaires s'y succèdent avec leurs excès et leurs méfaits (MATCL/ADRM, 2013). Mais la spécificité de la sécheresse climatique en cours est qu'elle est très associée au changement climatique exposant davantage les régions arides (SY, 2015) comme Matam. C'est surtout en début de saison des pluies que les pluies interviennent directement dans la morphogenèse. Le tapis herbacé est alors complètement desséché ou brûlé par les feux de brousse. La terre déshydratée s'effrite rapidement (MICHEL, 1973) surtout avec l'action des vents.

2.3.2. Les vents : un agent d'érosion

Les vents sont des mouvements horizontaux dans l'atmosphère. Ils sont produits par les différences de pressions atmosphériques provoquées principalement par les écarts de températures. L'air chaud est plus léger et se déplace. Les vents sont un facteur étroitement lié aux autres éléments du climat notamment la pluviométrie et la température.

2.3.2.1. Les principaux types de vents

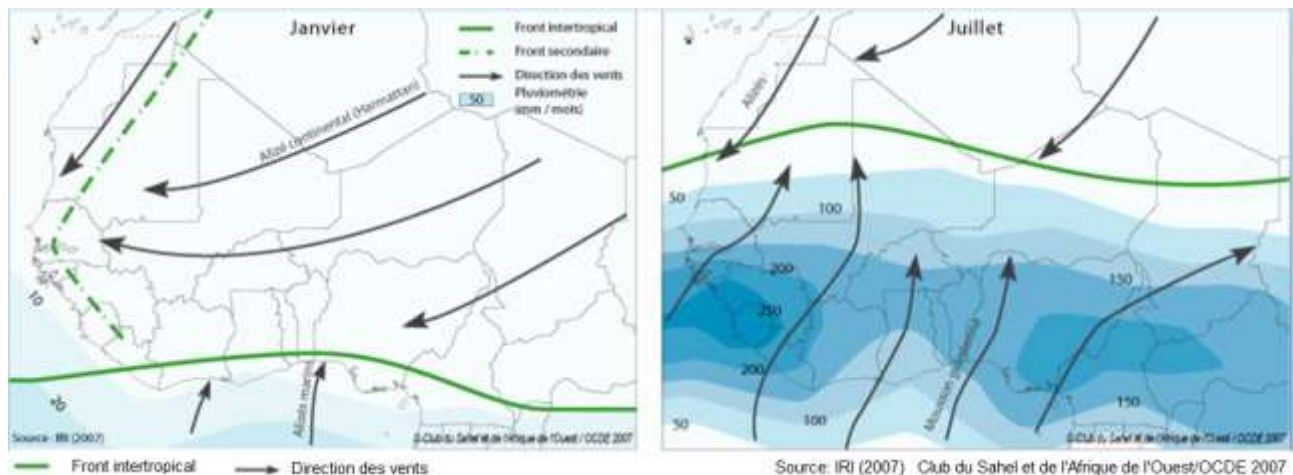
En raison de la rareté de la végétation capable de réduire les déplacements d'air, les régions arides sont en général venteuses. Les vents évacuent l'air humide qui se trouve autour des plantes et du sol, accroissant l'évapotranspiration.

L'érosion du sol par le vent se produit chaque fois que les conditions édaphiques, végétatives et climatiques y sont favorables. Ces conditions (sol peu compact, sec ou fin, surface du sol lisse, couvert végétal rare et vent suffisamment fort pour induire des déplacements de terre) se rencontrent fréquemment dans les zones arides. L'épuisement du couvert végétal est la cause fondamentale de

l'érosion éolienne du sol. Le principal dommage causé par le vent en emportant des particules de terre est le tri des matériaux du sol ; l'érosion éolienne enlève progressivement le limon, l'argile et les matières organiques de la surface du sol. Les matières restantes peuvent être sableuses et infertiles. Il est fréquent que le sable s'entasse pour former des dunes et présente une menace grave pour les terres environnantes.

Les pluies constituent le principal transfert d'humidité de la vapeur d'eau de l'air vers le sol. Le cycle hydrologique s'achève par l'évaporation. La déperdition d'eau du sol par évaporation est importante lorsqu'on veut déterminer les pluies "efficaces". L'évaporation est d'autant plus importante que les vents sont plus forts, que les températures sont plus élevées et que l'humidité est plus faible. Deux principaux flux soufflent sur Matam tout le long de l'année : mousson et alizé continental (figure 11).

Figure 11 : Schéma du cycle des alizés en Afrique de l'Ouest



Source : www.oecd.org/csao/cartes cité par IBRAHIM (2012)

Ce changement de direction s'explique par les fortes rentrées de mousson renvoyant l'anticyclone des Açores et les alizés maritimes qui en s'éloignant du littoral deviennent des alizés continentaux ou harmattan. Pour l'évolution des modelés, les vents dont la vitesse atteint 5 m/s sont considérés comme des vents compétents, donc susceptibles d'arracher et d'entraîner des débits solides. Pour l'évolution des végétaux, le seuil de compétence est de seulement 2 m/s (WADE, 2008). Le mécanisme climatique ouest-africain repose principalement sur l'interaction sol-atmosphère-océan qui détermine la dynamique au sein de la zone de convergence intertropicale (ZCIT) sur la région (IBRAHIM, 2012). La ZCIT est donc une zone de rencontre entre deux masses d'air dont un vent

humide venant de l'océan Atlantique, au sud, et un vent chaud et sec venant du Sahara, au nord, (MAINGUET, 1995 ; AGUIAR, 2009 ; IBRAHIM, 20012). Ce dernier vent est l'Alizé continental ou harmattan.

2.3.2.1.1. Les lignes de grains (LG)

Les lignes de grains sont des intrusions du flux d'Est dans le flux de mousson, soulevant l'air humide en un front mobile le long duquel se produisent orages et averses (AGUIAR, 2009). Ce sont des perturbations mobiles propres aux régions tropicales de l'Afrique de l'Ouest et Centrale (MADOUYOU, 2010). Selon AGUIAR (2009 cité par MAHE, 1993) :

« En Afrique de l'Ouest, les précipitations sont généralement de trois types: précipitations régulières et abondantes ou pluies de mousson; précipitations plus rares et plus localisées se produisant à la faveur d'orages locaux; et lignes de grain, masses orageuses se déplaçant d'est en ouest ».

Les lignes de grains évoluent entre les deux courants d'est : le Jet d'Est Africain et le Jet d'Est Tropical (MADOUYOU, 2010). Avant la pénétration dans le flux de mousson, les pulsations d'alizé peuvent être responsables des tempêtes de sables (LEROUX, 1996). Ces vents sont accompagnés de poussières très denses de direction nord-est à sud/ sud-est. Ces vents violents surviennent, en général, pendant l'hivernage, lors des orages (SAGNA, 1988 et WADE, 2008). Elles sont responsables de l'essentiel des pluies au Sénégal (tableau 8).

Tableau 8 : Lignes de grains recensées au Sénégal

| | Mai | Juin | Juillet | Août | Septembre | Octobre | Total |
|------------|-----|------|---------|------|-----------|---------|-------|
| St-Louis | 0 | 1 | 4 | 12 | 8 | 1 | 26 |
| Podor | 0 | 3 | 4 | 13 | 8 | 1 | 29 |
| Matam | 0 | 4 | 8 | 15 | 12 | 2 | 41 |
| Linguère | 0 | 4 | 7 | 15 | 12 | 3 | 41 |
| Dakar | 0 | 1 | 8 | 15 | 13 | 3 | 41 |
| Thiès | 0 | 1 | 9 | 15 | 13 | 3 | 41 |
| Diourbel | 0 | 1 | 9 | 15 | 13 | 3 | 41 |
| Kaolack | 0 | 4 | 10 | 16 | 17 | 4 | 51 |
| Tamba | 0 | 10 | 14 | 18 | 20 | 4 | 60 |
| Ziguinchor | 1 | 9 | 13 | 17 | 19 | 4 | 63 |
| Kolda | 1 | 13 | 15 | 17 | 22 | 4 | 80 |
| Kédougou | 3 | 16 | 16 | 19 | 22 | 4 | 90 |

Source : SAGNA (1988)

Le tableau 8 révèle que les lignes de grains soufflent dans le pays proportionnellement à la pluviométrie enregistrée. Elles varient donc dans le temps comme dans l'espace, suivant les isohyètes alors que les mois de juillet, d'août et de septembre sont ceux où leur fréquence est la plus importante. SY (2008) souligne :

« Les variations de quantités de précipitations et l'irrégularité capricieuse deviennent de plus en plus contraignantes pour la végétation arborée au fur et à mesure que les moyennes s'affaiblissent. Les lignes de grains ont une direction est-ouest. [...]. Les isohyètes ont tendance à migrer vers le sud. Ce phénomène explique l'installation progressive de la sécheresse et de l'aridité ».

Les lignes de grains ne provoquent pas forcément des pluies car elles n'utilisent que le potentiel qu'elles trouvent sur place (AGUIAR, 2009). Mais à eux seuls (même sans précipitations) ils peuvent parfois entraîner d'importants dégâts. C'est pourquoi les dégâts subis pendant la saison des pluies sont souvent disproportionnés aux précipitations qui tombent (WADE, 2008).

Elles sont considérées comme un alignement plus ou moins homogène de cumulonimbus. Les lignes de grains sont importantes en juillet, août et septembre quand la mousson est épaisse.

2.3.2.1.2. Les lithométéores

Les lithométéores sont des particules fines en suspension dans l'atmosphère (SY, 2008). Ces manifestations de poussière sous des formes variées (chasse sable, tempêtes de sable, brume sèche, brume de poussière, poussière en suspension, etc.), sont des éléments significatifs dans la caractérisation du temps en Afrique Occidentale d'une manière générale, et au Sénégal de manière particulière (SAGNA et al., 2015), surtout dans sa partie sahélienne. Elles sont maintenues dans l'atmosphère par des courants ascendants ou des flux horizontaux susceptibles de les transporter sur des milliers de kilomètres (SY, 2008). Une recrudescence de la manifestation des lithométéores est constatée dans toute la zone sahélienne depuis le début de la sécheresse actuelle, à partir de 1968, surtout après les années à fort déficit pluviométrique (SAGNA, 2005). Les lithométéores sont associés aux bilans hydriques déficitaires et aux pressions anthropiques assez prononcées (SY, 2008). SAGNA et al., (2015) ont analysé les jours de lithométéores qui se manifestent essentiellement entre novembre et mai au Sénégal, après les hivernages 2012 et 2014. Le mois de novembre correspond au début de la saison sèche sur l'ensemble du territoire sénégalais, tandis que celui de mai marque le démarrage de la saison pluvieuse, notamment au sud du pays. Ainsi, deux saisons sèches ont été analysées. La première est comprise entre novembre 2012 et mai 2013, et la

seconde entre novembre 2014 et mai 2015. Cette étude a démontré le lien entre déficit hydrique et manifestation des lithométéores (SAGNA et al., 2015).

Des mesures effectuées dans les stations sahéliennes situées dans la région, à Ranérou et à Matam, révèlent l'importance de ces types de manifestations. Ici, la chasse-sable est le lithométéore le plus fréquent et apparaît de novembre à mai, voire en juin (SY, 2008). En plus de ces différents types de vent très souvent aussi en début de saison des pluies la région est soumise aux tempêtes de sable très violentes (DIOP, 2004). Dans tous les cas l'étude du régime des vents peut être considérée comme un premier facteur du contexte morphoclimatique ; les deux autres principaux facteurs étant les pluies et les températures (MICHEL, 1973).

2.3.2.2. Le rôle prédominant du vent dans la dynamique actuelle

Le vent est l'agent morphodynamique le plus actif dans les milieux arides à semi-arides (SY, 2008 et SY, 2013). Il est caractérisé par une forte variabilité à la fois spatiale temporelle, c'est-à-dire saisonnière et journalière (SY, 2013). Il n'est pas un agent d'érosion spécifique à la région. Mais ici deux facteurs le rendent particulièrement efficace : sa quasi quotidienneté et la maigreur, voire l'absence de la végétation. Il n'y a pas suffisamment d'obstacles qui entravent sa course, même modérée, si bien qu'il semble plus fort et plus continu qu'il ne l'est en réalité. Les vents sont un important agent de transport « mais la grosseur et la quantité des grains transportés dépendent de la durée et de la force du vent. Il peut transporter les matériaux de trois manières différentes : par roulement, saltation et suspension » (RISER, 1999). Selon la FAO (2008 cité par SY, 2008) :

« On estime qu'à un niveau situé entre 0,03 et 2,5 mm, pour une surface non protégée et à peu près plane, la vitesse du vent est nulle. Au-dessus de ce niveau, le flux éolien devient laminaire, puis la couche turbulente se place plus haut. La couche laminaire et la couche turbulente forment la couche limite dont l'épaisseur est fonction de l'énergie éolienne elle-même contrôlant l'amorce et la constance de la réaction en chaîne. À partir de ce stade, plusieurs facteurs interviennent : les forces d'inertie, l'importance des abrasifs, la fréquence directionnelle du fluide, le calibre des particules et le degré de résistance de la surface exposée aux impacts. Les processus éoliens se déroulent à trois niveaux: érosion, transport, sédimentation. L'érosion s'effectue par déflation (arrachement des particules) et abrasion (usure des particules) ».

La variation altitudinale prend un profil logarithmique qui varie en fonction de l'intensité du vent et de la rugosité du substrat, qui est aussi déterminé par la taille des grains, la morphométrie

(ondulations, laminations parallèles) et la végétation (SY, 2013). Selon que les éléments sont très gros, petits ou très fins. Chacun de ces mouvements correspond à une vitesse déterminée du vent.

Par conséquent, le vent est un des facteurs morphodynamiques prédominants. Cependant, il n'est pas un agent d'érosion efficace qu'à partir d'une certaine vitesse « dans les sols très sujets à l'érosion, les particules ne commencent à se déplacer que quand le vent atteint une vitesse de 25 à 30 km/h à 30 cm au-dessus du sol » (HOPKINS *et al.*, 1937 cité par KAERE, 2004).

Il agit de 2 manières : il balaie les matériaux qu'il transporte puis les dépose lorsque sa vitesse diminue ou devient nulle. Il existe donc des modelés de déflation, là où le vent balaie des matériaux (RISER, 1999). La déflation éolienne est accentuée par la persistance de la sécheresse et la discontinuité du couvert végétal. Le sol est nettoyé et sa surface fait apparaître une croûte très dure, liée, plus au phénomène de sécheresse qu'au phénomène de battance des pluies. Cette croûte a tendance à bloquer l'infiltration verticale, ce qui accentue le ruissellement... (SY, 2003). Il est aisé de constater ce phénomène dans la région, à des endroits comme la commune de Matam, tout autour de la ville. L'érosion éolienne y entraîne le balayage de particules fines laissant sur place des terrains dénudés sans sol, inaptes à porter un couvert végétal. Ces sols sont particulièrement imperméables d'où une rapide accumulation d'eau en surface sous forme de mares et d'étangs (BA, 2007). Les vents, en plus d'être un facteur d'érosion éolienne, aggravent l'érosion hydrique.

Le vent est alors un des facteurs prédominants de la dynamique, agissant de deux manières. L'influence du climat et des activités humaines (déforestation, aménagements, etc.) sur le comportement du vent, dans les écosystèmes secs est scientifiquement démontrée (MAINGUET, 1995 ; RISER, 1999 ; SY, 2008 ; SY, 2013). «La sécheresse et l'aridité sont entre autres des facteurs explicatifs de l'érosion éolienne en ce sens qu'ils renforcent les conditions de la déflation» (SY, 2013). Bien qu'ils affectent tous les écosystèmes secs, il existe une différence entre sécheresse et aridité (chapitre précédent). Cette situation contribue pour beaucoup au ruissellement des eaux, lui-même important facteur de ravinement et donc de l'érosion hydrique.

2.3.3. L'humidité relative et l'insolation

L'insolation moyenne annuelle tourne autour de 235 heures pour ces 10 dernières années, soit de 7 à 8 heures d'ensoleillement par jour. Les maxima enregistrés sont de 269 heures aux mois de mars et

d'avril. Les minima varient entre 220 et 212 heures en août et en décembre, qui sont respectivement le mois le plus pluvieux et le plus froid de l'année (tableau 9).

Tableau 8 : Moyennes mensuelles de l'insolation par jour et en heures de 1971 à 2010

| Années | janv. | Fév. | Mars | AV. | Mai | Juin | Juil. | Août | Sep. | Oct. | Nov. | Déc. |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| 1971-1980 | 8,3 | 8,6 | 9,2 | 9,3 | 8,7 | 7,9 | 8,2 | 7,6 | 7,9 | 8,7 | 8,9 | 7,7 |
| 1981-1990 | 8,5 | 8,5 | 8,9 | 9,4 | 9 | 8 | 7,5 | 6,5 | 6,9 | 8,1 | 7,5 | 6,7 |
| 1991-2000 | 8,3 | 7,2 | 9,4 | 9,2 | 8,9 | 8,2 | 7,4 | 7,2 | 7,5 | 8,5 | 8,2 | 7,2 |
| 2000-2010 | 7.55 | 7.56 | 8.47 | 8.82 | 8.47 | 6.6 | 7.02 | 6.34 | 7.27 | 7.32 | 7.57 | 6.7 |

Source : Données de la Direction Nationale de la Météorologie

L'insolation est très importante dans la région et est présente toute l'année. C'est ce qui explique les fortes températures. Cependant, les mois de plus forte insolation sont mars, mai et surtout avril. Pour le mois d'avril qui est celui de l'ensoleillement maximal durant les 40 ans étudiés la moyenne mensuelle de l'insolation par jour et par heure se présente ainsi qu'il suit :

- 9,3 heures pour la période 1971-1980 ;
- 9,4 heures entre 1981 et 1990 ;
- 9,2 heures pour la décennie 1991-2000 ;
- 8,82 heures entre 2001 et 2010.

Par contre, les mois de juillet, d'août et de septembre correspondant à la saison des pluies et le mois de décembre correspondant aux températures les plus basses sont ceux de l'ensoleillement minimal.

Cette variation saisonnière de la durée d'insolation dépend du mouvement zénithal du soleil et de facteurs locaux tels que la couverture nuageuse (flux de mousson) et la présence de l'harmattan (flux d'alizé continental). Elle met en opposition 2 situations: septembre-février, saison de moindre ensoleillement, et avril-mai, celle de l'ensoleillement maximal. La répartition de la durée d'insolation moyenne mensuelle de la station de Matam reflète la situation la plus représentative du phénomène d'insolation dans le Ferlo.

En effet, la disparité saisonnière observée entre la période de mars à mai (valeurs fortes) et celle de juin à septembre (valeurs faibles) sans oublier la période d'octobre à février (valeurs intermédiaires)

symbolise parfaitement la distribution mensuelle de la durée d'insolation dans le bassin du Ferlo (MATCL/ARDM, 2013).

Il ressort de l'analyse que l'insolation est permanente. Mais le profil environnemental de la région (MATCL/ARDM, 2013) distingue 3 situations : de mai à juin (une perte de 30 heures), de septembre à octobre (un gain de 20 heures) et la dernière de février à mars (un gain de 37 heures). La situation de l'insolation en mars, en avril et en mai donne respectivement 285 heures, 290 heures et 285 heures. Juin, juillet, août, septembre ont eu une durée d'insolation de 257 heures, 264 heures, 293 heures, 245 heures respectivement.

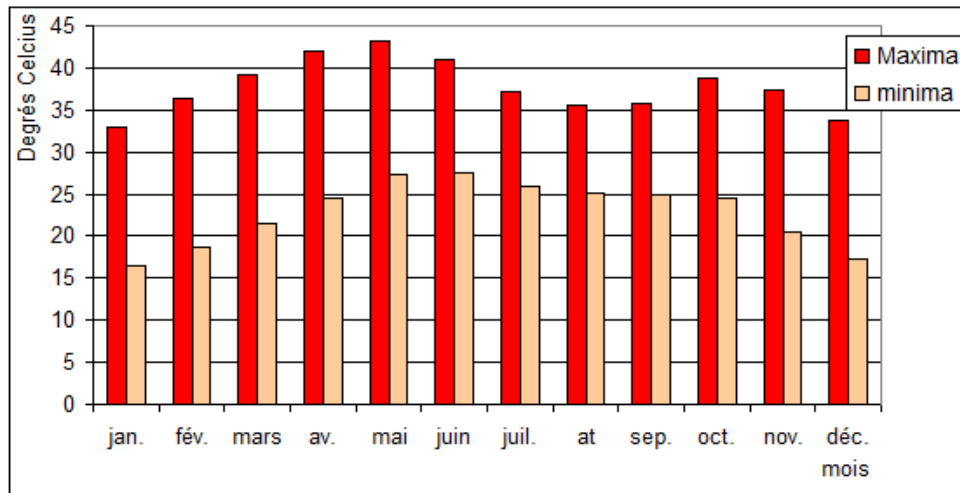
Le minimum est observé au mois de septembre. Ce résultat est en concordance avec l'évolution baissière de la pluviométrie, mettant ainsi en évidence une réduction des formations nuageuses. En effet, l'énergie solaire joue un rôle important dans l'évaporation de l'eau, dans l'échauffement de l'air et bien sûr dans l'activité photosynthétique (YAO, 2013). Donc la forte insolation aggrave le déficit hydrique et participe à la péjoration climatique qui dégrade les paysages (WU, 2003 ; SY, 2008 ; SY 2014). Les données illustrent également le fort lien entre l'insolation et la température.

2.3.4. La température : une forte chaleur et des amplitudes thermiques marquées

Du fait de la situation du pays en latitude tropicale, les températures, sont en permanence élevées et supérieures à 15° C. Néanmoins, elles varient selon les saisons, notamment avec les pluies qui les abaissent. Les maxima principaux se situent avant le début des pluies, en avril, mai ou juin, et une remontée des températures intervient à la fin de l'été, lorsque les précipitations s'interrompent (LEROUX et SAGNA, 2000 cité par PAUL, 2005). La moyenne des températures reste assez élevée durant toute l'année. Deux saisons thermiques alternent : la saison froide et la saison chaude.

La saison chaude va de février à juin avec des températures pouvant aller jusqu'à 47° C. (généralement pas en dessous de 35° C.). L'intensité et la durée de cette période s'expliquent en partie par l'influence du désert mauritanien, qui redistribue des poussières sur toute la zone du *Daande Mayo*. La saison froide va de juillet à janvier avec des températures variant entre 16 et 30° C. Cette saison concerne la saison des pluies de juillet à septembre où l'humidité du sol et de l'air atténue la chaleur et la période de novembre à février qui correspond à l'hiver (figure 12).

Figure 12 : Températures moyennes mensuelles de 1961 à 2010 à la station de Matam



La moyenne annuelle estimée à $30,3^{\circ}\text{C}$. permet de différencier les saisons thermiques.

2.3.4.1. La période des hautes températures

La période des hautes températures va de mars à octobre avec de fortes chaleurs atteignant parfois 48°C . Cette chaleur atteint son paroxysme au mois de mai qui enregistre une moyenne de $35,25^{\circ}\text{C}$. dans la période 1975 à 2004 (BA, 2007). Cela est confirmé par nos calculs sur la période plus longue de 1960 à 2011 où il est enregistré une moyenne des maxima de $43,1^{\circ}\text{C}$. suivi d'avril avec 42°C . et juin $40,9^{\circ}\text{C}$. Toutefois, le rapport entre les maxima et les minima place le mois de juin juste derrière celui de mai et devant avril avec respectivement $34,295^{\circ}$, $34,955^{\circ}$ et $30,405^{\circ}\text{C}$. (d'après les données de l'ANACIM). Cette moyenne cache bien des disparités entre les années mais aussi entre les jours dont certains avoisinent même les 50°C . « ...avec une moyenne périodique de 38°C . quotidiennement, la température oscille entre 16°C . la nuit et 48°C . le jour (soleil au zénith)» (DIALLO, 2006). Cette période elle-même peut être subdivisée en deux sous périodes : la période qui correspond à la saison sèche est particulièrement rude (mai, juin, et juillet). L'autre partie constituée des mois de juillet, d'août, de septembre et d'octobre est moins rugueuse avec des températures tournant autour de 31°C . Cette période concerne la saison des pluies de juillet à septembre où l'humidité du sol et de l'air atténue la chaleur.

2.3.4.2. La période des basses températures (période froide)

La période des basses températures se situe entre novembre et février avec des moyennes mensuelles variant entre 24° et 30° C. Cette période correspond à l'hiver. « Les variations quotidiennes vont de 12° C. la nuit à 34° C. à midi, ce qui entraîne d'importantes amplitudes thermiques jouant sur les activités des populations » (DIALLO, 2006). Pour tous les mois, de fortes amplitudes thermiques sont enregistrées entre les minima et les maxima. Même durant les mois de la période dite froide, pendant le jour de fortes températures sont enregistrées, la plus basse moyenne des maxima mensuels étant de 33° C. en janvier. Inversement, pendant la saison de forte chaleur, les minima mensuels sont tous en deçà de la moyenne annuelle, le minimum mensuel absolu étant de 27,62° C. en juin.

Dans l'ensemble, les températures à Matam sont très élevées avec des amplitudes journalières, mensuelles et annuelles considérables. Cette importance de la chaleur pendant pratiquement toute l'année fait que l'évapotranspiration est très importante. Cette situation rend le milieu aride participant considérablement à la dégradation du couvert végétal et à l'érosion du sol qui, à leur tour, ont de réels impacts sur les activités agropastorales.

La faible nébulosité, la courte saison des pluies, les vents parfois violents et les fortes températures contribuent à une évaporation élevée (RISER, 1999).

2.3.5. L'évapotranspiration et son incidence

D'autres paramètres climatiques doivent être pris en compte, en particulier les températures, la durée de l'insolation, l'humidité de l'air, la vitesse du vent, tous éléments du climat synthétisés dans l'expression de l'évapotranspiration. Cette dernière, en relation avec les totaux des pluies utiles pour la végétation (celles de la saison sèche et du début d'hivernage étant inefficaces à cause de leur faiblesse), permet de calculer les bilans hydriques qui donnent, seuls, les éléments nécessaires à l'évaluation exacte de l'ampleur d'une sécheresse.

A partir de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et des précipitations, et en intégrant dans les calculs un autre paramètre, important, lui aussi, par son rôle régulateur, la réserve d'eau du sol, un bilan peut nous fournir les résultats suivants (LE BORGNE, 1988) :

- les valeurs de l'évapotranspiration réelle, ETR ;
- le déficit hydrique, qui s'exprime par la différence entre ETR et ETP ;

- l'excédent d'eau pour l'alimentation des nappes phréatiques, différence entre le total des pluies utiles et ETR ;
- le rapport entre ETP et ETR, quotient évapotranspiratoire ou « taux de couverture des besoins de la végétation », véritable indice bioclimatique (multiplié par 100 afin d'obtenir des nombres entiers).

En fait, «l'étroite corrélation entre ce rapport et le rendement en matière sèche permet d'apprécier cette dernière, puisque toute réduction de l'évapotranspiration s'accompagne de la fermeture des stomates et par conséquent d'une diminution de la production de matière sèche ». De 100, en climat hyper humide, le rapport ETR/ETP x 100 est de 0 ou voisin de 0 en climat hyperaride. Entre ces deux extrêmes, il existe des situations intermédiaires, sur des bases plus précises que ne le permettent les seules isohyètes auxquelles il est fait recours habituellement, d'autant plus que le choix de celles-ci varie selon les auteurs (LE BORGNE, 1988).

Cette forte diminution des pluies, sur des dizaines d'années, a bien sûr une incidence sur l'écoulement fluvial, l'alimentation des nappes phréatiques et le couvert végétal qui s'est beaucoup réduit, mais la végétation a aussi été dégradée ou détruite par des activités humaines, engendrant des désertisations (MICHEL, 1988). La végétation naturelle est affectée par la variabilité pluviométrique dans sa composition floristique et dans sa structure, ainsi que dans l'adaptation morphologique et écophysologique des espèces qui la composent (LE HOUEROU, 1992).

En définitive, il apparaît que Matam appartient au domaine semi-aride sahélien. Son climat est surtout caractérisé par une pluviométrie assez faible et irrégulière mais relativement importante pour certaines années, des vents dont l'action est pratiquement permanente sur les sols, une insolation permanente avec des températures le plus souvent élevées avec des amplitudes assez importantes et de fortes évapotranspirations qui aggravent l'aridité. Ces caractéristiques du climat impactent sur les ressources hydriques.

3. Un cycle hydrologique caractérisé par des irrégularités interannuelles

La région se trouve dans la zone sahélienne située entre une ceinture de climat humide subéquatorial et une ceinture de climat tropical sec (BARRY et KRAUS, 2009). Cette zone est caractérisée par une longue saison sèche et une courte saison humide ou saison des pluies (MICHEL, 1973 ; LE BORGNE, 1988 ; RISER, 1999 ; BA, 2007 ; SY, 2008 et BARRY ; KRAUS, 2009). Les ressources en eau sont étroitement liées aux données climatiques, les précipitations notamment. Dans la Vallée

du fleuve Sénégal, elles peuvent être classées en deux catégories : les eaux souterraines et les eaux de surface. Ces dernières sont essentiellement composées du fleuve Sénégal, de nombreuses dépressions et d'un ensemble de marigots (SAMB, 2006).

3.1. Les eaux continentales

Les eaux continentales renvoient au réseau hydrographique de la région de Matam. Elles sont constituées par le fleuve Sénégal qui ceinture la région sur toute la frange Nord-est sur environ 200 km, des mares des plateaux, de cours d'eau temporaires et de céanes. Les mares d'eau apparaissent à la faveur d'effondrement dans les cuirasses latéritiques et il n'est pas possible de les recreuser économiquement pour qu'elles soient utilisables pour l'élevage (SENE, 2009). Les eaux continentales comprennent la partie de l'hydrosphère qui, au cours du cycle de l'eau, circule ou stagne sur les terres émergées.

Suivant la position et le mouvement de l'eau au cours du cycle, celle-ci reçoit tel ou tel qualificatif (BA, 2007). Il s'agit des eaux stagnantes, des eaux de ruissellement et du fleuve et ses crues. Les pluies constituent le principal transfert d'humidité de la vapeur d'eau de l'air vers le sol. Le cycle hydrologique s'achève par l'évaporation. La déperdition d'eau du sol par évaporation est importante lorsqu'on veut déterminer les précipitations "efficaces". L'évaporation est d'autant plus importante que les vents sont plus forts, que les températures sont plus élevées et que l'humidité est plus faible.

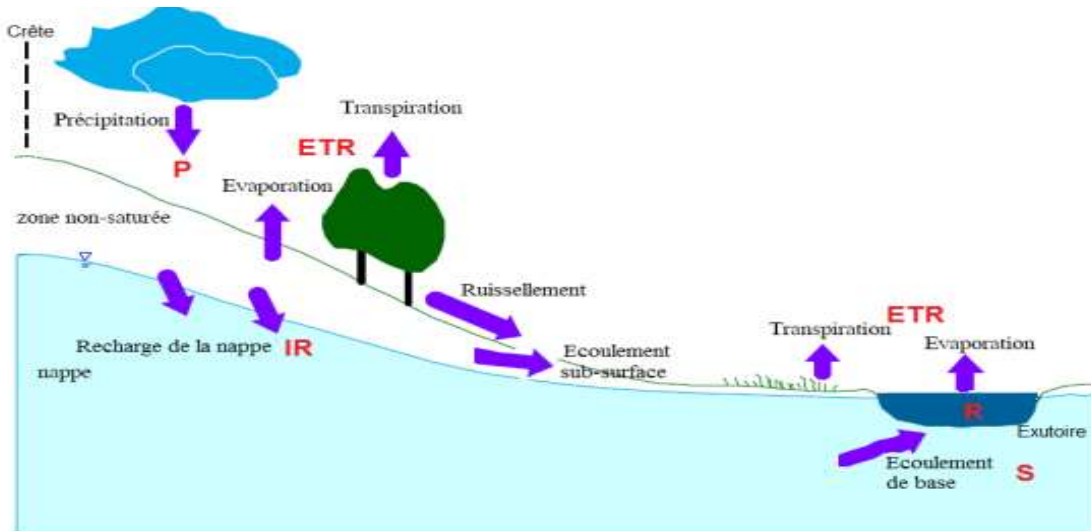
3.1.1. Les eaux stagnantes et les eaux de ruissellement

Les eaux stagnantes sont les lacs, les étangs, et les marécages. Pendant la saison des pluies, la région se couvre d'une multitude de petites mares temporaires alimentées par la pluie. Un déficit hydrique est noté dans la région dans le courant des dernières décennies (BA, 2007). Il se situe entre 12 et 35 % au niveau de la capitale régionale, est la conséquence de la baisse des précipitations. Ces mêmes précipitations expliquent le ruissellement. Ce dernier s'inscrit dans le contexte du bilan hydrologique du bassin versant du fleuve Sénégal.

En effet, le bilan hydrologique est établi à l'échelle d'un bassin versant dont la limite est généralement déterminée à partir de la topographie même s'il peut aller au delà de la limite topographique, notamment en incluant des écoulements souterrains (IBRAHIM, 2012). Il s'agit de l'espace à l'intérieur duquel toute goutte d'eau qui tombe, et qui ruisselle, converge vers l'exutoire

du bassin. C'est donc l'ensemble des surfaces drainées par un cours d'eau et ses affluents en amont de l'exutoire (IBRAHIM, 2012). Ainsi, plusieurs processus hydrologiques se déroulent dans le bassin versant (figure 13).

Figure 13 : Schéma type des différents mécanismes hydrologiques sur un bassin versant



Source : MERRIEN-SOUKATCHOFF (2011 cité par IBRAHIM, 2012)

Le bassin versant est donc considéré comme un système fermé où (MUSY, 2011). Le bilan hydrologique à l'échelle du bassin prend en compte toutes les entrées d'eau, les sorties d'eau et le stockage d'eau sur le bassin.

Toutefois, l'alimentation du bassin versant est difficile à estimer sur beaucoup de bassins de la zone sahélienne du fait d'un manque de données sur les nappes. C'est pourquoi, l'analyse du fonctionnement hydrologique d'un bassin consiste à déterminer la fonction de répartition de toute la quantité de pluie entrant dans le bassin en évaporation, recharge, écoulement à l'exutoire et variation du stock d'eau du sol (IBRAHIM, 2012). La connaissance des mécanismes physiques derrière les différents éléments nécessite une exploration des caractéristiques physiques du bassin (topographie, géologie, sol, végétation et climat). Les écoulements à l'exutoire sont constitués des ruissellements de surface, des écoulements sub-surface et des écoulements de base qui proviennent des nappes. Ainsi, les principaux mouvements de l'eau à l'intérieur d'un bassin sont décrits par les processus de transfert de l'eau de la surface à la nappe et des processus de transfert de l'eau de la surface et des couches du sol vers l'exutoire (IBRAHIM, 2012).

Les eaux de ruissellement sont celles qui s'écoulent à la surface du sol à chaque fois que la pluie tombe sur un sol imperméable ou imperméabilisé. Ces eaux ruissellent rapidement, se concentrant dans les talwegs, et sont cause d'inondations. Dans des localités comme Ourosogui, elles sont, parfois, à l'origine des inondations ; ce sont les eaux provenant de tout le *Diéri*, se déversent sur le *Walo* en passant par le *Jeejengol*. Ce phénomène est dû à l'orientation générale de la pente du *Diéri* vers le *Walo*, caractérisée par la platitude des terrains de la plaine alluviale du fleuve (BA, 2007).

3.1.2. Le fleuve et les crues

La Région de Matam est marquée par la présence du fleuve Sénégal. C'est sa plus importante ressource en eau de surface; elle est pérenne et à usages multiples. Ce fleuve revêt une importance sociologique certaine.

Son bassin versant est constitué de trois aires principales : le Haut-bassin, la Vallée alluviale et le Delta. Ces régions se différencient fortement par leurs conditions topographiques et climatologiques (MICHEL, 1973 ; SAMB, 2006 ; SY, 2008). Mais seule une partie de la vallée (la Moyenne Vallée) concerne la Région de Matam. Cette aire même se subdivise en trois sous-ensembles géographiques (DIOP, 2004 ; KAERE, 2007 ; BA, 2009).

Le *Diéri* est un plateau constitué par un modelé dunaire aplati composé de sols sableux. Il représente environ 50 % de la superficie de la région. En saison des pluies entre juillet et octobre, il accueille les cultures sous pluies (mil, sorgho, niébé) et sert de zone de pâturage pour le troupeau ;

Le *jejengol* est constitué par les terres de transition entre les terres alluviales du *walo* et le plateau sableux du *Diéri*. C'est la zone des champs de proximité des villages, en cultures sous pluies et pour l'élevage du petit ruminant. Il constitue environ 10 % des terres ;

Le *Walo* est la partie assimilée au lit majeur du fleuve est inondée chaque année pendant l'épisode de crue. Il est aussi appelé *Dande Mayo* par extension (DIOP, 2004).

Et dans cette zone éco-géographique, le fleuve joue un rôle important dans la vie socioéconomique et dans les processus morphopédologiques de la vallée (Départements de Kanel et de Matam, du sud au nord), notamment grâce aux crues. Dans ce contexte, l'étude du rôle du fleuve suppose d'examiner au préalable le réseau hydrographique dans son ensemble.

3.1.2.1. Le fleuve Sénégal au centre d'un important réseau hydrographique

Le fleuve Sénégal traverse la région du Nord-est sur 200 kilomètres. Le fleuve et ses défluent rythment la vie de ses habitants en imprimant un cachet original à la région. Une des grandes particularités de la Région de Matam est certainement l'importance de ses terres inondables liées à la dynamique du fleuve (DIOP, 2004). Le fleuve Sénégal est, du fait de la surface de son bassin versant et l'importance de ses écoulements, la septième artère fluviale d'Afrique et la deuxième de l'Afrique de l'Ouest juste après le fleuve Niger (BARRY et KRAUS, 2009). Il traverse la région sur 160 kilomètres du sud-est au nord-ouest servant de frontière entre le Sénégal et la Mauritanie (photo 12).

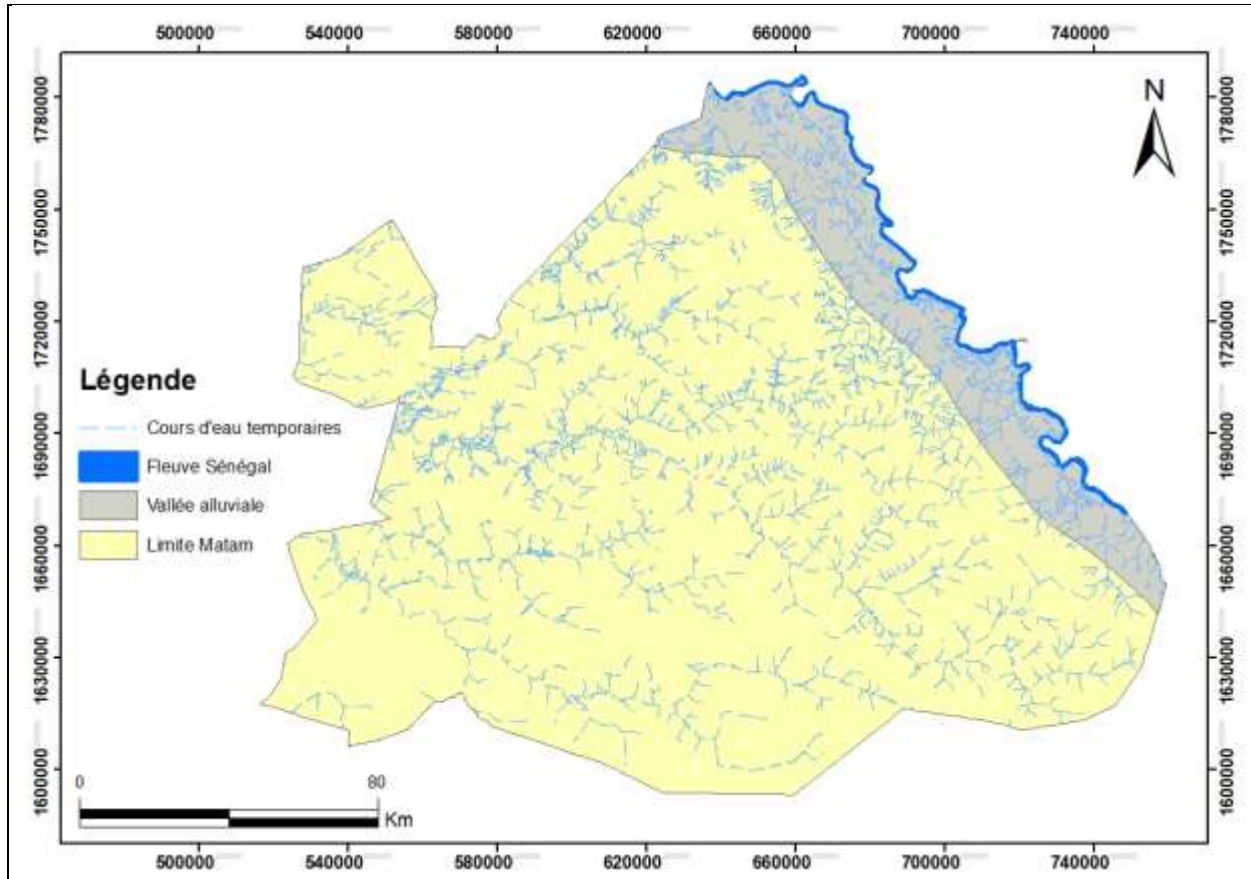
Photo12 : Vue des deux rives du Sénégal à Bow et à Matam



Dans la partie amont, à hauteur de Sinthiou Bamambé, le Sénégal se scinde en deux pour donner le Dioulol, puis le Navel à hauteur du nom du même village à 1 km au sud de Matam. Le Navel se termine dans une grande dépression (le Kolangal Ourosogui) entre Ourosogui et Matam. En aval de Matam, à hauteur de Diamel, le fleuve se scinde à nouveau en deux bras : le bras central qui continue sa descente vers le nord et un défluent, aussi appelé le Diamel. Ce dernier passe par les localités de Tiguéré, Ndouloumadji, Mbakhena, Ranoua, pour finir dans une grande dépression en aval de Thilogne. Le fleuve Sénégal passe par les localités de Somona, Nguidjilone, Dondou Djowol, Gaol, etc. Le Diamel maille à son tour cette partie aval en de multiples petits cours d'eau secondaires comme le Babangol, le Yarnde, le Hiido, le Mayel, etc. En plus de ces cours d'eau

presque pérennes. La Région de Matam compte aussi de grandes mares comme le Barga, Tiguéré Yéné (carte 6).

Carte 6 : Le réseau hydrographique de la Région de Matam



En bonne saison des pluies, la crue peut atteindre 8,5 m de hauteur à Matam, assurant ainsi une bonne couverture des terres pour la culture de décrue de toute la région. De même une bonne partie des terres du Walo sert de pâturage pour le bétail durant la longue saison sèche.

3.1.2.2. Variation fluviale saisonnière

Les crues sont des événements généralement liés à des situations météorologiques exceptionnelles [pluies longues ou intenses]. Les crues de grand bassin fluvial de plateau et de plaine se forment à la suite de pluie abondantes et longues qui provoquent un relèvement des nappes et une saturation des sols; la montée des eaux peut s'étendre sur plusieurs jours (GAUTIER et TOUCHARD, 1999). Le Sénégal peut être classé comme un fleuve alimenté par des averses tropicales (GAC et KANE, 1986 cité par BARRY et KRAUS, 2009). «Son régime hydraulique présente de deux saisons distinctes :

une saison de flux haut (hivernage, avec averses) de juillet-juin à novembre-octobre avec un sommet à la mi-septembre à début octobre et un flux bas pour le reste de l'année avec une baisse graduelle dans le débit fluvial jusqu'au début de la saison suivante» (SAMB, 2006 ; BARRY et KRAUS, 2009). Le régime d'écoulement du fleuve Sénégal dépend essentiellement des précipitations dans le Haut-Bassin (MICHEL, 1973 ; SY, 2008 ; BARRY et KRAUS, 2009).

