



**HAL**  
open science

## **Le Ferlo sénégalais : Approche géographique de la vulnérabilité des anthroposystèmes sahéliens.**

Ababacar Fall

### ► **To cite this version:**

Ababacar Fall. Le Ferlo sénégalais: Approche géographique de la vulnérabilité des anthroposystèmes sahéliens.. Géographie. Université Paris 13 - Sorbonne Paris Cité, 2014. Français. ⟨NNT : ⟩. ⟨tel-01622314⟩

**HAL Id: tel-01622314**

**<https://hal.science/tel-01622314v1>**

Submitted on 24 Oct 2017

**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.



HAL Authorization

UNIVERSITE PARIS 13 SORBONNE PARIS CITE  
UFR LETTRES SCIENCES DE L'HOMME ET DES SOCIETES

N° attribué par la bibliothèque :

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

**THESE**

Présentée pour obtenir le grade de Docteur de l'Université Paris 13 Sorbonne Paris Cité

Discipline : Géographie

Présentée et soutenue publiquement par

**Ababacar FALL**

Le 24 Octobre 2014

**Le Ferlo sénégalais :  
Approche géographique de la vulnérabilité des  
anthroposystèmes sahéliens**



**Sous la direction de Frédéric ALEXANDRE  
Professeur à l'université Paris 13 Sorbonne Paris Cité**

**Jury**

**Catherine MERING** Professeur, Université Paris Diderot-Paris 7, Présidente

**Luc DESCROIX** Directeur de recherches, IRD, Rapporteur

**Vincent GODARD** Professeur, Paris 8 Vincennes-Saint-Denis, Rapporteur

**Frédéric ALEXANDRE** Professeur, Paris 13 Sorbonne Paris Cité, Directeur

**Jean Baptiste NDONG** Maitre de conférences, UCAD, Co-directeur

**Francis HUGUET** HDR, Paris 13 Sorbonne Paris Cité, Examineur

**Julien ANDRIEU** Maitre de conférences, Nice Sophia Antipolis, Examineur

# **Le Ferlo sénégalais : approche géographique de la vulnérabilité des anthroposystèmes sahéliens**

---

# Remerciements

---

*Ce travail de thèse est dédié à celle qui ne savait ni lire, ni écrire mais qui, toute sa vie durant, s'est battue avec passion et amour pour que ses enfants réussissent à l'école. Son affection, ses mots d'encouragement et ses prières n'ont jamais fait défaut.*

*Merci maman Fatou KANE*

## ***Dieureudieuf***

Mes premiers remerciements vont à l'endroit de mon directeur de thèse M. Frédéric ALEXANDRE qui m'a enseigné, encadré, soutenu et guidé depuis mes travaux de master à l'université Paris Diderot- Paris 7. L'efficacité de son encadrement, sa pédagogie et ses conseils pertinents m'ont permis de bien « lâcher le bébé à temps ».

Je remercie M. Jean Baptiste NDONG, maître de conférences à l'université Cheikh Anta DIOP de Dakar d'avoir accepté de codiriger ce travail et d'avoir aussi eu à guider mes premières expériences dans la recherche en encadrant mon mémoire de maîtrise.

Un grand merci à l'école doctorale ERASME et au laboratoire CRESC PLEIADE qui ont accepté de financer mes missions de terrain et l'impression du manuscrit de thèse.

Je remercie également la Pr Catherine MERING d'avoir facilité notre accès au laboratoire Pôle image de Paris 7 et d'avoir aussi accepté de présider le jury de cette thèse.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit de mes deux rapporteurs M. Luc DESCROIX (Directeur de recherche à l'IRD) et M. Vincent GODARD (Pr à l'université Paris 8 Vincennes Saint-Denis) pour la pertinence de leurs avis et leurs critiques très constructives qui m'ont permis d'améliorer le manuscrit. Merci messieurs !

Je remercie aussi M. Francis HUGUET (HDR à Paris 13) et M. Julien ANDRIEU (maître de conférences à l'université de Nice) d'avoir accepté de participer à l'évaluation de ce travail en tant qu'examineur.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit des enseignants du département de géographie de Paris 13, M. Boris LEBEAU, Mme Anaïs MARSHALL, Mme Marie REDON et des doctorants Fabien ROUSSEL et Morgane FLEGEAU, bon courage à vous deux !