SY (2013), reprenant l'analyse des apports des charges solides par le fleuve (KANE, 1985) décèle généralement trois phases. La première phase est dite « période d'érosion précoce ». Elle se produit en début de la saison des pluies (début de crue) qui s'étale sur 20 à 30 jours et se traduit par une augmentation rapide de la turbidité et du débit du fleuve. Cette phase correspond essentiellement à l'arrivée des matières en suspension apportées par le ruissellement superficiel provoqué par les premières averses. La seconde phase est dite « période d'érosion tardive ». Elle correspond au passage de la crue et peut durer 02 mois. Pendant cette phase, la charge en suspension diminue dans le cours d'eau au moment où les débits augmentent. Elle correspond à l'érosion des berges et du lit mineur du fleuve. La dernière période est dite d' « alluvionnement ». Elle se produit en fin de crue. Elle est marquée par une diminution de la turbidité et des écoulements et se poursuit jusqu'à la fin de la crue (SY, 2013). L'autre caractéristique importante du régime du fleuve est son irrégularité interannuelle.

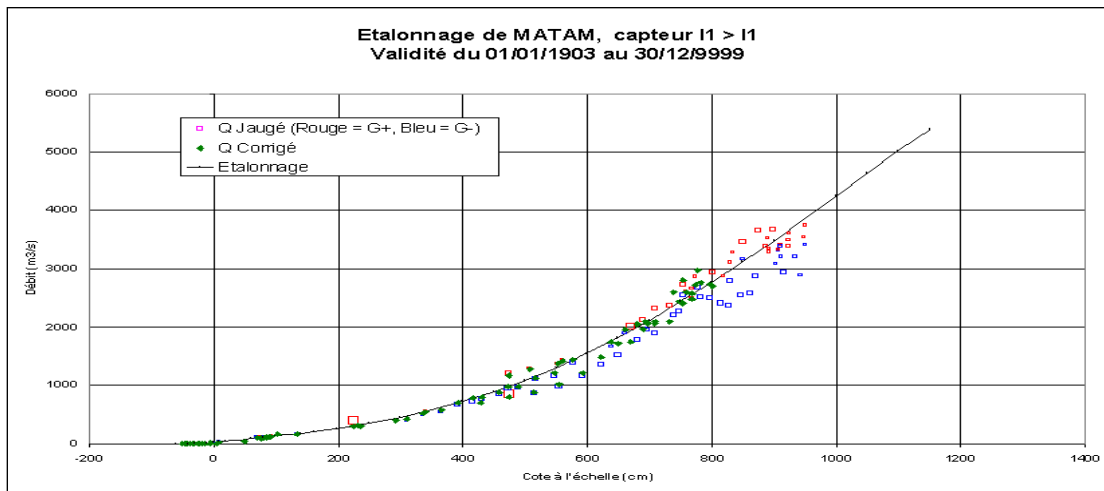
3.1.2.3. L'irrégularité interannuelle du régime du fleuve

Une des caractéristiques majeures du fleuve Sénégal est l'irrégularité interannuelle de son régime (SAMB, 2006 ; KAERE, 2007 ; SY, 2010). L'écart du débit moyen annuel entre les années les plus humides et les années les plus sèches peut varier considérablement (SAMB, 2006). Les surfaces inondées sont plus ou moins vastes en fonction de la force des crues. Il a été observé des inondations d'une ampleur exceptionnelle dans toute la vallée du fleuve Sénégal lors du maximum de la crue de 1954 où un débit de l'ordre de 5800 m³/s a été observé à Bakel (NDIAYE, 2003 ; BA, 2008).

« Cette irrégularité interannuelle des crues a pendant longtemps constitué un des principaux handicaps dans la Vallée, en ce sens qu'elle réduisait les possibilités d'une production agricole garantie dans cette zone étroite, encadrée par deux zones désertiques. En outre, la superficie des zones cultivables après la crue pouvait varier suivant l'importance, la durée et la date de la crue » (SAMB, 2006).

La durée des crues (occupation du lit majeur) est néanmoins tributaire de la durée de l'hivernage dans le haut bassin. Le retrait des eaux commence avec la baisse des précipitations dans le haut bassin, généralement en septembre. Cette situation entraîne rapidement la décrue à Bakel dès septembre. Cependant, en aval de la station, du fait des eaux restituées, par le lit majeur au fleuve, entre la seconde quinzaine du mois d'octobre et la première moitié de novembre, la décrue ne se fait véritablement sentir à Matam qu'en novembre avant de se poursuivre beaucoup plus rapidement (BA, 2007 ; KAERE, 2007). Pendant la période d'étiage, comprise entre novembre et juin et au cours de laquelle aucune précipitation importante n'est enregistrée, les débits du fleuve et de ses affluents diminuent progressivement (SAMB, 2006), figure 14.

Figure 14 : Les côtes Moyennes journalières à Bakel



Source : SAMB (2006)

En plus des crues qui occupent tout le lit majeur du Sénégal pendant l'hivernage, il y a des défluent du fleuve, comme le Diamel (Ballel : le 16 septembre 2016), photo 13.

Photo 13 : Le Ballel à hauteur de Tiguéré Yéné, en période de crue



Le Ballel Diamel qui se détache du Sénégal au niveau du village éponyme à un kilomètre au nord de la ville de Matam est le plus important défluent. Il se prolonge sur des dizaines de kilomètres jusqu'aux environs de Diorbivol et répand ses crues sur une bonne partie du *Daande Mayo*. Mais au sud un autre défluent ceinture la commune de Matam, quoi que moins puissant : c'est le Dioulol appelé aussi *Thiangol Navel* (photo 14).

Photo 14 : Vue du Djoulol en février 2005, saison sèche



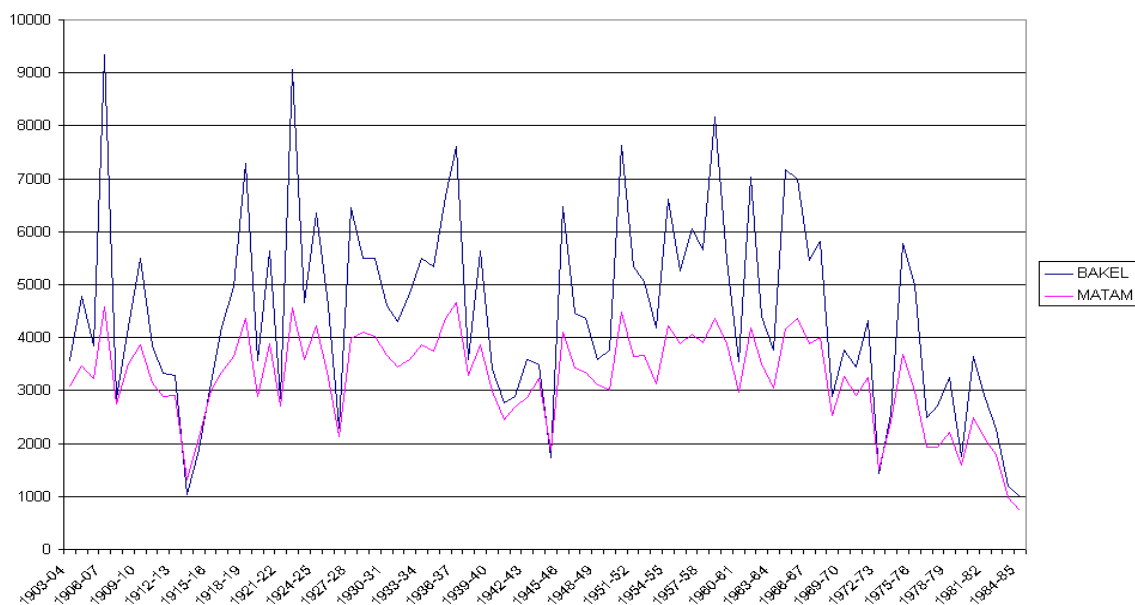
Source : BA (2007)

La photo 14 montre le Dioulol. Elle est prise en saison sèche mais pendant l'hivernage les eaux ceinturent le quartier de Navel et tout le côté sud de la commune. Souvent, les crues inondent la ville à partir de ce défluent. Pendant l'hivernage, le trop plein d'eaux de Diamel et

de Dioulol et les eaux de ruissellement venant du Ferlo vont s'étaler dans une vaste cuvette de décantation. La cuvette devient une zone d'épandage pour former le *Kollangal* Matam-Ourossogui (BA, 2007).

Cependant, le déficit constaté depuis la fin des années 1960 a grandement affecté le fleuve (BA, 2007 ; SY, 2010). Et pour étudier les débits et le cours du fleuve l'échelle limnométriques sur la station de Matam a été installée en 1903 (figure 15).

Figure 15 : Comparaison des débits maximums entre Bakel (amont) et Matam



Source : KAERE (2007)

La même courbe de tarage est utilisée pour toutes les transformations de hauteur, depuis 1903. Les jaugeages sont souvent actualisés pour contrôler la validité de la courbe. Ils sont effectués aussi bien en période de crue qu'en période de décrue (KAERE, 2004).

Néanmoins, avec la mise en service des barrages de Diama et de Manantali, le potentiel en eau de surface s'est renforcé du fait de l'action de régulation des barrages (SENE, 2009). Toutefois, cette régulation n'éradique pas définitivement la menace des inondations causées par des crues (BA, 2007). Dans le département de Ranérou Ferlo, le potentiel en eau de surface est très limité. L'essentiel des eaux superficielles se trouve dans la partie septentrionale du département (SENE, 2009). La Région de Matam héberge de ressources souterraines considérables.

3.2. Les eaux souterraines

Les eaux souterraines sont dans l'ensemble abondantes (SENE, 2009). La découverte de la nappe du Maestrichtien (en 1938) et son exploitation par les ouvrages hydrauliques représenteront un tournant très important dans la gestion des ressources pastorales du Sénégal septentrional (DIOP, 1989). Pour satisfaire les besoins en eau de la population, face à l'insuffisance d'eau de surface qui répond aux normes d'usage, le Sénégal s'appuie sur l'exploitation des ressources en eau souterraine. Une politique hydraulique villageoise est mise en œuvre à cet effet. Ces ressources en eaux souterraines s'identifient par leur appartenance aux différents aquifères. Elles ne sont disponibles qu'à partir d'installations artificielles. Elles sont regroupées en deux catégories majeures : les eaux d'infiltration et les eaux de nappe.

3.2.1. Les eaux d'infiltration

Les eaux d'infiltration pénètrent à travers les pores du sol. Elles sont entraînées en profondeur par la gravité. Ces eaux peuvent être retenues par les pores capillaires (eaux de rétention capillaire) ou descendre à travers les pores et vides non capillaires (eaux de percolation) et atteindre ainsi la nappe phréatique (BA, 2008). Les eaux d'infiltration sont piégées par les couches non saturées et seraient reprises par l'évaporation ou resteraient en attente des apports complémentaires des années suivantes, et ne finiront par aboutir à une recharge de la nappe qu'en cas de bonnes précipitations prolongées (SIGHOMNOU, 2004). Cette ressource en transition atteint les nappes.

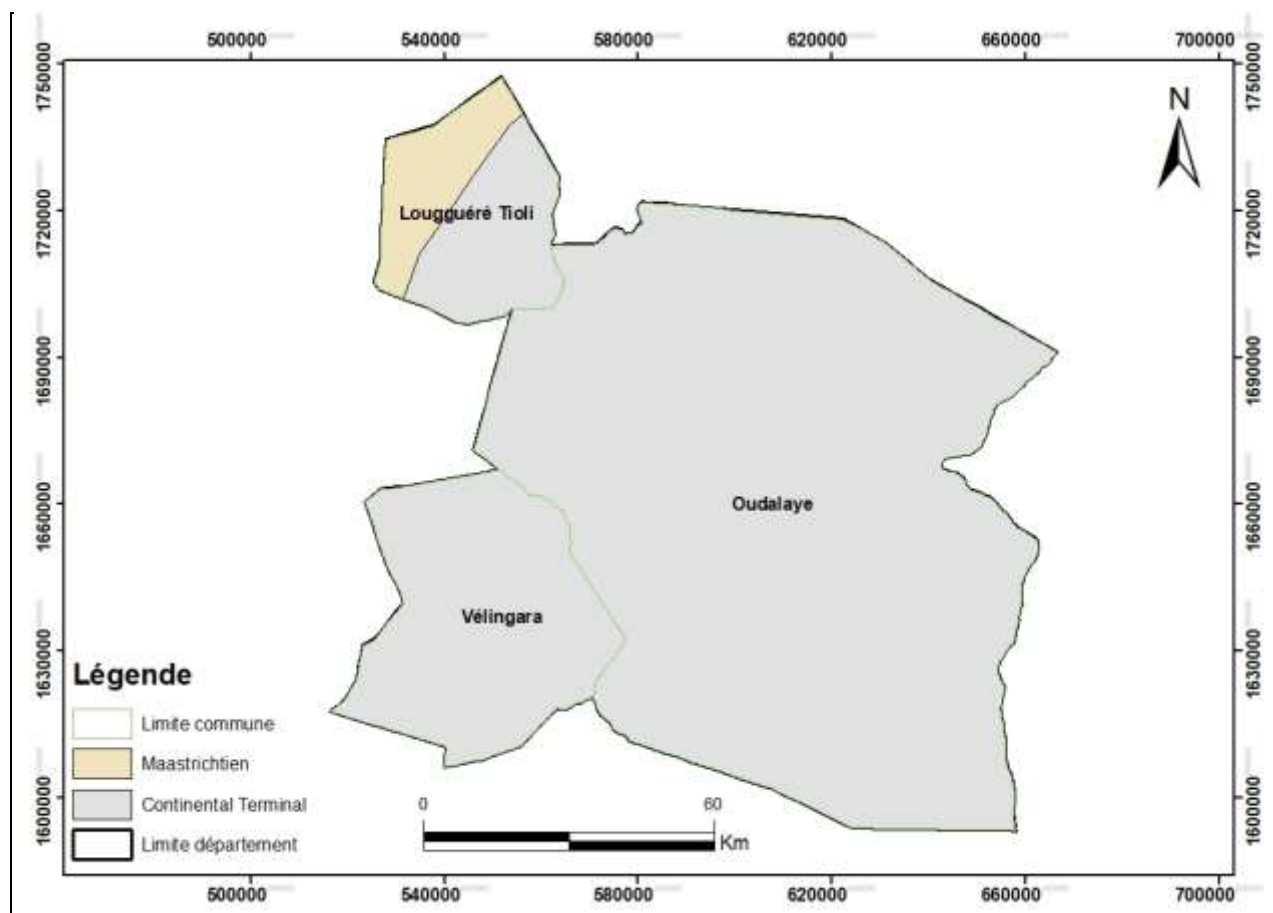
3.2.2. Les eaux de nappe

Les nappes dont les eaux sont disponibles dans la région sont la nappe profonde et la nappe phréatique.

3.2.2.1. La nappe profonde

La nappe du Maestrichtien dont la profondeur peut atteindre parfois 300 mètres est captée par les forages (SENE, 2009). Elle couvre les 4/5 du territoire national avec une potentialité de 500000 m³/jour. Elle est, au niveau national, la nappe la plus utilisée avec des forages atteignant parfois 400 m. Du fait de sa profondeur, cette nappe n'est accessible que par forage. Elle se situe à moins de 90 m dans la commune de Matam et assure l'essentiel du ravitaillement en eau potable pour les besoins des populations. Dans le département de Ranérou, elle est la seule source d'eau souterraine (carte 7).

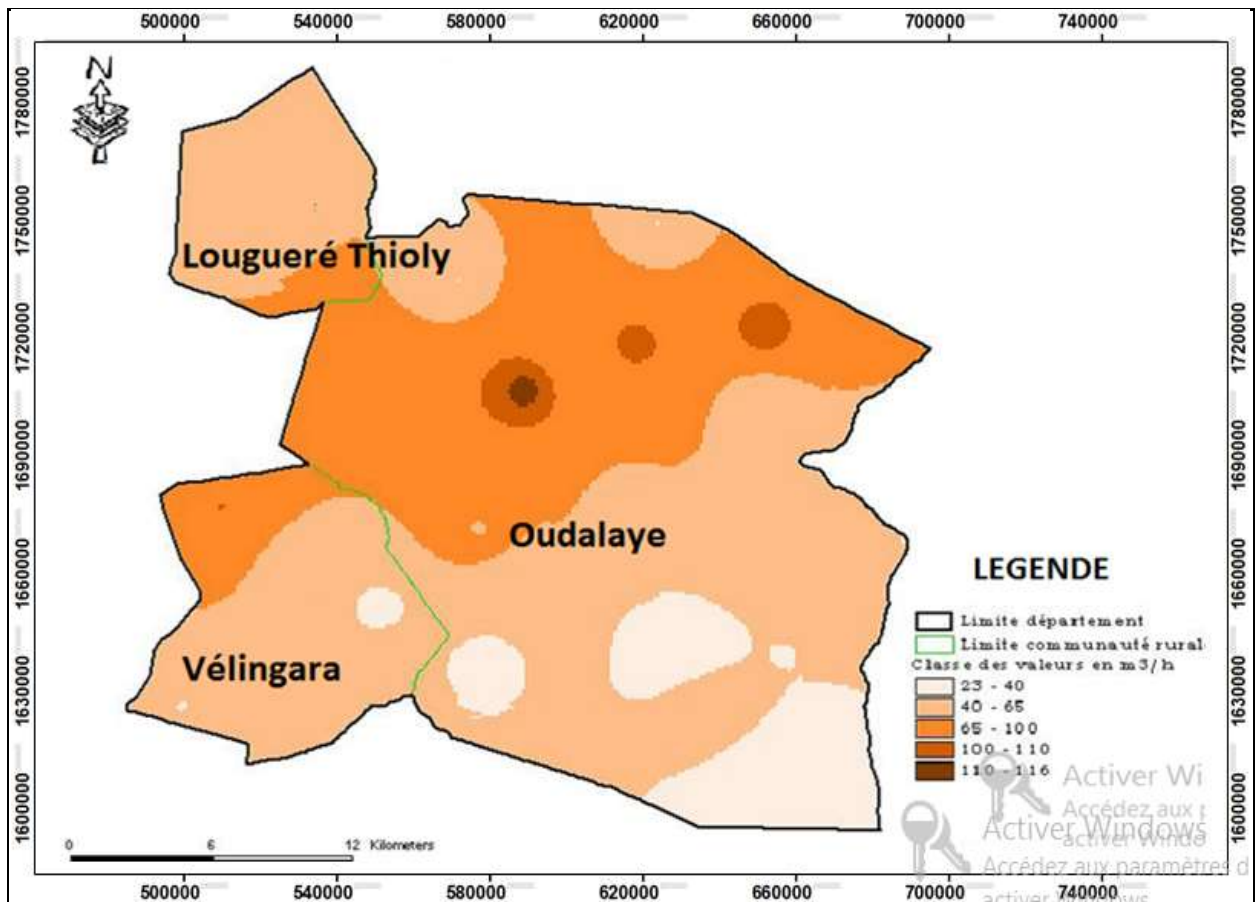
Carte 7: Potentiel aquifère du Département de Ranérou Ferlo



Deux grands ensembles d'aquifères sont distingués dans le Département de Ranérou:

- les aquifères du Continental Terminal, de l'Oligo-Miocène et du Maastrichtien qui se superposent et occupent la presque totalité du département ;
- l'aquifère du Maastrichtien qui se trouve sur une petite partie occidentale de la communauté rurale de Lougré-Thiolly (carte 8).

Carte 8 : Les débits de l'aquifère du Maastrichtien dans le Département de Ranérou Ferlo



Source : D'après SENE, 2009 (adaptation BA, 2018).

Cependant, les conditions d'alimentation de ces nappes par infiltration directe des eaux de pluies sont très défavorables dans les régions septentrionales. Beaucoup d'études hydrologiques faites en Afrique Occidentale (ARCHAMBAULT, 1960 ; MICHEL, 1973) ont montré l'importance du seuil des 400 mm de pluies annuelles appelé seuil «de HUBERT». En deçà de ce niveau l'alimentation directe par les pluies est impossible puisque toute l'eau s'évapore. D'ailleurs, d'aucuns pensent qu'à l'intérieur du Sénégal ce seuil peut s'élever jusqu'à 500 mm, ce qui pourrait être le cas du Ferlo du fait de la forte évaporation. En effet, dans la Région de Matam la nappe est pour l'essentiel alimentée par les crues car un apport direct des pluies semble impossible à cause des conditions climatiques et de la profondeur de la nappe. Cette importante réserve d'eaux souterraines, qui peut donner des débits de plusieurs $m^3/h/m$, se serait constituée au cours du Quaternaire pendant des périodes à précipitations beaucoup plus abondantes (MICHEL, 1973). Il s'agit de la nappe du Continental Terminal très répandue sous la zone sylvo pastorale (SY, 2008). Les nappes du

Continental Terminal, de l'Oligo-Miocène et du Maastrichtien sont plus productives dans la partie centrale du département de Ranérou Ferlo avec des débits variant de 65 à 110 m³/h (SENE, 2009). Le réseau hydrographique est dominé par le fleuve Sénégal et ses crues. Il est fonctionnel essentiellement dans le domaine alluvial contrairement au Ferlo où il est plutôt fossile.

3.2.2.2. La nappe phréatique superficielle

Les nappes peu profondes ou phréatiques sont atteintes à partir de puits dont la profondeur varie entre 25 et 100 mètres (SENE, 2009) : les nappes de l'Éocène et du Continental Terminal captées entre 100 et 200 mètres. La recharge de la nappe dépend essentiellement d'un fonctionnement hydrogéologique pluriannuel. L'«effet mémoire» de la sécheresse peut durablement impacter les écoulements même après la reprise des précipitations, surtout dans le milieu sahélien (SIGHOMNOU 2004).

En retour, certains auteurs (BRAVARD et PETIT, 2000 ; SIGHOMNOU, 2004) montrent comment des déficits pluviométriques successifs jouent sur le régime hydrologique des fleuves d'Afrique intertropicale. Ils font l'hypothèse que l'augmentation considérable du coefficient de tarissement dans la période sèche correspondrait essentiellement à une réduction de l'extension de la quantité d'eau dans les nappes. C'est pourquoi, l'augmentation de l'épaisseur de la tranche aérée du sol au-dessus de la surface piézométrique (résultat de la baisse constante du niveau piézométrique) ne permet pas alors une réalimentation facile des nappes (SIGHOMNOU, 2004).

La nappe phréatique de Matam entre dans ce cas de figure car elle est peu profonde. C'est la nappe du Continental Terminal, qui couvre la quasi-totalité du territoire national avec près de 450 000 m³/jour. Mais ce chiffre est revu à la baisse ces dernières années (vision nationale sur l'eau à l'horizon 2025). Elle est plus accessible aux populations qui la captent par des puits. A Matam, elle est généralement accessible à moins de trente mètres -30 m (BA, 2008).

Conclusion

Au plan géologique et morphopédologique la région est couverte d'unités datant du quaternaire (surtout dans les départements de Matam et de Kanel) et du Pliocène comme la cuirasse du Continental Terminal dans le Département de Ranérou. Dans le domaine alluvial, les unités géomorphologiques sont des levées, des terrasses et des cuvettes. Les types de sols rencontrés sont hydromorphes, peu évolués à bruns sub-arides. Le Ferlo est un ensemble de plateaux cuirassés associé aux glacis et aux systèmes dunaires inchirien et ogolien. Le soubassement d'ensemble du bassin du Ferlo est constitué de la nappe détritique du Continental terminal, reposant sur des calcaires de l'Eocène. Dans tous les cas, les paysages portent l'empreinte des changements de climats à travers les âges géologiques.

L'étude des paramètres climatiques a montré la transition entre le climat soudanien et le climat sahélien. Certains éléments comme la pluviométrie ont directement des incidences sur les cultures et sur les fourrages alors que d'autres facteurs tels les vents, l'insolation ou les fortes températures ont des incidences indirectes. La sécheresse climatique a négativement impacté le cycle hydrologique.

Les contraintes climatiques dont souffre la Région de Matam s'ajoutent au déficit doublé d'une irrégularité hydrologique. Cela entraîne une dégradation marquée de l'environnement. Cette dégradation se perçoit à travers de vastes surfaces dénudées et exposées à l'érosion hydrique et, surtout éolienne. Cette situation peut influencer négativement sur les activités agropastorales en favorisant le ruissellement des eaux et l'imperméabilité des sols des différentes unités morphopédologiques. A cet égard, elle entretient une relation étroite avec la morphodynamique de la région.

Chapitre 3 : Analyse d'indices d'aridité, d'échantillons des sols et des données sur la dégradation des rendements et de l'environnement

Dans ce chapitre, les résultats des indices d'aridité, de l'échantillonnage des sols, des enquêtes effectuées auprès des populations sont présentés, interprétés et discutés.

1. L'étude de la sécheresse et de l'aridité

La sécheresse a une multitude de définitions ayant une caractéristique commune, qui est le déficit hydrique (SY, 2013). Selon MAINGUET (1995) elle résulte d'un déficit pluviométrique temporaire par rapport à la précipitation normale. La Région de Matam se définit en permanence par l'aridité. Le concept de sécheresse est apparenté à celui d'aridité mais différent. Cela la classe parmi les risques écologiques majeurs du XXI^e siècle selon SY (2008) qui évoque un fléau touchant l'ensemble des activités rurales :

« Il entraîne des morts (hommes et bétail) et des réductions considérables de récoltes ; les paysages végétaux disparaissent à grande échelle, des terres arables sont arrachées par l'érosion en l'espace de quelques décennies, menaçant l'existence humaine » (MAINGUET, 1995).

1.1. Distinguer la sécheresse de l'aridité

Contrairement à la sécheresse qui désigne une situation conjoncturelle et parfois sectorielle, l'aridité renvoie à une situation structurelle caractérisée par un déficit permanent. L'aridité est aussi liée à d'autres données climatiques dont une forte insolation, des températures élevées, une faible humidité de l'air et l'intensité de l'évaporation, voire les vents (MAINGUET, 1995 et RISER, 1999). L'aridité affecte des régions, ce qui renvoie à une notion spatiale : une région peut être qualifiée d'aride et non une période. L'aridité a plutôt une signification bioclimatique car elle peut être appréciée à travers la végétation, l'humidité relative, les stocks d'eau disponibles dans les formations superficielles, etc. L'OMM (1966 cité par SY, 2008) définit l'aridité comme *« le caractère d'un climat vis-à-vis de l'insuffisance des précipitations pour maintenir la végétation »*. L'aridité peut être maintenue par un air sec descendant (réchauffement adiabatique) des cellules anticycloniques persistantes au-dessus de zones-subtropicales. L'aridité est aussi un fait de sol, il y a aridité quand :

$P < (D \text{ drainage en surface} + D \text{ drainage souterrain}) + E$ ou $P = \text{précipitation}$; $D = \text{drainage}$; $E = \text{Evaporation}$. P et E dépendent du climat, D dépend des caractéristiques physiques des sols.

Le mot aridité désigne les régions marquées par des pluies très faibles. Ces contraintes bioclimatiques ne permettent pas la régénération correcte des ressources primaires (sols et des paysages végétaux) dont le rythme de destruction par des pressions physiques et anthropiques prépare le terrain à la déflation. Le Ferlo et la moyenne vallée du Sénégal sont soumis à ces conditions depuis plusieurs décennies (BA, 2008 ; SY, 2008). L'aridité est, généralement, due à la présence d'un air sec descendant. Aussi, la trouve-t-on surtout dans des lieux où les conditions anticycloniques sont persistantes, comme c'est le cas dans les régions situées sous les anticyclones des zones subtropicales. L'influence des anticyclones subtropicaux sur les précipitations s'accroît avec la présence de surfaces fraîches (RISER, 1999).

Les écosystèmes sahéliens, leur équilibre et leur système de production sont les plus affectés par la sécheresse selon MAINGUET (1995). Reprenant CHONCHROL (1989) elle définit les sécheresses comme « des données climatiques brutales, catastrophiques naturelles comme les inondations et les tremblements de terre ». Le concept de sécheresse est ambigu. Il est surtout relatif à l'homme et à ses besoins. La sécheresse se manifeste dans le temps (période sèche), tandis que l'aridité est un phénomène spatial (région aride). Les déficits pluviométriques ne se traduisent pas automatiquement par des déficits correspondants de l'évapotranspiration réelle, sauf dans les zones aride et semi-aride où ETR est égale aux précipitations, et où la végétation ne dispose d'aucune réserve du sol (RISER, 1999 ; IBRAHIM, 2012). En effet, dans ces milieux la circulation de l'air tend à accroître l'évaporation du sol. Les éléments fins du sol desséchés perdent une partie de leur cohésion et l'écoulement turbulent de l'air sur la surface provoque une dépression susceptible de déloger puis de soulever les particules (SY, 2008). Cette situation expose en même temps les formations superficielles à l'érosion hydrique.

1.2. Les manifestations variées des sécheresses à Matam depuis 1961

La brutalité des modifications pluviométriques enregistrées en Afrique a poussé certains chercheurs à s'intéresser à des séries chronologiques de pluies annuelles à des modèles faisant appel à des discontinuités et en particulier à des sauts de la tendance centrale (HUBERT et CARBONET, 1993). Cette méthode permet de distinguer trois grandes phases relativement sèches et relativement humides depuis 1960 (tableau 10).

Tableau 10 : Segmentation d'HUBERT de la pluviométrie à Matam de 1961 à 2010

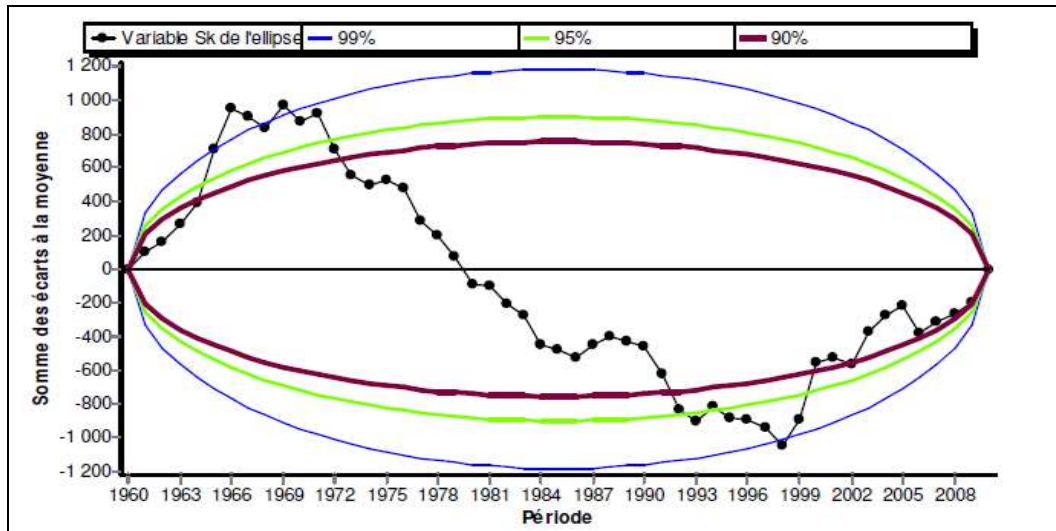
| Début | Fin | Moyenne | Ecart type |
|-------|------|---------|------------|
| 1961 | 1966 | 540,267 | 99,514 |
| 1967 | 1998 | 319,738 | 87,394 |
| 1999 | 2010 | 469,375 | 126,958 |

L'analyse du tableau 10 révèle la succession de phases climatiques contrastées à Matam. La période de 1961 à 2010 révèle trois principales phases d'abord de 1961 à 1966 avec une moyenne pluviométrique de 540,267 mm et un écart type de 99,514. Ensuite, il ya une longue phase allant de 1967 à 1998 avec 319, 738 mm pour un écart type de 87,394. Enfin, la dernière phase va de 1999 à 2010 avec une moyenne pluviométrique de 469,375 mm, soit un écart type de 126,958. Cette alternance de périodes sèches et d'occurrences relativement humides rappelle l'irrégularité interannuelle des précipitations. Mais malgré l'irrégularité on remarque que la phase la moins pluvieuse est la plus longue. Quant au retour à une certaine pluviosité noté entre 1999 et 2011, il n'enlève en rien la tendance générale à l'aridification.

Une telle situation impacte fortement sur les activités agropastorales car elle contribue aussi bien à la baisse de la production de l'agriculture sous pluies qu'à celle du bétail ; en même temps que la végétation pérenne s'adapte difficilement d'où des surfaces de plus en plus dénudées et le recul des feuillus à la faveur des épineux. De ce fait les agents d'érosion, principalement le vent, trouvent un terrain qui les rend particulièrement efficaces. C'est ce qui explique la prédominance des actions mécaniques dans la dynamique érosive de la région.

Il en ressort donc une confirmation des thèses selon lesquelles malgré les années relativement pluvieuses la sécheresse qui a débuté vers les années 1970 se poursuit (MICHEL, 1973 ; HUBERT et CARBONET, 1993 ; WU, 2003 ; SY, 2008). Cette situation se confirme par les résultats du test de BUIHAND présentés sous forme d'ellipse (figure 16).

Figure 16 : Tendence de la pluviométrie à Matam de 1961 à 2010



L'ellipse permet de constater que la série chronologique de pluies suit une loi normale et témoigne l'existence de ruptures. L'allure de la variable Sk (somme des écarts à la moyenne) de l'ellipse la de série de pluviométrique de la station de Matam révèle une non-stationnarité. En effet, plusieurs points correspondant à la somme des écarts cumulés à la moyenne sortent des intervalles de confiance qui sont respectivement de 99 %, 95 % et 90 %.

Les enjeux de la variable d'ellipse et de toutes les études de stationnarité sur les séries hydrométriques ou pluviométriques sont multiples. Elle met en relief les principales séquences (tableau 10) en même temps qu'elle indique la tendance générale. Cette dernière est à la baisse malgré quelques années au dessus de la moyenne. Et la légère hausse notée depuis la dernière décennie est insuffisante pour déclarer la fin de la sécheresse. C'est donc une situation climatique et écologique qui nécessite la résilience des activités économiques de la Région de Matam. Cette résilience explique en partie les mutations en cours, notamment dans les secteurs de l'agriculture et de l'élevage. Dans ces secteurs la résilience nécessite des stratégies particulières d'adaptation car l'existence d'un réchauffement climatique à l'échelle de la planète est reconnue.

En effet, d'après le second rapport de la commission intergouvernemental sur le changement climatique, la température moyenne aurait augmenté de plus de 1° C. à l'échelle planète, depuis le début du XIX^e siècle (LEMAITRE, 2002 ; WU, 2003). Les hydrologues s'interrogent sur les conséquences possibles de ce réchauffement sur le régime hydrométrique. La réponse à cette question est complexe : si la hausse des températures se traduit par la croissance de

l'évapotranspiration, et par conséquent des précipitations, elle entraîne également une évaporation de l'eau de pluie. L'écoulement étant la différence des deux, l'évolution du régime hydrographique est loin d'être une évidence (LEMAITRE, 2002).

Toutefois, il est noté une tendance à l'augmentation depuis deux quinquennats, même s'il est prématuré de déclarer la fin de la sécheresse. Dans les décennies 1970-1980 une grande sécheresse a frappé tout le Sahel africain. Cependant au Sénégal la « *diminution des pluies a été, dans l'ensemble, plus forte que dans les pays plus éloignés de l'océan* » (MICHEL, 1988). Ainsi, les manifestations de la sécheresse se font-elles particulièrement sentir dans le nord du pays dont la Région de Matam, dans différents domaines, d'où la pluralité des indices bioclimatiques et d'aridité utilisés.

1.2.1 L'indice d'aridité de Boubou Aldiouma SY (2008)

L'indice d'aridité de Boubou Aldiouma SY (ISY) cherche à traduire les profondeurs de la sécheresse climatique en utilisant deux paramètres : l'évaporation et la précipitation. La lecture de cet indice est fondée sur la valeur du rapport Évaporation annuelle Piche (EP) sur le total Pluviométrique annuel (P), soit l'Indice d'Aridité $ISY = EP/P$. Son application à la station de Matam permet de comprendre l'importance des déficits pluviométriques par la comparaison entre les pluies enregistrées et la quantité d'eau reprises par l'évaporation. Les données sont traitées suivant un tableau d'interprétation (tableau 11).

Tableau 11 : Analyse d'ISY (2008) à Matam de 2011 à 2015

| Années | Evaporation | Précipitation | Indice |
|--------|-------------|---------------|--------|
| 2011 | 857 | 256 | 3,347 |
| 2012 | 747 | 506,9 | 1,47 |
| 2013 | 813 | 256,51 | 3.169 |
| 2014 | 793 | 216,2 | 3,66 |
| 2015 | 769 | 372,2 | 2,066 |

L'analyse du tableau 11 indique un seuil d'aridité assez élevé de 2,5 en moyenne à Matam. Cela veut dire que chaque 0,25 mm de pluie enregistré correspond à une perte par évaporation de 2,5 mm, ce qui traduit, durant ces années, des conditions de semi-aridité. Et tout ce quinquennat se caractérise par des conditions d'aridité prononcée. Cet indicateur révèle le caractère semi-aride de la région durant tout le quinquennat. Mais il existe des disparités entre les années ; par exemple les

années 2012 et 2014 constituent les limites inférieures et supérieures avec respectivement 1,47 et 3,66. Le constat qui en résulte est que les fluctuations de l'indicateur dépendent, dans la Région de Matam, essentiellement du niveau des précipitations. Ces dernières pouvant varier considérablement d'une année à l'autre, la pratique de certaines activités comme l'agriculture sous pluies est assez aléatoire. La disponibilité des fourrages pour le bétail aussi.

1.2.2. Le facteur de pluie de LANG

LANG (1986) est le premier à combiner pluie et température (facteur de pluie de LANG, mis au point en 1921) selon la formule :

$$IL = P/T ;$$

Avec IL, Indice de LANG

P ; les précipitations moyennes annuelles exprimées en mm et

T, la température moyenne annuelle en degrés Celsius (tableau 12).

Tableau 12 : Tableau d'interprétation du facteur de pluie de LANG

| Valeurs de l'indice | Types de climats |
|-----------------------|----------------------------------|
| $0 \leq FP \leq 20$ | Domaine climatique aride |
| $20 \leq FP \leq 40$ | Domaine climatique méditerranéen |
| $40 \leq FP \leq 70$ | Domaine climatique semi-humide |
| $70 \leq FP \leq 100$ | Domaine climatique humide |

Source : SY (2008)

Les analyses sont effectuées pour les stations de Linguère et de Matam sur la base du tableau d'interprétation de LANG (1986). Les résultats se présentent tel qu'il suit (tableau 13).

Tableau 13 : Analyse du Facteur de pluie de LANG (1986) à Matam et Linguère⁵ de 1970 à 2010

| | Décennies | Moy. Pmm | Moy. T°C | Indices | Observation |
|-----------------|------------------------|----------|----------|---------|-------------|
| Linguère | 1970-1979 | 336 | 28,5 | 11,78 | Aride |
| | 1980-1989 | 395 | 28,8 | 13,71 | Aride |
| | 1990-1999 | 376 | 29,4 | 12,78 | Aride |
| | 2000-2007 ⁶ | 349 | 29,06 | 12 | Aride |
| Matam | 1971-1980 | 30,1 | 285,1 | 9,47 | Aride |
| | 1981-1990 | 30,1 | 307,51 | 10,21 | Aride |
| | 1991-2000 | 30,1 | 334,43 | 11,11 | Aride |
| | 2001-2010 | 30,1 | 451,52 | 15,001 | Aride |

En appliquant le Facteur de pluie de LANG, les stations de Matam et de Linguère se trouvent dans le domaine morphoclimatique aride. Cela signifie que, généralement, les totaux pluviométriques annuels sont relativement faibles et les températures élevées. L'aridité étant un phénomène bioclimatique, d'autres chercheurs comme LE BORGNE (1988) s'y sont intéressés.

1.2.3. L'indice bioclimatique de LE BORGNE (IB)

LE BORGNE a calculé le bilan hydrique permettant de mesurer le déficit hydrique à partir de l'estimation du quotient évaporatoire en taux de couverture des besoins de la végétation. L'Indice Bioclimatique de LE BORGNE permet ainsi de fixer les limites des zones bioclimatiques. La formule est la suivante :

$$IB = ETR/ETP \times 100.$$

ETR = évapotranspiration réelle annuelle en mm et ;

ETP = évapotranspiration potentielle annuelle.

Il distingue six grandes zones bioclimatiques (tableau 14).

⁵ Matam étant l'unique station météo de la région (Kanel, Sémmé et Ranérou sont de simples postes avec des données laconiques), la station de Linguère semble pertinente pour analyser le climat du département de Ranérou.

⁶ Pour cette station nous avons cité SY, 2008. Donc la chronique se limite à 2007.

Tableau 14 : Indice bioclimatique LE BORGNE de Matam

| Indice bioclimatique | Typologie des zones bioclimatiques | Nombre de mois |
|-----------------------------|---|-----------------------|
| < 5 | Zone bioclimatique aride | 0 |
| 5 à 20 | Zone bioclimatique semi-aride | 0 |
| 20 à 40 | Zone bioclimatique sèche à subhumide | 1 à 4 |
| 40 à 60 | Zone bioclimatique subhumide à humide | 4 à 6 |
| 60 à 80 | Zone bioclimatique humide | 6 à 8 |
| 80 à 100 | Zone bioclimatique hyperhumide | 8 à 12 |

Source : SY (2008)

Le déficit hydrique est mesuré à partir de l'estimation du quotient évaporatoire, le taux de couverture des besoins de la végétation (Indice bioclimatique de LE BORGNE). Cet indicateur également confirme le caractère sahélien de la région. Le degré d'aridité bioclimatique est fonction du rapport entre les volumes d'eau tombés lors des pluies et ceux perdus du fait de l'évapotranspiration. L'aridité s'installe avec la diminution des précipitations et l'augmentation de l'évaporation. Par conséquent, les valeurs du rapport P/ETP, où P représente des précipitations annuelles et ETP l'évapotranspiration potentielle annuelle ont été employées pour classer des régions arides et semi-arides dans le monde. La FAO/UNESCO (1976) de même que la mission FAO (octobre 1973-janvier 1975) ont adopté cet index pour étudier les risques de désertification (MAINGUET, 1995 ; WU, 2003).

1.2.4. L'indice d'aridité de DE MARTONNE

L'indice de De MARTONNE (1926) est également parmi ceux utilisés pour les régions intertropicales. Il permet de faire la typologie des zones selon leur degré d'aridité : zone hyperaride, zone aride et semi-aride suivant la formule : $I = P/T + 10$.

P = précipitations totales annuelles/mm et T = température moyenne annuelle en degré Celsius ;
pour un mois : $I = 12 p/t + 10$;

où P = précipitations totales mensuelles et T = température moyenne mensuelle.

L'IDM permet de caractériser le pouvoir absorbant et évaporant de l'air à partir de la température ; il est d'autant plus bas que le climat est aride (tableau 15).

Tableau 15 : Typologie des climats selon l'indice d'aridité de DE MARTONNE (IDM)

| Valeur de l'indice | Type de climat |
|--------------------|---|
| 0 < IDM < 5 | Régions hyper-arides et déserts absolus |
| 5 < IDM < 10 | Régions arides et désertiques |
| 10 < IDM < 20 | Régions semi-arides |
| 20 < IDM < 30 | Régions semi-humides |
| 30 < IDM < 55 | Régions humides |

La même approche DE MARTONNE (IDM) a été appliquée sur les données des stations de Matam de 1971 à 2010, fournies par la DNM (tableau 16).

Tableau 16 : IDM de la station de Matam de 1971 à 2010

| Station | Années | Pmm | T°C | Indice | Observation |
|---------|-----------|--------|------|--------|-------------|
| Matam | 1971-1980 | 285,1 | 30,1 | 19,47 | Semi-aride |
| | 1981-1990 | 307,51 | 30,1 | 20,21 | Semi-humide |
| | 1991-2000 | 334,43 | 30,1 | 11,11 | Semi- aride |
| | 2001-2010 | 451,52 | 30,1 | 25,001 | Semi-humide |

L'IDM également confirme que la région appartient aux milieux arides. En fait la moyenne des températures dépasse toujours les 30° C. alors que la moyenne des cumuls pluviométriques n'a atteint les 400 mm que durant la décennie 2000 à 2009, soit un indice de 25,001. Il s'en déduit alors que la Région de Matam appartient au domaine aride dans sa partie semi-humide. La pluviométrie est faible mais relativement irrégulière. Ces caractères climatiques qui combinent aridité et incertitude renforcent la fragilité des écosystèmes et la dynamique érosive. Cette situation offre un contexte de plus en plus difficile à l'agriculture, dans sa variante sous pluies, et à l'élevage extensif. Aussi, est-il difficile de faire des prévisions, notamment à long terme, aussi bien pour les acteurs du secteur agropastoral que leurs partenaires. L'avenir des activités agropastorales est donc dans la résilience à la péjoration climatique malgré quelques décennies nettement moins sèches.

Dans tous les cas l'indice de DE MARTONNE qui s'intéresse à des moyennes décennales est certes intéressant mais insuffisant quand il s'agit d'activités essentiellement à cycles saisonniers. C'est pourquoi l'indice de GAUSSEN est utilisé.

1.2.5. L'indice ombrothermique de GAUSSEN (IG)

Dans l'année, des mois sont secs, d'autres humides. Pour mieux faire apparaître ce contraste, l'Indice ombrothermique de GAUSSEN (1994) est utilisé.

$$IG = 2 P / T ;$$

où *P* signifie précipitations mensuelles et *T* la température moyenne du mois.

A partir de cet indice, en pays sans gel, sont considérés comme mois secs certains pour lesquels, les précipitations sont \leq au double de la température moyenne exprimée en degré centigrade (SY, 2008; SY, 2013), soit $P < \text{ou} = 2T$ (tableau 17).

Tableau 17 : Analyse de l'indice ombrothermique de GAUSSEN (1994) à Matam (1981 - 2010)

| Decennies | | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Aout | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|------------------|---------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Décennies | P°mm | 0,48 | 0,4 | 0,06 | 0,22 | 1,49 | 20,01 | 67,35 | 120 | 74,83 | 9,7 | 3,67 | 1,18 |
| 1981-1990 | T°C | 24,34 | 27,39 | 30,25 | 33,6 | 34,17 | 37,27 | 31,81 | 30,4 | 30,53 | 31,65 | 28,99 | 24,83 |
| | Indice | 0,01 | 0,007 | 0,001 | 0,003 | 0,007 | 0,268 | 1,059 | 1,98 | 1,053 | 0,153 | 0,064 | 0,024 |
| | P°mm | 0 | 0 | 0,05 | 0,01 | 1,87 | 16,96 | 69,57 | 128 | 78,93 | 11,41 | 0 | 0 |
| 1991-2000 | T°C | 24,37 | 27,48 | 30,23 | 33,53 | 34,36 | 34,95 | 32,80 | 30,4 | 30,49 | 31,69 | 29,04 | 25 |
| | Indice | 0 | 0 | 0,001 | 0,001 | 0,027 | 0,121 | 1,06 | 2,1 | 1,294 | 0,18 | 0 | 0 |
| | P°mm | 0 | 0,59 | 0,01 | 0 | 1,67 | 21,67 | 78,53 | 137 | 85,48 | 14,28 | 2,04 | 0 |
| 2001-2010 | T°C | 24,44 | 27,53 | 30,4 | 33,5 | 34,51 | 34,8 | 31,88 | 30,3 | 30,44 | 31,69 | 29,03 | 25,15 |
| | Indice | 0 | 0,01 | 0 | 0 | 0,024 | 0,311 | 1,231 | 2,27 | 1,404 | 0,225 | 0,351 | 0 |

L'indice ombrothermique de GAUSSEN confirme le caractère aride de la Région de Matam. En effet, sur l'ensemble de la période 1981 à 2010 seuls les mois de juillet, août et septembre sont considérés comme humides et le mois d'août est le plus humide. Neuf mois sur les douze sont secs à Matam. Non seulement la pluviométrie avait fortement diminué, mais sa répartition saisonnière était devenue plus imprévisible ; or la distribution des précipitations annuelles dans le temps compte autant que leur quantité relativement aux activités agro-pastorales.

Cette courte durée de la saison pluvieuse impacte à la fois sur les rendements agricoles et sur le couvert végétal. C'est en partie ce qui explique le recul de l'agriculture sous pluies. Cette situation est aussi parfois durement ressentie par les éleveurs avec les longues périodes de soudure à l'origine de longs déplacements, voire souvent, la mort du bétail surtout parmi les troupeaux bovins.

2. L'interprétation et la discussion des résultats sur l'aridité et la sécheresse

L'analyse des résultats basés sur les différents indices confirme que la région de Matam souffre de dégradation. Plusieurs facteurs expliquent le caractère aride de cette région et la fréquence de la sécheresse climatique.

2.1. L'interprétation et la discussion des résultats sur la sécheresse

Les facteurs explicatifs des sécheresses sont complexes car il y a plusieurs éléments qui s'imbriquent, formant un cycle vicieux. L'absence de pluies pendant la majeure partie de l'année, *en sus* des fortes températures et d'une forte évaporation, est un facteur explicatif de la sécheresse. Cette dernière se répercute aussi bien sur le bilan de l'écoulement superficiel et souterrain des eaux, que sur la nature et la densité du couvert végétal, intervenant ainsi de façon directe et indirecte dans la morphogénèse (MICHEL, 1973). La sécheresse appelle naturellement à la sécheresse et donc la favorise ou l'aggrave. Généralement, le phénomène peut accélérer la dégradation du sol en réduisant des approvisionnements en eau d'un système déjà déséquilibré par une surexploitation de l'eau. En retour, la dégradation des sols, peut contribuer à la sécheresse par des mécanismes de rétroaction impliquant l'albédo extérieur, l'humidité du sol et la poussière (WU, 2003). La persistance de la sécheresse climatique pourrait transformer les zones humides du Sahel en pôles de convergence des activités productives (vallées fossiles et/ou fonctionnelles, deltas...) : « les activités de l'homme impactent le jeu des agents physiques et des processus biologiques au sein des espaces aménagés. Les systèmes, en tant que processus de dégagement des formes, deviennent des systèmes anthropisés » (SY, 2008).

Sur le plan environnemental, la pluviométrie, la couverture des sols et la végétation ont accusé d'importants changements dans la Région de Matam et plus généralement dans toute l'Afrique de l'Ouest au cours de la séquence 1971-2000. La région sahélienne a été la plus affectée par l'évolution de la pluviométrie, du fait d'une baisse de 20 à 30 % des précipitations prévues entre les périodes 1931-60 et 1961- 90 (HULME, 1996 cité par TOULMIN et GUEYE, 2003) même si l'étude des relevés pluviométriques de Matam indique au début des années 2000 le retour à une pluviométrie comparable à celle des années 1960 (BA, 2007).

Ainsi, les graves sécheresses des années 1970 et 1980 ont entraîné une migration importante des agriculteurs et éleveurs vers le sud à la recherche de zones mieux arrosées (TOULMIN et GUEYE,

2003). On ne connaît pas encore bien l'évolution future du climat dans l'ensemble de la région (GICC, 2001).

Mais la sécheresse récente qui a débuté en Afrique à la fin des années 1960 pourrait encore persister. D'une intensité variable suivant les différentes régions, elle est particulièrement prononcée en Afrique de l'Ouest et Centrale, notamment dans la région soudano-sahélienne. Cet événement se distingue des précédents par trois caractéristiques : sa durée, son intensité et son extension. Selon HULME (1992), la moyenne pluviométrique de la période 1961-1990 est de 20 à 40 % plus faible que celle de la période 1931-1960. Après deux paroxysmes de sécheresse en 1972-73 et 1983-1984, un espoir de rémission est apporté par deux années humides récentes, 1994 et 1999 (SIGHOMNOU, 2004).

L'histoire récente, pour laquelle nous disposons de relevés pluviométriques depuis la fin du siècle dernier, a connu deux grandes périodes de sécheresse, comparables, par leur sévérité et leur caractère zonal, à la dernière. Ce sont celles de 1910-1916 et de 1941-1945 (LE BORGNE, 1988 ; MICHEL, 1988). Mais ces sécheresses ont été de durée beaucoup plus courte et n'ont donc pas eu le même impact sur le milieu naturel. Après près de dix ans (1960-1968) où la situation pluviométrique était à peu près normale en quantité et du point de vue de la distribution saisonnière :

« On observe même dans les zones septentrionales du pays des moyennes décennales de 15 à 25 % supérieures à la normale trentenaire (1931-1960) de ces régions sahéliennes. À partir de 1968-1971, une tendance inverse est amorcée ; elle se traduit par un déficit pluviométrique quasi permanent qui fait craindre le démarrage d'un processus de désertification. Certaines années comme 1972, 1973, 1983 et 1984 se caractérisent par des conditions sévères avec des déficits prononcés de l'ordre de 40 à 60 % par rapport aux valeurs normales dans le nord du pays » (NDIAYE, 1992).

En outre, la dernière sécheresse a succédé à une période longue de 18 ans (1950 à 1967), pendant laquelle les pluies ont été souvent excédentaires et les modules du Sénégal supérieurs à la moyenne. (MICHEL, 1988). Les fluctuations pluviométriques interannuelles révèlent alors de grands écarts à la normale, surtout durant la période 1960-1990 ; à cet égard, la décennie 1971-1980 est révélatrice de l'ampleur du processus : les déficits s'élèvent à près de 60 % de la normale dans tout le tiers Nord du pays (NDIAYE, 1992). On peut retenir que plus la moyenne annuelle de la pluviométrie est faible, plus l'irrégularité des précipitations d'une année à l'autre est importante (CHALEARD et CHARVET, 2004). Cette thèse est confirmée par la fréquence des années sèches dans la région de Matam. Les agriculteurs doivent prendre en compte ce risque climatique. Cela se fait en optant pour

les plantes les moins exigeantes en eau ou en limitant les investissements affectés aux cultures. En outre, au-delà des variations interannuelles des précipitations, il convient de tenir compte du moment de leur déclenchement : lorsque l'hivernage tarde à s'installer, le niveau des récoltes peut baisser fortement. Le lien est évident entre les sécheresses climatiques et l'aridité de la Région de Matam.

2.2. L'interprétation et la discussion des résultats sur l'aridité

L'aridité dépend de plusieurs facteurs. L'un des plus importants est la quantité de pluie et sa répartition saisonnière. A Matam, la pluviométrie annuelle est faible et se concentre sur les mois de juillet, d'août et de septembre (BA, 2007). *En sus*, des déficits pluviométriques presque chroniques, les températures et l'évapotranspiration sont élevées, l'humidité relative de l'air est faible et tend à diminuer accroissant la demande évapotranspiratoire. Cette situation instable est soumise à l'albédo des terrains secs, aux formations steppiques voire nues, argileux ou sableux notamment, avec une forte réflectance des rayonnements.

Or, les sols sont plutôt lourds dans la vallée alluviale. Ces contraintes font appel à la notion de bilan hydrique et renseignent sur la résistance des formations superficielles à la dégradation mécanique par déflation (SY, 2008). En effet, les horizons pédologiques possèdent leur texture et leur structure, ce qui détermine la courbe de rétention et de flétrissement, contrôlant les réserves en eau. La capacité au champ marque la limite supérieure de l'eau mise en réserve par le sol. Le point de flétrissement permanent est la limite inférieure, seuil en dessous duquel les racines ne peuvent plus extraire l'eau du sol. L'eau contenue entre ces deux limites constitue la réserve utile dont la durée dépend précisément de la composition granulométrique des horizons. Le sol lourd des dépôts alluviaux aura une bonne capacité au champ (SY, 2008).

Dans la Région de Matam, les pluies dépendent pour l'essentiel de la trajectoire des lignes de grains (tableau 18).

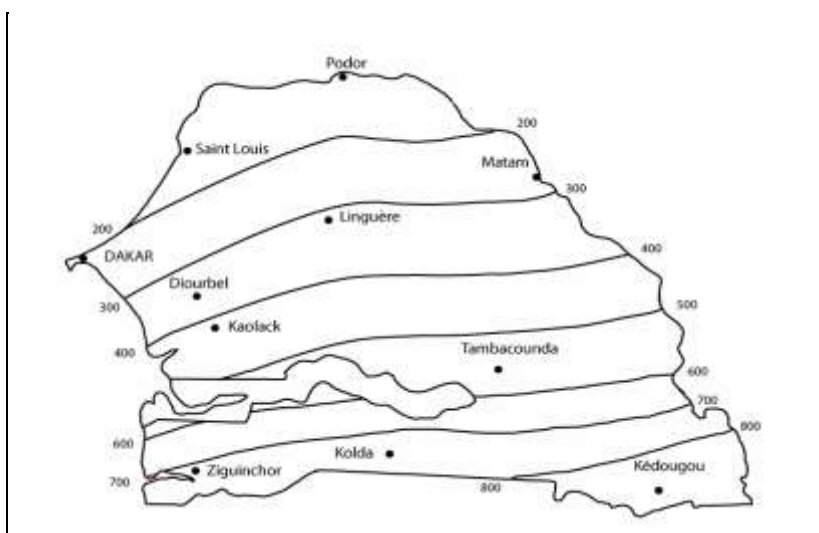
Tableau 18 : Précipitations à Matam en 1980

| Mois | Total pluviométrie | Apport des LG | % de l'apport de LG | Autre apport |
|-----------|--------------------|---------------|---------------------|--------------|
| Mai | 0 mm | 0 mm | 0 | 0 mm |
| Juin | Traces | Traces | 100 | 0 mm |
| Juillet | 43,7 mm | 43,7 mm | 100 | 0 mm |
| Août | 95,6 mm | 95,6 mm | 100 | 0 mm |
| Septembre | 46,5 mm | 46,5 mm | 100 | 0 mm |
| Octobre | 22,7 mm | 22,7 mm | 100 | 0 mm |

Source : SAGNA (1988)

En 1980, la part de l'apport des lignes de grains (LG) à la pluviométrie annuelle de Matam est 95,9 % dont 100 % des 208 mm enregistrés entre mai et octobre (SAGNA, 1988) : la région est, de ce fait, défavorisée par sa position latitudinale, par rapport aux points terminaux des perturbations mobiles. Les lignes de grains peuvent naître autour de Matam, voire entre Matam et Podor. Mais l'essentiel de ces types de perturbations, se forme autour de la boucle du Niger et évolue vers l'ouest (SAGNA, 2004). Par exemple, 9 % des Lignes de grains enregistrés au Sénégal en 1981 ont concerné le Sahel sénégalais contre 10 % en 1983. La carte des isohyètes et des apports pluviométriques moyens des Lignes de grains au Sénégal, de 1980 à 2000, a révélé une diminution progressive des totaux interannuels vers le nord et un décalage significatif des isohyètes vers le sud (carte 9).

Carte 9 : Carte des isohyètes du Sénégal de 1980 à 2000



Source : SAGNA (2004 ; in SY, 2008)

Le temps a un rythme quotidien qui change rapidement à Matam, dans la zone intertropicale en général. On peut voir le matin un ciel clair ; puis vers midi le temps se bouche par la formation de nuages convectifs ; en fin d'après midi éclatent les graines isolées qui dégagent le ciel et donnent une nuit généralement claire. Mais à côté de ce type plus fréquent, il existe également des pluies généralisées sur de vastes surfaces et dont l'horaire est indifférent au rythme du jour et de la nuit (ESTIENNE et GODARD, 1993). D'après SY (2008) les perturbations mobiles font une grande distance pour atteindre l'espace sahélien sénégalais, ce qui se traduit par une importante déperdition de leur potentiel précipitable. Au nord, le Sahel sénégalais marque la transition avec le désert du Sahara ; la pression et le réchauffement adiabatique de l'Anticyclone saharien contribuent aussi à maintenir les mauvais bilans hydriques et les conditions de sécheresse (SY, 2008). La présence de surfaces de terres fortement chauffées empêche également les précipitations. Aussi, existe-t-il loin de la mer de vastes étendues de zones arides (RISER, 1999) à l'image de la Région de Matam.

Néanmoins, il serait une grave erreur de considérer dans les manifestations de l'aridité et des sécheresses les seules précipitations. L'autre caractéristique physique de ce terroir est l'importance de formations végétales steppiques à plantes herbacées annuelles, le triomphe des épineux notamment les espèces *Acacia*.

Ces espèces végétales sont actuellement très menacées, ce qui s'explique par la forte pression anthropique et la dégradation des conditions climatiques, surtout entre 1968 et 1985. Ces facteurs ont un impact sur l'environnement local notamment sur les sols et les activités économiques qu'ils supportent ainsi que la distribution des habitats (BA, 2007). La nature fonctionne de façon systémique car la variation des températures et de l'action de l'eau sur les versants dépend de la protection par les végétaux qui à leur tour dépendent, en grande partie, des caractéristiques du climat. Cela justifie l'étude d'autres données climatiques, notamment le vent.

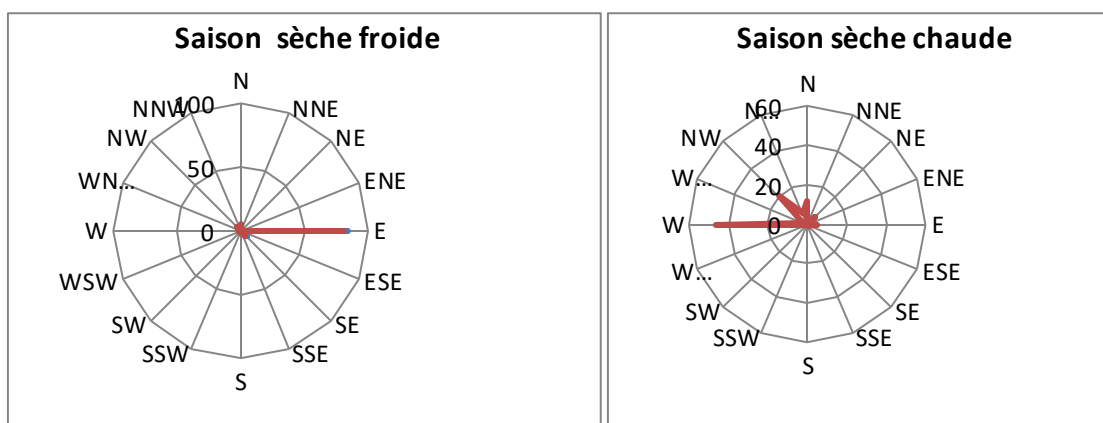
2.3. Les résultats de l'analyse de la rose des vents et de l'orientation des débits solides à Matam

Ces résultats concernent les deux principaux vents qui soufflent dans la région : l'alizée continental (harmattan) et la mousson porteuse de potentiels précipitables.

2.3.1. L'Alizé continental

L'Alizé continental communément appelé harmattan est un flux saisonnier d'origine thermique. Dans la région de Matam, comme partout au Sénégal, il souffle pendant la saison sèche (figure 17).

Figure 17 : Fréquence directionnelle des vents de saison sèche à Matam de 1961 - 2010



La figure 17 présente la fréquence directionnelle des vents dominants à la station de Matam⁷. Retenons que les vents dominants en saison sèche connaissent une variation directionnelle selon que l'on est en saison sèche froide ou en saison sèche chaude. Ainsi, durant la saison sèche chaude, qui correspond aux mois de mars, avril, mai et juin, la direction dominante est l'ouest qui représente une fréquence d'environ 45 % pour la séquence 1961 – 2010.

Il souffle en saison sèche chaude, c'est est un vent chaud et sec, d'origine saharienne avec des vitesses très souvent supérieures à 20 km/h. Il traverse la région pendant la saison sèche entre la fin du mois de mars et le mois de juin. Ce vent se distingue généralement par des amplitudes thermiques souvent assez fortes : parfois frais la nuit, il est chaud à torride le jour, ce qui engendre une forte évaporation en même temps que la fragilisation du substrat rocheux, voire sa désagrégation par thermoclastie. Cette situation contribue à favoriser l'action érosive des vents sur des surfaces davantage exposées avec la disparitionsensible du tapis herbacé. Ce vent chaud et très sec charrie de la poussière et du sable, favorisant l'aridité dans la moyenne vallée du Sénégal et dans le plateau du Ferlo. Les vitesses de l'harmattan, enregistrées, varient entre 1 (calme) et 8 m/s (supérieure à la moyenne).

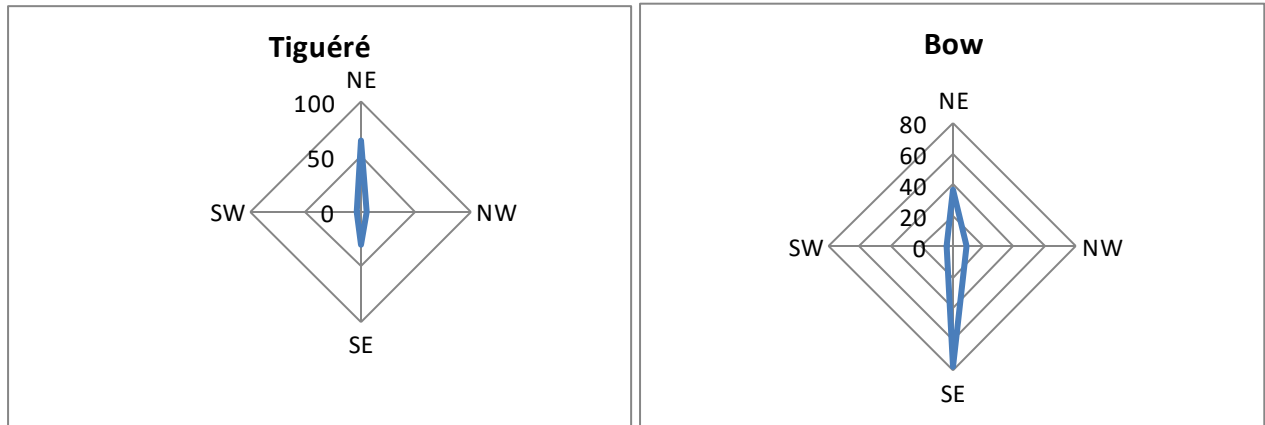
L'harmattan très sec interdit toute forme de précipitation même pas « les pluies de heug ». Ce vent est aussi responsable, en partie, des températures très élevées enregistrées pendant les mois d'avril, de mai, de juin qui sont les plus chauds à Matam depuis plus de trente ans. Il est à l'origine d'une

⁷ Matam est l'unique station synoptique de la région. Elle permet d'avoir des données aussi variées que les précipitations, les températures, les vents l'insolation et l'humidité sur plus de 30 ans.

importante demande évaporative qui gêne les cultures maraîchères en saison sèche. En plus ses rafales chaudes entraînent des brûlures de la végétation (SECK et *al.*, 2005).

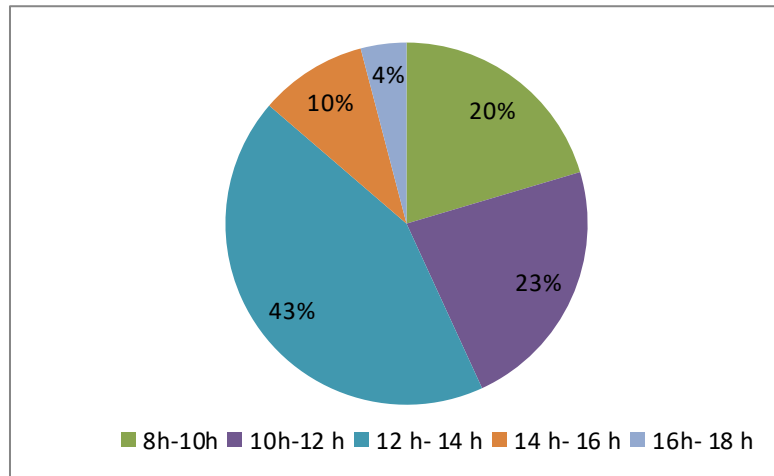
Par contre en sous-saison sèche froide la principale direction est l'est, soit 81 % des vents dominants entre novembre et février. C'est le cas de décembre et de janvier notamment (figure 18).

Figure 18 : La rose de la trappe des sédiments à Tiguéré et à Bow



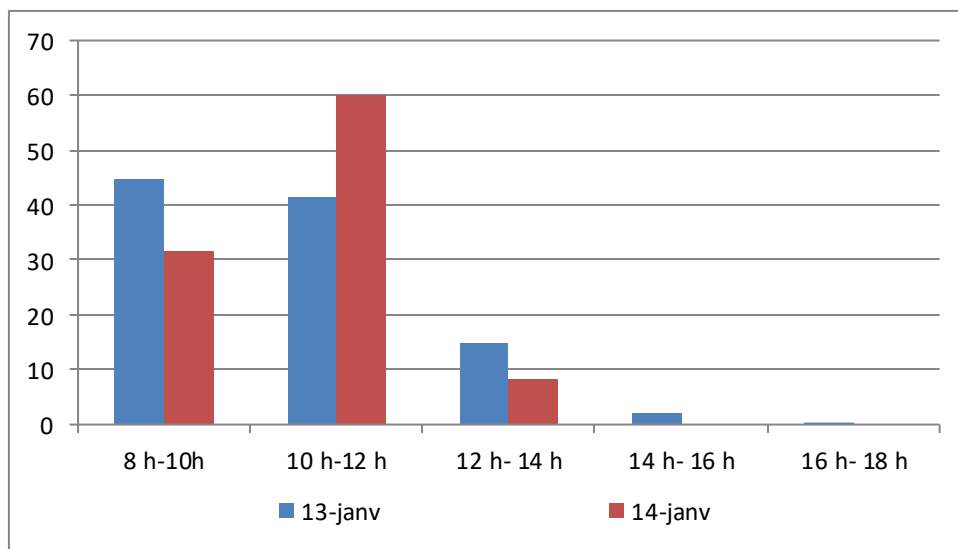
Les prélèvements sont effectués dans la vallée en saison sèche froide (janvier). D'abord, du 13 au 15 janvier à Tiguéré Yéné dans le département de Matam puis les 19, 20 et 21 janvier à Bow dans le Département de Kanel. Et les résultats prouvent la provenance de l'est de l'essentiel des vents compétents. Certes, il y a une légère différence entre les deux localités, avec plus de 60 % des sédiments piégés dans le cadran NE à Tiguéré contre quelque 80 % dans le cadran SE à Bow, mais dans tous les cas il est constaté une forte prédominance de l'est. Par contre, dans les deux stations, les cadrans NW et SW ne représentent que de faibles parts dans les sédiments piégés. Cela signifie que les vents en provenance de ces deux secteurs sont beaucoup moins compétents. Ils impactent moins sur le transport des sédiments et sur l'érosion éolienne. Parallèlement, le niveau de la compétence du vent varie de façon considérable entre les jours et en fonction des heures (figure 19).

Figure 19 : Moyenne des proportions de sédiments déplacés par tranche horaire à Bow



L'analyse de l'action journalière du vent à Bow révèle de fortes inégalités de son efficacité selon les heures. 84 % des sédiments piégés dans la trappe ont été capturés entre 8 h et 14 h. Durant cette longue séquence horaire, le pic a été atteint entre 12 h et 14 h avec 44 % des particules déplacées. Par contre, les deux dernières collectes de la journée représentent de faibles proportions avec une tendance nette à la baisse : 10 % entre 14 h et 16 h puis seulement 4 % entre 16 h et 18 h. Cette situation est confirmée par l'étude des vents compétents à Tiguéré Yéné (figure 20).

Figure 20 : Proportions de sédiments déplacés par tranche horaire à Tiguéré Yéné



A Tiguéré Yéné la situation, comparable à celle de Bow, présente une grande similarité entre les deux jours⁸. Sur ce site également, il est à noter que l'essentiel des vents compétents soufflent entre 8h et 12h. En effet, pour la journée du 13 janvier 2017, plus de 86 % des débits solides éoliens déplacés le sont durant cet intervalle alors que la part des sédiments mobilisés de 12h à 18h ne correspond qu'à 17,24 % du total de la journée. Le contraste est encore plus marqué entre le matin et l'après midi du 14 janvier où 91,57 % des particules sont déplacées avant 12h. Or de 14h à 18h c'est un calme plat soit 0 % des sédiments piégés.

Par contre, en saison sèche chaude les vents changent radicalement de direction. Quelque 86 % des flux sont dirigés vers l'ouest et vers le nord-ouest ou, dans une moindre mesure vers le nord (12 %) alors que l'est représente une proportion de 5 %.

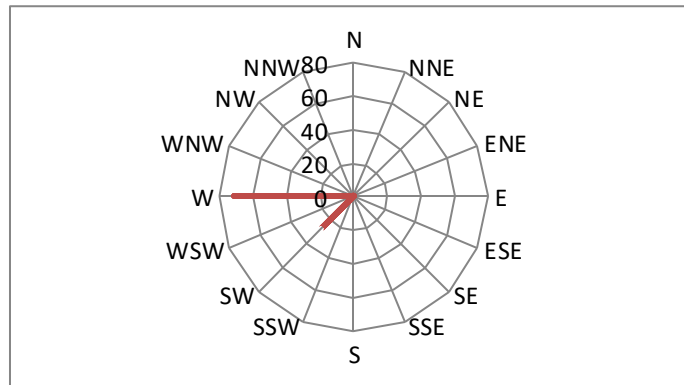
Il existe différents types de vents dans le Sahel (WU, 2003 ; RISER, 1999 ; SY, 2008). Les échanges entre le couvert végétal et le milieu extérieur dépendent, entre autres éléments, de la vitesse des vents qualifiés de compétents : c'est-à-dire dépassant 3 m/s. Le vent a aussi des conséquences indirectes sur la plante à cause des particules solides qu'il transporte. Ces dernières peuvent modifier les feuillages et les rameaux en lambeaux. En effet, certains coups de vent précèdent les lignes de grains et accompagnent les averses en hivernage. Mais c'est surtout, l'harmattan qui constitue le problème majeur des vents du point de vue agronomique (WADE, 2008). Le rôle du vent sur la morphologie des plantes est surtout manifeste où le seuil de compétence est constamment atteint : « là adviennent fréquemment des phénomènes de traction orientant la croissance du tronc, ou de certaines branches dans une direction privilégiée (GIFFARD, 1974 cité par WADE, 2008) ».

2.3.2. Le flux de mousson et sa variabilité

La mousson ouest-africaine est un flux d'air chaud et humide issu de l'anticyclone de Sainte-Hélène (AGUIAR, 2009). Elle survient entre le 25 juin et le 10 juillet, et correspond à une deuxième augmentation des pluies sur la zone soudano-sahélienne (AGUIAR, 2009 ; MADOUGOU, 2010). La rupture se sent dans la direction du vent (figure 21).

⁸ La trappe à sédiments sur ce site a duré trois jours mais le dernier (15 janvier) est marqué par un calme plat. Le vent n'avait pas suffisamment de compétences pour déplacer les particules. Pareil pour les deux jours d'observation à Bow.

Figure 21 : Fréquence directionnelle des vents dominants en saison des pluies



Le saut de mousson est ensuite issu d'un brusque décalage longitudinal de la ZCIT de 5° N aux mois de mai / juin à 10° N aux mois de juillet / août. En fin de saison sèche, la mousson, vent annonciateur de pluies dans la zone intertropicale, atteint la région qui est l'une des plus faiblement arrosée du Sénégal. A Matam, ce vent souffle durant les mois de juillet, août, septembre et octobre qui correspondent à la saison des pluies/hivernage (pour les vents). Donc le terme mousson est polysémique et peut désigner une saison, un renversement des vents ou tout simplement un flux. Les vents dominants sont dirigés vers l'ouest, soit 71 % pour la période 1984-2013 avec la variance sud-ouest (27 %) et nord-ouest pour 2 %. Par contre, la part de toutes les autres directions est nulle parmi les vents dominants sur la base des moyennes mensuelles sur les 30 ans observés. Le Sénégal, de par sa position géographique, est intéressé par la mousson atlantique. Son importance sur le plan climatologique est liée à l'apport pluviométrique des différentes perturbations pendant sa présence.

La mousson est due aux forts contrastes thermiques entre la surface des océans et celle des continents qui sont un facteur important des changements rapides et profonds du temps dans la région de Matam. Par conséquent, le flux de mousson correspond au début l'hivernage. La température superficielle de l'océan varie peu selon les saisons tandis que les surfaces continentales deviennent rapidement surchauffées en été, générant des dépressions thermiques, et très rapidement refroidies en hiver générant des anticyclones thermiques. L'apparition de ces centres d'action continentaux influe sur la vitesse et la direction des vents qui prolongent les alizés en les forçant à souffler des régions les plus froides (océan en été, continent en hiver) vers les régions les plus chaudes (océan en hiver, continent en été). Ce mécanisme saisonnier est la mousson africaine (MADOUYOU, 2010). Et le reste de l'année est marqué par la descente vers le sud de la mousson qui correspond à la saison sèche ou encore non pluvieuse (WU, 2003 ; AGUIAR, 2009 ;

MADOUGOU, 2010). De plus, la part du nord dans la direction des vents dominants est nulle, ce qui justifie de reconsidérer les thèses qui en faisaient la direction principale des vents de la mousson dans l'hémisphère nord (AGUIAR, 2009).

La ZCIT subit un déplacement abrupt à l'échelle saisonnière jusqu'à 10° N appelé « saut de mousson » ou « onset » qui est associé à une baisse momentanée de l'activité convective. La période pré-onset correspond à l'installation de la ZCIT dans le golfe de Guinée à 5° N, et au début de la saison pluvieuse sur la zone soudano-sahélienne caractérisée par une première augmentation régulière de la pluie (MADOUGOU, 2010). Après la traversée de l'équateur, le vent est influencé par l'attrait exercé par les dépressions thermiques sahariennes et soudaniennes. Il se place avec l'équateur météorologique.

Plusieurs éléments interviennent dans la convection, en particulier le cisaillement dans les couches moyennes du JEA et des ondes d'Est, le cycle diurne, les conditions d'instabilité et l'impact de la végétation (RISER, 1999 ; MADOUGOU, 2010). Ces différentes actions entre la surface et l'atmosphère se font à travers la couche limite atmosphérique (CLA). La variabilité de cette couche limite a donc un impact majeur sur l'intensité de la mousson à différentes échelles spatio-temporelles. On peut citer, par exemple, l'importance de l'interaction entre le cycle diurne de la dépression thermique saharienne et le cycle diurne de la turbulence au sein de la CLA. En effet, dans l'après-midi, lorsque la turbulence au sein de la CLA est très active, les vents sont très faibles. La CLA est donc caractérisée par un transport d'air essentiellement vertical qui homogénéise la vapeur d'eau présente dans toute la couche. La nuit, la turbulence diminue rapidement et les vents s'intensifient. Il se produit alors le jet nocturne. La CLA est alors caractérisée par un transport d'air horizontal : la partie inférieure de la couche reçoit de l'air humide, tandis que dans la partie supérieure est transportée en retour de l'air plus sec (MADOUGOU, 2010).

Par ailleurs, la perception de la mousson comme responsable des pluies au Sénégal, dont la Région de Matam, est discutable. Les pluies sont davantage liées aux lignes de grains avec des vitesses susceptibles d'atteindre 28 m/s, soit 80 km/h (SAGNA, 2015).

3. Les résultats des analyses de sols

L'analyse des sols a fait ressortir la composition et les qualités physico-chimiques du sol (RABEFIRAISANA, 2015). Ce traitement est une application de la pédologie, en rapport avec les

activités économiques surtout l'agriculture et l'élevage. De ce fait, il est important de présenter les résultats du traitement réalisé au laboratoire des sols et des végétaux de l'ISRA. L'analyse des échantillons permet, à la fois, de mieux comprendre les mécanismes de l'érosion et les propriétés des sols en relation avec l'agriculture et l'élevage. Sont considérés les chiffres en détails, les résultats des analyses, les statistiques qui s'y dégagent sur les sites des Départements de Matam (Tiguéré et Boyinadji) de Kanel (Bow et et Kanel) et de Ranérou. Le traitement des échantillons porte sur la granulométrie, le Ph et la conductivité électrique (CE).

3.1. La texture des sols

La texture indique l'abondance relative, dans le sol, de populations granulométriques de dimensions variées. Ces particules sont triées selon leur taille et classées en 3 catégories (tableau 19).

Tableau 19 : Les principaux types de grains

| Taille | | | Catégorie |
|--------|-----------|----------------|--------------------------------|
| moins | de | 0,0025 microns | argile (fractions fines) ; |
| entre | 0,0025 et | 0,05 microns | limons (fractions fines) ; |
| entre | 0,50 et | 2000 microns | sables (fractions grossières). |

De la texture dépendent la facilité avec laquelle le sol peut être travaillé, la capacité de rétention et le niveau de porosité du volume du profil, c'est-à-dire la vitesse à laquelle l'eau peut entrer et circuler dans le sol. L'analyse granulométrique et les paramètres de distribution isolent les modes de répartition des grains et leur origine probable (SY, 2013). Les pourcentages des différentes fractions (argile, limons fins et grossiers, sables fins et grossiers) sont mesurés de façon précise par des tests de tamisage et sédimentation (tableau 20).

Tableau 20 : Les principales fractions des grains

| Tailles des grains | Qualification |
|--------------------|------------------|
| 2 – 0,2 mm | Sable grossier |
| 0,2 – 0,1 mm | Sable fin |
| 0,1 – 0,005 | Sable très fin |
| 0,005 – 0,0025 | Limons grossiers |
| < 0,0025 | Argile |

Cette détermination se fait une fois pour toute, la texture n'évoluant pas dans le temps. Elle s'avère particulièrement utile dans les régions ne disposant pas de cartes des sols suffisamment précises, afin d'établir de façon fiable le taux d'argile. « La taille du sédiment reflète globalement l'énergie du milieu dans lequel il se trouve. Des observations montrent qu'au cours de son transport, un sédiment va subir plusieurs transformations qui se reflètent dans ses paramètres granulométriques » (SY, 2013). Pour déterminer avec précision la texture des sols dans différents sites de la région les proportions respectives des sables, des limons et des argiles sont repertoriées (tableau 21).

Tableau 21 : Structure des sols de la Région de Matam en % des particules

| Sites | Sable | Limon | Argile | Texture |
|-------------|--------|--------|--------|---------|
| Ranérou 1 | 30,001 | 69,744 | 0,261 | LLS |
| Ranérou 2 | 28,460 | 71,206 | 0,335 | LLS |
| Kanel | 32,50 | 67,98 | 0,5 | LLS |
| Bow 1 | 40,97 | 57,47 | 1,6 | LLS |
| Bow 2 | 40,176 | 55,737 | 1,21 | LLS |
| Boyinadji 1 | 32,863 | 65,95 | 0,456 | LLS |
| Boyinadji 2 | 32,868 | 66,569 | 0,552 | LLS |
| Tiguéré 1 | 47,317 | 51,765 | 0,994 | LLS |
| Tiguéré 2 | 27,889 | 71,782 | 0,328 | LLS |

La structure fait apparaître partout une prépondérance des limons suivis du sable et une faible proportion des argiles. Néanmoins, il existe une légère différence. Par exemple, les sols du *Dandé Mayo* –Bow et Tiguéré- sont plus riches en sables et en particules argileuses. Mais la structure est presque analogue à celle des remblais de Kaneet de Boyinadji avec près de 70 % de limons et plus de 25 % de sable. Au plan génétique ce sont des dépôts de décantation.

Les sols sont de ce fait limon-léger-sableux. Les sols de texture fine sont particulièrement sensibles à l'érosion éolienne. Les sols de structures grossières résistent mieux, les sols superficiels sont le plus souvent lisses, pulvérisés et sans structure (SY, 2013). DIOP (2004) a individualisé sur le plan morphopédologique, en partant du fleuve, les catégories de sols suivantes :

- les *Palé* ou sols alluviaux du *Dandé Maayo* (*Bordure du fleuve*) ;
- les *foonde* sont les bourrelets des berges des principaux cours d'eau, où le sol est sablo-argileux ;
- les *hollaldé* sont des sols lourds formés par l'accumulation des dépôts fluviaux lors de la décantation des eaux et des limons déposés annuellement par la crue dans la zone d'épandage appelée *Kolangal* (photo 15).

Photo 15 : Le Kolaangal à hauteur de Garli, pendant l'hivernage



Le *kollaangal* est un remblai sablo-argileux mis en place durant l'épisode morphoclimatique sec de l'ogolien (22 000 – 12 000 ans BP). Le fleuve Sénégal devenu endoréique, explique le dépôt progressif des fractions fines, fonctionnant actuellement comme supports d'activités agricoles et de parcours pastoraux, notamment à Ranérou zone d'élevage par excellence (tableau 22).

Tableau 22 : Granulométrie des sols de Ranérou

| Echantillon | 2-1 mm | 1-0,5 mm | 0,5-0,25 mm | 0,25- 0,1 mm | 0,1 -0,005 mm | 0,005-0,0025 mm | <0,0025 mm |
|-------------|--------|----------|-------------|--------------|---------------|-----------------|------------|
| R.T1.P1.N1 | 0,605 | 4,557 | 19,337 | 30,041 | 27,886 | 14,777 | 0,194 |
| R.T1.P1.N2 | 0,577 | 3,974 | 20,15 | 33,735 | 29,122 | 10,402 | 0,191 |
| R.T1.P1.N3 | 0,401 | 6,34 | 22,43 | 30,736 | 26,786 | 12,027 | 0,038 |
| R.T1.P2.N1 | 1,498 | 11,564 | 23,174 | 26,693 | 19,908 | 13,695 | 0,108 |
| R.T1.P2.N2 | 2 | 10,674 | 22,885 | 26,653 | 21,276 | 12,685 | 0,179 |
| R.T1.P2.N3 | 0,623 | 6,3 | 20,093 | 27,74 | 24,05 | 11,58 | 0,5 |
| R.T1.P3.N1 | 0,358 | 3,651 | 19,374 | 34,813 | 17,374 | 14,07 | 0,492 |
| R.T1.P3.N2 | 0,666 | 7,769 | 22,813 | 36,242 | 22,597 | 9,048 | 0,077 |
| R.T1.P3.N3 | 0,621 | 6,521 | 23,135 | 34,235 | 20,55 | 7,036 | 0,353 |
| R.T1.P4.N1 | 1,199 | 8,62 | 18 | 24,948 | 13,35 | 10,971 | 0,41 |
| R.T1.P4.N2 | 0,61 | 7,291 | 20,69 | 29,507 | 22,83 | 16,073 | 0,307 |
| R.T1.P4.N3 | 0,557 | 6,545 | 17,665 | 27,197 | 22,728 | 13,032 | 0,633 |
| R.T1.P5.N1 | 0,513 | 6,888 | 19,733 | 32,243 | 25,493 | 13,572 | 0,159 |
| R.T1.P5.N2 | 1,082 | 7,818 | 21,483 | 33,09 | 26,254 | 11,45 | 0,142 |
| R.T1.P5.N3 | 0,766 | 6,211 | 22,38 | 32,884 | 25,154 | 9,154 | 0,053 |

Cette analyse fait ressortir une répartition inégale des différentes populations de grains ; en moyenne les limons grossiers (0,25 à 0,1 mm) à eux seuls constituent quelque 30 % des échantillons de Ranérou alors qu'aucun échantillon ne fournit plus de 0,5 % d'argile. La part respective du sable, des limons et de l'argile sur les sols du Continental Terminal à Ranérou est représentée par le tableau 23.

Tableau 23 : Part en % des différents types de grains dans les sols de Ranérou Ferlo

| | Sables (2-0,25 mm) | Limons (0,25-0,0025 mm) | Argile (< 0,0025mm) |
|-----------|---------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Ranérou 1 | 30,3 | 69,43 | 0,274 |
| Ranérou 2 | 28,46 | 71,2 | 0,33 |

Il apparaît une très forte présence des limons dont la moyenne dans les deux sites de Ranérou fait 70 % des échantillons. Loin derrière les limons, les sables représentent un peu plus de 29 % (30,3 % dans le premier site et 28,46 % dans le second). A l'opposé, l'argile ne représente qu'une faible proportion de l'ordre de 0,3 %. Or l'argile et les limons appartiennent aux fractions fines, assurant la fertilité des sols. Quant à la texture, on assiste à une prédominance de sols limono-sableux au niveau de toutes les unités morphopédologiques de la région. Une telle composition granulométrique explique en partie le faible potentiel agronomique des sols, limitant les activités agricoles, ce qui fait du Département de Ranérou-Ferlo un espace essentiellement sylvo-pastoral. Au plan dynamique, ces fractions fines sont très sensibles au transport éolien fortement entretenu par la persistance de la péjoration climatique, se traduisant par la dégradation mécanique continue des profils pédologiques. En somme, la perte des éléments nutritifs à cause de l'érosion et du recul du couvert végétal, sont de sérieux problèmes tant pour l'avenir de l'élevage extensif (sols en tant que supports de la biomasse végétale naturelle) que celui des activités agricoles et de l'exploitation forestière dans la Région de Matam. C'est pourquoi, le Ferlo apparaît sous un angle particulier de l'organisation de l'espace.