Un grand Dieureudieuf à ma famille, aux amis, camarades et collègues chercheurs du Pôle image à Paris 7, de l'université Paris 13 et de l'UCAD : Cheikh Lo FALL, Oumar MAREGA, José Luis SAN EMETERIO, Benoît TOULOUSE, Milena PALIBRK, Sonia RANDRIANISOA, Ibrahima DIEDHIOU, François MIALHE et à tous les autres « pôliens », à Moctar DIOUF

*A mon père Cheikh FALL  
A mes frères Serigne FALL et Aliou FALL  
Que la terre de Touba vous soit légère  
Aux Peuls du Ferlo*

## **Sommaire**

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	5
Première partie : Le Ferlo, un agroécosystème sahélien .....	16
Chapitre 1 - L'environnement biophysique du Sénégal intérieur à l'heure des changements socio-environnementaux.....	17
Chapitre 2 : L'utilisation de l'espace et ses conséquences socioenvironnementales dans le Sénégal intérieur : le poids de l'histoire coloniale et post-coloniale.....	43
Chapitre 3 : La question de la dégradation des écosystèmes sahéliens en rapport avec l'extraversion des modes de production agricoles et la péjoration de la pluviosité.....	57
Chapitre 4 : Concepts et méthode .....	77
Deuxième partie : Caractérisation des changements socioenvironnementaux dans le Ferlo au cours des 50 dernières années .....	89
Chapitre 5- La question de la variabilité pluviométrique dans le Sénégal intérieur : une histoire de successions de crises climatiques.....	91
Chapitre 6 : Traitement d'images multispectrales de télédétection pour la cartographie de l'occupation du sol en région sahélienne : choix méthodologique .....	127
Chapitre 7 : Occupation et utilisation actuelles du sol dans le Ferlo et le nord du bassin arachidier	147
Chapitre 8 : Cartographie par télédétection des changements dans l'occupation du sol.....	175
Troisième partie : Le Ferlo, un agroécosystème en voie de dégradation ?.....	191
Chapitre 9 : La réponse du NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).....	193
Chapitre 10 : Analyse de la composition floristique de la végétation envisagée comme ressource et comme indicatrice des changements socioenvironnementaux .....	211
Chapitre 11 : Dynamique des paysages ruraux dans le Sénégal intérieur entre le Ferlo et le Bassin arachidier .....	275
Chapitre 12 : Perception des changements socio-environnementaux et évolutions des pratiques et stratégies agricoles et pastorales au Ferlo et sur ses marges avec le bassin arachidier	299
CONCLUSION GENERALE.....	326
BIBLIOGRAPHIE .....	332



## INTRODUCTION GÉNÉRALE

---

Le Ferlo sénégalais appartient à la région sahélienne de l'Afrique de l'Ouest (Fig. 1), bande de territoires faisant la transition, à la fois climatique et biologique, entre les domaines saharien au nord et soudanien au sud. C'est une entité bioclimatique définie en première instance par son climat tropical aride à semi-aride, contrôlé par la mousson du Golfe de Guinée et les alizés maritimes et continentaux (Le Houérou & Popov, 1981 ; Toupet, 1992 ; Hiernaux *et al.*, 2006).

La géographie physique très particulière du Sahel amène les systèmes socioécologiques<sup>1</sup> (Liu *et al.* 2007 ; Folke, 2007; Lagadeuc & Chenorkian, 2009) et les sociétés qui s'y inscrivent et évoluent à développer des stratégies basées sur des modes de production extensifs à savoir le pastoralisme et l'agriculture vivrière. Dans le cas du Ferlo, dans la zone sahélienne du Sénégal, le pastoralisme dominait largement, organisant entièrement l'espace régional. L'anthroposystème pastoral (Fig. 2) s'est installé en raison des caractéristiques biophysiques particulières, peu favorables à l'agriculture, dans les conditions climatiques moyennes qui ont été observées depuis qu'il existe des mesures, à une forme de mise en valeur autre que l'élevage extensif qui permet d'exploiter des ressources dispersées et très variables. Ces moyennes n'ont cependant qu'une valeur relative, compte tenu des fluctuations interannuelles de la pluviosité. Dans un moment où, depuis le milieu des années 1990 la pluviosité est moins défavorable (Nicholson *et al.*, 1998 ; Eklundh & Olsson, 2003 ; Olsson *et al.* 2005 ; Fensholt & Rasmussen, 2010), cette primauté de l'élevage itinérant est de plus en plus contestée par l'agriculture. Ainsi les éleveurs et les pasteurs<sup>2</sup> évoluent-ils avec des stratégies d'adaptation quotidienne dans ces milieux du Sénégal intérieur marqués par l'instabilité écologique profonde et par les transformations à l'œuvre dans la société rurale. Ceci se combine à une certaine marginalisation sociale :

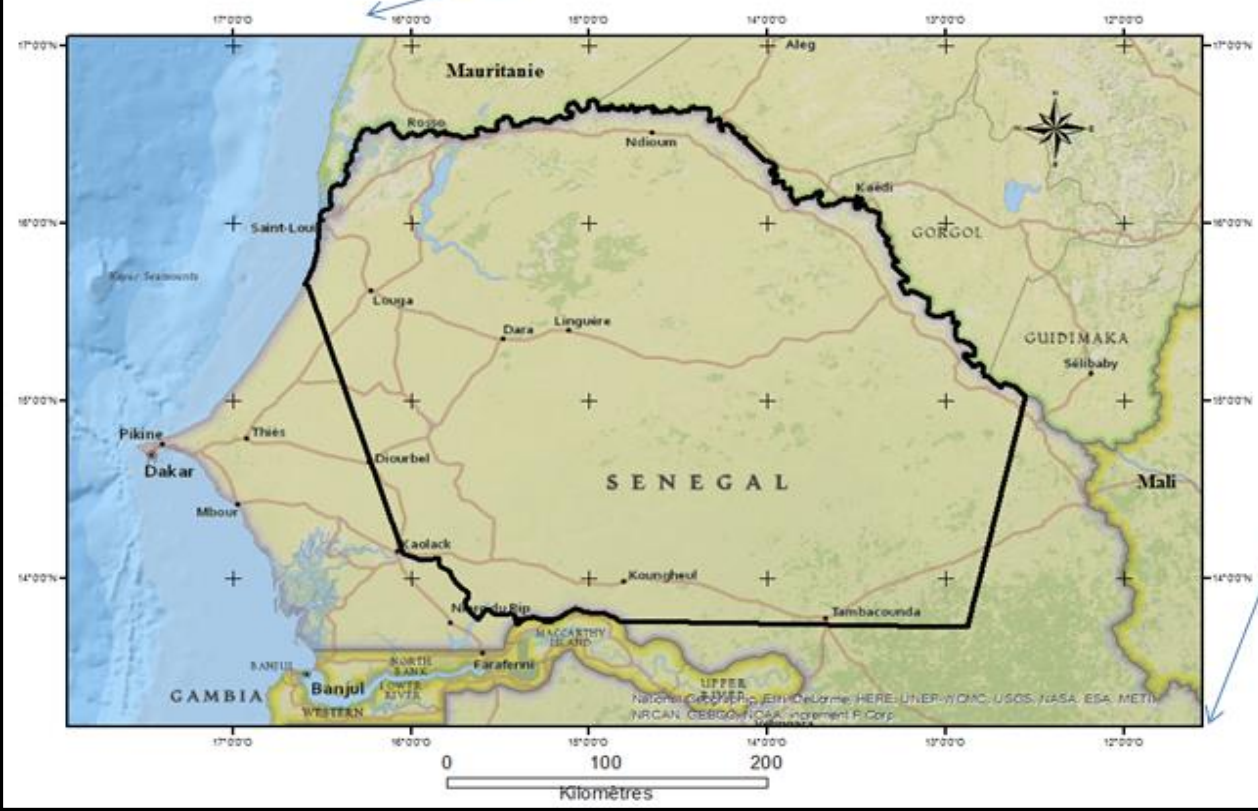
---

<sup>1</sup> Les termes de systèmes socioécologiques (Liu *et al.*, 2007 ; Lagadeuc & Chenorkian, 2009) et d'anthroposystème (Lévêque *et al.* 2000 ; Lévêque, Muxart *et al.*, 2003) qui seront présentés et discutés dans le chapitre 4 - sont ici considérés comme presque équivalents.