En effet, le secteur du Ferlo concentre plus des 2/3 du cheptel régional. Cette situation a favorisé l'installation de projets d'encadrement de l'élevage comme le Projet d'Appui à l'Élevage (PAPEL) et le Fonds National de Recherche agricole et Agro-forestier (FNRA) qui œuvrent pour l'amélioration du troupeau et la gestion des parcours (DIOP, 2004). Les forages y constituent la clef pour les autres ressources pastorales et que les Unités Pastorales (UP) ont modifié radicalement la structuration de l'espace. Certains y voient même une menace pour la mobilité des troupeaux. Cette assertion semble moins évidente si on se rapporte aux témoignages des éleveurs et aux observations

des équipes de chercheurs ou des développeurs. Il n'empêche que des mutations importantes sont en cours (KAMIL et LARBODIERE, 2010).

L'analyse granulométrique est complétée par celle du pH et de la CE.

3.2. L'analyse du pH et de la conductivité des sols de la région

L'acidité et la conductivité impactent sur le potentiel des sols en rapport avec les activités agropastorales. C'est pourquoi le pH et la conductivité des sols de la Région de Matam ont fait l'objet d'analyse (tableau 24).

Tableau 24 : Conductivité électrique et pH des sols

| | | Tiguéré | Ranérou | Kanel | Boyinadji | Bow |
|---------------------------------------|----------|----------------|----------------|--------------|------------------|------------|
| Conductivité électrique en $\mu S/cm$ | Niveau 1 | 143,875 | 62,18 | 56,4 | 38,88 | 53,8 |
| | Niveau 2 | 55,725 | 42,65 | 60,15 | 29,9 | 110,65 |
| | Niveau 3 | 70,3 | 32,175 | 97,325 | 34,94 | 91,427 |
| Acidité (Ph) | Niveau 1 | 5,41 | 6,162 | 6,44 | 6,652 | 5,286 |
| | Niveau 2 | 5,31 | 5,985 | 5,313 | 6,48 | 5,383 |
| | Niveau 3 | 5,27 | 6,213 | 6,113 | 6,508 | 5,458 |

Les analyses de sols constituent un moyen pour déterminer les doses de fertilisants optimales à utiliser pour une culture donnée dans un champ précis. Les résultats montrent que les sols de Tiguéré, de Ranérou, de Kanel, de Boyinadji et de Bow ne sont pas salés à l'horizon de surface comme à l'horizon en profondeur. Les valeurs obtenues ont un niveau de tolérance acceptable pratiquement à toutes les cultures. Cette situation s'explique par le fait que ces sols n'ont jamais subi l'influence des phénomènes d'intrusion marine comme dans le Delta du Fleuve Sénégal (Transgression Nouckchotienne).

Les sols sont acides dans le *Daande Mayo*, soit $5,45 < \text{pH} < 5,56$. Ils sont faiblement acides à neutres dans le *Diéri* et dans le Ferlo : $5,985 < \text{pH} < 6,652$. Ceci peut s'expliquer par les effets de l'engrais, car l'engrais acidifie le sol : la quantité trop importante d'ions H^+ diminue le pH et acidifie le sol. Cela signifie que les divers types de sols rencontrés dans les différentes localités sont

globalement favorables à l'agriculture, mêmes si certains sols rencontrés à Kanel et à Ranérou nécessitent un amendement du pH.

4. La prédominance des actions mécaniques dans la dynamique actuelle

Pour cerner la dynamique en cours dans la Région de Matam, il convient d'analyser le rôle joué par le fleuve, l'action des vents et l'impact des activités anthropiques sur les paysages.

4.1. Le fleuve dans la morpho-pédologie de la région

Le Sénégal draine un bassin versant de 289 000 km² (SAMB, 2006). Le fleuve est typiquement alluvionnaire. La morphologie de son bassin révèle différentes unités dont la répartition varie fondamentalement selon les zones écogéographiques. Aussi, existe-t-il une différence entre la moyenne vallée (Kanel et Matam) et le plateau du Ferlo (Ranérou).

Dans le *Daande Mayo* les grandes levées rarement submersibles sont très présentes (KAERE, 2007). La vallée alluviale du fleuve Sénégal présente des microreliefs très enchevêtrés (MICHEL, 1973). Ces unités tertiaires et quaternaires sont séparées du fleuve par des levées subactuelles en croissant et séparées des bordures du lit majeur par des cuvettes de décantation auxquelles elles se raccordent par un glacis alluvial (KAERE, 2007). Elle est sillonnée par des systèmes de hautes levées qui accompagnent soit le cours actuel du fleuve, soit d'anciens bras et défluent. Ici le bassin repose sur les formations tertiaires et quaternaires anciennes : c'est le domaine des sols hydromorphes et/ou halomorphes (KAERE, 2007). Cependant, le lit mineur du fleuve peut présenter des faisceaux de levées plus petites et plus basses. « Les systèmes de levées compartimentent le lit majeur en une multitude de cuvettes plus ou moins vastes, aux contours très variés ». Dans les parties très basses les eaux stagnent encore longtemps après la décrue, comme l'illustre la grande cuvette de Tiguéré Yéné (Wendu Thiangu) dans le département de Matam, en début de décrue (photo 16).

Photo 16 : Vue partielle de Wendu Thiangou à Tiguéré Yéné



Pendant l'hivernage le fleuve Sénégal répand son trop plein d'eau (les crues) sur de vastes surfaces du lit majeur. Ces étendues d'eau appelées *kolaanga*⁹ restent souvent submergées plusieurs mois après la décrue. D'autres grandes cuvettes forment de véritables défluent où l'eau a souvent une présence annuelle.

Leurs sols argileux, découpés en polygones par les fentes de rétraction pendant la saison sèche, se distinguent nettement du matériau riche en limon et sable fin des levées (MICHEL, 1973) comme l'illustre pertinemment l'analyse granulométrique des sols des levées de Bow (tableau 25).

Tableau 25 : Analyse granulométriques des levées de Bow (Département de Kanel)

| | Mailles/ mm | 2-1 mm | 1-0,5 mm | 0,5-0,25 mm | 0,25- 0,1mm | 0,1 -0,005 mm | 0,005- 0,0025mm | <0,0025 mm |
|------------------|----------------|--------------|---------------|----------------|----------------|------------------|--------------------|---------------|
| Levée 1 | Niveau 1 | 1,947 | 12,02 | 14,7 | 16,014 | 32,841 | 20,113 | 0,337 |
| | Niveau 2 | 2,361 | 15,021 | 16,161 | 13,285 | 31,086 | 19,701 | 0,279 |
| | Niveau 3 | 3,426 | 18,243 | 26,127 | 24,004 | 15,315 | 11,01 | 0,187 |
| Levée 2 | Niveau 1 | 2,655 | 15,92 | 19,952 | 19,977 | 15,522 | 18,454 | 1,675 |
| | Niveau 1 | 4,167 | 21,3 | 21,27 | 19,945 | 27,86 | 1,043 | 0,836 |
| | Niveau 2 | 1,339 | 9,003 | 23,578 | 41,543 | 17,633 | 5,712 | 0,531 |
| Moy. en % | | 2,721 | 15,666 | 20,851 | 23,073 | 23,997 | 13,017 | 0,657 |

⁹ Au pluriel elles sont appelées kolaade

Le tableau 25 révèle que les sables représentent 39,238 % du poids des échantillons traités contre 60,087 % de limons et seulement 0,657 % de particules argileuses. Mais en cumulant les limons et l'argile les particules fines représentent une proportion très importante. Ainsi, ces unités servent souvent de support à l'agriculture du *Diéri* et sont réputés très fertiles pour le mil, le sorgho et le petit mil. Selon MICHEL (1973), les mares qui occupent des creux entre les faisceaux de levés sont des anciens bras (photo 17).

Photo 17 : Le Yara, une vallée fossile à Tiguéré dans le Département de Matam



Le Yara dans le Département de Matam entre Tiguéré Yéné et Tiguéré Ciré fait partie de ces anciens bras qui se fossilisent progressivement par colmatage consécutivement à la persistance de la sécheresse climatique. Ces espaces fonctionnaient comme terrains de pêche temporaires en plus des activités maraichères sous la forme de petites parcelles de décrue mais assez fertiles car alimentées en fractions fines (limons et argiles) par les crues annuelles. Ainsi, ces anciens cours d'eau contribuaient à l'équilibre écologique et économique du milieu. Pendant la saison des pluies les parties les plus élevées étaient le support des cultures sous-pluie ensuite avec la fin de l'hivernage le lit de la dépression était aménagé pour les cultures de décrue de saison sèche froide puis en saison sèche chaude les lieux servaient de zone de pâture et de complément de fourrage. Dans les régions de Matam et de Kaédi se dressent des buttes de grès argileux bariolés, souvent coiffées d'un chapeau sombre de cuirasse ferrugineuse. Elles dominant de 30 à 50 m des glacis sableux (ELOUARD, 1959 cité par MICHEL, 1973).

Par contre, le réseau de vallées mortes du plateau du Ferlo commence à se dessiner au sud-ouest de Bakel, sur la partie haute de l'unité formée par la nappe détritique des grès du Continental Terminal,

à une altitude d'environ 50m. Ce réseau très ramifié débouche dans la dépression du lac de Guiers (MICHEL, 1973). De ce fait, la zone sylvopastorale du Ferlo repose sur la nappe du Continental Terminal avec des revêtements de cuirasses sous forme de blocs ou à l'état de gravillons. « Les types de sols sont des régolites squelettiques sur les espaces cuirassés, ferrugineux lessivés ou non sur le système ogolien, devenant hydromorphes dans le réseau fossile » (SY, 2008). Dans certaines parties, la surface des plateaux cuirassés est localement déprimée par suite de tassements ou de légers effondrements. Pendant l'hivernage, les eaux de ruissellement stagnent dans ces creux du terrain sous forme de petites mares. Néanmoins, ces mares temporaires disparaissent par évaporation aussitôt la saison des pluies terminée, dès les mois de décembre-janvier. La décantation des argiles des eaux a imperméabilisé le fond des dépressions par colmatage des fissures et des vacuoles de la cuirasse (MICHEL, 1973 ; SY, 2008). Des photographies aériennes ont révélé que ces anciens cours d'eau traçaient des méandres, bordés de faisceaux de levées. « Leur lit très évasé présente pendant la saison des pluies une succession de mares et de bas-fonds humides ». Les eaux infiltrées alimentent un certain sous-écoulement (MICHEL, 1973).

4.2. Les processus de l'action permanente du vent

Pour qu'il ait entraînement significatif de débits solides éoliens, l'agent doit être doté d'une énergie susceptible de déloger les particules et de transformer certains quartz en abrasifs pour mitrailler les espaces soumis à la réaction en chaîne des tourbillons (SY, 2008). Quelque 70% des populations interrogées dans les départements de Matam, de Kanel et de Ranérou, estiment que l'érosion est une réalité dans la Région de Matam. Et tous lient, au moins en partie, l'érosion à l'action du vent, surtout dans les parties où le couvert végétal est très faible, voire absent.

C'est le transport des éléments fins du sol, argile, limon et sable fin, partie prenante du complexe absorbant, par le vent. Ce processus appauvrit des sols exposés au vent (photo 18).

Photo 18 : Aire de déflation dans le Département de Matam



Le vent agit plus efficacement là où la végétation est discontinue et les climats secs comme c'est le cas de la Région de Matam caractérisée par une saison sèche de neuf mois avec des températures élevées et des années de plus en plus chaudes. Le vent arrache des particules solides de la surface du sol, dénudant celle-ci d'une certaine portion arable, le vent utilise les particules solides comme abrasifs pour sculpter et mitrailler certains édifices autours desquels il s'écoule, ailleurs (photo 19).

Photo 19 : Aire d'accumulation de débits solides éoliens dans le Ferlo



Source : DIOP (2004)

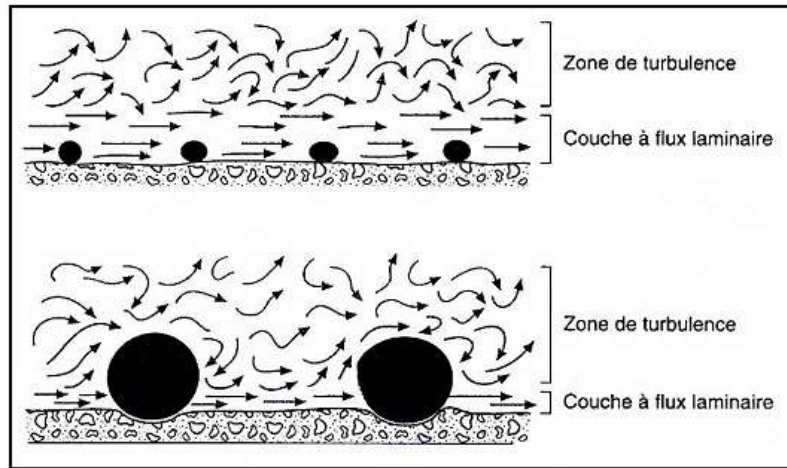
Dans ce cas, le vent enrichit proportionnellement les endroits de dépôts des matières transportées, s'il s'agit surtout de particules fines et non de quartz stériles. Mais dans certains cas ce processus pose un réel problème d'ensevelissement de dépressions qui servaient jadis de support de l'agriculture sous pluies ou de colmatage d'anciennes rivières par lesquelles passaient les crues du fleuve (photos 10). C'est ce qui expliquait le projet de ravitaillement des vallées fossiles pour

soutenir l'agriculture et l'élevage, surtout dans la zone du Ferlo. Enfin, comme le souligne SALL (1971), en les entrechoquant entre eux ou contre un autre obstacle, le vent contribue à les briser.

La compétence du vent et le mode de transport sont fonction de plusieurs paramètres parmi lesquels sa vitesse, la taille des particules du sol, selon que la surface est dénudée ou non, etc. (RISER, 1999 ; WU, 2004 ; SY, 2008). Les particules fines (argile et limon) et les poussières sont les seules concernées (WADE, 2008). Dans les zones dénudées, le vent opère un tri, en soulevant les particules fines il laisse sur place les débris solides grossiers (SY, 1995 et 2008 ; WADE, 2008). Contrairement à la pluie qui n'intervient que durant une courte saison, le vent est un facteur permanent, dont la vitesse et la nature varient selon la situation longitudinale. Mais dans tous les cas, la réaction des milieux face à la déflation dépend beaucoup plus de la vitesse du vent. A côté du vent, il existe des facteurs secondaires comme les cultures pluviales ou irriguées et l'élevage qui contribuent à ameublir le sol et déclencher le processus (WADE, 2008 ; NDIAYE, 2004).

La grosseur et la quantité des grains transportés dépendent de la durée et de la force du vent dont l'action peut être intensifiée par la maigreur, voire l'absence du couvert végétal (RISER, 1999). Au voisinage du sol, certaines particules en transit sont retenues en raison de la faiblesse du fluide ; les autres sont freinées par les forces de frottement dues à la viscosité. La nature topographique de la surface introduit donc une perturbation de l'écoulement qui se manifeste dans l'intensité des vitesses imposées aux particules. Cette perturbation est localisée à l'intérieur d'un volume dont la limite inférieure est le substratum et la limite supérieure est une surface frontière. A l'intérieur de ce volume (couche limite), le fluide est formé d'un empilement de couches glissant les unes sur les autres parallèlement à la surface (MAINGUET, 1985 cité par SY, 2008) -figure 22.

Figure 22 : Schéma des flux de l'air au dessus d'une surface (FAO., 1960)

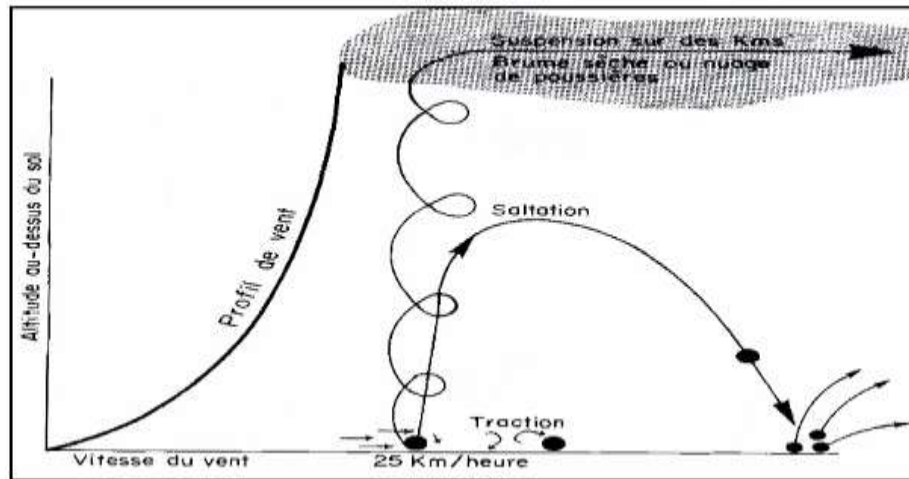


Source : FAO (1960 cité par SY, 2008)

Deux cas de figure sont à distinguer sur le schéma. D'abord, les particules de faibles dimensions qui ne s'élèvent pas jusqu'à la couche turbulente pour être reprises par le vent. Ensuite, il y a les particules qui sont, en général, déplacées par roulement et / ou par saltation. Résultat de l'action du vent au sol, l'érosion éolienne recouvre trois notions selon le mécanisme prédominant : on parle de déflation lorsqu'il y a arrachage de particules par le vent, de corrasion lorsqu'il y a sculpture éolienne. Enfin, le vent accumule sa charge sous forme de nappes sableuses modelées en édifices (RISER, 1999 et SY, 2008). Dans le présent travail, seule la déflation en tant que mécanisme d'arrachage des particules constitutives des sols est prise réellement en compte.

L'ablation de type déflation, consiste en un enlèvement individuel des éléments structurant la fertilité des formations superficielles par le vent. Le vent qui souffle au-dessus d'une surface horizontale exerce deux autres forces sur les grains au repos (figure 23).

Figure 23 : Entraînement des particules et mode de transport



Source : FAO (1960 cité par SY, 2008)

Le vent est ainsi un agent atmosphérique actif sur les matériaux sableux. Il n'est efficace que lorsqu'il est capable d'exporter des débits solides à partir d'une certaine vitesse. Sur les unités morphopédologiques de la vallée alluviale du fleuve Sénégal, à partir du seuil calculé à 4,4 m/s (15 km/h), le vent est compétent, donc susceptible d'entraîner des particules meubles à des hauteurs différentes selon leur taille (SY, 2008). Dans les sols très sujets à l'érosion, les particules ne commencent à être déplacées que quand le vent atteint une vitesse critique de 25 à 30 km/h à 30 cm au-dessus du sol (SY, 2013). A partir de ce moment il y a entraînement de débits solides éoliens.

4.2.1. Entraînement éolien des particules, mode de transport

Les particules sont soumises à diverses forces mécaniques depuis le stade du délogeage jusqu'aux phases de dépôt.

4.2.1.1 L'entraînement de la particule de sable

Pour que l'érosion éolienne s'amorce, la particule au repos est soumise à quatre forces :

- FC (des forces de cohésion) forces d'attraction des grains les uns sur les autres ;
- FG (des forces de gravité ou constante de gravité) opposées aux forces de décollage vertical dont la résultante est un vecteur force orienté vers le bas. La mise en mouvement d'une particule implique des forces supérieures à cette résultante. Sur le terrain, ces forces se traduisent par :
- Fd la poussée, qui est une pression positive exercée par l'air en mouvement sur la face « au vent » du grain ;

- F1 (la portance) qui est une pression agissant verticalement vers le haut à partir du centre de gravité (MAINGUET, 1995 ; SY, 2008).

Le mouvement des particules s’amorce quand $F_d + F_1 = F_c + F_g$. Cela signifie que la somme de la poussée et de la force de décollage est égale à la somme des forces de cohésion et de la constante de gravité. La force de décollage résulte du gradient de vitesse entre la surface du sol et la face inférieure du grain où le vent a une vitesse nulle, et la vitesse élevée sur la surface supérieure du grain. Une haute pression statique apparaît sous le grain et une basse pression à son sommet. Les grains sont soulevés lorsque la différence de pressions statique est supérieure à la force d’inertie proportionnelle au poids du grain (MAINGUET, 1995). Les forces tendent à faire basculer et rouler les particules lourdes, de 0,5 à 2 mm de diamètre.

La différence de vitesse entre la base et le sommet des particules provoque leur aspiration vers le haut. Les particules légères s’élèvent à la verticale jusqu’à la limite du gradient de vitesse qui les porte. Elles retombent alors, poussées par le vent, suivant une trajectoire subhorizontale. En retombant, les grains transmettent leur énergie cinétique à d’autres, ce qui dégrade les agrégats limono-argileux dans le contexte d’une réaction en chaîne. Quand la particule est délogée du substratum, elle intègre un mode de transport selon son calibre et l’intensité de l’agent éolien (SY, 2008).

4.2.1.2. Les différents modes de transport

Leur fonctionnement varie selon la compétence de l’agent, la taille des sédiments, leur degré de cohésion, l’importance des forces de frottements (MAINGUET, 1995 ; RISER, 1999 ; SY, 2008). Le transport par le vent s’effectue selon trois modes principaux : le roulage, la saltation et la suspension, en fonction de la force des vents et de la taille des grains. Le tableau 26 indique la taille des particules déplacées par les vents compétents à Tiguéré.

Tableau 26 : Calibre/mm des particules déplacées, station de Tiguéré (janvier 2017)

| Heures | 2 | 02 à 1 | 1 à 0,5 | 0,5 à 0,25 | 0,25 à 0, 1 | 0,1 à 0,071 | 0,05 à 0,036 |
|---------------|-------|--------|---------|------------|-------------|-------------|--------------|
| SE 8h - 10 h | 0,12 | 0,13 | 0,109 | 0,248 | 3,865 | 14,826 | 32,809 |
| SE 10 h -12 h | 0,001 | 0,061 | 0,122 | 0,332 | 4,834 | 23,253 | 30,027 |
| NE 8h-10 h | 0,44 | 0,35 | 0,21 | 1,81 | 13,97 | 44,73 | 30,656 |
| NE 10h-12h | 0 | 0,114 | 0,125 | 0,87 | 7,437 | 38,079 | 19,358 |
| NE 12h-14h | 0 | 0,05 | 0,039 | 0,253 | 3,13 | 14,009 | 9,586 |

Le tableau 26 reproduit la disposition des pièges à sédiments et les heures de collectes des échantillons sur les sites de Tiguéré et de Bow. Sur chaque site les prélèvements des échantillons ont été effectués toutes les deux heures, de 8 h à 18 h, pendant trois jours ; les échantillons de plus de 20 grammes ont fait l'objet de traitement granulométrique. L'essentiel du poids des sédiments pesés à la balance électrique appartient à la taille des limons moyens à sables fins. Leur calibre est compris entre 0,5 mm et 0,02 mm ce qui indique un mode de transport essentiellement par saltation. Cependant, la proportion de sables grossiers (sable gros et très gros entre 2 mm et 0,5 mm) est assez faible. Par conséquent, le mode de transport par roulement, quoique présent, ne correspond qu'à une part relativement faible. Par exemple, sur ces échantillons de Tiguéré, en saison sèche froide, les résultats se présentent comme suit :

- de 2 à 0,5 mm = roulement, reptation, soit 3,178 % de l'échantillon du cadran Sud-est ;
- de 2 à 0,5 mm = roulement, reptation, soit 1,324 % pour le cadran Nord-est ;
- de 0,5 à 0,1 mm = saltation, soit 14,83 % de l'échantillon du cadran nord-est ;
- de 0,5 à 0,1 mm = saltation, soit 11,61 % de l'échantillon du Sud-est ;
- de > 0,08 mm = suspension, soit 37,227 % de l'échantillon du Sud-est ;
- de > 0,08 mm = suspension, soit 27,523 % de l'échantillon du Nord-est.

4.2.1.2.1. Le roulement ou la reptation des grosses particules

Le roulement ou reptation encore appelé tractation, « *creeping* » en anglais (MAINGUET, 1995 et RISER, 1999) concerne exclusivement les sables les plus gros et les gravillons dont le calibre peut atteindre 3 à 4 mm. A partir de 0,5 mm, le transport s'effectue par roulement. Il se produit par vent violent sur un substratum plat et de rugosité faible (RISER, 1999). La reptation est limitée alors à une hauteur de l'ordre du millimètre. La mise en mouvement des grains est déclenchée par l'impact des particules en saltation lors de leur retombée. Sous l'effet de ce bombement, le mouvement est lent et saccadé, la masse sableuse déplacée par unité de surface étant relativement grande. L'importance du roulement est proportionnelle à la régularité et au degré de dénudation des aires de déflation (SY, 2008). La reptation déplace moins de sédiments que la saltation.

4.2.1.2.2. La saltation des particules de 0,1 à 0,5 mm

La saltation affecte les grains plus petits. C'est une progression de particules dont le diamètre est essentiellement compris entre 0,1 et 0,5 mm, voire 1,1 mm (SY, 2008). Les particules se déplacent

par bonds successifs de quelques décimètres à 2 ou 3 mètres au plus, au gré de chaque rafale (RISER, 1999). Selon SY (2008) les particules qui rebondissent le font avec un angle de 50 %, par rapport à l'horizontal. Après avoir été propulsées par le vent, les particules retombent avec un angle d'impact de 10 à 15°. La saltation est indispensable pour amorcer l'érosion éolienne. Elle est à l'origine de 50 à 75 % des déplacements car elle est aussi à la base du transport par suspension.

4.2.1.2.3. Le transport par suspension

Les particules les plus fines, de diamètre inférieur ou égal à 0,08 mm (certains limons et l'argile surtout) sont susceptibles d'être transportées par suspension à la suite de l'impact des grains plus gros et des tourbillons. La suspension se produit lorsque la vitesse des courants ascendants est supérieure à la vitesse terminale de chute des particules, lesquelles avancent alors à la même vitesse moyenne que le fluide. Une fois parvenues dans la couche turbulente où elles sont maintenues par les forces ascensionnelles, les particules forment des nuages de poussières à une altitude pouvant se situer entre 3 000 et 4 000 m. Entraînées à ces hauteurs par des tempêtes, les particules flottent ainsi au gré des flux sur des milliers de kilomètres au cours de leur voyage susceptible de durer plusieurs années (SY, 2008), figure 28. Chacun de ces modes de transport correspond à une vitesse déterminée du vent. Le sable se met en mouvement par saltation pour une vitesse de 30 km/h mais la porosité du substratum joue un rôle non négligeable (RISER, 1999).

Le seuil de déplacement des débits solides est fixé ici à 25 km/h, soit 7 m/s. Cette valeur critique correspond à 4,4 m/s sur les formations alluviales et deltaïques du fleuve Sénégal (SY, 2008).

4.2.2. Le SGAE et le dépôt des débits solides éoliens

Tout le processus de l'érosion (déflation plus accumulation) se déroule dans un ensemble désigné « système global d'action éolienne » -SGAE- (MAINGET, 1995). En effet, le vent agit de deux manières : il balaie les matériaux qu'il transporte puis les dépose lorsque sa vitesse démunie ou devient nulle. Il existe ainsi un modelé de déflation là où le vent balaie des matériaux et des modelés d'accumulation lorsqu'il les sédimente (RISER, 1999). Dans certaines régions arides, le vent peut emporter jusqu'à 500 kg de sol par hectare et par Jour (SY, 2013). La conséquence est alors la diminution de la fertilité du sol qui constitue l'une des principales causes de la baisse de la productivité agricole. De ce fait, elle devient un facteur aggravant de la pauvreté et de la vulnérabilité des populations rurales (NIANG, 2017).

La Région de Matam peut être rattachée à un SGAE beaucoup plus vaste depuis le Sahara, au nord. Or, un SGAE combine une aire source ou aire de déflation, où le vent prend en charge des particules selon sa compétence, une aire de transport le long de laquelle s'opère un transfert de matériel et où peuvent déjà se former des dunes et une aire d'accumulation. Cette dernière peut à son tour devenir une aire de réexportation (MAINGUET, 1995). C'est ce qui explique la fréquence des vents et des tempêtes de sables en provenance du Sahara et dans la zone sahélienne.

Dans le cas de l'érosion éolienne, le dépôt se produit lorsque le vent cesse ou tombe au-dessous de la vitesse limite nécessaire pour le transport. L'affaiblissement du vent de surface affecte alors l'efficacité de la saltation et ses effets d'impact. A ces conditions peut s'ajouter le changement de la configuration des forces de frottement comme l'angularité de la topographie, les contre-pentes, etc. (SY, 2008). L'aire d'accumulation peut être un terminus du SGAE ou exister à chaque fois que le vent rencontre une cause locale de freinage (MAINGUET, 1995) des débits éoliens : couvert végétal, dépressions océaniques, continentales, lacustres ou lagunaires. Dans le Sahel Sénégalais, qui inclut le Ferlo et la vallée alluviale du fleuve Sénégal, trois principaux processus d'accumulation sont distingués et différent selon les modes de transport des particules :

- pour celles qui sont roulées, il s'agit d'un piégeage soit dans les creux jouant le rôle de trappes à sables, processus actuel de colmatage des zones humides du Sahel sénégalais dont les vallées fossiles du Ferlo ;
- le déclin de la saltation, dû au ralentissement de l'écoulement, aboutit à l'atterrissement des grains ;
- le saupoudrage est le seul mode de dépôt des poussières éoliennes en suspension. Ces retombées sont souvent accélérées par leur humectation dans un air humide. En dehors des nuages de poussières susceptibles de véhiculer en une seule tempête des millions de tonnes de sédiments fins, ce transport concerne les sables de 0,1 à 1 mm de calibre et se fait sous forme d'accumulation du sol.

En fait, de nombreux travaux de "développement" ou de modernisation ont également contribué à déséquilibrer les écosystèmes. Il est alors nécessaire d'évaluer l'impact humain sur les écosystèmes sahéliens pour comprendre la dégradation du potentiel de cette région et de sa capacité à subvenir aux besoins de ses habitants (OCDE/CILSS, 1974). Il est donc pertinent d'étudier la dynamique des paysages au cours des dernières années en relation avec les actions anthropiques.

Conclusion

Dans l'ensemble, l'analyse du climat et des facteurs de l'érosion dans le Ferlo et la moyenne vallée montre que les conditions climatiques actuelles ne permettent pas la pédogenèse encore moins la régénération naturelle de la biomasse végétale. Cette situation rend précaire la vie des végétaux et expose davantage le sol à la déflation. L'importance des déficits a été approchée par le calcul et l'analyse de différents indices couramment utilisés dans le domaine tropical : le facteur de pluie de LANG, l'indice d'aridité de DE MARTONNE, l'indice bioclimatique de LE BORGNE et l'indice d'aridité de SY.

De nombreux indicateurs prouvent que la région est dans une zone aride où son histoire est marquée par plusieurs cycles de sécheresse à l'image de tout le Sahel. Actuellement nous sommes dans une saison astronomique sèche qui pourrait durer 20 000 ans. Nous vivons le début d'une transgression marine avec la fonte des stocks de glace dans les pôles, entraînant le relèvement progressif du niveau général des océans. Cet épisode morphogénique, se manifeste par l'installation progressive de l'aridité dans nos latitudes. L'irrégularité de la pluviométrie est l'élément tyrannique du climat des régions sahéliennes. La dégradation climatique y est de plus en plus constatée.

L'analyse des échantillons de sédiments a permis d'avoir une idée de leurs caractéristiques physico-chimiques et de l'évolution du milieu face à certaines formes de mise en valeur. Cela facilite l'étude des interrelations entre le milieu naturel et les activités anthropiques.

Chapitre 4 : Stratégies de gestion et perspectives du secteur agropastoral dans la Région de Matam

Si le milieu naturel est le support des activités humaines dont l'épanouissement dépend de son état, ces dernières sont parfois de réels facteurs de sa dégradation. L'agriculture, le pastoralisme et l'utilisation de combustibles ligneux comme source d'énergie font partie des principales activités qui peuvent affecter les ressources végétales et pédologiques. Depuis les années 1990 un éclaircissement général de la couverture végétale, un état végétatif médiocre des formations ligneuses et une réduction inquiétante du tapis herbacé graminéen sont constatés dans la moitié nord du Sénégal. Ce sont les conséquences d'une évolution défavorable des éléments climatiques auxquels se sont superposés des facteurs anthropiques aggravants (NDIAYE, 1992).

Les perspectives de la Région de Matam dans le domaine agropastoral sont difficiles à cerner. Toutefois, il paraît pertinent de faire le tour des activités et projets en cours ou en vue dans le domaine agricole et pastoral. Cela implique également la prise en compte des notions de risque et de vulnérabilité dans le contexte du changement climatique global.

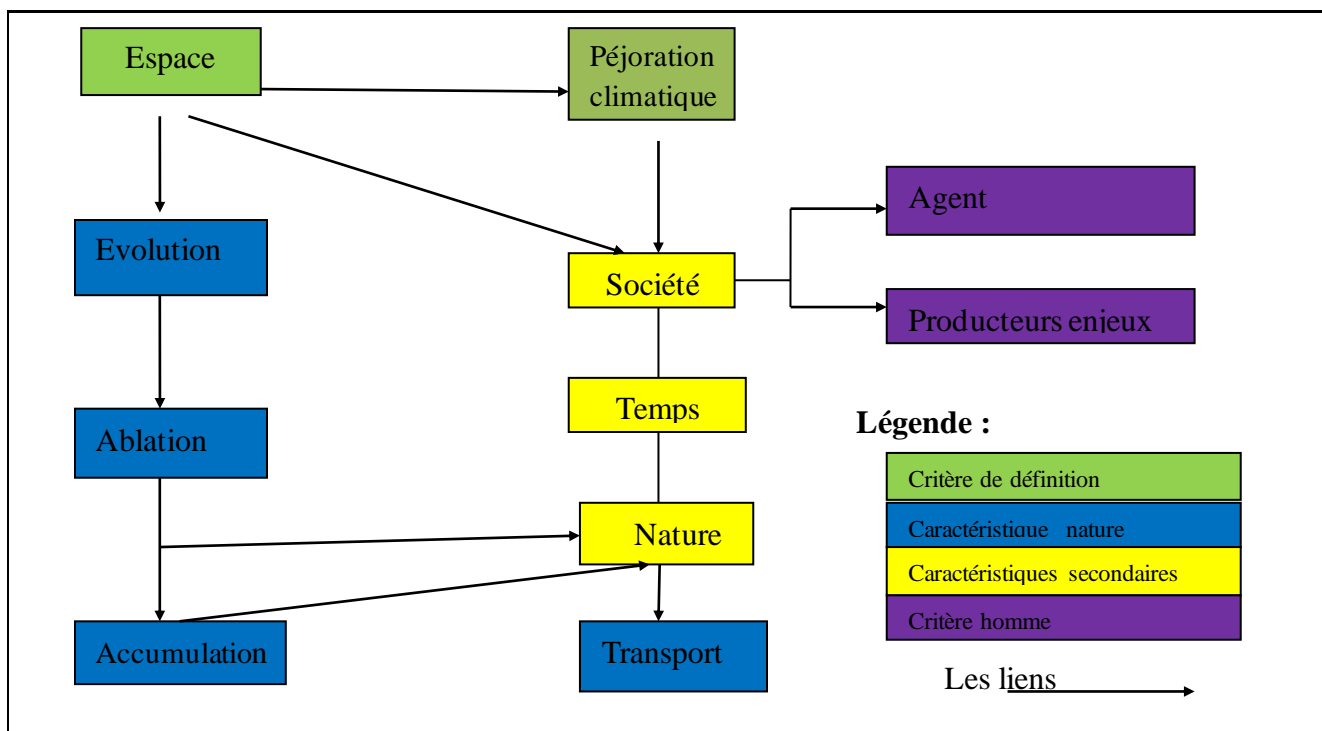
1. La dynamique des paysages de la région et les pressions anthropiques

Historiquement, les géographes s'intéressent aux paysages. « Ils les ont parcourus et explorés, décrits et dessinés, puis disséqués dans leurs moindres composantes ... avant de faire à nouveau l'effort de les regarder dans leur totalité ». A l'instar d'autres scientifiques et/ou techniciens tels les agronomes, les forestiers, les planificateurs ou les économistes, ce sont tout de même eux qui sont les plus directement concernés par l'étude des paysages en tant que cadre de vie (RICHARD et *al.*, 1990). Comme le font remarquer l'OCDE et le CILSS depuis 1974 :

« Les déséquilibres écologiques mis en évidence par les récentes sécheresses deviennent plus compréhensibles lorsque l'on observe le comportement des populations, de leurs troupeaux et de leurs méthodes culturales. Bien qu'ils soient les premières victimes de la sécheresse, les Sahéliens sont largement responsables de leur vulnérabilité croissante » (OCDE/CILSS, 1974).

Il est possible de définir le paysage en se basant sur deux critères essentiels (Nature et Homme) et secondaires (Espace-temps) SY (2013). Notre définition du paysage englobe quatre principales dimensions : la Nature, l'Homme, l'Espace et le Temps (figure 24).

Figure 24 : Modèle de caractérisation des paysages-sociétés



La Nature relève des processus sédimentaires (érosion-transport-sédimentation). L'Homme est considéré comme un acteur double. Il influence les processus. Dans ce cas, il est agent de la morphogenèse de par l'impact de ses activités dans l'environnement. Il est aussi créateur d'enjeux sur les paysages (usages et activités) ; il subit les effets de la morphodynamique dans la région. L'Espace est le lieu dans lequel se déroulent les processus sédimentaires. Il est défini par des coordonnées géographiques (x, y). Il a des caractéristiques propres qui évoluent sous l'action des agents opérants. La notion d'espace est empruntée aux physiciens : de « l'espace » de Newton caractérisé par la longueur, la largeur et la hauteur, on est passé à celui d'Einstein avec la quatrième dimension, le temps (BRUNET, 1990). Le Temps est considéré comme l'unité de mesure du risque (SY, 2013). Il est défini selon les lois géologiques en ères, périodes, séquences, étages, etc. Dans cette étude, la dimension temps renvoie à la prise en compte du caractère dynamique des paysages qui évoluent sous l'impulsion combinée de phénomènes naturels et d'actions anthropiques.

Cette démarche conceptuelle, permet d'arriver dans le présent TER, à une esquisse de définition. La région est un ensemble d'unités dynamiques dont le mode de fonctionnement intègre les processus physiques et les considérations anthropiques. Au plan physique, c'est une zone de dimension très

variable. Sa résistance dépend des caractéristiques de son matériel (granulométrie, faciès), des agents les plus actifs (vents, eaux...), des unités morphopédologiques (levées, cuvettes de décantation, terrasses...) et de certaines activités humaines (agriculture de décrue, agriculture irriguée, utilisation de son stock sédimentaire notamment pour la construction, parcours pastoraux...). Au plan humain, c'est un lieu d'habitats et de toute sorte d'activités économiques. Par conséquent, la région associe différentes unités dynamiques qui intègrent le fonctionnement global des paysages des milieux écogéographiques aussi variés que la vallée alluviale, le Diéri et le Ferlo.

1.1. L'approche théorique du concept de paysage

Pour bien cerner le concept de « paysage », il convient de l'approcher sous différents angles, ce qui suppose « construire un système de définition ». Le paysage peut être défini « simplement comme ce qu'un observateur voit du monde qui l'entoure ». Pour un géomorphologue, l'étude d'un paysage concerne les reliefs et modelés, à leur formation et à leur évolution (LOCATELLI, 2000). En géographie l'étude des paysages permet de comprendre l'évolution du milieu en tenant compte des interrelations avec les sociétés humaines et leurs activités. A noter que toute étude des paysages s'inscrit dans un temps donné car ils sont mouvants et changent perpétuellement de façon partielle ou totale. Il est, dès lors, fondamental de tenir compte de tous les aspects de ce caractère temporel. Les nombreuses approches possibles expliquent la variété des définitions très souvent réductrices, c'est pourquoi le terme paysage est fortement polysémique (LOCATELLI, 2006 ; RICHARD *et al.*, 1990).

Le paysage est donc un signe, c'est-à-dire ce qui est possible de percevoir parmi les effets des différents systèmes de forces en action. Il existe alors trois principales catégories de systèmes.

D'abord, la catégorie abiotique regroupe toutes les forces qui agissent dans l'air, dans l'eau, sur et dans la terre et qui créent les pentes et les plaines, les lacs et la plage, le ciel bleu et les nuages ; c'est l'objet de la géomorphologie, de la climatologie, de l'hydrologie. Ensuite, la catégorie anthropique concerne les techniques mises au point par les sociétés humaines qui mettent en valeur leur espace différemment, au cours de l'histoire pour satisfaire divers types de besoins par des « objets bien visibles dans les paysages » (routes ou pistes de production, champs, pare-feux...), bref l'anthropisation des milieux. Une multitude de disciplines scientifiques entre en jeu, de l'urbanisme et de la sociologie aux études financières et techniques. Enfin, les dynamiques biologiques, avec les épisodes variés de leurs histoires, ont disposé ici des forêts et là des savanes ou des steppes dont

l'allure et les limites fluctuent : à ce niveau toute la biodiversité est prise en compte. La biologie (animale et végétale) et l'écologie s'attachent à les comprendre. Par commodité dans le classement des objets produits, nous y ajoutons les champs de céréales, les troupeaux de moutons, de caprins ou de bovins... tout ce qui dépend évidemment des forces biologiques mais dont la présence est due à l'initiative des hommes : l'agronomie, l'économie, l'ethnologie, entre autres, renseignent à leur sujet. Ces trois catégories de systèmes agissent en interaction. Par exemple, pour la catégorie biotique la croissance des plantes dépend du soleil, de la fourniture d'eau et du capital génétique de chaque espèce, mais elle est aussi très souvent tributaire à la décision de planter celle-ci plutôt qu'une autre et soumise au choix des techniques culturales.

« Il est alors impossible d'affirmer qu'une combinaison d'objets et les paysages qu'elle offre, sont naturels ou artificiels : on ne peut que s'efforcer d'apprécier le degré d'artificialisation qu'ils présentent. Cela se complique encore quand on considère que l'action des hommes peut correspondre à une simple introduction d'espèces végétales ou animales qui ont ensuite une dynamique spontanée ou plus fréquemment, à une culture ou un élevage régulier » (JUINRIALLAND, 2003).