<sup>2</sup> Nous retenons ici la distinction qu'effectue la FAO (2013) entre les éleveurs (pratiquant souvent l'agriculture) qui « [appartiennent] au système de production extensif où toute la famille et le bétail sont sédentaires. L'élevage représente plus de 50 % de ses revenus. Son principal capital est le bétail, paissant sur des terrains communautaires » et le pasteur qui est un éleveur opérant essentiellement dans un système de production extensif développé sur des pâturages naturels ou des parcours. Ces pasteurs peuvent être des nomades, des transhumants et des semi-transhumants.  
(Source : <http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/fr/lead/Toolbox/homepage.htm>).



En rouge, la bande sahélienne



**Figure 1 : Localisation de la zone d'étude : Ferlo et Bassin arachidier**

Réalisation : Fall, 2014

« La question de l'élevage pastoral au Sénégal illustre bien les difficultés qu'ont parfois les politiques à prendre en compte certaines réalités. Si ces politiques sont promptes à mobiliser certains concepts récents (souveraineté alimentaire) ou à proposer des approches modernisantes pour les filières, les discours véhiculent encore souvent des clichés anciens sur l'atavisme ou l'irrationalité des éleveurs et une méconnaissance des réalités locales, économiques, agro-écologiques et sociétales » (Ancey & Monas, 2005).

Au cours des cinquante dernières années, les systèmes socioécologiques du Ferlo ont été particulièrement affectés par d'importantes transformations d'ordre physique. En premier lieu, sont en question la péjoration de la pluviosité et la récurrence des années sèches ou pluviométriquement déficitaires enregistrées dans cette partie de l'Afrique au cours des dernières décennies, particulièrement la période qui va de 1965 à 1995 (Hein & De Ridder, 2005).

Les répercussions sur l'environnement de cette conjoncture climatique sont généralement analysées comme un processus de dégradation des milieux, assimilé au terme de *désertification* (Ndong, 1996), qui sera discuté dans ce mémoire. La science coloniale qui a forgé le concept (Stebbing, 1935 ; Aubréville, 1949) dans une période de pluviosité favorable, a incriminé les pratiques des sociétés rurales africaines jugées trop agressives pour les écosystèmes, qu'il s'agisse de l'élevage ou de la pratique des brûlis. Aujourd'hui, on la considère comme le résultat d'une transformation physique, mais l'ambiguïté demeure souvent. La *désertification* est définie comme un ensemble de processus de transformation biophysique diversifiés, partant de la sécheresse jusqu'à la dégradation des écosystèmes naturels (Batterbury, 2001). Le processus de transformation est une accélération progressive des changements biologiques des écosystèmes arides et semi-arides, ayant comme conséquence principale l'apparition des traits désertiques - résultant des changements - là où ils n'existaient pas auparavant (Zonn, 1978). Le questionnement scientifique s'interroge aujourd'hui sur les interactions réciproques entre la désertification et les changements globaux. La très forte variabilité climatique caractéristique de cette région renvoie plus précisément à l'aléa pluviométrique. Le changement climatique se traduirait ici par une forte irrégularité intra et interannuelle des précipitations qui accélérerait la dégradation du couvert végétal et favoriserait l'érosion des sols, déclenchant ainsi les mécanismes de désertification (Hountondji, 2008).

Les fluctuations de la pluviosité ne constituent pas, à proprement parler, une nouveauté dans l'histoire longue de cette région du globe (Bonfils et al. 1987 ; Ndong, 1996).

De nombreux rapports des administrateurs coloniaux ont constaté et décrit, avec force détails, le processus de dégradation de l'environnement intervenu au début du siècle passé, notamment lors de la sévère période de sécheresse entre 1910 et 1918 (Freudenberger & Schoonmaker-Freudenberger, 1989) et les grandes crises de famines (1913-1914, 1931, 1941-1942, 1954 etc.) qui s'en sont suivies (Topor, 1986; Gado, 1993 ; Bonnacase, 2009). Ceci étant, l'effort demandé aux territoires colonisés durant les deux conflits mondiaux (recrutement des hommes et fourniture de produits alimentaires) n'a pas été sans conséquence sur les effets sociaux de ce processus.

Sur un autre plan, beaucoup de travaux scientifiques (Aubréville, 1949 ; Tricart, 1954 ; Toupet, 1992, Ndong, 1996 ; Wickens, 1997 ; Hein & De Ridder, 2005, Sivakumar, 2006) ont montré ou discuté les rapports entre les perturbations climatiques, la forte croissance démographique et la dégradation de l'environnement sahélien (Sivakumar, 2006). Dans ses travaux, bien antérieurs à la période de récurrence d'années sèches 1965-1995, Tricart (1954) a montré la remise en mouvement des dunes qu'il mettait en lien avec la dégradation anthropique suite au surpâturage et à l'extension inconsidérée des cultures spéculatives telle que l'arachide, favorisées par la colonisation et non remise en question après les indépendances. La monoculture commerciale, fortement favorisée par le colonisateur (parfois de façon ancienne : l'arachide a été introduite dès 1841), a persisté jusqu'à des degrés de spécialisation agricole régionale très poussés qui ont non seulement transformés des zones entières (bassin arachidier sénégalais, office du Niger au Mali) mais ont aussi participé à l'appauvrissement des terres (par le biais de la monoculture intensive) et à la dégradation des écosystèmes fragiles. L'extension considérable du front de l'arachide, au Sénégal, a nécessité le défrichement de nouvelles terres qui jusque-là étaient dévolues comme pâturage à l'élevage itinérant. Ici se place une des spécificités actuelles du Ferlo puisque, si la période de sécheresse des années 1965-1995 a signifié une certaine stabilisation de ce front agricole, la logique de progression de l'agriculture a repris dès lors que des améliorations ont été notées sur les quantités de précipitations tombées annuellement.

Les systèmes agropastoraux du Sahel, et, en particulier, ceux du Ferlo, évoluent donc sous la contrainte physique d'un milieu, marqué par un déséquilibre à la fois conjoncturel et structurel et sous l'influence de sociétés rurales en pleine transformation. Sur ce point, il faut préciser d'emblée que le Ferlo a toujours été marginalisé dans les choix des politiques de mise en valeur agricole, l'apport possible du système d'élevage extensif ayant été systématiquement méconnu. Celui-ci n'a jamais été vu par les autorités comme une forme de

mise en valeur des terres. Déjà, lors de l'introduction des premières cultures de rente au Sénégal par les autorités coloniales aucune mesure n'a été prise contre les impacts négatifs que celles-ci allaient jouer sur le développement de l'élevage au Sénégal. C'est l'importance accordée à cette spéculation et à son développement sur le territoire national qui a contribué au retard de la mise en œuvre d'une véritable politique d'élevage. D'ailleurs, c'est la raison pour laquelle la région du Ferlo, n'a pas été retenue par le pouvoir colonial comme une zone d'intervention prioritaire dans la mesure où l'arachide ne pouvait s'y développer, en raison de conditions climatiques très aléatoires (Dia, 2009). La nature et le caractère du peuplement (densité faible et habitat très dispersé et pour partie non pérenne : campements) mais aussi l'enclavement et l'éloignement par rapport au front pionnier de l'arachide et aux infrastructures d'évacuation (voies de communication, escales) des récoltes ont exacerbé cette marginalisation du Ferlo :

*« Il s'est agi d'un choix économique du colonisateur fondé sur la création d'infrastructures de transport et de commercialisation de l'arachide telles que les villes escales, la voie ferrée, les routes, les ports ; tout un équipement organisé en fonction de la graine et de la nécessité de son évacuation vers la Métropole. Ce qui eut pour conséquence d'insérer progressivement les populations rurales du centre ouest du pays dans une économie de marché, occasionnant un déficit vivrier dans les campagnes »* (Dia, 2009)

Cette marginalité du Ferlo a sans doute accentué les effets, durant la période post-indépendance, du déficit pluviométrique, celui-ci ayant été le plus important enregistré, tant dans son intensité que dans sa durée, au cours du XX<sup>e</sup> siècle dans la région sahélienne (Hulme, 1996 ; Morel, 1998 ; Bertrand 1998). Le déficit a atteint son paroxysme durant la première moitié des années quatre-vingt (Nicholson, 1985), avec des conséquences majeures sur les systèmes socioécologiques (équilibre bouleversé, famine, exode rural) qui ont semblé-t-il mis en péril le potentiel de développement économique de toute la région.