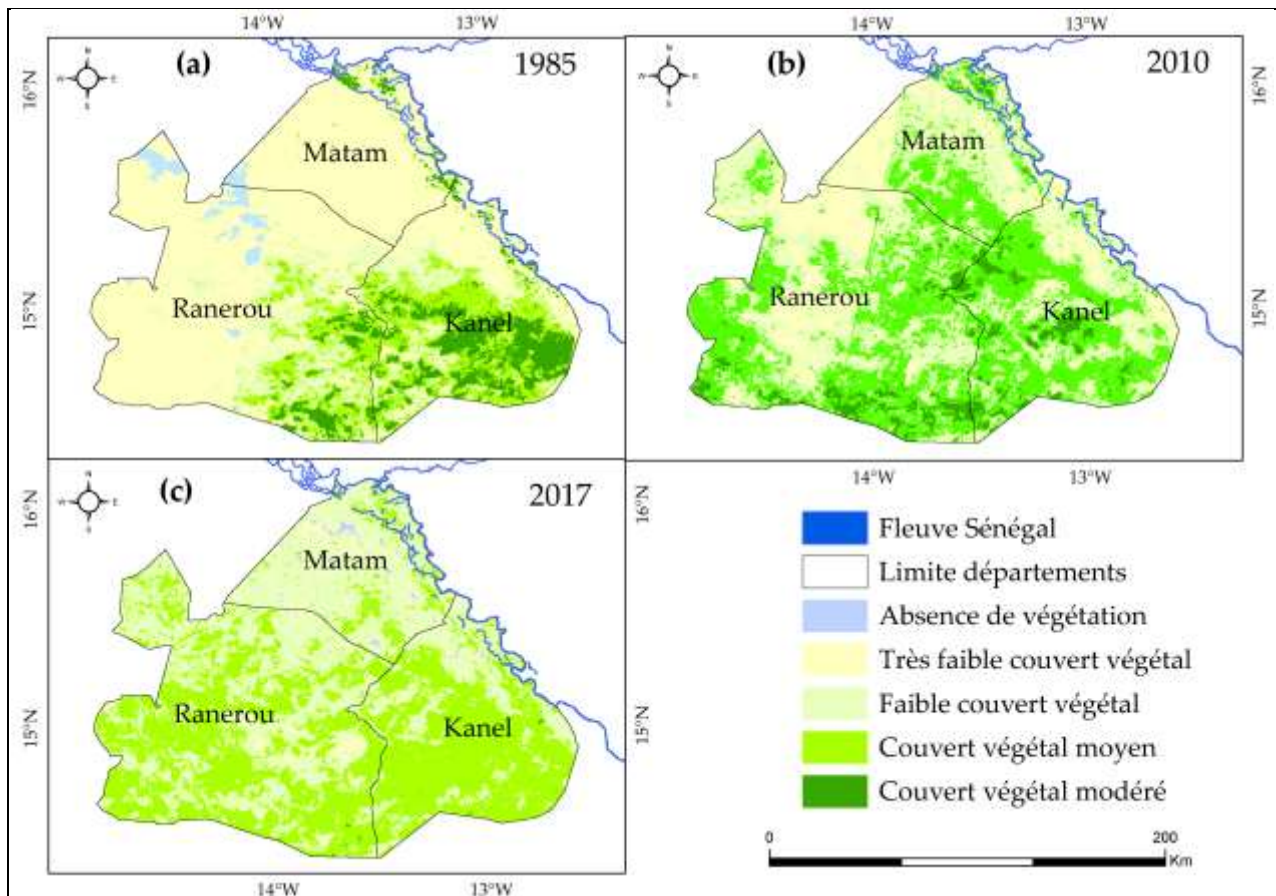
Ces remarques s'appliquent aussi aux constructions diverses et à leurs rapports avec les reliefs, l'action des eaux ou les phénomènes climatiques.

A préciser que les forces en action dans la boîte de ces systèmes, qu'elles soient de catégorie abiotique et ou biologiques sont sans but, sans intentions. C'est tout le contraire des actions anthropiques, qui sont le fruit de décisions personnelles ou collectives susceptibles d'annulation et de reprises et qui peuvent être influencées par des représentations par tous types de schèmes. Le producteur est alors aussi celui qui perçoit. L'inverse est vrai qui rend la perception dépendante des fonctionnements productifs et de l'état des objets produits. C'est dire donc que « ce paysage est un cadre de vie organisé » parce que « les villageois sont partout ... mais ils ne font pas n'importe quoi, n'importe où ». Divers paramètres entrent en jeu parmi lesquels l'adaptation ou soumission aux contraintes de la Nature, l'insuffisance de moyens techniques ou le respect des traditions. Le résultat est le même : les comportements et les activités varient selon les « facettes » du paysage. Et ces facettes sont aussi importantes les unes que les autres (RICHARD et *al.*, 1990). L'érosion mécanique par ruissellement, ravinement ou déflation éolienne se manifeste avec une vigueur beaucoup plus grande sur les terres cultivées ou en friche, qu'en milieu naturel (MICHEL, 1973). La pression sur les ressources s'accroît alors dans un contexte climatique qui ne permet pas leur régénération naturelle (SY, 2008). C'est pourquoi l'action de l'homme impacte considérablement le paysage, notamment à travers la dynamique spatio-temporelle du couvert végétal.

1.2. La dynamique spatio-temporelle du couvert végétal

L'analyse de la dynamique de la végétation de la Vallée et du Ferlo se fonde sur une approche des paysages combinant des observations directes réalisées sur le terrain et des images satellitaires (carte 10).

Carte 10 : Evolution du couvert végétal de la Région de Matam



Les résultats montrent des situations contrastées. D'une part, il y a une différence entre la zone à prédominance sylvo-pastorale de Ranerou Ferlo et la vallée alluviale, au niveau des départements de Matam et Kanel. D'autre part, le contraste est bien perceptible entre la situation au lendemain de la grande sécheresse (Carte 10 a), quelques années après le retour à une pluviométrie relativement importante (Carte 10 b) et la situation actuelle (carte 10 c). Aussi, apparaît-il progressivement une faible reconstitution du couvert végétal sur des surfaces totalement dénudées en 1985. C'est pourquoi, la dynamique de la végétation de la Région de Matam est, comme le fait remarquer HOUNTOUNDI (2008) pour le reste de l'Afrique de l'Ouest, difficile à appréhender sans tomber dans les stéréotypes d'usage et le catastrophisme. En effet, avec le retour de la pluviométrie ces

dernières décennies que montrent nos résultats qui, d'ailleurs, sont en phase avec ceux d'autres chercheurs (SOW et GAYE, 2016 ; BODIAN et *al.*, 2011), la situation de 2010 est positive. En termes de reconstitution partielle du couvert végétal, elle commence en 2010 et se confirme en 2017. Paradoxalement, sur la même période la végétation modérée a quasiment disparu sur l'étendue de la région (carte 10 c.).

Cette situation s'explique, à la fois, par des facteurs physiques comme la sécheresse antérieure et l'irrégularité interannuelle de la pluviométrie (figure 16) mais aussi des pressions anthropiques notamment en raison du développement de la culture irriguée consécutive à l'avènement des barrages. Les processus de péjorations des sols et du couvert végétal peuvent être accélérés par l'action de l'homme et le bétail (VALENTIN, 1994). La pression foncière se traduit par un épuisement des sols et par des phénomènes d'érosion dus à leur surexploitation et à l'abandon des techniques traditionnelles, en particulier la jachère (CHARLERY DE LA MASSELIÈRE et RACAUD, 2012).

Dans le contexte de sécheresse climatique, un projet de régularisation visant à maîtriser toutes les eaux de surface de la vallée du fleuve Sénégal est à l'origine de la création d'un ensemble d'ouvrages hydrauliques. Et le site de Manantali a été choisi pour un barrage de régularisation hydraulique (KAMARA, 2013). La mise en valeur des terres par des activités agricoles s'est développée à un rythme très soutenu, avec une augmentation des aménagements hydro-agricoles privés (DIOP et *al.*, 2017). L'incidence du barrage qui facilite l'agriculture irriguée au niveau de la vallée alluviale est réelle et explique les disparités entre les deux principales zones écogéographiques de la région. Dans la vallée, l'agriculture de décrue et, de plus en plus, l'agriculture irriguée sont les principales formes de mise en valeur agricole des terres. Or dans le Département de Ranérou Ferlo ce sont les cultures sous pluie et l'élevage, surtout, qui priment car le Ferlo a toujours joué un rôle très important dans l'explication des mouvements pastoraux (SY, 2003 et 2010).

Donc la dynamique de la végétation, entre 1985 et 2017, montre que la désertification massive est à relativiser. C'est ce que prouve l'évolution des indices de végétation qui se présente comme il suit (tableau 27)

Tableau 27 : Synthèse des valeurs de NDVI dans la région de Matam

| Statistiques | 1985 | 2010 | 2017 |
|--------------|--------|--------|-------|
| Moyenne | 0.121 | 0.160 | 0.201 |
| Max | 0.404 | 0.472 | 0.391 |
| Min | -0.171 | -0.366 | 0.005 |
| Ecart-type | 0.141 | 0.212 | 0.096 |

Malgré la disparition du couvert végétal modéré cédant partout la place à une végétation faible, essentiellement constituée de plantes saisonnières et des épineux typiques du Sahel, l'indice de végétation montre une évolution positive. Cependant, la « *vulnérabilité des anthroposystèmes* » (FALL, 2014) est perceptible sur les paysages en raison du poids de certaines formes d'exploitation économique.

La Région de Matam fait partie des milieux les plus touchés par le phénomène au Sénégal. Cette situation s'explique en partie par l'immensité de la région. En effet, la vaste étendue permet une progression rapide des flammes. Le Département de Ranérou est le cas le plus patent de cette situation. Généralement les pyromanes sont des récolteurs de gomme arabique, des exploitants forestiers, des cultivateurs, des bergers et des bouviers.

Un projet de régularisation du fleuve Sénégal visant à maîtriser toutes les eaux de surface de la vallée du fleuve Sénégal est à l'origine de la création d'un ensemble d'ouvrages hydrauliques. De tous les sites proposés pour un barrage de régularisation hydraulique, seul Manantali fut choisi dans l'immédiat pour un barrage hydroélectrique (KAMARA, 2013). Il apparaît que la vallée du Ferlo a toujours joué un rôle très important dans l'explication des mouvements pastoraux (SY, 2003 et 2010). Précisons d'emblée que, si les processus décrits ici peuvent être accélérés par l'action de l'homme et du bétail, il n'en demeure pas moins qu'ils ont été mis en évidence également dans des zones mises en défens (VALENTIN, 1994).

1.3. Le poids de certaines formes d'exploitation dans la dégradation des paysages

L'homme est en grande partie responsable de la dégradation des paysages à Matam du fait de sa vocation agropastorale. Plusieurs agents de modification anthropogène sont répertoriés : les feux de

brousse, l'expansion de l'agriculture, la prolifération du bétail, le développement de réseaux de transports modernes et l'urbanisation.

Les conséquences de la dégradation environnementale sont importantes aussi bien pour les activités agricoles que pour les activités pastorales.

1.3.1. Le milieu et les activités agricoles

Dans la vallée alluviale l'agriculture est pratiquée, en général, sans tenir compte des conditions de mise en place des unités morphopédologiques encore moins de leurs caractéristiques physico-chimiques (SY, 2008). Après le désengagement de l'Etat dans le cadre des PAS (TOULMIN et GUEYE, 2003 ; SY, 2008), il y a eu une prolifération de petits producteurs individuels ou collectifs peu imprégnés de ces contraintes, ce qui accentue l'apparition de tendances nuisibles (SY, 2008) dans cette région à fortes potentialités agricoles. Dans l'essentiel des villages enquêtés les populations évoquent un recul de la culture sous pluies dans le Walo contrairement à l'irrigation.

Pour la plupart, ces périmètres irrigués sont situés dans les cuvettes de décantation. Ces dernières qui sont argileuses, sont ciblées en raison de leurs sols lourds. Puis elles sont « systématiquement déboisées par des groupements de producteurs organisés au sein de Périmètres Irrigués Villageois (PIV). De plus, ces vastes surfaces sont protégées par des piquets prélevés dans la forêt ou des épineux émondés des arbres environnants » (SY, 2008). S'y ajoute, de plus en plus, l'exploitation de parcelles individuelles dénommées « GOANA » par les populations du *Daande Mayo*. Ces pratiques ont entraîné une suppression sur les ligneux et expliquent la réactivation de l'érosion éolienne. Ces types d'exploitation progressent en dépit des coûts d'aménagements et d'équipements (SEYDI, 2002 cité par SY, 2008), repoussant le territoire pastoral dans le *Diéri*.

L'agriculture sénégalaise se consacre, pour l'essentiel, à des cultures sous pluie dont le cycle végétatif correspond à l'hivernage. L'éventail des cultures est d'autant plus réduit que les pluies sont en moyenne faibles. La production est aussi largement soumise aux aléas climatiques. La moitié septentrionale du pays est particulièrement exposée aux risques de sécheresse (PAUL, 2005).

Malgré des conditions climatiques difficiles, de nombreuses communautés agricoles ont réussi à faire face en modifiant leurs pratiques, en diversifiant leurs revenus et en adoptant de nouvelles cultures, ainsi que des modes d'occupation des sols susceptibles de rapporter des revenus raisonnables (TOULMIN et GUEYE, 2003). Ce sont les systèmes de culture.

A l’instar de toute l’Afrique de l’Ouest les revenus ruraux se sont progressivement diversifiés l’agriculture ne représentant plus dans de nombreux cas que 30 à 40 % des recettes totales (en espèces et en nature). La diversification des activités pour faire face aux risques a longtemps été inscrite dans les stratégies de survie et de croissance de nombreux ménages, que ce soit en variant les cultures, en investissant dans une vaste gamme de biens et d’actions socioéconomiques ou en élevant différentes espèces de bétail (TOULMIN et GUEYE, 2003). Selon le groupe consultatif (2014) :

« Le développement de l’agriculture, de la pêche et de l’industrie agroalimentaire répond à une triple aspiration :

- *renforcer la sécurité alimentaire du Sénégal et rééquilibrer une balance commerciale dégradée par les importations de produits alimentaires ;*
- *développer des filières intégrées compétitives, à haute valeur ajoutée ;*
- *et préserver les équilibres socio-économiques et dynamiser l’économie rurale».*

Mais dans l’avenir la LOASP pourrait soit donner de l’air à l’élevage pastoral soit précipiter sa mutation vers des formes moins mobiles et plus intensives (MAGRIN, 2008). La dynamique actuelle d’expansion des surfaces agricoles, avec l’arrivée d’investisseurs privés dans le domaine agricole et l’optimisation de l’exploitation des ressources foncières, constitue une préoccupation majeure pour les activités agropastorales de la Région de Matam.

L’étude des interrelations entre le milieu et les activités agricoles est complétée par celle sur le milieu et les activités agricoles.

1.2.2. Le milieu et les activités pastorales

L’élevage et ses produits dérivés contribuent positivement à l’économie régionale. L’importance du cheptel dans la région se ressent à travers son nombre et sa diversité (tableau 28).

Tableau 28 : Répartition du cheptel par département

| Départements | Bovins | Ovins | Caprins | Équins | Assins | Camelins |
|---------------------|---------------|--------------|----------------|---------------|---------------|-----------------|
| Matam | 135000 | 213500 | 116000 | 13790 | 16230 | 115 |
| Kanel | 126300 | 182000 | 82000 | 9240 | 9880 | 49 |
| Ranérou | 95000 | 201500 | 82000 | 15570 | 14000 | 70 |
| Total | 356300 | 597000 | 298500 | 38600 | 40110 | 234 |

Source : Rapport annuel IRSV de Matam (2013)

La région enregistrait en 2013 un cheptel estimé à 1 451 544 têtes de bétail. Ces statistiques confirment l'importance de l'élevage surtout dans le Département de Ranérou Ferlo (ANSD/SRSD, 2013).

L'élevage se fait selon le mode extensif suivant la disponibilité en eau et des pâturages. La région possède un important cheptel et de fortes potentialités pastorales. L'élevage reste l'activité principale des Peuls. Cependant, il existe une minorité de grands éleveurs (*jarga*), dont le troupeau se compte par centaines de têtes (photo 20).

Photo 20 : Troupeaux de petits ruminants et de bovins au repos



Certains éleveurs généralement peuls sont appelés *Jarga*. Ils peuvent posséder jusqu'à plusieurs milliers de têtes de bétail. La plupart d'entre eux sont localisés dans le Ferlo. Mais d'autres vivent dans les départements de Matam et de Kanel. Cependant, la majorité de ceux qui élèvent n'ont que quelques têtes, des caprins, notamment dans les villages Soninké ou de Pulaar sédentaires du *Jejengol* et du *Walo*. La conduite du troupeau est souvent confiée à un berger, appelé « *gaynaako sarde* » employé par le village ou par un groupe de propriétaires. Dans beaucoup de familles, les animaux et la population cohabitent. Cependant, dans la Région de Matam, comme partout au Sahel, « le pastoralisme a subi d'importantes transformations du fait de l'accroissement démographique, d'options politiques ou de changements environnementaux comme les variations climatiques » (CSAO/OCDE, 2010). Les interactions entre le pastoralisme et le changement climatique sont complexes. Certes, l'élevage peut favoriser le changement climatique en participant aux émissions de gaz à effet de serre, notamment, via le méthane. Mais il est également une victime majeure à cause de la pression accrue sur les ressources et des événements climatiques extrêmes. Ainsi, se développent différentes stratégies d'adaptation des hommes et des animaux face au changement

climatique (KAMIL et LARBODIERE, 2010) parmi lesquelles la mobilité. Dans ce contexte, l'avenir de l'élevage pastoral est très incertain.

Dans le Ferlo, l'élevage est de loin la première activité socio-économique. Les forages y ont modifié la structuration spatiale, les mouvements du bétail, les affectations des activités et les rapports sociaux aux ressources. Les Unités pastorales ont constitué un cadre d'aménagement de l'espace autour des forages, mais aussi de gestion des services et de l'organisation des usagers des ressources. C'est pourquoi, lors du FOREMA la région a été reconnue comme une zone d'élevage de type extensif traditionnel par excellence (tableau 29).

Tableau 29 : Les UP dans la Région de Matam

| Nom de l'UP | Superficie/ha | Objet d'une délibération (oui/non) | Localisation | |
|----------------------|---------------|------------------------------------|---------------|----------------|
| | | | Département | Commune/CR |
| UP LoumboulS. Abdoul | 38 170 | Oui | Ranérou-Ferlo | Oudalaye |
| UP Malandou | 72 820 | Oui | Kanel | Ouro-Sidy |
| UP Windé Diohi | 86059 | Oui | Kanel | Ndendori et OS |
| RNC Mbounguiel | 128 000 | Oui | Kanel | Ouro-Sidy |

Source : Rapport annuel IREF de Matam (2010)

L'approche UP constitue un référentiel technique et social de développement pastoral parce qu'elle a évolué suite aux leçons tirées des expériences antérieures. De nos jours, l'UP recouvre des réalités complexes avec des stratégies différentes de maîtrise d'œuvre et de gestion des services associées à l'UP. Les communes rurales de Vélingara et de Louguéré Thioly sont des unités pastorales de grande importance. De par sa vocation agro-pastorale, la région a un rôle important à jouer dans le cadre du Plan du Sénégal émergent (PSE) qui, selon le groupe consultatif (2014) vise entre autres la sécurité alimentaire. L'intensification et la diversification des productions sont alors privilégiées. Pour l'élevage, le souci de décentralisation et de désengagement de l'Etat constitue l'axe prioritaire des actions recommandées par les Conseils Interministériels. Le volet élevage de la Nouvelle Politique Agricole (NPA) est centré sur l'intensification des productions par une stratification des producteurs selon la zone agroécologique, la responsabilisation des producteurs à travers la création de Groupements d'Intérêt Economique (GIE).

En ce qui concerne le couvert herbacé des parcours pastoraux, en particulier au Ferlo, les observations entreprises dès le déclenchement de la sécheresse ont montré une tendance à la baisse de la productivité, interrompue épisodiquement par une année exceptionnellement favorable (NDIAYE, 1992). De ce fait, des réserves de faune, des réserves sylvo-pastorales et des forêts classées ont été mises en place (tableau 30).

Tableau 30 : Forêts classées et réserves de la région par département

| Massif forestier classé | Arrêté | Superficie (ha) | Localisation |
|-------------------------------------|---------------------|------------------|----------------------------|
| DEPARTEMENT DE MATAM | | | |
| Forêt classée de Diamel | 5742 19/10/1950 | du 5 900 | Ogo |
| Forêt classée de Balel | 5742 19/10/1950 | du 30 | Nabadji |
| Forêt classée de Gaol | 3220 06/05/1951 | du 770 | Bokidiawé |
| Forêt classée de Lambango | 2384 08/05/1952 | du 5 580 | Ogo |
| <i>Sous total 1</i> | | <i>12 280</i> | |
| DEPARTEMENT DE KANEL | | | |
| Forêt classée de Dolol | 2661 10/07/1974 | du 170 | Ouro Sidy |
| <i>Sous total 2</i> | | <i>170</i> | |
| DEPARTEMENT DE RANEROU FERLO | | | |
| Réserve de Faune Ferlo-Sud | 72347 21/03/1972 | du 663 000 | Oudalaye, Vélingara |
| Réserve de Faune Ferlo-Nord | 72346 21/03/1972 | du 487 000 | Ogo, Oréfondé, Oudalaye |
| RSP de Younoféré | 6450 08/04/1955 | du 49 400 | Oudalaye |
| RSP de Louguéré-Thioly | 5139 27/07/1955 | du 198 000 | Louguéré-Thioly |
| RSP de Vélingara-Ferlo | 887 du 13/12/1954 | 50 000 | Vélingara-Ferlo |
| RSP de Mbem- Mbem | 4533 28/06/1956 | du 37 700 | Vélingara-Ferlo |
| RSP de Sab- Sabré | 5524 28/06/1955 | du 65 000 | Vélingara-Ferlo |
| <i>Sous total 3</i> | | <i>1 550 100</i> | |
| TOTAL | | 1 562 550 | |

Source : IREF. Rapport annuel(2010)

Avec le polissage et la surexploitation des ressources végétales, l'horizon A est exposé. L'éradication de l'horizon A fait affleurer l'horizon B alors soumis à un effet appelé *sculding*, polissage par les grains en saltation qui l'imperméabilise vis-à-vis de l'infiltration des eaux de pluie, le rend sensible à l'effet *splach* puis à l'érosion hydrique. L'horizon B se comporte désormais

comme une roche tendre sensible au ruissellement en nappe et sur laquelle l'érosion éolienne fait apparaître des dépressions éoliennes de type *Blow-out*. Ces mécanismes aboutissant à la sécheresse édaphique ont des conséquences sur la végétation qui souffre à la fois d'un déficit en oxygène et en humidité (MAINGUET, 1995). En plus, la multiplication des forages profonds favorise la consommation des maigres ressources herbacées au-delà des limites de charge, dans la zone de polarisation de ces points d'eau (NDIAYE, 1992). Outre l'influence modificatrice du sol sur la disponibilité en eau découlant des pluies, la fertilité du sol a son importance sur le caractère et la productivité des pâturages (BKEMAN *et al.*, 1991). La raréfaction des ressources, la dégradation du couvert végétal et la restriction des pâturages à la faveur des cultures irriguées accroissent les risques de conflits. Plusieurs termes désignent les problèmes liés aux ressources naturelles dont les affrontements qui peuvent en résulter allant des simples désaccords aux oppositions déclarées voire des affrontements violents (TENGEY, 2008). Pour s'adapter aux exigences du milieu l'une des stratégies traditionnelles des éleveurs est la transhumance (photo 21).

Photo 21 : Campement de pasteurs transhumants dans le Ferlo



Source : PAUL (2005 cité par SY, 2008)

La transhumance caractérise cette nécessité d'adaptation à l'évolution du milieu naturel. Elle consiste en une migration saisonnière qui comprend deux phases : la période d'hivernage et la saison sèche. L'élevage entretient, un peu partout au Sénégal, des relations complexes avec les pratiques culturelles. L'évolution de ces activités suscite un intérêt et des interrogations sur leurs perspectives.

2. Les perspectives des activités agro-pastorales dans la région

Un faisceau de facteurs physiques, historiques et sociologiques se combinent pour donner à la Région de Matam une vocation essentiellement agropastorale. Dans le cadre de la politique macroéconomique, le secteur primaire étant au cœur des stratégies du développement, les activités agropastorales y connaissent un regain d'intérêt. C'est le cas dans la production du riz avec l'objectif déclaré d'autosuffisance en 2017. Le changements climatique, favorable ou non, modifiera la quantité et la qualité des pâturages naturels et sera sans doute l'occasion de nouvelles formes de parcours d'élevage dans la région. Mais les éleveurs risquent de faire face à une pression agricole croissante, à des contraintes environnementales plus fortes dans les années à venir, aux risques politiques ponctuels et à l'évolution institutionnelle, dans le cadre de la décentralisation et de la législation foncière. Une partie d'entre eux se tournera davantage soit vers l'agro-pastoralisme soit vers un système d'élevage sédentaire ou semi-transhumant. Pour les autres, la mobilité sera encore au cœur de leur stratégie, à condition qu'elle soit mieux accompagnée tant sur le plan national que régional (CSAO/OCDE, 2010).

Dans tous les cas, une pression anthropique excessive conduit inmanquablement à la désertification, processus insidieux, particulièrement destructeur en région aride ou semi-aride, dans la mesure où une régénération même partielle est presque impossible :

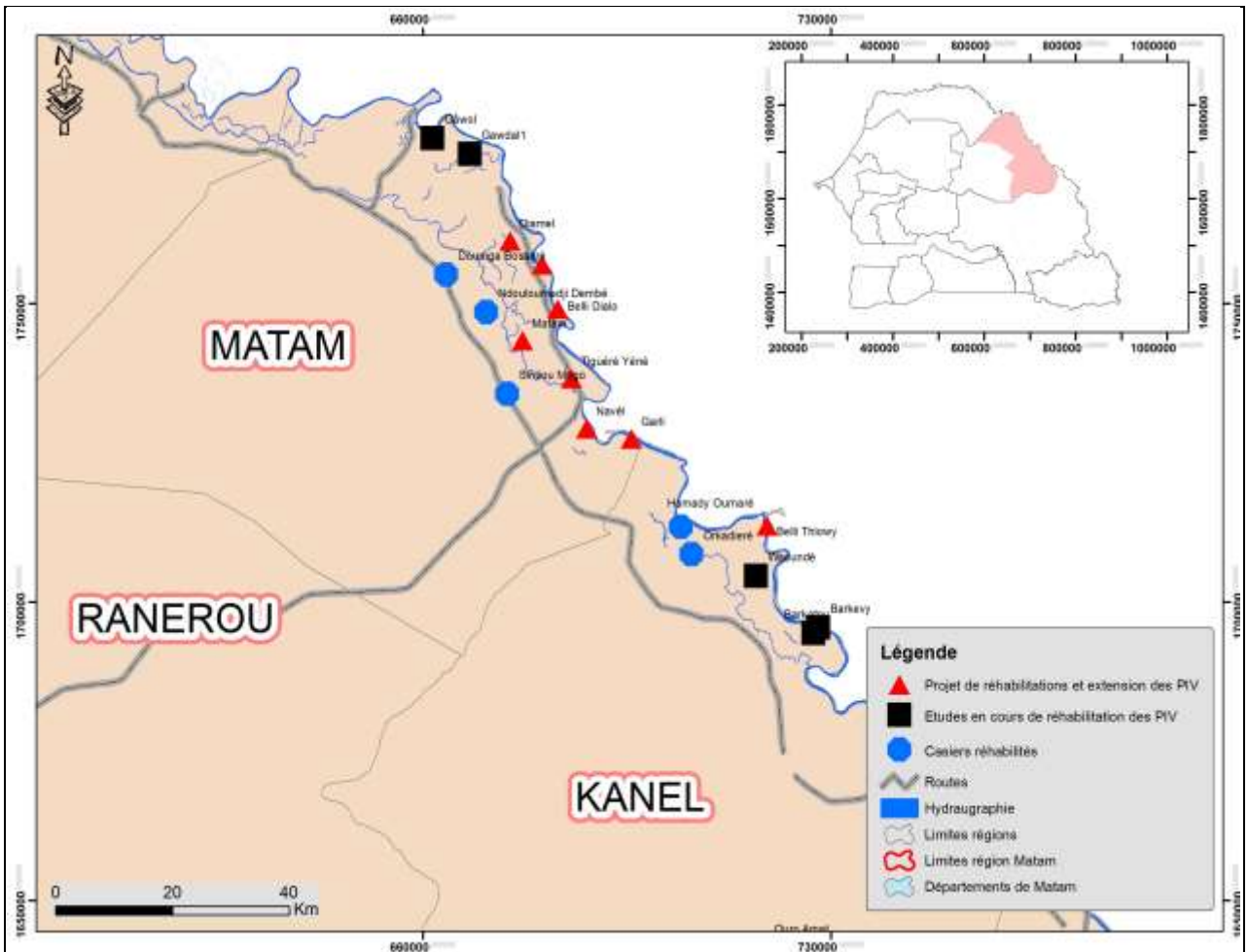
« La désertification peut se définir comme la destruction d'origine anthropique, de la végétation naturelle autour de certains sites de concentration : points d'eau, zones d'habitation, routes empruntées par le bétail, etc. Avec le temps, la destruction s'étale de manière centrifuge jusqu'à ce que les différentes zones dévastées se fondent en une seule, donnant, à tort, l'impression d'une avancée frontale du désert. La désertification est indépendante de la sécheresse qui, elle, est un phénomène climatique. Cependant, celle-ci peut, bien évidemment, aggraver les effets de la désertification, d'où la terrible dévastation actuelle du Ferlo. La question de savoir si l'effet d'albédo provoqué par la désertification a une incidence sur le climat et prolonge la sécheresse n'est pas encore tranchée. Il est évident que si les précipitations retrouvaient leur niveau " normal " d'avant la sécheresse, le processus sera inversé » (NDIAYE, 2012).

Dès lors, les perspectives de l'agriculture et de l'élevage se dessinent en termes d'aménagements en cours ou en projet, des défis complexes d'intensification et de modernisation à relever et sous l'angle de l'intégration des deux sous-secteurs.

2.1. Les actions récentes ou en cours pour l'agriculture

Pour intensifier la valorisation du potentiel hydro-agricole de la région, la SAED a mis en œuvre un important programme d'aménagement hydro-agricole qui repose sur la réhabilitation d'anciens périmètres irrigués et leur extension (carte 11).

Carte 11 : Programme d'aménagements hydro-agricoles dans la région



La carte des aménagements agricoles de la Région de Matam laisse apparaître de profondes mutations récentes ou en cours. En effet, une multitude de projets ont été conçus ces dernières années ; ils sont essentiellement concentrés dans la vallée (la partie alluviale des départements de Matam et de Kanel). Les principaux projets visent la production du riz :

- la réhabilitation en cours des casiers de Orkadéré et de Hamady Ounari portant sur 700 ha avec la réalisation de l'ouvrage de prise du Dioulol (Seuil et Station de pompage de Balel) et

l'équipement de 20 ha de goutte à goutte pour les groupements féminins, dans le cadre du PGIRE ;

- les études en cours pour la réhabilitation de 2000 ha de PIV dans le cadre du PNAR ;
- les études en vue pour la réhabilitation des périmètres villageois du secteur de Waoundé (sites de Waoundé, Goumal, Barkéwy, Barkatou, Goumal) et leur extension (400 ha) ;
- l'aménagement de 970 ha de PIV dans la zone des casiers du BOSSEA et de Matam et Dolol, dans le cadre du PDRM (photos 22) ;

Photo 22 : Casier rizicole de Matam (à gauche) et du Bosséa (à droite)



- les études en cours portent sur la réhabilitation du casier de Ndouloumadji (400 ha, avec relèvement du niveau de pompage) ;
- la création de périmètres irrigués entre Ouro Alpha, Doumga Bosséa, Doumga Ouro Thierno, Sinthiou Mogo ;
- l'amélioration de la décrue dans les environs de Boyinadji Nabadji ;
- la réalisation de pistes de désenclavement (70 km) pour le projet, et la construction d'unités de stockage, de transformation et de mise en marché, dans le cadre du projet ASAMM ;
- les études en vue pour la réhabilitation et l'extension des périmètres villageois de Matam (1000 ha concernant les sites de Matam, Navel, Tiguéré Yéné, Diamel, Diandioly, Belli Thiowi, Belli Dialo, Garly).

S'agissant des acquis du PRODAM au plan des aménagements hydro-agricoles, les actions entreprises ont permis l'aménagement et la mise à disposition de 2957 ha aux producteurs, intégrant l'aménagement de 17 ha par goutte à goutte dans le *Diéri*.

2.2. Les principaux défis à relever pour le secteur agropastoral dans la région

Le développement des activités agropastorales dans le contexte institutionnel, écologique et climatique suppose la prise en compte de beaucoup de paramètres. Les enjeux et les défis à relever sont multiples. Ils concernent la modernisation de l'agriculture, la modernisation de l'élevage, l'intégration des deux secteurs et l'adaptation au changement climatique.

2.2.1. La modernisation et l'intensification de l'agriculture

Augmenter durablement la production et la productivité de l'agriculture est un défi majeur pour le développement économique et social de la Région de Matam. L'agriculture occupe, en effet, une place prépondérante en termes de contribution productive et de mobilisation de la population active. C'est un secteur à fort potentiel de génération d'emplois et de création de revenus. Il offre également des opportunités pour prolonger l'activité agricole au-delà de la période des cultures sous pluies et pendant toute l'année. Cela en raison des possibilités de pratiquer trois types de cultures : l'agriculture pluviale pendant la saison des pluies, l'agriculture de décrue (vallée alluviale) en fin de saison des pluies et l'agriculture irriguée grâce aux aménagements hydro-agricoles.

Cependant, le niveau d'exploitation du potentiel agricole demeure faible malgré les efforts entrepris par l'Etat et ses partenaires au développement, et la réalisation d'aménagements hydro-agricoles. En effet, sur un potentiel aménageable de 55 000 ha, seuls 15 % sont exploitables avec une productivité non insuffisante en raison principalement :

- de pratiques culturales peu performantes ;
- d'une déficience dans la maîtrise des facteurs de production (eau, semences, engrais, équipements, produits phytosanitaires) ;
- de l'accès difficile au foncier rural et au crédit ;
- de la vétusté des aménagements ;
- du manque d'entretien des équipements au niveau des aménagements ;
- du manque de professionnalisme des producteurs ;
- du déficit d'infrastructures de soutien et d'appui à la production et à la valorisation.

En somme, le système de production agricole est encore dominé par des exploitations familiales peu productives, une agriculture extensive largement tributaire de la pluviométrie, un déficit de main-d'œuvre agricole qualifiée, un sous-équipement agricole et l'accès difficile aux intrants.

En conséquence, sortir de ce cercle vicieux constitue un vrai défi avec de multiples enjeux. Il s'agit d'élever durablement la production et la productivité agricole en conciliant de façon intelligente et harmonieuse la modernisation des exploitations familiales et la facilitation de l'accès au foncier aux gros investissements privés dans le cadre de partenariat public-privé. La modernisation de l'agriculture devra permettre, sous ce rapport, de contribuer à l'amélioration des conditions de vie, l'augmentation significative de la production agricole, la diversification des produits et le développement de chaînes de valeurs (DRDR, 2010).

2.2.2. La modernisation de l'élevage et la valorisation des produits et sous-produits

La modernisation de l'élevage suppose, préalablement, relever quatre défis majeurs. Le premier est relatif à l'accès à l'eau en raison du déficit de maillage de forages pastoraux et des problèmes récurrents dans l'entretien et la gestion des infrastructures et équipements hydrauliques. Le deuxième défi concerne l'alimentation du bétail, rendue difficile par l'effet combiné des feux de brousse, de la variabilité climatique, de la dégradation des pâturages et de l'extension des terres agricoles. Le contexte actuel de la décentralisation implique de nouveaux enjeux pour l'élevage. Comment réguler l'affectation des terres et la cohabitation spatiale entre les activités (MAGRIN, 2008 b) ? Le troisième défi est le vol de bétail qui décourage les vellétés d'investissement. Il constitue aussi un facteur d'appauvrissement des éleveurs. Le quatrième défi est lié à la santé animale affectée par une inadéquation entre la demande et l'offre de services vétérinaires (photo 23).

Photo 23 : Vaccination de caprins à Bow



Toutefois, la modernisation de l'élevage ne peut se faire sans un encadrement technique et organisationnel des éleveurs, le renforcement du niveau d'infrastructures et/ou d'équipements d'appui à la production pastorale et un meilleur accès au crédit.

Les défis sont multiples, mais y faire face permet d'apporter des réponses à des enjeux de divers ordres :

- l'amélioration de la sécurité alimentaire ;
- la réduction de la dépendance extérieure du Sénégal en produits d'origine animale (viande, lait, cuirs et peaux) ;
- l'accroissement du revenu des éleveurs ;
- la réduction de l'aversion au risque pour les investisseurs privés ;
- le développement de chaînes de valeurs et par conséquent l'augmentation de la contribution de l'élevage au PIB de l'économie régionale ;
- et l'amélioration génétique.

Malgré ces nombreux défis, il est actuellement difficile d'identifier une politique d'élevage cohérente au Sénégal. Cela tient à l'héritage ancien de conceptions de l'élevage qui se sont opposées (préserver l'élevage pastoral en le modernisant, ou sédentariser et intensifier), sur lequel sont venues se greffer les politiques publiques volontaristes mais désordonnées des dernières années (MAGRIN, 2008 b). Et la modernisation du secteur inclut aussi l'amélioration génétique.

2.3. L'intégration de l'agriculture et de l'élevage

L'agriculture et l'élevage qui sont des secteurs pour lesquels la région présente des avantages comparatifs certains (PRDI, 2013). Toute modernisation de ces secteurs implique une gestion intégrée des ressources et des activités. Cette nouvelle conception invite à dépasser l'opposition ancienne entre l'élevage pastoral « traditionnel » et l'élevage extensif pour se demander « comment moderniser les différents systèmes d'élevage, qu'ils intègrent ou non une part importante de mobilité, dans des dynamiques de développement régional intégrées aux marchés ? » (MAGRIN, 2008b). La région connaît progressivement la généralisation de l'agro-pastoralisme. C'est une nouvelle stratégie des agriculteurs et des pasteurs pour limiter les risques face à l'incertitude climatique. La pratique agricole chez les éleveurs leur permet de faire paître les animaux dans les champs après les récoltes quand l'herbe commence à se raréfier. En même temps ils utilisent la paille ou les plantes coupées comme une précieuse réserve d'aliments du bétail pour limiter les

achats de céréales durant la période de soudure. Quant aux agriculteurs, l'élevage vient en complément à leur activité car souvent il suffit de vendre une bête pour faire tous les achats nécessaires en intrants et en semence. En investissant dans le bétail, ils cherchent à diversifier et capitaliser leurs sources de revenus (CSAO/OCDE, 2010). Par exemple, dans la vallée du Sénégal, dont une grande partie la Région de Matam, des troupeaux importants témoignent autant du processus de sédentarisation de Peuls du *Diéri* que de la réussite des agriculteurs pour lesquels le cheptel constitue une des formes préférées de thésaurisation (MAGRIN, 2008 b).

La valorisation de la fumure organique et la production d'animaux de trait profitent à l'agriculture tandis que la valorisation des résidus de récolte contribue à améliorer l'alimentation du bétail et du poisson ; l'utilisation libre des parcours fait que très vite après la saison des pluies, les bons pâturages sont assaillis par les animaux des éleveurs locaux et étrangers, ce qui entraîne le surpâturage des zones pourvues d'herbes (DIOP, 1995). En outre, l'intégration des systèmes permet d'éviter les conflits liés, à la fois, à la divagation des animaux et à l'extension des champs de cultures au détriment des aires de pâturages ou des couloirs de passages du cheptel.

Cette intégration pourrait également permettre d'éviter un gaspillage de ressources fourragères par piétinement et utilisation abusive des ligneux par suite de l'affluence des animaux. De même, c'est à la faveur des grandes concentrations d'animaux d'origines diverses qu'éclatent ou apparaissent certaines maladies. Les cas de clavelée augmentent dans la partie nord avec l'arrivée des troupeaux des pays voisins. Il y a de cela quelques décennies, la Fièvre de la Vallée du Rift, pathologie jusqu'alors inconnue au Sénégal, s'est rapidement répandue à la faveur des animaux transhumants (DIOP, 1995). La complémentarité entre les secteurs comporte des enjeux importants :

- l'amélioration de la productivité ;
- la disponibilité d'une épargne sur pied pour faire face aux risques d'une éventuelle sous production ;
- une meilleure gestion des aires de pâturage et parcours du bétail ;
- la réduction des conflits fonciers entre agriculteurs et éleveurs.

3. La gouvernance foncière dans la modernisation des activités agropastorales

La problématique du foncier est déterminante dans la prise en charge de l'environnement et du développement. Dans un pays comme le Sénégal, la question de la place et des statuts du foncier

dans la dynamisation de l'agriculture et de l'élevage se pose de plus en plus. Pour les tenants de la propriété privée des terres, le principal facteur qui tire les performances de l'agriculture vers le bas est le statut coutumier du foncier. Les enjeux et défis de la gouvernance foncière sont tels que le processus doit être décentralisé, participatif et inclusif (SECK, 2014).

3.1. Les enjeux de la réforme foncière

Les enjeux de la réforme foncière sont aussi variés que stratégiques. Dans la Région de Matam la gestion foncière se caractérise par le décalage entre les textes juridiques applicables (Loi 64-46) et les pratiques foncières en cours. L'effectivité du droit étatique se heurte à la persistance de la tenure foncière traditionnelle et à la logique marchande. Il en résulte un mode de gestion *suigeneris* combinant tenure traditionnelle et droit moderne (ANSD/SRSD, 2015). Cependant, du fait des nombreux conflits et des limites de la Loi 64-46 une réforme a été initiée depuis 2004 à travers la loi d'orientation agrosylvopastorales (L. 2004-16).

L'enjeu de cette réforme consiste à favoriser la modernisation agricole et la fourniture de ressources aux collectivités locales, tout en évitant la spéculation et la marginalisation des ruraux au profit d'investisseurs privés : citadins, agro-industries etc. (MAGRIN, 2008). Elle est également censée lutter contre le morcellement des exploitations agricoles familiales et l'extension rapide des petites exploitations non viables, la surexploitation des terres pour promouvoir une gestion durable des ressources naturelles (NDIAYE, 2011). Au niveau de la Région de Matam, il s'agit des sols et du couvert végétal dont la détérioration s'accélère du fait de la pression foncière. Les terres de culture ou de défrichement sont affectées par délibération du conseil municipal aux personnes physiques résidant dans la commune, prises individuellement ou réunies en groupements. En principe, l'affectation ne confère qu'un droit d'usage et les terres affectées ne peuvent faire l'objet d'aucune transaction à titre gratuit ou onéreux. La distribution des terres s'est avérée inéquitable ; les grandes familles de notables, souvent mieux représentées dans les conseils municipaux, ont pu se doter de très vastes superficies. Les leaders des organisations paysannes ont accumulé des ressources foncières et les nombreuses terres acquises pour leur organisation ont été distribuées aux clientèles associatives (DAHOU et NDIAYE, 2005). Sur un autre registre, l'élevage pastoral est encore souvent marginalisé. Son espace traditionnel est réduit. Comme le fait remarquer MAGRIN (2008 b) « *la logique démocratique à l'œuvre risque de voir les groupes des agriculteurs marginaliser l'élevage et les éleveurs* ».

La désaffectation est prononcée également par une délibération du Conseil municipal. La désaffectation de certaines parcelles peut être demandée par le Conseil municipal, lorsque l'intérêt général de la communauté exige que des terres reçoivent une autre affectation, à titre compensatoire, l'affectataire reçoit une parcelle équivalente. En cas de réaffectation le nouvel affectataire est tenu de verser aux ayants droit une indemnité égale à la valeur des constructions et des récoltes pendantes estimées au jour de la nouvelle affectation. Le registre foncier tenu à jour doit mentionner toutes les affectations, désaffectations prononcées sur le territoire de la communauté rurale. Les actes en matière domaniale du Conseil rural doivent être approuvés par le sous préfet pour être exécutoires (L. 96-06 ; L. 2013-10). En plus de ses compétences en matière d'affectation et de désaffectation des terres du domaine national, le Conseil Rural est chargé de la matérialisation et de la délimitation des chemins de bétail (décret n°80-268 du 10 mars 1980 portant organisation des parcours du bétail et fixant les conditions d'utilisation des pâturages).

Actuellement, le régime foncier ne semble pas encourager les investisseurs à s'orienter vers l'agriculture. Si les incitations deviennent très attractives, bon nombre de paysans pourraient se retrouver dans une situation de pauvreté absolue, s'ils n'ont d'autres alternatives que de vendre leur terre. Ils risquent alors de devenir des ouvriers mal rémunérés par les entreprises agricoles privilégiant l'investissement en capital, ou des chômeurs. Mais comment imaginer un régime foncier capable de favoriser l'investissement et d'augmenter la production sans fragiliser une partie de la paysannerie ? Cette question interpelle les autorités étatiques et locales ainsi que les producteurs qui sont les premiers concernés par la gestion du foncier. Le Sénégal est confronté à ce dilemme lorsque l'Assemblée nationale adopte le 25 mai 2004 la Loi n° 2004-16, dite loi d'orientation agro-sylvo-pastorale. Cette loi est fondée sur le fait que les politiques et les stratégies agricoles définies dans le cadre de l'ajustement ont aggravé la pauvreté, et n'ont pas su enrayer le déficit de la balance commerciale des produits alimentaires (DAHOU et NDIAYE, 2009).