*« A dominant image of the West African Sahel is one of periodic and sometimes permanent crisis in terms of food production, environmental degradation, provision of public services and education, and widespread poverty »* (Cour, 2000).

Cette crise climatique a plongé les pays du Sahel dans une situation de déficit alimentaire quasi-chronique, en dépit du retour constaté de meilleures années de pluie depuis le milieu des années 1990 (Sène & Ozer, 2002 ; Dubresson & Raison 2003 ; Balme *et al*, 2006 ; Hiernaux *et al*, 2009) et de la solidarité internationale qui a eu l'occasion de se mobiliser à plusieurs reprises. La forte croissance démographique (Dubresson & Raison,

2003) a, sans doute, aussi contribué à l'exacerbation de la pression anthropique sur des écosystèmes déjà fragilisés par les mauvaises conditions physiques et climatiques de la période précédente. En effet, la première caractéristique de la population africaine en général et sahélienne en particulier, est sa croissance rapide, y compris en zone rurale où l'intensité de la pauvreté aggrave ce phénomène. Entre 1960 et 2000, le taux d'accroissement naturel des pays sahéliens a été de 2,7 % par an, ce qui représente en moyenne un doublement de la population tous les 25 ans. Estimée à 52 millions en 2000, elle sera, selon les projections du Club du Sahel, de 83 millions en 2020. Le Sénégal n'échappe pas à la règle. Sa population qui est de 12 millions (ANSD, 2013) aujourd'hui atteindrait en 2020, 18 millions toujours selon les projections du Club du Sahel. Cette forte croissance démographique n'est pas corrélée avec celle des ressources naturelles et pose aussi la question de l'accès à celles-ci. Plusieurs études (Wickens, 1997, CSAO<sup>3</sup>, 2006 ; Carrière, 1996) ont cherché à montrer, l'inadéquation entre, d'une part, les ressources disponibles et d'autre part, la croissance forte de la population et son impact négatif dans le fonctionnement des écosystèmes (progression des défrichements culturels, pression sur la ressource ligneuse, abandon progressif de la jachère, surpâturage...).

Ce tableau très noir mérite d'être discuté à nouveaux frais, dans la mesure où il prend très peu en compte l'adaptabilité ou la résilience des populations rurales qui sont pourtant loin de rester inertes face à une évolution qui n'est plus vécue comme de l'ordre de la fatalité. Elles expriment certaines capacités à s'organiser et à mettre en valeur leur savoir-faire et cela en réponse à l'évolution des conditions du milieu. Le recours à l'émigration vers les villes moyennes, vers les métropoles d'Afrique de l'ouest ou, plus hypothétiquement, vers l'Europe en passant par les pays du Maghreb est aussi une voie connue. Cependant, les enquêtes de terrain nous ont montré que la diversité des situations était la règle et que, dans ce cadre, l'état du couvert végétal et de la ressource qu'il offre aux populations rurales était un bon indicateur pour l'état de l'anthroposystème.

La description qui vient d'être faite mérite donc d'être replacée dans une analyse du discours dominant sur ce sujet et une confrontation de ce discours avec l'état de l'environnement qui peut être dressé et avec la perception qu'ont les habitants de ces changements socio-environnementaux. Le discours sur l'Afrique subsaharienne en général et sahélienne en particulier demeure en effet chargé d'une analyse très déterministe et volontiers culpabilisante pour les pratiques des populations rurales, analyse qui a longtemps prévalu

---

<sup>3</sup> Club Sahel de l'Afrique de l'Ouest

dans le champ des africanistes qui ont conceptualisé la question sahélienne sous un prisme scientifique très « occidental » minimisant ainsi le point de vue des « sociétés du sud » qui, selon Wickens (1997) et Lesourd (2009), n'a pas vraiment été mis au premier plan. Cependant, *les approches scientifiques les plus récentes, développées depuis la fin des années 1990 principalement par les chercheurs anglo-saxons, mais aussi français*, (Lesourd, 2009) remettent en cause « ces approches Nord » au profit d'une réappropriation des concepts tels qu'ils sont conçus et utilisés dans les pays du Sud (Dubresson, 2003). Les sociétés sahéliennes ne sont pas dans le désespoir malgré toutes les calamités qu'elles traversent et chaque fois elles montrent leur grande capacité d'adaptation et de résistance durant chaque phase de « crise » (Dubresson, 2003).

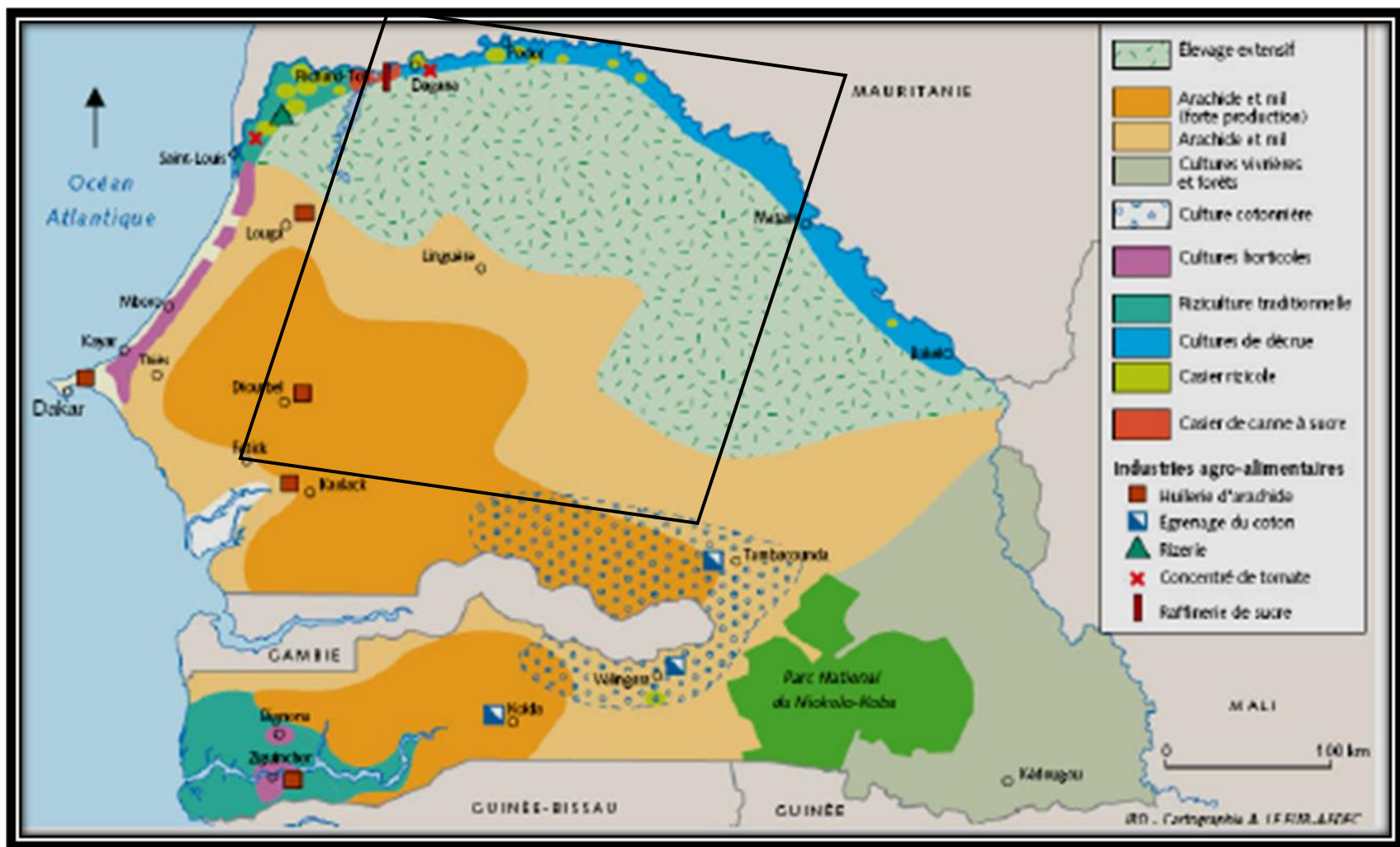


Figure 2: Les systèmes de production au Sénégal (source : [http://www.cartographie.ird.fr/SenegalFIG/senegal\\_pdf/Espace\\_agricole.pdf](http://www.cartographie.ird.fr/SenegalFIG/senegal_pdf/Espace_agricole.pdf) )