En définitive, le foncier constitue un enjeu politique, social et économique majeur. Le choix des politiques foncières a, de ce fait, un impact réel sur le développement des territoires et sur les activités agropastorales (DIOP et *al.*, 2017). Le foncier est alors, à la fois, un patrimoine et de plus en plus une ressource (CHALERY DE LA MASSELIERE et RACAUD, 2012). Ainsi, la Région de Matam bénéficie d'un réel potentiel foncier avec de vastes étendues de terres propices à l'agriculture et à l'élevage extensif. Néanmoins, leur mise en valeur est entravée par des contraintes juridiques, économiques et socioculturelles (MATCL/ARDM, 2013 ; ANSD/SRSD, 2015). Mais la gestion

foncière, notamment pour les besoins de l'agriculture et l'élevage, pose problème à cause de la cohabitation de différentes pratiques.

3.2. Un régime de cohabitation du droit moderne et des pratiques coutumières

Le régime foncier définit la relation entre les personnes dans l'occupation et l'usage de la terre. Il reflète les relations coutumières, légales ou régies autrement entre le gouvernement, les groupes, les individus et règlent la propriété et le contrôle de la terre ainsi que les droits et obligations qui accompagnent ce lien (TENGEY, 2008).

Actuellement, la cohabitation entre la coutume et le droit moderne rend plus difficile la gestion des terres arables et l'organisation des parcours de bétail dans la région.

3.2.1. La survivance de la gestion coutumière

La survivance de gestion traditionnelle du foncier est encore forte malgré la codification de la question foncière depuis le lendemain des indépendances (Loi n°64-46). Le risque foncier de ne pas être en adéquation avec les nouvelles règles qui, de façon légale et coercitive, s'imposent à tous, entraîne l'agriculteur dans un véritable engrenage : s'il ne valorise pas sa terre, il prend le risque de la perdre, et s'il ne la valorise pas correctement, il prend le risque de perdre les moyens de le faire ; le paysan sénégalais qui ne pouvait payer ses dettes liées à l'arachide, se voyait interdit de ristournes et perdait ainsi en partie la possibilité d'acquérir de nouveaux moyens de production (CHALERY DE LA MASSELIERE, 2010).

En effet, malgré l'avènement de la loi sur le domaine national et la décentralisation de la gestion des ressources foncières, le système foncier dit coutumier est toujours en vigueur. À ce titre, la majorité des terres sont détenues par des propriétaires appartenant à des classes dominantes qui peuvent octroyer des droits d'usage moyennant certaines formes de redevance (MATCL/ARDM, 2013). Ainsi, les modes coutumiers de gestion foncière ont été mis à mal par le développement de rapports marchands au sein de la société rurale en prise avec la globalité (CHALERY DE LA MASSELIERE et RACAUD, 2012). Comme le souligne NDIAYE (2011), pour toute l'Afrique, la privatisation des régimes fonciers fait une incise dans les modes de gouvernance foncière, même si le mode dominant reste celui des régimes fonciers coutumiers hybridés ou « dégénérés ».

Ces droits fonciers traditionnels qui se transmettent par héritage portent principalement sur les terres les plus fertiles, celles du Dande Mayo alors que les terres du Diéri et du Ferlo restent d'un accès

plus libre, de moindre valeur et les négociations avec les propriétaires terriens y sont moins délicates. Dans la quasi-totalité des communes, surtout dans les anciennes communautés rurales, de la région (à l'exception des villages centre) *les jom leydi* (propriétaires terriens) continuent d'affecter des terrains de culture ou d'habitation à des particuliers ou à des personnes morales. Parfois, ils ne s'en réfèrent même pas au Conseil municipal.

Par conséquent, il urge comme le suggère TOURE, (2014) d'impulser une réforme foncière basée sur une approche intégrée et fixant le régime juridique des différentes activités de production. Cela passe par le droit moderne.

3.2.2. La gestion moderne

La gestion moderne du foncier se fait principalement en se basant sur la loi sur le domaine national. Mais dans certains cas les délibérations du conseil municipal sont contestées par les populations rurales¹⁰. Les demandes d'affectation des terres adressées aux commissions domaniales des conseils municipaux, surtout dans les anciennes communautés rurales, proviennent généralement des populations autochtones. Les terres visées sont le plus souvent destinées à l'usage d'habitat ou à des fins de production agricole. Dans le Ferlo des délibérations d'affectation de terres pour la création d'unités pastorales ont été adoptées. En cas de demande d'affectation de terre agricole ou d'habitat le Conseil municipal procède à une investigation pour identifier les propriétaires traditionnels de la parcelle sollicitée. L'autorisation de ces propriétaires traditionnels est requise avant tout acte de délibération.

Sur le domaine irrigué, aucune action d'aménagement ou d'affectation ne peut être effectuée sans l'avis et l'autorisation des propriétaires terriens. En cas de besoin d'espace pour un aménagement hydro-agricole, la SAED ou le PRODAM adresse une demande de désaffectation de terre au Conseil rural. Ce dernier sera chargé d'identifier et de convaincre les propriétaires traditionnels de la pertinence du projet d'aménagement. En général un terrain d'entente est trouvé pour l'emplacement des aménagements (DRDR, 2010). Cette négociation qui s'impose, même si l'initiative d'aménagement est étatique, permet de surmonter le veto des détenteurs de droits fonciers traditionnels. En contrepartie de la cession des terres, les propriétaires bénéficient de parcelles aménagées.

¹⁰ En novembre 2016 un dignitaire religieux a été attribuaire de plusieurs hectares à usage agricole à Binké. Mais cette décision du conseil municipal de Nabadji Civol a entraîné une vigoureuse contestation des habitants de Tiguéré Yéné.

De nos jours, malgré la persistance du droit foncier traditionnel, la terre est devenue un bien marchand qui s'échange et fait l'objet d'une spéculation. La terre perd ainsi progressivement son caractère de patrimoine (CHARLERY DE LA MASSELIERE, 2012). On assiste très souvent à des transactions foncières qui peuvent être codifiées ensuite par un acte du Conseil municipal. La présence d'un marché foncier illégal par le truchement de pratiques de faire valoir indirect sont monnaie courante notamment sur les terres du domaine irrigué : location, métayage, rachat de crédits. Toujours dans la logique du faire valoir indirect il y a des formes traditionnelles de contrat entre propriétaires et agriculteurs dont le métayage est le remboursement de la dette par l'usage de la terre appelé « thiotigu » sont les plus connues. Par contre, la vente de terres, même si elle existe, est moins répandue que les modes de faire valoir indirect.

3.3. Les acteurs majeurs de la gouvernance foncière

La complexité de la question foncière explique l'implication de différents acteurs. Une multitude d'individus et de structures de nature variée interviennent dans la gestion foncière dans les Région de Matam. Les principaux acteurs sont regroupés en deux catégories : les acteurs publics et les acteurs privés. Les principaux acteurs publics de la gouvernance foncière sont le centre de services fiscaux de Matam et les collectivités locales.

3.3.1. Le centre des services fiscaux de Matam

Le centre régional des services fiscaux de Matam créé en 2002 a entraîné une dynamique de sécurisation foncière avec la demande de baux et de titres fonciers pour les parcelles à usage d'habitat ou à usage commercial notamment dans les communes de Matam et d'Ourossogui. Cependant, cette dynamique est freinée par des contraintes juridiques et institutionnelles. En effet, les baux ne peuvent être délivrés que sur le domaine privé de l'État autrement dit l'assiette foncière des communes qui a fait l'objet d'immatriculation de la part de l'État. Or, dans la Région de Matam l'immatriculation n'est effective que dans les communes de Matam et d'Ourossogui (ANSD/SRSD, 2015). Le centre gère les terres du domaine privé de l'État et dans une moindre mesure celle du domaine public. Le receveur des domaines collecte les redevances qui sont dues par les occupants titulaires de baux. Il faut noter le faible taux de recouvrement de cette redevance à l'instar de l'impôt sur le foncier bâti et l'impôt sur le foncier non bâti.

La gestion foncière est transférée depuis 1996 par une loi (L. 96-07) aux collectivités locales. Les compétences transférées étaient au nombre de neuf dont le domaine, l'aménagement du territoire,

l'environnement et la gestion des ressources naturelles. Avec l'acte III de la décentralisation et la loi 2013-10 qui remplace les lois 96-06 et 96-07 les collectivités locales sont davantage impliquées.

3.3.2. Les collectivités locales

Avec le code général des collectivités locales, en vigueur, la liste des compétences transférées s'est élargie avec l'agriculture, l'élevage et la production animale, entre autres (L. 2013-10). C'est pourquoi les collectivités locales sont des acteurs de premier plan de la gestion foncière. Les collectivités locales gèrent les terres du domaine national et délibèrent la-dessus. Mais après délibération approuvée par le représentant de l'Etat, ce sont les impôts et domaines qui procèdent à la régulation par voie de bail.

En tant qu'organe délibérant de la commune, le Conseil municipal gère les terres du domaine national sises dans les zones de terroirs pour l'agriculture, l'élevage et l'habitat. Toutefois, en raison de la persistance du système foncier traditionnel, le pouvoir des élus locaux est souvent virtuel et assez limité. Ce respect strict des droits traditionnels s'explique par le fait que les conseils municipaux, surtout dans les anciennes communautés rurales, sont composés en majorité des représentants de ces élites traditionnelles. Malgré l'existence d'une commission domaniale au sein de chaque Conseil municipal, la part du foncier reste insignifiante dans les recettes des collectivités locales en milieu rural (ANSD/SRSD, 2015). La communalisation universelle permet aux anciennes communautés rurales de bénéficier de taxes supplémentaires. Et à ce niveau la loi de 2013 apporte quelques innovations grâce aux taxes sur le foncier. Cela pourrait être un atout pour la modernisation des activités agropastorales. Mais il ressort de nos discussions avec les concernés que beaucoup de paysans n'ont pas senti un réel changement en terme d'impact sur leur activité.

A coté des ces acteurs interviennent d'autres personnes de droit privé.

3.3.3. Les principales personnalités juridiques de droit privé

Les principales personnalités juridiques de droit privé à intervenir dans la gouvernance foncière sont les structures d'aménagement hydro-agricole et les organisations de producteurs.

La SAED et le PRODAM sont les principales structures d'aménagement hydro-agricole dans la Région de Matam. Sur le plan foncier elles œuvrent pour une démocratisation de l'accès aux périmètres irrigués. Depuis 2004, la SAED essaie de mettre en place une politique d'intégration des

femmes, en leur réservant des quotas dans les périmètres aménagés (MACL/ARDM, 2013). Elle accompagne aussi l'élaboration de la Charte du Domaine Irrigué et des Plans d'Occupation et d'Affectation des Sols. Le PRODAM, une autre structure, mis en place depuis 1996 devrait répondre à une conjoncture à l'époque, c'est-à-dire faciliter l'insertion des déportés de la Mauritanie dans les activités de production, se pérennise davantage. Actuellement, il contribue à la sécurité alimentaire par l'aménagement de nouveaux périmètres rizicoles irrigués. En plus des aménagements hydro agricoles dans la vallée, au niveau des départements de Matam et Kanel (Carte 11), le PRODAM a appuyé la création d'unités pastorales dans le Ferlo et des Sociétés d'Intensification de la Production Agricole (SIPA).

Les producteurs s'organisent entre eux à travers les Groupements d'intérêts économiques (GIE). Pour satisfaire les besoins des bénéficiaires, la politique actuelle du PRODAM est d'attribuer un hectare par ménage. Ce droit d'accès collectif au foncier à travers les organisations de producteurs est également la règle dans les SIPA et les unités pastorales. L'avantage des organisations de producteurs c'est que les membres sont souvent aussi les « propriétaires traditionnels » ce qui limite les risques de conflit dans la mise en valeur agropastorale des terres de Matam.

3.4. Les instruments de la gestion foncière

Il existe de nombreux outils de gestion foncière dont le plan d'occupation et d'aménagement des sols (POAS) et les unités pastorales.

Le POAS est instrument important, il sert de cadre directeur guidant les gestionnaires locaux pour l'analyse, la planification et la réalisation de l'aménagement et du développement à l'échelle locale (DIOP et *al.*, 2017). Il vise une gestion rationnelle du patrimoine foncier et des ressources naturelles ainsi que la prévention et la réduction des conflits liés à l'occupation spatiale (ANSD/SRSD, 2015 ; DIOP et *al.*, 2017).

Le processus d'élaboration de ce document de planification spatiale a pris un important retard. Les motifs du retard dans la finalisation, la validation ou l'application du POAS résident dans l'instabilité des conseils ruraux. Par exemple, pour le POAS de l'ancienne communauté rurale de Bokidiawé validé en 2009, on a assisté après les élections rurales du 22 mars 2009 à la mise en place d'un nouveau conseil rural dont la majeure partie des membres n'avaient pas suivi le processus. En 2011, après la création de la commune de Nguidjilogne, une délégation spéciale est venue remplacer le Conseil rural élu en 2009 (ANSD/SRSD, 2015).

En outre, il y a un déficit de communication sur le processus d'élaboration du POAS et le contenu de ces documents ne sont pas bien maîtrisés par les élus locaux et les producteurs (éleveurs, agriculteurs, pêcheurs) qui en sont les destinataires. D'ailleurs, les enquêtes de terrain révèlent que près de la moitié des agriculteurs et la plupart des éleveurs ignorent cet outil de planification. Or c'est exactement cet état de fait que le PAOS a pour objectif de combattre en tant qu'outil de dialogue entre populations et institutions, visant à faciliter les opérations d'aménagement et de développement au regard des contraintes de l'occupation de l'espace (D'AQUINO *et al.*, 2002). De ce fait, les experts s'interrogent sur l'impact réel du POAS par rapport aux objectifs de départ (DIOP *et al.*, 2017).

A coté du PAOS il y a d'autres instruments de gestion foncière dont les unités pastorales qui ont déjà été abordées dans ce TER (tableau 29) et la Charte du Domaine Irrigué (CDI). Cette dernière vise un aménagement harmonieux du domaine irrigué. L'objectif est la sécurisation complète des ressources (terre et eau) et leur mise en valeur pour une gestion rationnelle et durable. Mais si on se fie à ARD et au SRSD de Matam (MATCL/ARDM, 2013 ; ANSD/SRSD, 2015) les collectivités ne se sont pas appropriées ce document malgré les efforts de la SAED dans ce sens.

En définitive, le domaine national n'est pas la propriété de l'État. Ce dernier est simplement le détenteur gestionnaire ainsi qu'il est stipulé à l'article 2 : l'État « détient les terres du domaine national en vue d'assurer leur utilisation et leur mise en valeur rationnelles, conformément aux plans de développement et aux programmes d'aménagement ». La législation domaniale s'inspire de la tenure foncière africaine qui reconnaît aux individus le droit d'une mise en valeur ; les individus sont de facto détenteurs d'un droit d'usage et non de propriété. La loi visait surtout à saper l'une des bases du pouvoir de la chefferie, détentrice de droits coutumiers sur les terres (DAHOU et NDIAYE, 2009). Les pouvoirs ont compris l'intérêt de la réforme foncière qu'ils ont en votant une nouvelle loi (LOASP) dont l'application sera un enjeu de taille pour l'élevage. Elle répond au constat de la non-application de la loi sur le domaine national de 1964, et surtout de son inadaptation aux besoins de l'économie rurale (MAGRIN, 2008 b).

4. La variabilité climatique globale : risque et adaptation

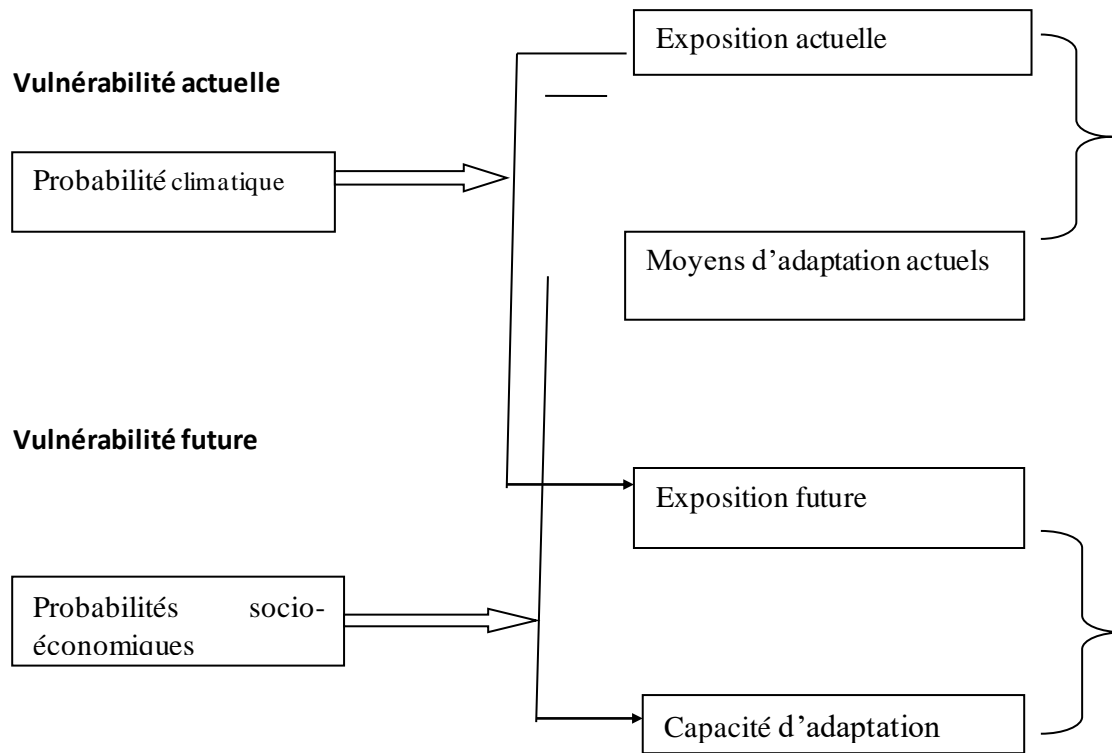
Le climat est un système extrêmement complexe régi par l'interaction de plusieurs processus terrestres, atmosphériques, solaires et interplanétaires (IBRAHIM, 2012). Certains de ces processus sont aléatoires et d'autres respectent des lois de la physique avec une forte variabilité au cours du

temps. Au cours de la seconde moitié du XX^{ème} siècle, l'Afrique de l'Ouest a connu une importante baisse pluviométrique avec une rupture nette dans les années 1968-1972. La réduction importante des précipitations apparaît clairement à travers les relevés pluviométriques de Matam. Elle s'est traduite par un processus historique d'aridification du climat caractérisé par les grandes sécheresses des années 1970 et des années 1980 ainsi que la naissance du Comité permanent Inter-États de Lutte contre la Sécheresse au Sahel (OCDE/CSAO, 2008).

La variabilité de la pluviométrie est très importante puisqu'elle atteint parfois 40-80 %. Les totaux pluviométriques annuels diminuent. L'aridification du climat qui a conduit aux grandes sécheresses des années 1970 et 1980 a été la conséquence de la réduction importante des précipitations au Sahel. Le régime pluviométrique en Afrique de l'Ouest est lié au mouvement saisonnier de la zone de convergence intertropicale qui se traduit en Afrique de l'Ouest par une irrégularité du climat (MADOUYOU, 2010 ; IBRAHIM, 2012 ; SY, 2013).

Des scénarios du GIEC montrent que les domaines sahélien et soudano-sahélien pourraient voir la longueur de la saison agricole diminuer de plus de 20% d'ici 2050. Elles figurent parmi les espaces les plus vulnérables en Afrique de l'Ouest (CSAO/OCDE, 2008). En général, le premier risque est de rester au niveau d'apprentissage et d'expérimentation d'idées dans un contexte qui demande des réponses opérationnelles à grande échelle. A cet effet, une volonté politique d'expliquer aux populations agropastorales les enjeux, les risques du changement climatique et les mécanismes prévus pour asseoir un vrai développement durable à la base s'impose (KAMIL et LARBODIERE, 2010). De ce fait, l'Afrique de l'Ouest a connu les taux de déclin les plus rapides car elle a subi une diminution de sa pluviosité annuelle de 20 à 40 % entre 1931/1960 et 1968/1990 (PMC, 2009). Une telle situation aggrave la vulnérabilité des systèmes (figure 25).

Figure 25 : Systèmes de vulnérabilité selon HELLENDORFF (2012)



En général, le premier risque est de rester au niveau d'apprentissage et d'expérimentation d'idées dans un contexte qui demande des réponses opérationnelles à grande échelle. A cet effet, une volonté politique d'expliquer aux populations agropastorales les enjeux et les risques du changement climatique et les mécanismes prévus pour asseoir un vrai développement durable à la base s'impose (KAMIL et LARBODIERE, 2010). Le deuxième risque est celui des effets d'annonce. Les agropasteurs, révèlent que parfois beaucoup de projets régionaux ou nationaux qui poursuivent parfois des objectifs très similaires, mènent des actions qui restent très éloignées de leurs préoccupations.

4.1. Les conséquences inquiétantes de la variabilité climatique dans la Région de Matam

La Région de Matam reste très vulnérable au changement climatique. Si aucune mesure n'est prise, les pertes risquent d'être catastrophiques pour les populations. Les conséquences risquent d'être désastreuses pour les générations futures (PMC, 2009).

4.1.1. Des événements climatiques violents en perspectives

D'après différentes études (PMC, 2009 ; DRUNET et SOW, 2009) le changement climatique se traduira par l'occurrence d'événements climatiques violents, l'augmentation de la température, le déficit pluviométrique sur le long terme (avec peut-être une augmentation à court terme), une activité éolienne forte, la succession de périodes de sécheresse et d'inondations, etc. Cette évolution a déjà commencé et aura à l'avenir un impact fortement défavorable sur les activités agro-pastorales dans la Région de Matam où la tendance générale des précipitations au cours du dernier siècle est à la baisse, les températures élevées durant la majeure partie de l'année et le couvert végétal de plus en plus en recul. Dans toute la Région de Matam on retrouve de vastes espaces nus couverts d'un tapis herbacé (essentiellement composé de graminées annuelles) à la faveur des pluies de plus en plus rares, imprévisibles et mal réparties. Cette situation est à l'origine de la création de la grande muraille verte (GMV), photo 24.

Photo 24 : Pépinière de la GMV dans le Département de Ranérou



Source : NDIAYE (2012)

C'est toute la question de développement durable qui se trouve posée avec acuité dans ce nouveau contexte où les facteurs d'imprévisibilité vont croître et les ressources décroître. Les ligneux de la région, en particulier dans le Ferlo, ont considérablement souffert de la sécheresse. Or la régénération naturelle n'est malheureusement pas assurée. Cependant, l'espoir est toujours permis surtout avec la volonté des décideurs politiques matérialisée par la création de l'Agence de la grande Muraille Verte. La finalité est de préserver les ressources encore existantes, puis de contribuer à la régénération qui est complétée par des plantations, judicieusement mises en place, entretenues et protégées. Cela confère un certain optimisme quant à l'avenir du secteur agropastoral surtout dans sa composante de l'élevage.

4.1.2. Une importante hausse des températures en vue

Il est également prévu que la température pourrait connaître une hausse dans les 100 prochaines années (+5° C.) autant qu'elle a augmenté lors des 15 000 dernières années. Ce qui traduit un phénomène de réchauffement sans précédent. Autant les écosystèmes ont pu s'adapter précédemment à une hausse progressive des températures, autant les effets d'une hausse brutale des températures sont imprévisibles (DRUNET et SOW, 2009). Dans le Ferlo, les témoignages des éleveurs montrent que le changement climatique est en cours. Or il est démontré que :

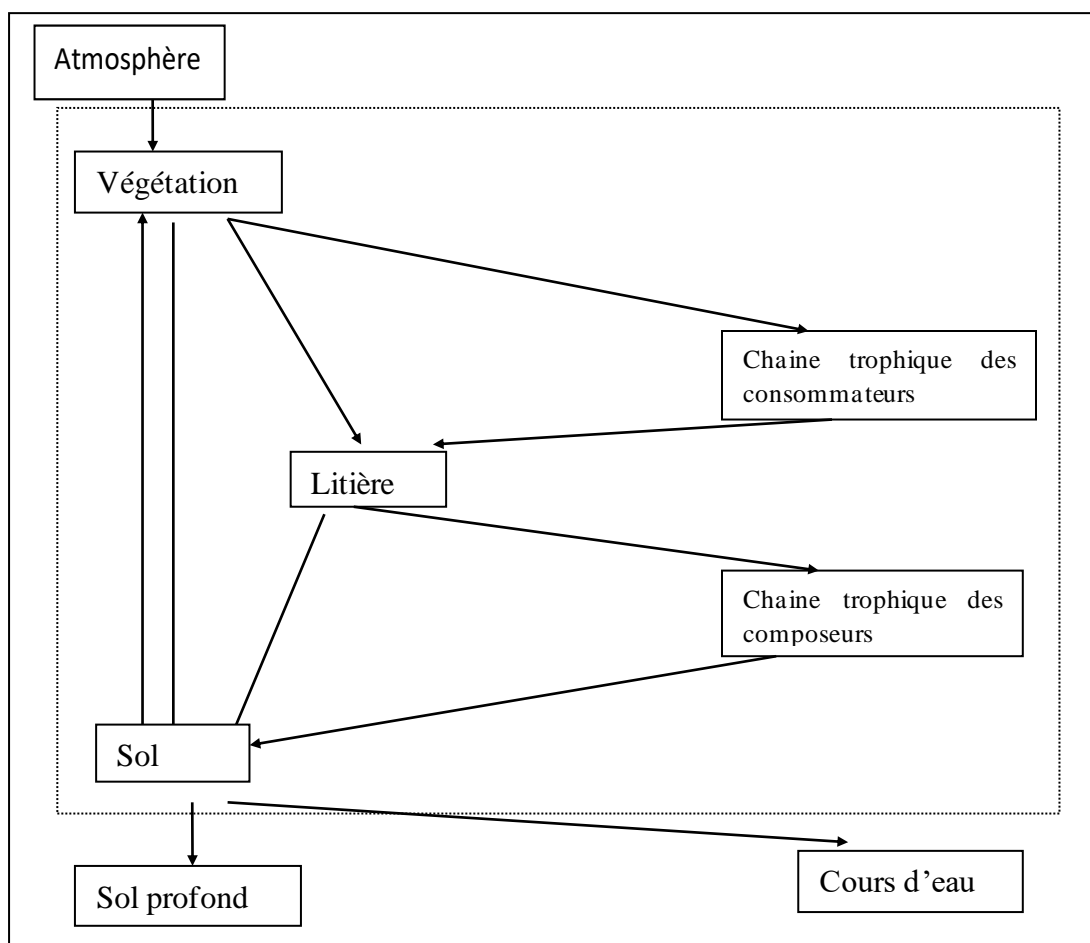
« La variabilité climatique accrue et l'augmentation de température pourraient bien avoir à l'avenir un impact considérable sur leurs pratiques agricoles et pastorales. L'élevage pastoral, bien que très peu contributeur au changement climatique (faibles émissions de méthane) est avant tout une victime de ce changement (pression accrue sur les ressources, événements climatiques extrêmes). Il peut également contribuer à y apporter des réponses (mobilité, savoir faire, adaptation des hommes et des animaux...) ». (KAMIL et LARBODIERE, 2010).

Selon le GIEC, une augmentation limitée à 2 ° C. d'ici 2050 laisse une possibilité, certes infime, mais réelle d'agir sur les causes du réchauffement, de les atténuer, voire de les inverser. Au-delà de 2° C. il n'est, par contre, pas possible de prévoir et encore moins d'agir sur les effets climatiques qui vont se produire (DRUNET et SOW, 2009). La vulnérabilité se situe aussi dans la faible capacité de régénération des plantes pérennes.

4.1.3. Une plus faible régénération des plantes

Sous l'effet conjugué de la détérioration des conditions climatiques et de la pression anthropique, la régénération des plantes est faible. Pratiquement tous les acteurs de l'élevage ont déploré la baisse de la productivité des pâturages. En plus des études (TAPPAN et *al.*, 2000 et TIESZEN et *al.*, 2004 cité par MATCL/ARDM, 2013) ont montré que la tendance globale du couvert végétal dans le nord du Sénégal est à la dégradation car plusieurs facteurs impactent sur les cycles biogéographiques naturels (figure 26).

Figure 26 : Schéma des cycles biogéochimiques, d'après MANE, 1996



Les mares et points d'eau voient leur capacité de stockage réduite par évaporation excessive et des possibilités de recharge amoindries. L'élevage est aussi affecté par le changement climatique à travers la raréfaction des ressources fourragères et de l'eau. Toutefois, il n'est pas le seul facteur en cause quand il s'agit d'adaptation au changement climatique. Il convient également de tenir compte de l'agriculture, de l'utilisation des énergies renouvelables, etc.

4.2. La notion de risque

La notion de risque est fréquemment utilisée en géographie (N'DJAFI OUAGA, 2010 ; SY, 2013 ; SAGNA, 2015). Selon VEYRET et *al.*, (2007, cité par SY, 2013) par l'analyse géographique du concept a connu une évolution lorsque la discipline, de science naturaliste est devenue une science sociale. La première approche, celle du « paradigme physique », a été développée dans les années 1950. Dans cette approche, les origines d'une catastrophe étaient avant tout à rechercher dans les

caractéristiques physiques de la perturbation et du processus d'impact. L'action des hommes comme facteur explicatif était marginale (SY, 2013).

Il faut alors attendre les années 1970 avec « *Géomorphologie applicable* » de TRICART (1978) pour qu'une réflexion plus systématique s'amorce sur les rapports entre faits de nature et les actions anthropiques car la stricte séparation entre les processus physiques et les processus humains s'est révélée très difficile. Elle ne permet pas d'expliquer pourquoi divers groupes d'une même population subissaient différemment les impacts d'une même perturbation. Si l'aléa exerce une influence directe sur le fonctionnement de la société, les activités humaines ont en retour un impact sur la probabilité qu'un aléa se déclenche (SY, 2013). Par exemple, au Sénégal la vulnérabilité est surtout liée à la forte dépendance de l'agriculture à une pluviométrie qui se raréfie au cours du temps et dont la variabilité interannuelle est difficilement prévisible. Les ressources fourragères connaissent une dégradation quantitative et qualitative à cause du déficit de l'approvisionnement en eau qui limite la productivité primaire des pâturages et favorisera les espèces les moins appréciées par le bétail (MATCL/ARDM, 2013). Dès lors, on passe de l'aléa au risque.

« La géographie française a donc intégré le risque à partir de l'aléa (processus physiques). Par ces caractéristiques, la démarche française se distingue de l'analyse géographique américaine qui conçoit le risque d'une autre manière. Les géographes américains pensent le processus physique non pas en soi mais dans sa dimension sociétale. Ils apparaissent ainsi comme les inventeurs du risque au sens d'objet social.

Pour l'école américaine (École de géographie de Chicago), les causes des catastrophes naturelles sont à chercher non seulement dans le processus physique, mais surtout dans « l'incapacité » des sociétés à y faire face. En mettant l'accent sur la fragilité des sociétés face à l'aléa, les géographes américains attirent l'attention sur ce qu'ils nommeront vulnérabilité à la fin des années 1970. La vulnérabilité devient alors l'un des concepts principaux de la géographie américaine des risques » (WHITE et al., 1975 cité par SY, 2013).

Le concept de risque peut alors englober les dommages effectivement enregistrés (catastrophe) et la vulnérabilité face à ces dommages, c'est-à-dire la probabilité de les subir. La conception du risque dans le présent TER se situe sous cet angle, prenant en compte la dimension de catastrophe et celle de sa probabilité. Les catastrophes se traduisent par les dégâts que la population de la région de Matam subit. En janvier 2002, par exemple, une importante partie du bétail a été perdue suite aux intempéries du 9 et 10 avec une forte pluviométrie en 48 heures hors saison accompagnée de températures très basses comprises entre 0 et 9° C. (DIOP, 2004). En fait, dans l'histoire récente, cet

évènement est le plus tristement mémorable pour les populations du nord du pays, de la Région de Matam en particulier.

Les régions de Matam, de Louga et de Saint-Louis¹¹ étaient déclarées zones sinistrées. Le quotidien Walfadjri évoque « une terrible catastrophe » indiquant que les intempéries ont causé vingt huit (28) morts, décimé cent mille (100000) têtes de bétail, détruit 150 tonnes de riz et endommagé mille cinq cent quatre vingt un (1581) hectares de cultures.

La probabilité représente les dommages que pourraient subir les populations au regard de l'évolution constante et négative des phénomènes physiques (perçu). Ce qui suppose une connaissance des ressources du milieu (société, économie, environnement). Théoriquement, il n'y a pas de risque là où il n'y a pas d'enjeux, ce qui permet de comprendre sa vulnérabilité. Ainsi, l'association d'un aléa à un ou des enjeux, détermine la vulnérabilité. Les niveaux d'expositions vont donc varier suivant la rigueur des aléas, la valeur des objets, la capacité de réponse des acteurs.

L'aléa désigne un phénomène naturel qui n'est pas continu dans le temps et qui se déclenche de façon aléatoire. Il implique une variation spatio-temporelle. Il existe différents niveaux d'aléas qui se distinguent par l'intensité et la fréquence. L'intensité est fonction de l'ampleur du phénomène qui peut être forte ou faible ; la fréquence est relative à la probabilité d'occurrence par siècle, par saison, par jour, etc. (SY, 2013). Dès lors, les conséquences lourdes de la variabilité climatique interannuelle déjà observées en Afrique de l'Ouest de manière générale, au Sénégal en particulier, et les projections pour les décennies à venir ne laissent pas indifférents les décideurs politiques. Ainsi, le Sénégal, conformément à une logique internationale qui vise à uniformiser les actions orientées vers la lutte contre les modifications actuelles du climat, a initié une programmation sur la mise en place d'un Fonds National Climatique (FNC) souligne SAGNA et *al.* (2015). Des aspects aussi variés que la végétation, les éléments du climat, la morphologie et la topographie sont des indicateurs de péjoration liée à l'érosion et à la sécheresse. Ces éléments sont des aléas, ils dépendent en grande partie de la nature. Les actions anthropiques ne sont pas considérées comme des aléas à part entière même si l'homme peut influencer le comportement de l'aléa (SY, 2013). L'Enjeu représente la nature et l'importance des éléments exposés aux dangers. Il peut être pécuniaire, patrimoniale et prend en compte la vie des personnes. Il n'y a potentiellement enjeu que

¹¹ A l'époque Matam n'était pas encore érigé en région. Le territoire de l'actuelle région de Matam correspond à l'ancien département éponyme dans la région de Saint-Louis et une partie du Département de Linguère, Région de Louga.

lorsque les éléments soumis à l'événement présentent une valeur quantitative et ou qualitative (SY, 2013). Or dans la Région de Matam à fortes potentialités agro-sylvo pastorales en particulier les enjeux relèvent essentiellement de l'exploitation forestière (NDIAYE, 2012) et des activités agricoles et pastorales (N'DJAFI OUAGA, 2010).

4.2.1. L'adaptation des pratiques agricoles et pastorales au changement climatique

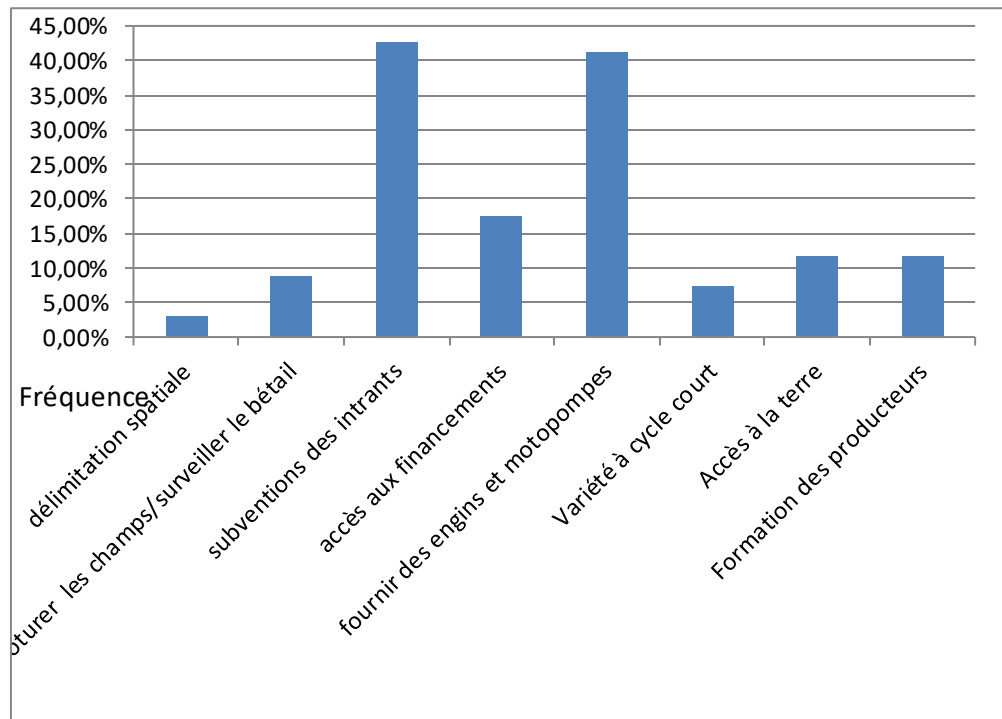
Si les tendances actuelles du réchauffement se poursuivent, les performances des activités du secteur primaire de la région en seront davantage affectées. Face au changement climatique des stratégies d'adaptation sont développées aussi bien pour les activités agricoles que pour l'élevage.

4.2.1.1. Les stratégies d'adaptation de l'agriculture au changement climatique

Les stratégies d'adaptation de l'agriculture découlent d'une hausse des températures combinée à une diminution de la pluviométrie. Différentes options d'adaptation à la sécheresse climatique et de développement des activités agricoles ont été proposées par les cultivateurs de la Région de Matam :

- faciliter l'accès aux intrants agricoles, notamment en subventionnant davantage le carburant et l'engrais, voire les herbicides et les pesticides ;
- l'Etat devrait également mieux favoriser la modernisation du secteur en fournissant des machines aux acteurs et des motopompes pour l'irrigation ;
- l'accès aux financements publics ou privés des acteurs de l'agriculture est également considéré à la fois comme un problème à résoudre et une des solutions pour une agriculture moderne et productive dans la Région de Matam ;
- l'accès à la terre et la formation des éleveurs font partie des soucis majeurs au sujet desquels une plus grande implication de l'Etat est souhaitée ;
- la délimitation des aires de parcours et la prise en compte du secteur de l'élevage permettent de maîtriser la divagation des animaux et de protéger les cultures. D'ailleurs, les cultivateurs et les éleveurs sont majoritairement d'accord sur le principe que les premiers surveillent les champs le jour et les seconds leur bétail la nuit (figure 27).

Figure 27 : Récapitulation des principales contraintes de l'agriculture



La redéfinition des calendriers agricoles, en jouant sur les dates, et l'introduction des variétés à cycle court sont aussi proposées. Cela a pour finalité de gérer la sécheresse climatique et le caractère irrégulier de la pluviométrie dans la région avec résilience. Ces propositions des paysans sont reconnues comme pertinentes par les techniciens et les chercheurs du secteur de l'agriculture (SARR et TRAORE, 2010 ; MATCL/ARDM, 2013). Ces derniers insistent également sur la mise au point de méthodes de gestion de l'eau à des fins agricoles. Il s'agit essentiellement de la conservation des eaux, la protection des cultures face aux extrêmes climatiques, l'irrigation de complément et l'irrigation pure à partir des eaux de surface -fleuves, mares, bassins de rétention- et des eaux souterraines.

Les mesures d'adaptation ont été identifiées sur la base des enquêtes menées auprès des populations. De ce fait, près des 2/3 des paysans de la vallée, notamment dans les départements de Matam et de Kanel ont dit préférer concentrer leurs efforts pendant l'hivernage dans la riziculture irriguée. 57 % des paysans interrogés disent pratiquer l'agriculture irriguée contre 26 % pour les cultures de décrue et 17 % seulement pour l'agriculture sous pluies. Cette dernière est encore pratiquée majoritairement par les paysans du Département de Ranérou, en raison de l'éloignement relatif du fleuve Sénégal.

La prépondérance des cultures irriguées est une réponse à l'incertitude du calendrier agricole liée à l'irrégularité des précipitations ; quand la pluie est insuffisante ou devient trop espacée il suffit de recourir à l'irrigation par la motopompe pour sauver les cultures. Cependant, il est constaté que de nombreux périmètres irrigués villageois ne font qu'une seule campagne rizicole par an. En plus, le calendrier agricole est de moins en moins tributaire de la saison des pluies du fait de la multiplication des périmètres irrigués familiaux ou personnels surnommés «GOANA¹²». Mais parmi ceux qui continuent de pratiquer la culture du mil, sous pluie, seuls 40 % ont opté pour les semences à cycle court – trois mois au maximum contrairement au mil classique. Les fermiers ont développé plusieurs mécanismes « traditionnels » d'adaptation à un climat rigoureux (HELLENDORFF, 2012) tant pour l'agriculture que pour l'élevage.

En sus, les pertes de productivité résultant du changement climatique risquent d'aggraver les crises alimentaires déjà récurrentes dans la zone (SARR et TRAORE, 2010). De ce fait, les paysans ont développé des stratégies d'adaptation aux risques liés à la variabilité climatique. Parmi ces stratégies, figurent celles relatives aux pratiques agricoles comme la lutte contre la dégradation des terres agricoles, la gestion de la fertilité des sols, les techniques de gestion de l'eau, la diversification des cultures, etc. (CSAO/OCDE, 2008). A cela s'ajoutent d'autres formes d'adaptation : la production et la vente d'animaux, l'entraide et la coopération, la diversification des activités, migration saisonnière, etc. Ces dernières portent sur l'amélioration de la résilience des systèmes agricoles au travers de méthodes et de technologies (SARR et TRAORE, 2010). L'agriculture extensive est considérée comme une stratégie visant à compenser la baisse des rendements en l'absence d'une amélioration des itinéraires techniques de cultures. Mais cette extension se fait au détriment des espaces pastoraux (CSAO/OCDE, 2008).

4.2.1.2. Les stratégies d'adaptions dans le domaine de l'élevage

Plusieurs auteurs pensent que la terre connaît un long cycle d'aridité (IBRAHIM, 2012 ; SY, 2013), qui remonte à la dernière phase. C'est cette dernière qui continue jusqu'à nos jours avec une extension du Sahara. Elle est accentuée par le phénomène de la désertification aggravé par la baisse de la pluviométrie des dernières décennies (IBRAHIM, 2012). Concernant l'élevage, les experts (SRA, 2010 ; MATCL/ARDM, 2013) recommandent :

¹² Ces projets agricoles se sont répandus dans le contexte de la GOANA. Mais actuellement la plupart d'entre eux relève de la propriété privée.

- la modernisation de la semi-intensification avec les programmes d'amélioration génétique par la pratique des croisements, l'insémination artificielle ;
- l'amélioration du niveau et de la qualité de l'approvisionnement en eau pour l'abreuvement du bétail ;
- le renforcement des capacités organisationnelles et techniques des éleveurs ;
- l'intégration des activités pastorales dans le schéma de mise en valeur de la vallée. La généralisation des plans d'occupation et d'affectation des sols peut être une solution à cette contrainte.

Une des stratégies d'adaptation est surtout la création de la Réserve de Biosphère du Ferlo. Elle vise à améliorer les activités traditionnelles à travers les actions d'aménagement et de gestion prévues dans les plans d'aménagement des unités pastorales et la charte locale de bonne gestion (MATCL/ARDM, 2013). Cette stratégie permet d'organiser l'exploitation rationnelle des ressources pastorales et la transhumance, la réhabilitation et la restauration des écosystèmes, l'accès plus facile à l'eau par la construction de points d'eau permanents (forages et puits). Ils réduiront sensiblement les déplacements pour la recherche de l'eau et des pâturages et rendent l'exploitation des ressources moins aléatoire (DRDR, 2010). Toutefois, ces dernières années la production du charbon de bois s'est complètement réduite dans la Région de Matam, les exploitants ayant délocalisé leurs activités dans la Région de Tambacounda.

Cependant, l'impact de ces activités se fait encore sentir pendant plusieurs années dans la vallée, particulièrement dans le Département de Matam. Même, par endroit, une reconstitution du couvert végétal se fait constater, cette dernière est ralentie par l'action des bergers qui émondent les arbres pendant la saison sèche. Néanmoins, un autre problème se pose avec la réhabilitation de la route nationale Matam-Linguère en passant par Ranérou : le commerce du bois de chauffe (photo 25).

Photo 25 : Vente de bois à Samba Doguel près de Ranérou



En effet, le désenclavement du Ferlo accentue l'exploitation forestière avec la vente du bois de chauffe destiné à la consommation des villes de l'intérieur et à la capitale. Dans le Département de Ranérou des quantités importantes de bois de chauffe sont fréquemment exposées de part et d'autre de la route nationale. Comme le soutiennent PERRET et *al.*, (2008), les feux de brousse aussi constituent une sérieuse préoccupation (photo 26).

Photo 26 : Feu de brousse à Louguéré Thiolly (2012)



Source : *NDIAYE* (2012)

Les feux de brousse sont évoqués comme un sérieux problème par tous les éleveurs. Ces incendies jugés trop fréquents par les populations sont la catastrophe la plus fréquente. Non seulement ils

détruisent rapidement le tapis herbacé mais ils impactent la capacité de régénération des herbes l'hivernage suivant. Récemment, un de ces feux d'une rare violence s'est déclenché dans le ranch de Dolli¹³ en avril 2017 ; les services des eaux et forêts estiment la surface détruite à quelques 500 ha. La destruction progressive des formations forestières semble inévitable dans le Ferlo. Les nomades de retour après des conditions plus clémentes sont toujours nourris du désir de défricher de nouvelles terres d'habitat. Par ailleurs, selon NDIAYE (2012) :

« L'exploitation du bois pour la confection de charbon et à moindre mesure le bois mort, constituent des facteurs non négligeables. Les feux et les catastrophes naturelles ne sont pas en reste. Cependant, leur reconstitution ne peut être seule l'affaire de l'État et /ou des communautés de base ; elle incombe à tous les acteurs et en particulier à ceux qui vivent de l'exploitation forestière. Une contribution obligatoire réelle et réglementée au reboisement est à exiger aux exploitants privés par le service des forêts sous forme de cahier de charges. Elle portera sur des plantations à effectuer et à réussir sur des superficies données et pour une localité donnée » (NDIAYE, 2012).

En conséquence, la reconstitution du couvert végétal et la préservation de la nature ne peuvent pas être seulement l'affaire de l'État ou des communautés de base. L'implication de tous les acteurs est nécessaire. Une contribution obligatoire réelle et réglementée au reboisement est à exiger aux exploitants privés par le service des forêts sous forme de cahier de charges. Elle porte sur des plantations à effectuer et à réussir sur des superficies données et pour une localité donnée. Face à cette situation, le Sénégal propose depuis 2006 la prise en compte de la mise en défens dans le mécanisme pour un développement propre (MDP) de même que le carbone du sol. Malheureusement, ces deux paramètres n'étaient pas crédibles face aux activités de reboisement (OCDE/CSAO, 2008). Mais le projet de la mise en place est une stratégie pertinente en même temps qu'une bonne réponse au changement climatique.

4.2.1.2.1. Atouts et opportunités liés à l'érection du site du Ferlo en réserve de Biosphère

La création de la Réserve de Biosphère permet, d'une part, d'explorer également des axes de coopération avec les réserves de biosphère nationales et sous-régionales et, d'autre part, d'effectuer des recherches sur les espèces végétales et animales de la région et les formes d'aménagement sylvopastoral. En tant que site d'acclimatation de la faune, la Réserve de Biosphère pourra aussi développer des activités d'expérimentation en matière d'élevage de la faune y compris la

¹³¹³ Le ranch de Dolli est la principale réserve destinée à l'élevage du pays. Il est situé dans la Région de Louga mais des troupeaux venus de la Région de Matam, entre autres, y séjournent.

pisciculture. D'après les techniciens (PRDI, 2013), cette Réserve de Biosphère remplit différentes fonctions essentielles. Et parmi ces fonctions il y a la préservation des différents biotopes, paysages ou écosystèmes :

- les savanes et les pâturages ;
- les forêts galeries ;
- les steppes arbustives ;
- les vallées, fossiles pour la plupart (Vallée du Ferlo, Vallée de Mboune, Vallée du Thiangol Mangol, Vallée du Thiangol Gaïparadji, etc.) ;
- les nombreuses mares et marigots temporaires ;
- et les peuplements végétaux surtout de *Pterocarpus lucens*, au sud et d'*Acacia* et *Boscia angustifolia*, au nord.

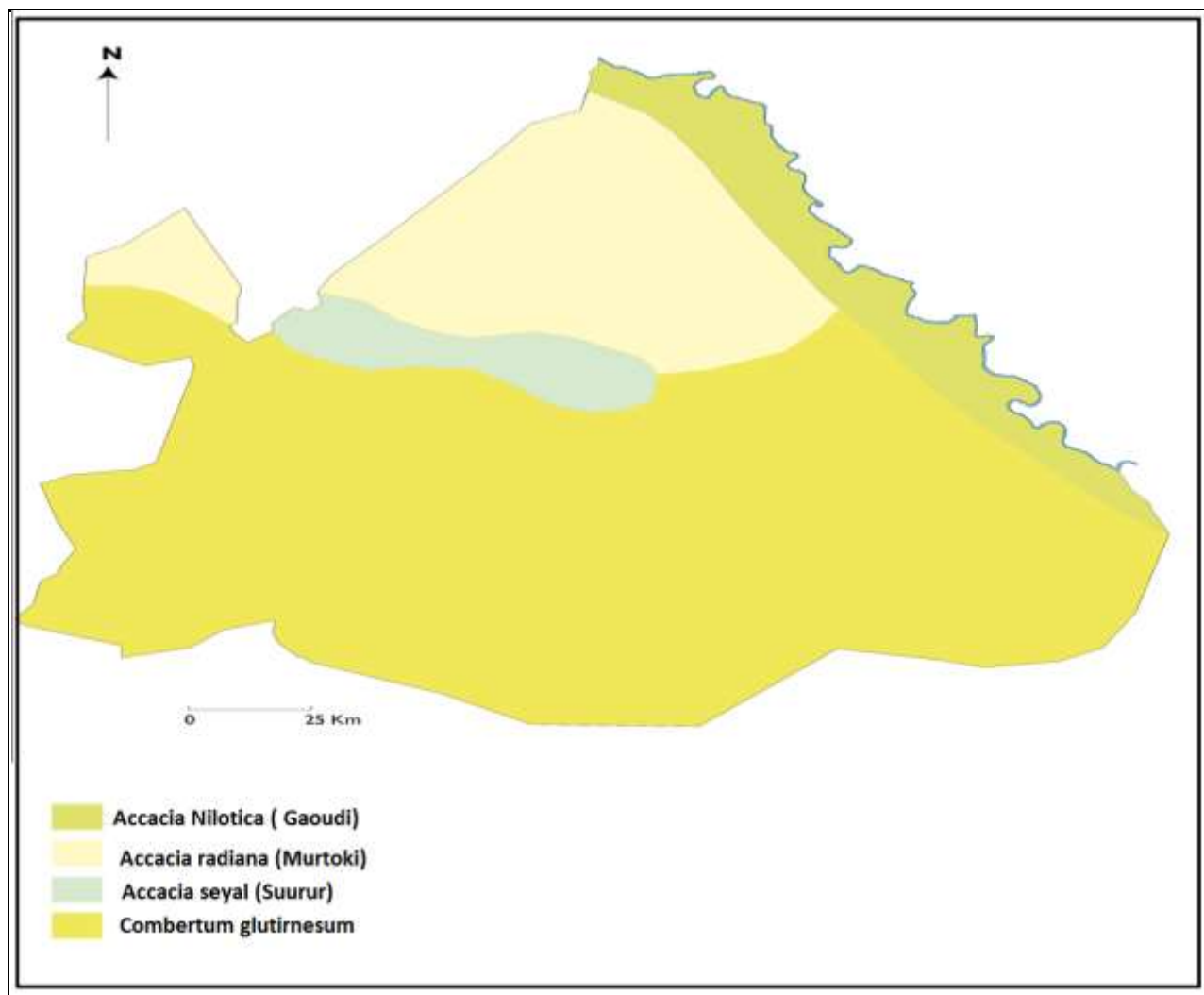
La mise en place de l'entente interrégionale pour la zone sylvopastorale du Ferlo constitue une initiative structurante qui regroupe cinq régions dont le territoire recouvre au moins en partie la zone Ferlo : Saint-Louis, Matam, Louga, Tambacounda et Kaffrine. Cette initiative offre un cadre politique pour la mise en place de plans d'investissements régionaux dont l'objectif est l'aménagement et la mise en valeur du Ferlo. Le développement de l'élevage pastoral dans le Ferlo doit également se placer dans la perspective du changement climatique (KAMIL et LARBODIERE, 2010).

Toutes ces stratégies d'adaptation des activités agropastorales entrent dans le cadre de la prise en compte des enjeux et défis liés à l'exploitation forestière et à la production animale dans le contexte du changement climatique et d'une détérioration de l'environnement.

3.2.1.2.2. Les enjeux de l'exploitation d'un couvert végétal de plus en plus clairsemé

Le couvert végétal à Matam est essentiellement fait de steppes sahéliennes (carte 12).

Carte 12 : Espèces végétales dominantes dans la Région de Matam

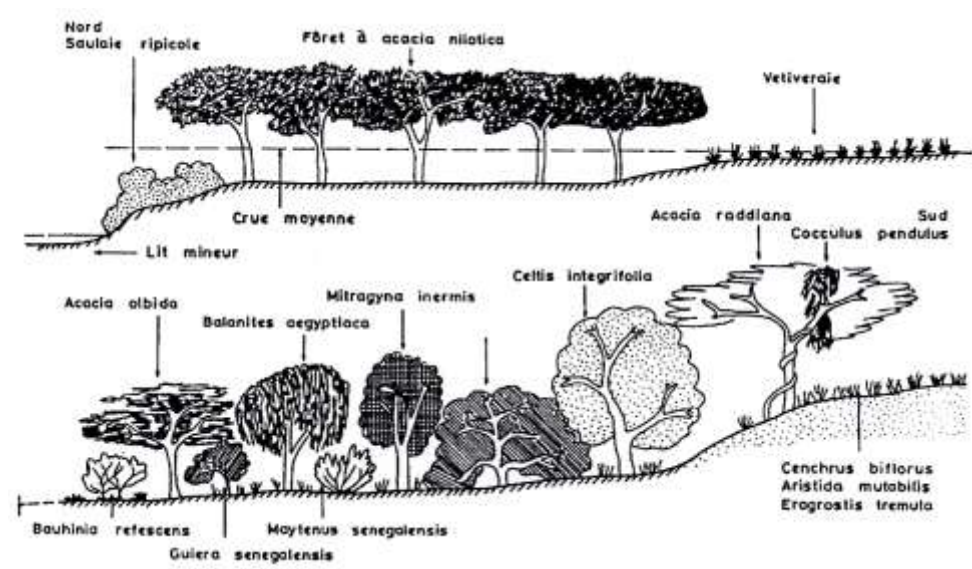


Source : DIOP (2002)

La végétation est caractérisée par une prédominance de l'espèce *Acacia nilotica* (gonakier) que l'on retrouve dans le *Walo* sur les sols «*hollalde*». Selon les zones géographiques, on retrouve tantôt *Balanites aegyptiaca* tantôt *Acacia seyal*. Il existe aussi une strate herbacée presque essentiellement saisonnière, dense pendant la saison des pluies. Mais elle est quasi inexistante le reste de l'année, à l'exception de *Cenchrus biflorus* (cram-cram) que l'on peut rencontrer tout le long de l'année. A l'intérieur des habitations, le *Razadirachta indica* (nime) est fréquemment planté pour son ombre (BA, 2007).

Le couvert végétal de la région est caractéristique des zones sahéniennes avec la prédominance des steppes et une évolution caractérisée par la péjoration. Les graminées pérennes occupaient une place plus importante avant la sécheresse du début des années 1970 (figure 28).

Figure 28 : Forêt à *Acacia nilotica*, vétiveraie et forêt mixte marginale de la Moyenne vallée



Source : MICHEL (1973)

L'absence de reliefs importants et le développement limité du réseau hydrographique donnent aux facteurs climatiques un rôle prépondérant dans la répartition des paysages végétaux au Sénégal. L'évolution des paysages se fait par transitions insensibles, en liaison avec la croissance progressive des pluies du nord au sud du pays. Dans le domaine sahélien dominent les espèces *Acacias* auxquels sont associées fréquemment le somp (*Balanites aegyptiaca*) aux fruits oléagineux, le jujubier (*Zizyphus mauritiana*) et à l'approche des villages, le baobab (*Adansonia digitata*). Au sol, le tapis herbacé, dessèche dès le mois de novembre ; il se compose de graminées annuelles, dont le cram-cram (*Cenchrus biflorus*). Dans le Ferlo il existe aussi d'importantes communautés de Combrétacées. La répartition de ces espèces varie selon qu'on est dans le *Walo* ou dans le *Diéri* (tableau 31).

Tableau 31 : Les principales espèces végétales de la Région de Matam

| Zones | Noms vernaculaires | Noms scientifiques |
|---|--------------------|-------------------------------|
| Walo ou vallée Alluviale | <i>Gawdi</i> | <i>Acacia nilotica</i> |
| | <i>Murtooki</i> | <i>Balanites aegyptiaca</i> |
| | <i>Jaabi</i> | <i>Zizyphus mauritania</i> |
| | <i>Namadi</i> | <i>Bauhima rufescens</i> |
| | <i>Barkewi</i> | <i>Piliostigma reticulata</i> |
| Diériet Ferlo | <i>Bamambi</i> | <i>Calotropis procera</i> |
| | <i>Ciluki</i> | <i>Acacia radiana</i> |
| | <i>Ñippere</i> | <i>Cenchrus biflorus</i> |
| | <i>Dooki*</i> | <i>Combretum glunosum</i> |
| | <i>Pattuki</i> | <i>Acacia senegal</i> |
| | <i>Kinkiliba*</i> | <i>Combretum micrantum</i> |
| | <i>Bokki</i> | <i>Adonsonia digitata</i> |
| | <i>Bobon*</i> | <i>Stereulia stigera</i> |

Source : SENE (2000 cité par BA, 2007)

En saison sèche, le taux moyen de couverture s'abaisse à 75-80 %. La nature et la densité du couvert végétal jouent un grand rôle dans la morphogénèse. Un autre facteur intervient : la durée annuelle du feuillage, qui réduit, à la fois, l'insolation au sol et la déflation éolienne par son action de brise-vent. Toutes les plantes ligneuses, sauf *Acacia albida*, se couvrent de feuilles en saison des pluies et les perdent ensuite ; leur rôle protecteur ne dure donc que de quatre à sept mois par an. Le caractère de plus en plus clairsemé fait que les formations fonctionnent souvent comme des aires de déflation. Ces surfaces exposées s'étendent avec la généralisation de l'agriculture, empiétant de plus en plus sur les terres pastorales, et la coupe des branches voire des arbres entiers (SY, 2008).

5. Les résultats sur les contraintes de l'agriculture et la vulnérabilité du secteur

Les contraintes du sous-secteur de l'agriculture sont révélées par les populations dans les trois aires écogéographiques de la Région de Matam.

5.1. Les contraintes des activités culturelles

L'agriculture est confrontée à plusieurs problèmes qui limitent ses performances (tableau 32).

Tableau 32 : Les difficultés de l'agriculture

| Contraintes | Fréquence |
|--|------------------|
| Cherté des intrants | 42,90% |
| Problèmes de machines | 24,20% |
| Manque de moyens et de financements | 22,00% |
| Difficile accès à la terre | 9,90% |
| Divagation des animaux dans les champs | 7,70% |
| Epuisement des sols | 2,20% |
| Sécheresse | 7,70% |
| Oiseaux granivores, insectes et rongeurs | 5,50% |
| Problème de stockage et d'écoulement | 2,20% |
| Main d'oeuvre trop couteuse | 1,10% |

Le tableau 32 résume les difficultés soulevées par les cultivateurs interrogés entre juillet et août 2017. A la question « Quelles sont les principales difficultés dont souffrent vos activités ? » les réponses les plus fréquentes ont été les suivantes :

- la cherté des intrants (carburant pour l'irrigation, engrais, semences adaptées et de qualité, etc.) ;
- le problèmes de machines, incluant à la fois les motopompes, les engins d'aménagement et de labour, transformation ;
- le manque de moyens car les financements sont rares, insuffisants et caractérisés par les lourdeurs administratives ;
- la divagation des animaux domestiques dans les champs tout comme les périls acridien et aviaire ;
- les problèmes de stockage et d'écoulement faute d'équipements et d'infrastructures adéquats.

L'agriculture reste majoritairement extensive utilisant un outillage rudimentaire. C'est surtout le cas dans le Département de Ranérou encore en marge du processus de modernisation-mécanisation amorcé dans le domaine de la production du riz. Dans cette partie du Ferlo par exemple l'agriculture céréalière est exclusivement pluviale et utilise peu d'apports en intrants. Elle est étroitement liée aux caractéristiques de la saison des pluies : dates de démarrage et longueur de la saison culturale ont des impacts directs sur les rendements céréaliers à côté de la quantité de pluie. La faiblesse et l'irrégularité des crues sont également liées à la variabilité pluviométrique. Ces remarques des populations confortent les conclusions des services compétents : DREEC et SRA.

Par conséquent, l'agriculture est caractérisée dans la région par un faible niveau de valorisation du potentiel hydro-agricole (MATCL/ARDM, 2013). En effet, sur un potentiel aménageable de 55 000 ha, seuls 9 000 ha sont aménagés (tableau 33).

Tableau 33 : Superficies cultivables par zone écogéographique et par département

| Départements | Superficie totale Km ² | Superficies totales cultivables/km ² | Sup. cultivables zone Walo/km ² | Sup. cultivables zone Diéri et Ferlo/km ² |
|--------------|-----------------------------------|---|--|--|
| Kanel | 8786,1 | 3304,12 | 1059 | 2245,12 |
| Matam | 5728,9 | 3852,36 | 1563 | 2289,36 |
| Ranérou | 15 100,8 | 1358,64 | Néant | 1358,64 |
| Total | 29615,8 | 8515,12 | 2622 | 5893,12 |

Source : Agriculture Matam (2015)

A côté des productions céréalières, les productions maraichères se développent progressivement sous forme de jardins irrigués ou de champs de décrue. L'agriculture, essentiellement extensive, est liée à une pluviométrie aléatoire avec les sécheresses climatiques fréquentes. C'est ce qui explique la vulnérabilité du secteur.

5.2. Les risques dans l'agriculture liés à la variabilité climatique et les stratégies

L'érosion éolienne et l'érosion hydrique constituent des facteurs importants de dégradation de l'environnement (SRA, 2010). Face aux différents risques liés à la variabilité climatique (sécheresse, vents, ennemis des cultures, etc.) qui se traduisent par une diminution de la production agricole et fourragère, les paysans développent plusieurs stratégies d'adaptation. Parmi les stratégies d'adaptation, on peut citer celles relatives à la lutte contre la dégradation des terres agricoles, à la gestion de la fertilité des sols, à la diversification des cultures, à la production animale et à la vente d'animaux, à la lutte contre les ennemis de culture, au développement des activités génératrices de revenus, à l'exploitation différentielle de l'espace, etc. (N'DJAF A OUAGA, 2010). Il existe aussi l'excavation non réglementée ni contrôlée pour la fabrication de briques en banco qui accentue la dégradation des terres (SRA, 2010) notamment à proximité des cours d'eau (photo 27).

Photo 27 : Fabrication de briques en banco aux abords du fleuve à Soubalo Matam



Source : Rapport du comité de gestion des inondations de Matam (2007)

L'érosion éolienne et hydrique est l'un des processus de dégradation communs en environnement aride. Les pluies principalement concentrées en été et en automne sont, bien que peu importantes, un élément critique pour éroder et transporter le sol. A cet égard, l'érosion modifie la qualité du sol et mène à la désertification. L'érosion naturelle est difficile à éviter, mais l'érosion induite par l'homme pourrait être diminuée et contrôlée en changeant la politique et les pratiques en matière d'utilisation du sol (WU, 2003). La démographie ne conduit pas les dynamiques environnementales. Néanmoins, elle peut généralement les accélérer (LOCATELLI, 2000).

Ces phénomènes emportent tous les éléments nutritifs de la terre et réduisent leur capacité productive, ce qui engendre l'extension des terres de culture au détriment des aires de pâturage provoquant de plus en plus de conflits entre éleveurs et agriculteurs (SRA, 2010). Comme dans tous les pays du Sahel (CSAO/OCDE, 2010), l'élevage aussi joue un rôle important dans la Région de Matam mais le secteur est vulnérable.

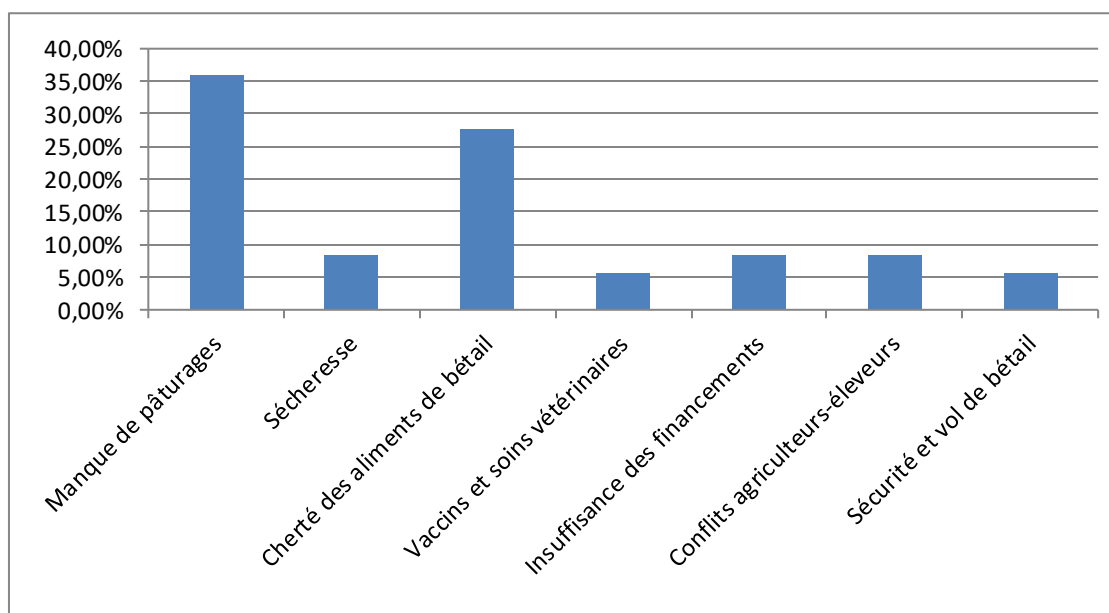
5.3. Les contraintes et la vulnérabilité du secteur de la production animale

Le secteur de la production animale est confronté à beaucoup de difficultés. Ces dernières aggravent la vulnérabilité de l'élevage dans le contexte de la sécheresse climatique de la région.

5.3.1. Les difficultés de l'élevage à Matam

Les acteurs de l'élevage ont recensé plusieurs difficultés (figure 29)

Figure 29 : Les contraintes répertoriées par les éleveurs de Matam



Une enquête a été menée auprès des éleveurs des différents départements pour répertorier leurs difficultés. Les contraintes majeures recensées pour le secteur sont les suivantes :

- le manque de pâturages et d'espace de parcours, qui résulte l'accroissement démographique et de l'essor des aménagements agricoles ;
- la cherté et le difficile accès aux aliments de bétail ainsi que l'insuffisance des points d'eau pour l'abreuvement ;
- l'accès aux vaccins et aux soins vétérinaires est également décrié tout comme le manque de sécurité, avec les fréquents vols du bétail ;
- la récurrence des conflits agriculteurs-éleveurs liés au manque de pâturages et de prise en compte de l'élevage dans les stratégies d'aménagement.

L'absence d'infrastructures et d'équipements d'appui à la production pastorale, ainsi qu'à la transformation et la commercialisation des produits sont aussi parmi les principales difficultés sans compter le manque de formation des éleveurs.

L'élevage, pastoral surtout, est basé sur des rapports d'entraide, sur des ressources et des stratégies peu connues des décideurs. Quelles sont les vraies demandes des éleveurs ? Que peuvent faire les structures d'appui ? C'est un sujet de débat auquel nous sommes invités et que les structures, organisations professionnelles, services techniques, collectivités doivent entamer si elles veulent apporter un appui aux éleveurs face aux changements, et éviter la démultiplication non coordonnée des actions (KAMIL et LARBODIERE, 2010).

5.3.2. La vulnérabilité de l'élevage face à la sécheresse et aux aléas climatiques

Avec l'intensification des aléas climatiques, la transhumance de grandes amplitudes a tendance à disparaître pour faire place aux nomadismes de proximité. Des stratégies de mobilité localisée sont de plus en plus fréquentes. Dans la région, la mobilité spatio-temporelle localisée a été observée au niveau de la vallée. Dans ce secteur, ce sont les éleveurs sédentaires qui développent cette stratégie de mobilité localisée.

Cette stratégie permet d'éviter des conflits avec les agriculteurs autochtones et crée les conditions de coexistence pacifique entre les communautés. De plus en plus, le renforcement de la surveillance de l'espace et des animaux, la recomposition du troupeau, le déstockage, la redéfinition des termes du contrat de pacage et la constitution de stocks de fourrage, l'amélioration des performances zootechniques par l'embouche et enfin, l'ensemencement des pâturages se font sentir. La pépinière de LouguéréThiolly, par exemple, dans le département de Ranérou réalisée dans le cadre de la grande muraille verte entre dans cette logique.

En somme, les paysans de la Région de Matam ont, dans le Ferlo et dans la vallée, une bonne lecture des manifestations de la variabilité ou du changement climatiques. Pour ce faire, ils développent des stratégies pour contrer ces aléas climatiques. Par exemple plus de 80 % des éleveurs interrogés ont dit avoir à côté de l'élevage d'autres activités, notamment l'agriculture. Mais la combinaison de l'agriculture avec l'élevage est beaucoup plus fréquente dans la vallée que dans le Ferlo. Cette situation confirme la remarque de CHALEARD et CHARVET (2004) qui trouvent que dans les régions semi-arides les risques d'érosion et de destruction des sont plus élevées. Il peut s'agir d'érosion par ruissellement mais aussi d'érosion éolienne, les deux pouvant se combiner. L'érosion est encore plus agressive quand les sols sont nus, comme c'est de plus en plus le cas dans la Région de Matam. La question fondamentale est, dès lors, de savoir si ces stratégies sont suffisantes pour faire face aux événements climatiques extrêmes. D'où, la nécessité de bien évaluer les impacts du changement climatique en vue de proposer des stratégies culturellement, socialement et économiquement fondées (N'DJAFI OUAGA, 2010).

Ce sont donc tous ces enjeux liés à la vulnérabilité qui expliquent la mise en place du fond national climat (FNC), en adéquation avec les orientations du Plan Sénégal Emergent, qui traduit la vision du pays en termes de développement d'ici 2035. Le FNC a pour objectifs déclarés :

- de mobiliser 60 millions de dollars par an pour le financement de la lutte contre les changements climatiques ;
- de soutenir l'établissement d'objectifs et de stratégies de lutte contre le changement climatique ;
- de superviser l'approbation des projets ;
- de mesurer leur mise en œuvre et leur performance ;
- de fournir l'assurance en matière de politiques et de contrôle financier et d'aider à la gestion des partenariats établis» (KAERE, 2015 cité par SAGNA et *al.*, 2015).

La vulnérabilité de la région au changement climatique résulte, à l'instar de la majorité du continent africain, de deux éléments principaux : d'une part, l'existence de multiples contraintes et d'autre part, sa faible capacité d'adaptation. Comme dans le reste du Sahel, les contraintes tiennent souvent à la dégradation ou la perte totale ou partielle des sols exploitables pour l'agriculture, occasionnée tantôt par l'aggravation de la sécheresse tantôt par la raréfaction la surexploitation des terres.

Lors des enquêtes de terrain, les éleveurs ont presque tous reconnu une baisse du rendement des pâturages. Plusieurs causes sont indexées pour expliquer la situation. Et tous les acteurs ont reconnu l'impact des variations climatiques dans une région de plus en plus aride –déficit pluviométrique et températures généralement élevées. Cette vulnérabilité est aggravée par des facteurs anthropiques, du fait de la croissance démographique qui étend l'espace d'habitation au détriment des terres de pâture, de la réalisation d'infrastructures –routes et pistes - et de la multiplication des aménagements hydroagricoles de plus en plus étendus.

Conclusion

Dans les différentes aires écogéographiques, la végétation de la région est caractérisée par la prédominance des épineux de plus en plus clairsemés. Or le climat n'est pas le seul élément explicatif de cette tendance car les activités humaines y contribuent considérablement. La végétation et les systèmes morphogéniques sont donc étroitement liés et interagissent. En plus la région subit une dégradation des ressources végétales qui se manifeste par un éclaircissement du couvert végétal.

Plusieurs facteurs se conjuguent pour expliquer la morphogénèse. Néanmoins, la dynamique reste dominée par les actions mécaniques. Toutefois, les formes et les modèles ne s'expliquent pas seulement par les processus physiques et bioclimatiques actuels. Les activités anthropiques ont

également réduit la diversité et la productivité biologiques et ont provoqué ces dernières années de graves ruptures dans les processus écologiques essentiels. La restauration, l'amélioration et la saine gestion des écosystèmes sont, par conséquent, les paramètres fondamentaux permettant le développement économique de la Région de Matam.

Les défis multiples s'inscrivent dans un contexte nouveau tant sur le plan environnemental que dans le domaine institutionnel. Au plan environnemental la dégradation des terres et la baisse de la productivité, le rétrécissement des forêts, et la perte de la biodiversité constituent de sérieuses préoccupations. Ainsi, les perspectives des activités agropastorales quoique difficiles à cerner sont liées aux enjeux de l'intensification de l'agriculture et de l'amélioration génétique du bétail. Au plan institutionnel la nouvelle politique économique du gouvernement dans le cadre du PSE, de l'acte III de la décentralisation et de la LOASP pourrait entraîner une meilleure prise en charge de l'élevage et sa plus grande intégration avec les activités agricoles. Mais la complexité de la problématique du foncier dans une région, où le droit moderne se juxtapose et entre en conflit avec la gestion coutumière des terres, rend les perspectives de mise en valeur relativement ambiguës.

La stratégie de gestion des ressources et les perspectives des activités agro-pastorales dans la Région de Matam passent également par une analyse des risques et la prise en compte de la vulnérabilité. En fait, l'adaptation aux effets du changement climatique constitue un véritable défi en raison de son impact négatif sur les ressources naturelles et la détérioration des conditions de vie de la population. Cette dernière agit incontestablement sur l'environnement mais ce n'est pas la démographie qui conduit les dynamiques environnementales, même si elle peut les accélérer.

Conclusion générale

L'exploitation bibliographique a permis de faire comprendre le mécanisme de la dynamique actuelle en relation avec la sécheresse climatique dans la Région de Matam. Les différents processus et agents morphogéniques montrent que la situation actuelle devrait s'aggraver. Les héritages aussi contribuent à la compréhension de la dynamique en cours. La gestion de l'environnement suppose alors la prise en compte de la dimension temps.

Le concept de région défini au chapitre 1 est un ensemble d'unités dynamiques dont le mode de fonctionnement intègre les processus physiques et les enjeux. Au plan physique, c'est une zone très variable. Au plan humain, c'est un lieu d'habitat et d'activités productives. Les résultats montrent que son évolution actuelle correspond à une phase d'instabilité climatique et de déséquilibre morphopédologique. Cette analyse rend crédible l'usage du concept risque constituant ici l'association entre aléas (processus physiques) et enjeux (les ressources).

Sur les paysages de la moyenne vallée et du Ferlo, des phénomènes naturels (topographie, morphologie, péjoration climatique, etc.) se combinent aux effets des actions anthropiques (occupations, désertification, mode de mise en valeur agropastorale, etc.). L'érosion éolienne et hydrique est associée à des variations sédimentaires. L'ensemble des travaux a comme objet, les interrelations entre la sécheresse climatique, la dynamique érosive et l'observation des pratiques agropastorales. Les témoignages et les observations directes indiquent une morphodynamique dominée par des actions mécaniques.

Le fonctionnement sédimentaire éolien dans le Ferlo et la Moyenne vallée identifie la prééminence des pôles de déflation. La quantité de sédiments piégés dans la trappe pendant la séquence d'observation et de suivi est relativement importante. Ce fonctionnement est déjà très indicateur de la dégradation de la composition granulométrique des différentes unités morphopédologiques de la région. L'écart moyen entre les jours de pluies est de 10 et les températures restent élevées en saison des pluies. Ce qui a pour effet d'accroître l'aridité du milieu. L'indice ISY (indice de SY) oscille entre 1,47 et 3,47, situant la région de Matam dans les zones arides ; l'indice bioclimatique de LANG qui varie entre 9,47 et 15,001 durant la période 1970-2016 confirme son appartenance à un domaine climatique aride. Et l'indice de De MARTONNE allant de 11,11 à 25, 001 situe Matam

dans les régions semi-arides à semi-humides tout comme l'indice de GAUSSEN variant entre 0 et 2,31 prouve que la majorité des mois sont secs.

Les types d'activités agropastorales sont de nature à renforcer l'action du vent et l'impact des sécheresses. Ainsi, les mutations des modes de mise en valeur agricole et leurs perspectives actuelles sont considérées comme les principaux enjeux écologiques et économiques dans la région. *En sus*, l'agriculture et l'élevage qui sont les principales activités économiques sont touchés par les années de sécheresse et l'érosion, éolienne surtout. La migration des isohyètes et la diminution des lignes de grains vers le sud pose la problématique d'adaptation des activités à la variabilité climatique.

Les perspectives des activités agropastorales sont incertaines. Elles ne sont pas encore précises surtout dans le contexte macroéconomique du PSE. Certes, l'élevage tend à être mieux pris en compte que par le passé à l'échelon local, à travers l'approche territoriale favorisée par la décentralisation. Mais dans la même foulée la territorialisation et les aménagements hydro-agricoles en cours vont négativement impacter sur la mobilité indispensable aux systèmes pastoraux.

Ce travail a montré que l'indice de végétation intégré, contribue de façon significative à bien cerner l'évolution et l'état du couvert végétal. L'analyse de la dynamique végétale a pendant plus de trente ans permis d'obtenir une tendance d'évolution dans la région. En définitive, l'analyse des dynamiques actuellement en cours dans la Région de Matam révèle une dégradation constante face à des risques supposés, s'intensifient dans le contexte global de Changements climatique. Face à cette situation, la reconstitution des écosystèmes dégradés en vue d'accroître les productions agricoles et animales revêt une importance capitale pour la région.

La recherche universitaire pourrait dès l'instant que les processus d'érosion et les risques sont connus, établir des modèles d'évolution pour guider les perspectives des activités agropastorales dans la Région de Matam. De même, l'étude géomorphologique des paysages agricoles à l'aide d'une cartographie diachronique et les interrelations de la chaîne des valeurs des activités agropastorales avec les processus physiques dans la moyenne vallée du Sénégal peuvent constituer une contribution importante pour la gestion des aléas dans une région sahélienne comme Matam. C'est une pertinente perspective pour nos recherches après la thèse. Il s'agira d'élaborer un modèle d'évolution du sapement des berges ou des volumes de colmatage et des poussières atmosphériques sur la base de mesures *in situ*, pour évaluer à court, moyen et long terme les stratégies futures d'adaptation des activités économiques aux mutations du milieu.

Références bibliographiques

- AFD (2014). *La dimension locale de la dialectique Migration et développement, le cas France-Sénégal : Monographie de la vallée du Fleuve Sénégal*. 75 p.
- AGRYMET (2010). *Le Sahel face aux changements climatiques. Enjeux pour un développement durable*. Numéro spécial, 43 p.
- AGUIAR L. A. (2009). *Impact de la variabilité climatique récente sur les écosystèmes des Niayes du Sénégal entre 1950 et 2004*. Thèse de doctorat en sciences de l'environnement, UQM, 208 p.
- ALTIERI M. et NICHOLLS C. (2004). An agroecological basis for designing diversified cropping systems in the tropics, in *New Dimensions in Agroecology*. D. R. Clements and A. Shrestha (Eds). Haworth, press, 18 p.
- ARCHAMBAUJ L. T. (1960). *Eaux souterraines de l'Afrique occidentale*. - Berger-Levrault, Nancy, 139 p., carte, 2
- BA C. O. (1997). « Réseaux migratoires des Sénégalais du Cameroun et du Gabon en crise », *Le territoire, lien ou frontière?* Paris - Sorbonne 2 – 4, octobre 1995, pp. 496-509.
- BA D. D. (2008). *Décentralisation et gestion de l'environnement : les problèmes liés aux inondations et à l'érosion fluviale dans la Commune de Matam (Moyenne vallée du fleuve Sénégal)*, Mémoire de DEA UCAD. Section de géographie, 74 p.
- BA D. D. (2007). *La problématique des inondations dans la commune de Matam*, Mémoire de maîtrise UGB. Section de géographie, 99 p.
- BA M. (2004). *Monographie d'un quartier de la ville de Matam : Soubalo*, Mémoire de DEA de Sociologie UCAD, 74 p.
- BAILLY A. et FERRAS R. (2001). *Eléments d'épistémologie de la géographie*. Paris : Armand Collin, 1991 p.
- BARRY K. M. et KRAUS N. C. (2009). *Stabilité de l'embouchure sur la côte ouest de l'Afrique : admission de l'estuaire du Sénégal*. Rapport de recherche US army corps of engineers, 55 p.
- BENJAMINSEN T. A. (1996). « Bois-énergie, déboisement et sécheresse au Sahel : le cas du Gourma malien », *Sécheresse N° 3*, volume 7, septembre 1996, pp. 179-185.
- BKEMAN H. et RIDER N. –sous la direction de- (1991). *Manuels sur les pâturages des pays sahéliens*. Kartala, 485 p.
- BODIAN A., DACOSTA H. et DEZETTER A. (2011). « Caractérisation spatio-temporelle du régime pluviométrique du haut bassin du fleuve Sénégal dans un contexte de variabilité

climatique», *Physio-Géo*, Volume V, France, p. 107-124.
<https://journals.openedition.org/physio-geo/1958>

- BOILLY M. et LOISON M. (2006). *Histoire- Géographie composante majeure*. Paris : Vuibert, 415 p.
- BOIS P. (1971). *Une méthode de contrôle des séries chronologiques utilisées en climatologie et en hydrologie*. Laboratoire de Mécanique des Fluides. Université de Grenoble, section hydrologie, 49 p.
- BRAVARD J. P., PETIT F. (2000). *Les cours d'eau : dynamique du système pluvial*. Paris : Armand Colin, 222 p.
- BREUIL M. (2010). *Dictionnaire des sciences de lavie et de la terre*. Paris : Nathan, 560 p.
- BRODHAG C., Breuil F. et al., (2004). *Dictionnaire du développement durable*. Québec : MultiMondes, 283 p.
- BRUNET R. (1990). « Les dispositifs structurels de l'espace géographique ». *Géographie universelle*. Tome 1, monde nouveau, Hachette – Reclus, 104-128
- BRUNET R. et al. (2005). *Les mots de la géographie : dictionnaire critique*. Paris : Reclus-La Documentation Française, 518 p.
- BUIHAND T.A., (1982). « Some methods for testing the homogeneity of rainfall records » in *Journal of Hydrology*, volume 58. pp.11-27.
- CAROLINE P. (2005). *La lutte contre la désertification. De la Convention des Nations Unies aux activités des Organisations Non-Gouvernementales belges dans la région du Sahel -Cas du Burkina Faso et du Niger*. Mémoire DES, IGEAT, Université Libre de Bruxelles. 123 p.
- CHARBONNIER C. (2010). *Lexique de géographie : vocabulaire et notions*, Albertville, 36 p.
- CHALEARD J. L. et CHARVET J.P (2004). *Géographie agricole et rurale*. Paris : Belin, 240 p.
- CHARLERY DE LA MASSELIERE B. (1997). « Territorialités multiples et conflictuelles réponses paysannes à la crise des campagnes africaines » in *Le territoire, lien ou frontière ?* pp. 76-86.
- CHARLERY DE LA MASSELIERE B. et RACAUD S. (2012). « De la terre patrimoine à la terre ressource : tensions entre structures foncières héritées et nouvelles perspectives des acteurs paysans en Afrique de l'Est ». *Bulletin de l'Association de géographes français*, 89e année, 2012-3. Terres et tensions en Afrique, pp. 412-426.
- CHAUVEAU J. P. et PAUL M. (1998). "Dynamiques et enjeux des conflits fonciers." in P. L. DELVILLE. *Quelles politiques foncières pour l'Afrique rurale ? Réconcilier pratiques, légitimité et légalité*. Paris, Karthala, pp.243-258.

- COLY F. B. (2009). *Les impacts de la recomposition de la Commune de Ziguinchor sur l'écoulement des eaux de surface*. Mémoire de Master I UGB, Section de géographie, 104 p.
- DAHOU T. et NDIAYE A. (2005). *Les enjeux d'une réforme foncière*, 15 p.
- DAHOU T. et NDIAYE, A. (2009). « Les enjeux d'une réforme foncière », in Dahou T. (éds.). *Libéralisation et politique agricole au Sénégal*, CREPOS - Karthala – ENDA GRAF DIAPOL, pp. 49-69.
- D'AQUINO P., SECK S. M., CAMARA S. 2002 (2002). « Un SIG conçu par les acteurs : l'opération pilote POAS au Sénégal », *L'Espace géographique* 2002-1, pp. 23-37.
- DEMANGEOT J. (1996). « Géographie zonale et milieux naturels » in DERRUAUX M. (sous la direction de). *Composantes et concepts de la géographie physique*. Paris : Armand Colin, 254p.
- DE MARTONNE E. (1926). « Aréisme et indice d'aridité », *Comptes rendus Académie des Sciences*, vol. 181, pp. 1395-1398.
- DERRUAUX M., (1989). *Les formes du relief terrestre. Notions de géomorphologie*, 5^e édition. Paris : Masson, 115 p.
- DIA I. (2008). *Gestion urbaine et développement local : le cas de la commune de Matam*. Mémoire de maîtrise UGB, Section de géographie, 97 p.
- DIA N. (2014). *Commerce du bétail, villes et développement régional dans la Zone sylvopastorale du Sénégal*. Thèse de doctorat UGB, Section de géographie, 267 p.
- DIALLO A. (2006). *La culture de l'oignon dans les périmètres irrigués de Matam : l'exemple de la campagne de contre-saison (CSF) 2004-2005*, Mémoire de maîtrise UCAD, Département de géographie, 145 p.
- DIALLO M. L. (2006). *Mines et dynamiques spatiales dans le sud-est du Sénégal : l'exemple de la communauté rurale de Khossont*. Mémoire de maîtrise UGB, Section de géographie, 111 p.
- DIALLO M. L. (2007). *Gouvernance minière et développement durable au Sénégal l'exemple des ICS dans les communautés rurales de Darou Khoudoss et de Taïba Ndiaye et de lamine d'or de Sabodola à Khossanto*. Mémoire de DEA UGB, Section de géographie, 80 p.
- DIAKHATE M. M. (1988). *Eco-dynamique des milieux et effets d'impacts du barrage de Diama dans le Delta du fleuve Sénégal*. Thèse de doctorat de géographie, Université de Lyon, 410 p.
- DIATTA I. (2004). *L'ouverture d'une brèche à travers la langue de Barbarie (Saint-Louis du Sénégal). Les autorités publiques et les conséquences de la rupture*. Mémoire de maîtrise UGB, Section de géographie, 119 p.

- DIATTA I. (2005). *Recomposition de la filière maraîchère périurbaine et des zones rurales proches de Saint-Louis*, Mémoire de DEA UGB, Section de géographie, 65 p.
- DIENE M. (1995). *Etude hydrogéologique, hydrochimique et isotopique de la nappe superficielle du Ferlo Septentrional (Nord Sénégal)*, Thèse de doctorat de 3^e cycle en géologie appliquée UCAD, 103 p.
- DIOP A. T. (2007). *Dynamique écologique et évolution des pratiques dans la zone sylvopastorale du Sénégal : perspectives pour un développement durable*. Thèse de doctorat d'Etat ès sciences naturelles, UCAD, 296 p.
- DIOP A. T. (1989). « La modélisation de la gestion des ressources pastorales dans la zone nord du Sénégal » Ref n°4 agrost, ISRA, 14 p.
- DIOP D. (2004). *Dynamiques territoriales, décentralisation et enjeux de développement local dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal : Cas des communautés rurales de la région de Matam*. Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université de Paris 1.
- DIOP D., BOURGEON J. et DIA D. (2017). « Accès et usage de l'information foncière. Cas des Plans d'Occupation et d'Aménagement des Sols (POAS) », *Les notes politiques de l'ISRA-BAME*, Février 2017 n°5, 7 p.
- DIOP T. (2017). *Dégradation des terres agricoles en milieu sahélien : Cartographie et Techniques de récupération des sols salés dans les périmètres rizicoles du Delta du Fleuve Sénégal*. Thèse de Doctorat UGB, Section de géographie, 201 p.
- DRUNET N. et D. SOW (2009). « Vers des territoires neutres en carbone et plus résilients au changement climatique. Un nouveau paradigme : la gouvernance locale comme outil de lutte contre le changement climatique ? ». Atelier « sur Pastoralisme, développement durable et changement climatique dans le Ferlo » pp. 20-23.
- EL OUMLOUKI K. et al., (2014). *Étude de la qualité physico-chimique des eaux et des sols de la région Souss Massa, (Cas de périmètre Issen), Maroc*. <http://www.jmaterenvirosci.com>, 10 p.
- ETIENNE P. et GODARD A. (1993). *Climatologie*. Paris : Armand Collin, 368 p.
- FALL A. (2014). *Le Ferlo sénégalais : Approche géographique de la vulnérabilité des anthroposystèmes sahéliens*. Thèse de Doctorat de géographie l'Université Paris 13, Sorbonne Paris Cité, 378 p.
- FALL M. (2007). *Profil de la demande en eau dans les systèmes irrigués de la vallée du fleuve Sénégal : contribution à l'élaboration d'une structure de la demande en eau dans la cuvette de Dagana*. Mémoire de DEA UGB, Section de géographie, 66 p.

- FRECAUT R., PAGNEY P. (1979). *Climatologie et hydrologie fluviale à la surface de la terre*. Paris, CDES/CDU, 222 p.
- GARBA I. (2010). « Impacts des changements climatiques sur quelques secteurs clés : impacts sur le pastoralisme ». *Bulletin mensuel de l'AGRHYMET*, Numéro spécial, pp. 29-30.
- GAUSSEN G. C. (1994). « Changement climatique et conflits agro-pastoraux au Sahel, Erosion éolienne au Sahel et sécheresse ». *Sécheresse*, N° 3, vol. pp. 199-210.
- GAUTIER E. et TOUCHARD L. (1999). *Fleuves et lacs*. Paris : Armand Colin, 96 p.
- GEORGES P. et VERGER F. (1970). *Dictionnaire de la géographie*. Paris : PUF, 462 p.
- GROUPE CONSULTATIF (2014). *Plan Sénégal Emergent PSE 2014 – 2018, un Sénégal émergent et solidaire*, Résumé. Paris 24-25 février 2014, 4 p.
- HELLENDORFF B. (2012). *Note d'Analyse du GRIP*, 2 octobre 2012, Bruxelles, 14p.
- HOUNTONDJI Y. C. H. (2008). *Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest : Analyse des modifications et évaluation de la dégradation du couvert végétal*. Thèse de doctorat en sciences et gestion de l'environnement, Académie Universitaire Walonie Europe et Université de Liège, 152 p.
- HUBERT P. et CARBONET J. P. (1993). « Segmentation des séries annuelles des grands fleuves ». *Bulletin du CIEH*, Ouagadougou 92, pp. 3-10.
- IBRAHIM B. (2012). *Caractérisation des saisons de pluies au Burkina Faso dans un contexte de changement climatique et évaluation des impacts hydrologiques sur le bassin du Nakanbé*. Thèse de Doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie. 246 p.
- JUIN-RIALLAND C. (2003). *Intiation à la géographie : Devenir géographe*, Vuibert, 119 p.
- KAERE A. B. (2004). *Contribution à la prévision des crues dans la vallée du Sénégal : le cas de Matam*. Thèse de doctorat de l'Université de Liège, Faculté des sciences de l'agronomie, 51 p.
- KAERE A. B. (2015). *Les enjeux du financement sur les changements climatiques*. Séminaire International de Dakar sur le climat, 11-13 septembre 2015. Les États et les villes face aux défis du changement climatique. Séminaire organisé par l'Association Internationale des Maires Francophones et l'Association des Maires du Sénégal, en partenariat avec l'État du Sénégal, p. 38-39.
- KAMARA S. (2013). *Développements hydrauliques et gestion d'un hydrosystème largement anthropisé : le delta du fleuve Sénégal*. Thèse en cotutelle internationale pour obtenir le grade de Docteur en Sciences Humaines et Sociales entre l'Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse et l'UGB, 470 p.

- KAMIL H, LARBODIERE L (2010). *Pastoralisme, développement durable et changement climatique dans le Ferlo*. Actes de l'atelier. AVSF, 90 p.
- KANE A. (1977). *Matam et sa région*. Thèse du 3^e cycle UCAD, Département de géographie, 363 p.
- KANE A (1997). *L'après barrages dans la vallée du fleuve Sénégal. Modifications morphologiques, hydrologiques, géochimiques et sédimentologiques. Conséquences sur le milieu naturel et les aménagements hydro-agricoles*. Thèse de doctorat d'Etat UCAD, Département de géographie, 588 p.
- LACOSTE Y. (2003). *De la géopolitique aux paysages*. Dictionnaire de la géographie, Paris, A. Colin, 413 p.
- LE BORGNE J. (1990). in RICHARD J. F. (1990) -édité par- « La dégradation des paysages en Afrique de l'ouest », *Presse universitaire de Dakar*, 310 p.
- LEVY J. (dir, 2013). *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*. Paris : Belin, 1128 p.
- LOCATELLI B. (2000). *Pression démographique et construction du paysage rural des tropiques humides : l'exemple de Mananara (Madagascar)*. Thèse de doctorat en Sciences de l'environnement, Ecole Nationale du Génie rural, des Eaux et des forêts, centre de Montpellier, 421p.
- LOUP J. (974). *Les eaux terrestres*. Paris : Masson et compagnie, 174 p.
- MACE G. (1991). *Guide d'élaboration d'un projet de recherche*. Bruxelles : De Boeck-Wesmael, 120 p.
- MADOUYOU S. (2010). *Etude du potentiel éolien du jet nocturne dans la zone sahélienne à partir des observations de radars profileurs de vent. Planète et Univers [physics]*. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 215 p.
- MAGRIN G., (2008). « Synthèse des travaux menés au Sénégal », Duteurtre G. (dir.) *Rapport scientifique annuel du projet de recherche Icare*, ATP Icare, pp. 21-24.
- MAGRIN G. (2008). « Dynamiques territoriales et place de l'élevage au Sénégal », Documents de travail Icare, Série Notes de synthèse – n°2, Cirad, Montpellier, 22 p.
- MAINGUETM. (1995). *L'homme et la sécheresse*. Paris : Masson, 335 p.
- MANE L. (1996). *La surface du sol de la Moyenne Vallée du Fleuve Sénégal : contribution à l'étude de la dynamique actuelle des milieux naturels -du terrain à la télédétection satellitaire*. Thèse de doctorat de l'Université (géographie physique), Université Louis Pasteur, Strasbourg, 388 p.

- MBODJE A. (1978). *Le bassin du fleuve Sénégal, étude géographique*. Thèse de doctorat du 3^e cycle UCAD, Département de géographie, 268 p.
- MERLET P., Sous la direction de, (2004). *Le Petit Larousse Illustré 2005, 100^e édition*. 1856 p.
- MICHEL P. (1973). *Carte géomorphologique de la vallée du Sénégal, Feuille de Matam*.
- MICHEL P. (1990). « *La dégradation des paysages au Sénégal* » in RICHARD J. F. (1990) –édité par- *La dégradation des paysages en Afrique de l’ouest*. Dakar : presse universitaire de Dakar, 310 p.
- MUSY A (2011), Cours "Hydrologie générale". Laboratoire d’Hydrologie et aménagements (ISTE/HYDRAM). Consulté en ligne le 29 aout 2017 <https://echo2.epfl.ch/e-drologie/>.
- NDIAYE A. (2011). *La réforme des régimes fonciers au Sénégal : condition de l’éradication de la pauvreté rurale et de la souveraineté alimentaire*, preprint, <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00653556> , 35 p.
- NDIAYE C. O. (2003). *Les incidences des inondations de 1999 dans la Moyenne Vallée du fleuve Sénégal : étude du cas de Donnaye (communauté rurale de Guédé*. Mémoire de maîtrise UGB, Section de géographie, 165 p.
- NDIAYE F. S. (2008), « Des stratégies pour minimiser le non accès des femmes à la terre au Sénégal », in Atelier FAO-Dimitra : « Accès à la terre en milieu rural en Afrique : stratégie de lutte contre les inégalités de genre », Bruxelles du 22 au 26 septembre 2008, pp. 139-141.
- NDIAYE H. (2006). *Etude de la variabilité pluviométrique (1951- 2005) et ses impacts sur les activités agricoles à Matam*. Mémoire de maîtrise UCAD, Département de géographie, 127 p.
- NDIAYE P. (1992). « *La politique de l’environnement : analyse d’une gestion* » in DIOP M. C. (1992) -éd.- *Sénégal trajectoire d’un Etat*. Dakar / Codesria, pp. 137-176.
- NDIAYE P. A. (2012). *Les Actions de la Grande Muraille Verte : quels enjeux pour un développement local ? Communauté Rurale de Loughéré-Thioly (Matam)*. Mémoire de Master II UCAD, Département de géographie 111 p.
- N’DJAJA OUAGA H. (2010). « Pratiques locales d’adaptation ». Centre Régional AGRHYMET, Bulletin mensuel, Numéro spécial pp. 33-34.
- NDONG J. B. (1995). L’évolution de la pluviométrie au Sénégal et les incidences de la sécheresse récente sur l’environnement, *Revue de Géographie de Lyon*, 70 (3), pp. 193-198.
- NDONG J. B. (1996). *L’évolution du climat au Sénégal et les conséquences de la sécheresse récente sur l’environnement*. Thèse de doctorat en Géographie, Université Jean Moulin - Lyon 3, 501 p.

- NGEME O. (1994). *L'évolution économique du cercle de Matam de 1930 à 1960. Contribution à l'analyse du processus de marginalisation de la Vallée du Fleuve Sénégal*. Mémoire de maîtrise UCAD, Département d'histoire, 162 p.
- NIANG S. (2017). *Dégradation chimique et mécanique des terres agricoles du Gandiolais (littoral Nord du Sénégal), analyse des dynamiques actuelles d'adaptation*. Thèse UGB, Section de géographie, 354 p.
- NICHOLSON S. E. (1979). « The methodology of historical climate reconstruction and its application to Africa » *African History*, pp. 31-49.
- OCDE / CILSS (1984). *Transformation de l'environnement dans le Sahel ouest africain. Rapport*, 108 p.
- OCDE/CSAO (2008). « *Climat, changements climatiques et pratiques agro-pastorales en zone sahélienne* ». 8 p.
- PAUL M. (2005). *Sénégal : un système de Santé animale en voie de privatisation*. Thèse de doctorat vétérinaire, Ecole nationale vétérinaire d'Alfort, 228 p.
- Performance Management Consulting (2009). *Les Changements climatiques en Afrique de l'Ouest*. 16 p.
- PRDI (2013). *Etude du Plan Régional de Développement Intégré de Matam*. Réalisé par le Conseil Régional de Matam avec l'appui technique et financier de la Région Nord Pas de Calais, en collaboration avec l'ARD.
- PREVELAKIS G. (1997). « La notion du territoire dans la pensée de Jean Gottmann » *Le territoire, lien ou frontière ?* Paris - Sorbonne 2 – 4 octobre 1995, pp. 442-449.
- RABEFIRAISANA H. J. (2015). *Analyse des paramètres physicochimiques des sols de Kianjasao, d'Ambahitsaina et d'Ambatobé*. Rapport de stage, UNA. 44 p.
- RISER J. 1999. *Géographie physique de l'Afrique Occidentale et Centrale*. Paris : Ellipses, 160 p.
- RUELAN A. et DOSSO M. (1993). *Regards sur les sols*, Paris, Foucher, 192 p.
- SAGNA P. (1988). *Etudes des lignes de grains en Afrique de l'Ouest -Tome 2- cartes, figures et tableaux*. Thèse de 3^e cycle UCAD, Département de géographie, 241 p.
- SAGNA P. (2004). *Dynamique de l'atmosphère et des perturbations tropicales*. Laboratoire de Climatologie et d'Environnement (LCE), UCAD, Département de Géographie, 132 p.
- SAGNA P. et al., (2015). « Les variations récentes du climat constatées au Sénégal sont-elles en phase avec les descriptions données par les scénarios du GIEC ? ». *Pollution atmosphérique* N°227 - octobre – décembre 2015, 17 p.

- SALL M. M. (1971). *Dynamique et morphogenèse actuelle (contribution à l'étude géomorphologique du Sénégal occidental)*. Thèse de 3e cycle UCAD, Département de géographie, 290 p.
- SAMB K. (2006). *Modifications environnementales et conséquences dans le bas-delta du fleuve Sénégal : Cas du Gandiolais et du Parc National du Diawling ; Programme MIRA – Recherche*, Institut de géographie Alpine, Université Joseph Fourier, 139 p.
- SANDRON F. (2001). « Système, système d'information, système d'information géographique : une méthode en écologie humaine », in AUCLAIR L., GUBRY P., PICOUËT M., SANDRON F., Régulation démographique et environnement. Paris, *Les Cahiers du CEPED* n° 18, pp. 45-56.
- SARR B. et TRAORE S. (2010). « Impacts des changements climatiques sur quelques secteurs clés : impacts sur l'agriculture », *Bulletin mensuel de l'AGRHYMET*, Numéro spécial, pp. 22-24.
- SECK M. et al. (2005). *Adaptation aux Changements Climatiques. L'étude de cas des systèmes de production agricole de Sébikotane (Sénégal)*, ENDA TM, 33 p.
- SECK S. (2014). « Feuille de route pour la conduite du processus de réforme foncière » Communication lors de l'atelier national de lancement du processus de réforme foncière, Dakar 19 novembre 2014, 8 p.
- SENE A. (2009). *Régions de Saint-Louis, Matam et Tambacounda : cadre de gestion environnementale et sociale*, Rapport final sous programme IDA du PEPAM.
- SIGHOMNOU D. (2004). *Analyse et redéfinition des régimes climatiques et hydrologiques du Cameroun : perspectives d'évolution des ressources en eau*. Thèse de doctorat d'Etat de l'Université Yaoundé 1, Sciences Naturelles, 290 p.
- SONAWANE K. R. and BHAGAT V. S. (2017). Improved Change Detection of Forests Using Landsat TM and ETM+ data, *Remote Sensing of Land*, 1(1), pp. 18-40.
- SOW A. A. (1984). *Pluies et écoulement fluvial dans le bassin du fleuve Sénégal –contribution à l'hydrologie fluviale en domaine tropical humide africain*. Thèse de doctorat de 3^e Cycle de géographie physique, Université de Nancy II, 442 p.
- SY A. A. (2013). *Dynamique sédimentaire et risques actuels dans l'axe Saint-Louis –Gandiol, littoral nord du Sénégal*. Thèse de doctorat unique, Université Gaston Berger de Saint-Louis. Section de géographie, 328 p.

- SY B. A. (1995). *Dynamique éolienne actuelle dans le Delta du fleuve Sénégal (contribution à l'étude géomorphologique du Sénégal Septentrional)* : Thèse de doctorat du 3^e cycle, Département de géographie (laboratoire de géomorphologie), UCAD, 251 p.
- SY B. A. (2008). *Milieux, sécheresse climatique et érosion éolienne, étude géomorphologique du sahel sénégalais*. Thèse de doctorat d'État, Section de géographie, UGB, 429 p.
- SY O. (2003). *Dynamique des ressources en eau et évolution de la mobilité pastorale en zonesylvopastorale*. Thèse de 3^e cycle en Sciences de l'Environnement UCAD, Institut des Sciences de l'Environnement, 191 p.
- SY O. (2010). « Mobilité pastorale dans la Basse vallée du Ferlo dans le contexte de la remise en eau », *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 2010, n° 249, p. 31-46. [En ligne], 249 | Janvier-Mars 2010, mis en ligne le 01 janvier 2013, consulté le 30 avril 2017. URL : <http://journals.openedition.org/com/5848> .
- TAMBOURA H. D. (2008). *Enjeux fonciers et extension spatiale dans la commune de Matam* : Mémoire de maîtrise UGB, Section de géographie, 114 p.
- TENG S. P., CHIANG J. L., CHAN Y. K. et CHENG K. S. (2007). « Hypothesis-test-based landcover change detection using multitemporal satellite images », *Advances in Space Research*, 4, pp.1744–1754.
- THIAM E. (2006). *Activités rurales et patrimoine ligneux : implication des populations, enjeux et perspectives de gestion dans la communauté rurale de Koussanar (Tamba)*. Mémoire de maîtrise UGB, Section de géographie, 99 p.
- TOULMIN C. et GUEYE B. (2003). « Transformations de l'agriculture ouest africaine et rôle des exploitations familiales », *Programme zone aride*, N°23, IIED, 96 p.
- TOURE O. (2014). Enjeux du foncier pastoral et perspectives de réforme au Sénégal, Communication lors de l'atelier national de lancement du processus de réforme foncière Dakar 19 novembre 2014, 9 p.
- TRICART J. (1965). *Principes et méthodes de la géomorphologie*. Paris : Masson 496 p.
- TRICART J. (1978). *La géomorphologie applicable*. Paris : Masson, Collection de géographie applicable, 04 p.
- TRICART J. (1994). *Ecogéographie des espaces ruraux*, Paris : Nathan, 187 p.
- VALENTIN C. (1994). « Sécheresse et érosion au Sahel », *Sécheresse n°3-vol. 5*, septembre 1994, pp. 191-196.
- WACKERMANN G. (2002). *Géographie régionale*. Paris : Ellipses, 239 p.

- WADE C. T. (2008). Ecosystème et environnement : problématique de la gestion durable des usages littoraux au niveau de la Grande Côte sénégalaise. Thèse de Doctorat de géographie de l'université Paris 1 Panthéon-Sorbone, 301 p.
- WANE A. et al., (2006). « Les unités pastorales du Sahel sénégalais, outils de gestion de l'élevage et des espaces pastoraux. Projet durable ou projet de développement durable ? », *Développement durable et territoires* [En ligne], Dossier 8 : Méthodologies et pratiques territoriales de l'évaluation en matière de développement durable, mis en ligne le 13 décembre 2006, Consulté le 25 décembre 2009. URL : <http://developpementdurable.revues.org/index3292.html>
- WILBERT T. (2008). « Question de genre, femmes rurales et régimes fonciers au Ghana : une catastrophe communicationnelle » in Atelier FAO-Dimitra : *Accès à la terre en milieu rural en Afrique : stratégie de lutte contre les inégalités de genre*, Bruxelles du 22 au 26 septembre 2008, pp. 143-147.
- WU W. (2003). *Application de la géomatique au suivi de la dynamique environnementale en zones arides : Exemple de la région de Nouakchott en Mauritanie, du Ningxia nord et du Shaanxi nord en Chine du nord-ouest*. Thèse de doctorat de l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Géographie, 217 p.
- YAO N. R. et al., (2013). *Etude de Vulnérabilité du Secteur Agricole face aux Changements Climatiques en Côte d'Ivoire*. Rapport, gouvernement ivoirien et PNUD, 115 p.

Textes de lois et autres documents

- ANSD (2013). Rapport définitif du Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage (RGPHAE), 418 p.
- ANSD/SRSD (2015). *Situation économique et sociale régionale 2012*, 11 p.
- Mairie Matam (2005). *Profil environnemental de la ville de Matam, Agenda 21 Local*, 65 p.
- MATCL/ARDM (2013). Profil environnemental de la Région de Matam. 118 p.
- Préfecture de Matam (2012). *Monographie du Département de Matam : Préfecture de Matam, novembre 2002*.
- CRM (2004). *Présentation de la Région de Matam : ses atouts et ses contraintes », Forum pour le développement de Matam (FODEMA) du 11, 12 et 13 mars 2004 à Matam, 18 p.*
- Etat du Mali (2005). Rapport sur le développement humain durable au Mali -*Gestion de l'environnement pour un développement humain durable, 190 p.*
- DRDR, (2010). *Rapport sur l'agriculture dans la Région de Matam, 15 p.*
- *Decret n° 80-268 du 10 mars 1980 portant organisation des parcours du bétail et fixant les conditions d'utilisation des pâturages.*
- Loi 64-46 du 17 juin 1964, portant domaine national.
- Loi 96-06 du 22 mars 1996 portant code des collectivités locales.
- Loi 96-07 du 22 mars 1996 portant transfert des compétences aux collectivités locales.
- Loi 2004-16 du 4 juin 2004, Loi d'orientation agro-sylvo-pastorale.
- Loi 2013-10 du 28 décembre 2013 portant code général des collectivités locales.

Annexes

Annexe 1 : Cumuls pluviométriques par mois de 1961 à 2010 à la Station de Matam

| Années | Jan | Fév. | Mars | Avr | Mai | Jui | Juil | Aout | Sept | Oct. | Nov | Déc | Cumuls |
|--------|-----|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| 1961 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 108 | 79 | 125,7 | 157,3 | 9,7 | 0 | 0 | 479,7 |
| 1962 | 0 | 2,6 | 0 | 0 | 0 | 19,5 | 166,2 | 138,5 | 40,9 | 77 | 0 | 0 | 444,7 |
| 1963 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 84,4 | 142,3 | 124,6 | 70,2 | 63,8 | 0 | 0 | 486,3 |
| 1964 | 0 | 0 | 0 | 36,2 | 1 | 8 | 159,3 | 185 | 117,1 | 0 | 0 | 0 | 506,6 |
| 1965 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46,5 | 107,2 | 214,7 | 295,2 | 31,7 | 5 | 0 | 700,3 |
| 1966 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 52,5 | 102,2 | 197,5 | 147 | 117 | 0 | 5,5 | 623,7 |
| 1967 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28,5 | 50,5 | 76,5 | 168 | 17,5 | 0 | 0 | 341 |
| 1968 | 0 | 22,5 | 0 | 0 | 0 | 13 | 123,5 | 36 | 11 | 2 | 0 | 0 | 208 |
| 1969 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 158 | 214 | 80 | 66,5 | 0 | 0 | 522,5 |
| 1970 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 34 | 61 | 114,5 | 68 | 0 | 3 | 0 | 280,5 |
| 1971 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 101 | 201,5 | 126,5 | 0 | 0 | 0 | 431 |
| 1972 | 3,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 25 | 11 | 47 | 56 | 32,5 | 0 | 0 | 178,5 |
| 1973 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 45,5 | 133 | 36 | 0 | 0 | 0 | 219,5 |
| 1974 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15,5 | 76 | 185,5 | 48,5 | 2 | 0 | 0 | 327,5 |
| 1975 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 28 | 499,5 | 93,5 | 78,5 | 7 | 0 | 0 | 707,5 |
| 1976 | 2,5 | 0 | 0 | 3,5 | 22,5 | 37,5 | 63 | 157 | 41,1 | 5 | 1,5 | 1 | 337,1 |
| 1977 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 24,5 | 35 | 57,5 | 0 | 0 | 0 | 124 |
| 1978 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 89,2 | 52 | 73,7 | 24,4 | 46,4 | 0 | 292,7 |
| 1979 | 0,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4,8 | 112,4 | 77 | 33,6 | 19,8 | 0 | 10,3 | 259,5 |
| 1980 | 2,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 43,7 | 95,6 | 46,5 | 22,7 | 0 | 6,3 | 6,3 | 226,5 |
| 1981 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,7 | 175,8 | 112,4 | 80 | 0,9 | 0 | 0 | 370,8 |
| 1982 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 13,2 | 77 | 133,2 | 43,4 | 8,1 | 0 | 0,3 | 276,2 |
| 1983 | 0 | 7,4 | 0 | 0 | 0,7 | 30,1 | 22,6 | 143,2 | 107,5 | 0 | 0 | 0 | 311,5 |
| 1984 | 0 | 0 | 0 | 0,7 | 1,1 | 28,3 | 49,2 | 30,8 | 38,1 | 44,6 | 14,8 | 0 | 207,6 |
| 1985 | 0,6 | 0 | 1,2 | 0 | 0 | 20,1 | 90,3 | 148,3 | 83,6 | 3,7 | 0 | 5,8 | 354,2 |
| 1986 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,3 | 52,2 | 88,6 | 189,2 | 6,6 | 0 | 0 | 338,9 |
| 1987 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,2 | 24,8 | 31,3 | 235,6 | 149,3 | 18,1 | 0 | 0 | 459,3 |
| 1988 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,5 | 25,1 | 83,7 | 146 | 161,9 | 3,2 | 0 | 0 | 423,4 |
| 1989 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 48,6 | 40,2 | 235,1 | 14,5 | 18,1 | 0 | 0 | 356,5 |
| 1990 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 29,2 | 20 | 171,9 | 128,9 | 0,4 | 0 | 0 | 350,4 |
| 1991 | 1,7 | 0 | 0,1 | 0,1 | 3,7 | 9,9 | 16,2 | 77,1 | 58,8 | 57,1 | 0 | 0 | 226,4 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|-----|---|------|------|-------|-------|-------|-------|-----|---|-------|
| 1992 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 46,1 | 62,9 | 40,5 | 1 | 0 | 0 | 151,5 |
| 1993 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 57,2 | 174,6 | 70,3 | 5,9 | 0 | 0 | 310 |
| 1994 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 150,8 | 277,2 | 31,2 | 10,9 | 0 | 0 | 470,1 |
| 1995 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9,9 | 142,2 | 94,2 | 71,7 | 0 | 0 | 0 | 318 |
| 1996 | 0 | 0 | 0,4 | 0 | 0,1 | 14,5 | 96,7 | 136,1 | 74,7 | 46,4 | 0 | 0 | 368,9 |
| 1997 | 0 | 0 | 0 | 0 | 23,3 | 24,1 | 8,8 | 143,1 | 138,6 | 1,6 | 0 | 0 | 339,5 |
| 1998 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6,1 | 66,8 | 80,3 | 122,9 | 0 | 0 | 0 | 276,1 |
| 1999 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5,9 | 139,7 | 219 | 141,9 | 28,6 | 0 | 0 | 535,1 |
| 2000 | 2,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 94,5 | 191,8 | 138,1 | 147 | 137,3 | 5,8 | 0 | 719,5 |
| 2001 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7,2 | 158,2 | 118,4 | 107,5 | 21 | 0 | 0 | 412,3 |
| 2002 | 30,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,5 | 67,1 | 156,4 | 57,5 | 30,6 | 0 | 0 | 375,1 |
| 2003 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24,9 | 34,9 | 334,8 | 158,3 | 25,7 | 0 | 0 | 578,6 |
| 2004 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 40,5 | 190,9 | 126,2 | 117,9 | 3,1 | 1,1 | 0 | 479,7 |
| 2005 | 0 | 15,4 | 0 | 0 | 0,2 | 74,6 | 105,7 | 129,9 | 114,1 | 0 | 0 | 0 | 439,9 |
| 2006 | 0 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 6,8 | 17,1 | 120,1 | 71 | 0 | 0 | 0 | 215,4 |
| 2007 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,8 | 94,4 | 314,6 | 43,3 | 0,3 | 0 | 0 | 453,4 |
| 2008 | 0 | 0,9 | 0 | 0 | 6,7 | 46,1 | 109,1 | 156,1 | 94,2 | 10,5 | 0 | 0 | 423,6 |
| 2009 | 0 | 0 | 0,1 | 0 | 3,1 | 74 | 112 | 92,2 | 160,3 | 9 | 0 | 0 | 450,7 |
| 2010 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28,5 | 144,4 | 194,4 | 194 | 20,9 | 0 | 0 | 582,2 |

Source : Données de la DNM

Annexe 2 : Questionnaire

Précision

Cette enquête auprès des populations de Matam entre dans le cadre des travaux de notre thèse de doctorat à l'Université Gaston Berger. Le sujet s'intitule « *Sécheresse climatique, dynamique actuelle et perspectives des activités agropastorales dans le Ferlo et la Moyenne vallée du fleuve Sénégal (Région de Matam)* ». Elle fait partie d'une série d'enquêtes qui concernent aussi des chefs de services déconcentrés de l'Etat, des responsables des collectivités locales, des responsables d'associations d'éleveurs et/ou d'agriculteurs. Les informations seront traitées dans l'anonymat le plus complet et utilisées à des fins strictement scientifiques.

Date.....

Identification

1. Prénom et nom :
2. Adresse :
3. Age et sexe :
4. Niveau d'instruction :
5. Profession :

Activités agricoles :

6. L'agriculture est elle votre principale activité ?
7. Pratiquez-vous l'élevage en même-temps ?
8. Etes-vous propriétaire, locataire ou contractuel de la parcelle que vous cultivez ?
9. Quelles sont les modalités d'accès à la terre (Héritage, don, prêt, achat...)?
10. Quel type d'agriculture (sous-pluies, irriguée, de décrue) pratiquez-vous ?
11. Pensez-vous que la fertilité du sol est intacte ?
12. Comment avez-vous vécu les années de sécheresse ?
13. Comment évoluent vos rendements, ces dernières années voire décennies ?
.....
14. Quelles sont les principales difficultés dont souffrent vos activités ?
.....
15. Quelles relations existe-t-il entre vos activités et l'élevage ?
.....

16. Vos propositions pour développer l'agriculture ?
.....
.....

Activités pastorales

17. L'élevage est-il votre unique source de revenu ?
18. Est-ce que vous pratiquez l'agriculture en même-temps ?
19. Les animaux que vous conduisez sont-ils vos propres animaux ?.....
20. Est-il possible de rester toute l'année sur place ?.....
21. Pensez-vous que le rendement des pâturages est le même ?
22. Pratiquez-vous- la transhumance ?
23. A quel moment de l'année ?
24. Quelles relations existe-t-il entre vos activités et l'agriculture ?
.....
25. Vous sentez-vous en concurrence avec d'autres éleveurs ? Avec les agriculteurs ?
.....
26. Quels sont les problèmes auxquels vous êtes confrontés ?
27. Comment évoluent vos rendements, ces dernières années voire décennies ?
28. Vos propositions pour développer l'élevage ?

Recul des berges : (Seulement pour les populations du Dandé Mayo)

29. Est-ce que vous pensez que le fleuve avance vers les habitations ?
30. Qu'est-ce qui vous permet de le soutenir ?.....
31. En quelle année le sapement a été le plus important ?
32. Quelles sont les conséquences de ce problème ?
.....
.....
33. Les populations développent-elles des stratégies pour stopper l'avancée du fleuve ?
34. L'Etat vous soutient-il face à ce problème ?
35. Comment appréciez-vous les actions de lutte ?
36. Avez-vous constaté l'érosion des terres
.....

37. Quel est pour vous le principal facteur d'érosion ?.....

38. Conséquences et impact sur vos activités ?.....

Gestion de l'environnement et participation des populations

39. Avez-vous eu à participer à des actions de protection de l'environnement ?.....

40. Lesquelles ?

41. Qui en était l'initiateur ?.....

42. L'érection de Matam en région comporte-elle des avantages pour la gestion de l'environnement ?

43. Votre suggestion pour éviter les conflits et intégrer l'agriculture et l'élevage ?

.....
.....

44. Vos propositions pour lutter contre l'érosion et la désertification ?

.....
.....

Table des matières

| | |
|--|-------|
| Résumé | |
| Abstract | II |
| Dédicace..... | III |
| Remerciements | IV |
| Sommaire | VI |
| Liste des acronymes et sigles | VII |
| Liste des cartes..... | XI |
| Liste des figures | XII |
| Liste des photographies | XIII |
| Liste des tableaux | XIV |
| Avant- propos | XV |
| Introduction générale | 1 |
| 1. Le contexte de l'étude | 1 |
| 2. L'intérêt du sujet..... | 4 |
| 3. La situation administrative et géographique de la Région de Matam | 5 |
| Chapitre 1 : Cadre théorique, opératoire et méthodologique | 8 |
| 1. Le cadre théorique | 8 |
| 1.1. La problématique | 8 |
| 1.2. Les objectifs, les questions de recherche et les hypothèses | 10 |
| 1.2.1 Les objectifs de recherche | 10 |
| 1.2.2. Les questions de recherche | 10 |
| 1.2.3. Les hypothèses | 11 |
| 2. Le cadre opératoire | 11 |
| 2.1. Les définitions conceptuelles | 11 |
| 2.2. L'opérationnalisation des concepts..... | 16 |
| 3. L'approche méthodologique..... | 17 |
| 3.1. La recherche documentaire | 17 |
| 3.2. La phase de travail de terrain | 20 |
| 3.2.1. La collecte et le traitement des données climatiques | 20 |
| 3.2.2. La procédure de traitement des données pluviométrique par kronostat | 21 |

| | |
|--|----|
| 3.2.3. La méthodologie d'analyse des vents | 23 |
| 3.2.4. L'étude et la caractérisation des sols | 24 |
| 3.2.4.1. L'échantillonnage des sols | 24 |
| 3.2.4.2. La phase traitement des données..... | 26 |
| 3.2.4.2.1. L'analyse granulométrique..... | 26 |
| 3.2.4.2.2. La mesure du pH | 28 |
| 3.2.4.2.2.1. Le mode opératoire..... | 28 |
| 3.2.4.2.2.2 Les réactifs utilisés | 30 |
| 3.2.4.2.3. La mesure de la CE | 31 |
| 3.2.4.2.3.1. Le mode opératoire..... | 31 |
| 3.2.4.2.3.2. Le matériel nécessaire et réactifs | 31 |
| 3.2.5. Les observations directes et l'enquête diagnostique | 32 |
| 3.2.5.1. Les observations directes | 32 |
| 3.2.5.2. L'enquête diagnostique sur la sécheresse et la dynamique actuelle..... | 33 |
| 3.3. L'analyse de la dynamique de la végétation et les traitements cartographiques | 35 |
| Conclusion | 36 |
| Chapitre 2 : Matam, une région à fortes potentialités malgré les contraintes climatiques et hydrologiques | 37 |
| 1. La Géologie et la variété des unités morphopédologiques de la Région de Matam | 37 |
| 1.1. Les Paléoclimats de la région | 37 |
| 1.2. La Vallée du Sénégal, une aire façonnée par le fleuve | 39 |
| 1.2.1. Les levées | 41 |
| 1.2.2. Les terrasses sablo-argileuses | 41 |
| 1.2.3. Les cuvettes de décantation | 43 |
| 1.3. Le Ferlo, aire des vallées mortes et zone d'élevage | 45 |
| 1.3.1. La géomorphologie du bassin du Ferlo | 45 |
| 1.3.2. Le Maastrichtien | 45 |
| 1.3.3. Les différents types de sols dans la région de Matam | 48 |
| 2. Un climat sahélien et des perturbations du cycle hydrologique | 49 |
| 2.1. La circulation atmosphérique générale en Afrique de l'Ouest | 50 |
| 2.2. La zone de Convergence Intertropicale (ZCIT ou ICTZ) - Front inter tropical (FIT) | 51 |

| | |
|---|----|
| 2.3. Les données climatiques de Matam et la fréquence des déficits | 53 |
| 2.3.1. La pluviométrie entre irrégularité et déficit | 53 |
| 2.3.1.1. Des déficits fréquents et une tendance générale à l'aridification..... | 54 |
| 2.3.1.2. L'érosion hydrique | 60 |
| 2.3.2. Les vents : un agent d'érosion | 61 |
| 2.3.2.1. Les principaux types de vents | 61 |
| 2.3.2.1.1. Les lignes de grains (LG) | 63 |
| 2.3.2.1.2. Les lithométéores | 64 |
| 2.3.2.2. Le rôle prédominant du vent dans la dynamique actuelle | 65 |
| 2.3.3. L'humidité relative et l'insolation | 66 |
| 2.3.4. La température: une forte chaleur et des amplitudes thermiques marquées | 68 |
| 2.3.4.1. La période des hautes températures | 69 |
| 2.3.4.2. La période des basses températures (période froide) | 70 |
| 2.3.5. L'évapotranspiration et son incidence | 70 |
| 3. Un cycle hydrologique caractérisé par des irrégularités interannuelles | 71 |
| 3.1. Les eaux continentales | 72 |
| 3.1.1. Les eaux stagnantes et les eaux de ruissellement | 72 |
| 3.1.2. Le fleuve et les crues | 74 |
| 3.1.2.1. Le fleuve Sénégal au centre d'un important réseau hydrographique | 75 |
| 3.1.2.2. La variation fluviale saisonnière | 76 |
| 3.1.2.3. L'irrégularité interannuelle du régime du fleuve | 77 |
| 3.2. Les eaux souterraines | 81 |
| 3.2.1. Les eaux d'infiltration | 81 |
| 3.2.2. Les eaux de nappe | 81 |
| 3.2.2.1. La nappe profonde..... | 81 |
| 3.2.2.2. La nappe phréatique superficielle | 84 |
| Conclusion | 85 |
| Chapitre 3 : Analyse d'indices d'aridité, d'échantillons des sols et des données sur la dégradation des rendements et de l'environnement | 86 |
| 1. L'étude de la sécheresse et de l'aridité | 86 |
| 1.1. Distinguer la sécheresse de l'aridité | 86 |
| 1.2. Les manifestations variées des sécheresses à Matam depuis 1961 | 87 |

| | |
|--|-----|
| 1.2.1. <i>L'indice d'aridité de Boubou Aldiouma SY (2008)</i> | 90 |
| 1.2.2. <i>Le facteur de pluie de LANG</i> | 91 |
| 1.2.3. <i>L'indice bioclimatique de LE BORGNE (IB)</i> | 92 |
| 1.2.4. <i>L'indice d'aridité de DE MARTONNE</i> | 93 |
| 1.2.5. <i>L'indice ombrothermique de GAUSSEN (IG)</i> | 95 |
| 2. L'interprétation et la discussion des résultats sur l'aridité et la sécheresse | 96 |
| 2.1. L'interprétation et la discussion des résultats sur la sécheresse | 96 |
| 2.2. L'interprétation et la discussion des résultats sur l'aridité | 98 |
| 2.3. Les résultats de l'analyse de la rose des vents et de l'orientation des débits solides à Matam | 100 |
| 2.3.1. <i>L'Alizé continental</i> | 100 |
| 2.3.2. <i>Le flux de mousson et sa variabilité</i> | 104 |
| 3. Les résultats des analyses de sols | 106 |
| 3.1. La texture des sols | 107 |
| 3.2. L'analyse du pH et de la conductivité des sols de la région | 111 |
| 4. La prédominance des actions mécaniques dans la dynamique actuelle | 112 |
| 4.1. Le fleuve dans la morpho-pédologie de la région | 112 |
| 4.2. Les processus de l'action permanente du vent | 115 |
| 4.2.1. <i>L'entraînement éolien des particules, mode de transport</i> | 119 |
| 4.2.1.1 L'entraînement de la particule de sable..... | 119 |
| 4.2.1.2. Les différents modes de transport | 120 |
| 4.2.1.2.1. Le roulage ou la reptation des grosses particules | 121 |
| 4.2.1.2.2. La saltation des particules de 0,1 à 0,5 mm | 121 |
| 4.2.1.2.3. Le transport par suspension..... | 122 |
| Conclusion | 124 |
| Chapitre 4 : Les stratégies de gestion et les perspectives du secteur agro-pastoral dans la Région de Matam | 125 |
| 1. La dynamique des paysages et les pressions anthropiques | 125 |
| 1.1. L'approche théorique du concept de paysage | 127 |
| 1.2. La dynamique spatio-temporelle du couvert végétal | 129 |
| 1.3. Le poids de certaines formes d'exploitation dans la dégradation des paysages | 131 |
| 1.3.1. <i>Le milieu et les activités agricoles</i> | 132 |

| | |
|--|-----|
| <i>1.2.2. Le milieu et les activités pastorales</i> | 133 |
| 2. Les perspectives des activités agro-pastorales dans la région | 138 |
| 2.1. Les actions récentes ou en cours pour l'agriculture | 139 |
| 2.2. Les principaux défis à relever pour le secteur agropastoral dans la région | 141 |
| <i>2.2.1. La modernisation et l'intensification de l'agriculture</i> | 141 |
| <i>2.2.2. La modernisation de l'élevage et la valorisation des produits et sous-produits</i> | 142 |
| 2.3. L'intégration de l'agriculture et de l'élevage | 143 |
| 3. La gouvernance foncière dans la modernisation des activités agropastorales | 144 |
| 3.1. Les enjeux de la réforme foncière | 145 |
| 3.2. Un régime de cohabitation du droit moderne et des pratiques coutumières | 147 |
| <i>3.2.1. La survivance de la gestion coutumière</i> | 147 |
| <i>3.2.2. La gestion moderne</i> | 148 |
| 3.3. Les acteurs majeurs de la gouvernance foncière | 149 |
| <i>3.3.1. Le centre des services fiscaux de Matam</i> | 149 |
| <i>3.3.2. Les collectivités locales</i> | 150 |
| <i>3.3.3. Les principales personnalités juridiques de droit privé</i> | 150 |
| 3.4. Les instruments de la gestion foncière | 151 |
| 4. La variabilité climatique globale : risque et adaptation | 152 |
| 4.1. Les conséquences inquiétantes de la variabilité climatique dans la Région de Matam | 154 |
| <i>4.1.1. Des événements climatiques violents en perspectives</i> | 155 |
| <i>4.1.2. Une importante hausse des températures en vue</i> | 156 |
| <i>4.1.3. Une plus faible régénération des plantes</i> | 156 |
| 4.2. La notion de risque | 157 |
| <i>4.2.1. L'adaptation des pratiques agricoles et pastorales au changement climatique</i> | 160 |
| 4.2.1.1. Les stratégies d'adaptation de l'agriculture au changement climatique | 160 |
| 4.2.1.2. Les stratégies d'adaptions dans le domaine de l'élevage | 162 |
| 4.2.1.2.1. Les atouts et les opportunités liés à l'érection du site du Ferlo en réserve de Biosphère . | 165 |
| 3.2.1.2.2. Les enjeux de l'exploitation d'un couvert végétal de plus en plus clairsemé | 166 |
| 5. Les résultat sur les contraintes de l'agriculture et la vulnérabilité du secteur | 169 |
| 5.1. Les contraintes des activités culturelles | 169 |

| | |
|---|------------|
| 5.2. Les risques dans l’agriculture liés à la variabilité climatique et stratégies | 171 |
| 5.3. Les contraintes et la vulnérabilité du secteur de la production animale | 172 |
| <i>5.3.1. Les difficultés de l’élevage à Matam</i> | <i>172</i> |
| <i>5.3.2. La vulnérabilité de l’élevage face à la sécheresse et aux aléas climatiques</i> | <i>174</i> |
| Conclusion | 175 |
| Conclusion générale | 177 |
| Références bibliographiques | 179 |
| Annexes | 191 |
| Questionnaire | 193 |
| Table des matières | 196 |