Il ressort de ce contexte la question générale de ce mémoire sur la vulnérabilité des anthroposystèmes sahéliens. Reenberg et Paarup-Laursen (1996) ont ainsi montré l'exigence et la complexité d'une étude sur l'environnement et la relation entre l'homme et la nature dans la région soudano-sahélienne. Cette complexité est surtout liée à la grande variabilité des facteurs socioécologiques et économiques qui doivent être appréhendés à travers un prisme d'interdisciplinarité. Celui-ci n'a justement pas été l'apanage des études menées souvent séparément par des climatologues, des écologues, des sociologues, des anthropologues, des économistes, ... Des grands programmes internationaux (ROSELT, AMMA, etc.) ou nationaux (tel le programme français ANR ECliS dont ce mémoire est un des produits dérivés) tentent de pallier depuis quelques années ce défaut. Toutefois, ces programmes s'appuient sur quelques sites d'études d'échelle locale ou micro-régionale bien documentés par les uns ou les autres. Cependant, le problème de la généralisation spatiale des résultats obtenus dans ces sites reste mal traité. Nous voudrions ici nous engager dans une démarche géographique, prenant en compte cette question de la spatialisation et de l'analyse pluriscalaire qu'elle implique. Elle nous semble de nature à mieux faire jouer la pluridisciplinarité, tous les phénomènes en interaction dans ces systèmes socioécologiques ne relevant pas de la même échelle. La géographie est en effet en contact avec toutes les disciplines tout en étant originale par l'approche spatiale et multiscalaire qu'elle propose. Cette interdisciplinarité permettra ainsi de satisfaire les exigences d'une étude géographique qui se veut, globale et régionale. Car « *la géographie est nécessairement aujourd'hui globale et systémique. En dialogue et en interaction avec d'autres disciplines, en formulant de nouveaux questionnements, elle est à même de décrypter les fonctionnements complexes des sociétés dans leur environnement.* » (Alexandre & Génin, 2012)

D'autre part, la généralisation à l'ensemble de la bande sahélienne des observations paraît difficile à faire à cause des situations nationales et régionales très divergentes. Ceci justifie d'avoir restreint le terrain d'étude au Ferlo et à ses marges méridionales en direction du bassin arachidier. Ceci étant, le mémoire était au départ conçu comme une étude de la variabilité régionale de la vulnérabilité entre le Ferlo sénégalais et le Gourma malien. La dégradation de la situation politique et, tout simplement de la sécurité, dans le nord du Mali nous a contraints à cette redéfinition du sujet.

L'organisation de ce mémoire s'articule sur trois grandes parties.

**La première partie**, consacrée à la présentation générale de l'agroécosystème sahélien du Ferlo comporte 4 chapitres.

Le **chapitre 1** présente l'environnement biophysique du Sénégal intérieur à l'heure du changement socio-environnemental. A travers une revue bibliographique critique, le **chapitre 2** analyse l'histoire de l'utilisation de l'espace dans le Sénégal intérieur entre le Ferlo et le Bassin arachidier, de la période coloniale à nos jours. En effet, le poids des choix politiques (coloniaux et sénégalais) a eu des conséquences sur les agroécosystèmes et sur les modes de production dans un contexte climatique particulier. Ainsi verrons-nous, dans le **chapitre 3**, ces impacts à travers la question de la dégradation des écosystèmes en rapport avec l'extraversion des modes de production agricoles et avec la péjoration de la pluviosité. Le **chapitre 4** de cette première partie est consacré à la discussion des concepts utilisés et à la méthode définie et sa pertinence pour la réalisation de ce travail de thèse. Cette méthode s'appuie sur un ensemble de techniques qui seront discutées ici.

**La deuxième partie** aura pour ambition de caractériser les changements socio-environnementaux dans le Ferlo et dans la partie nord du Bassin arachidier au cours des 50 dernières années.

Pour réaliser cet objectif, le **chapitre 5**, revient sur la question de la variabilité pluviométrique dans le Sénégal intérieur pour montrer la succession des crises climatiques (péjoration de la pluviosité) des années 1950 à nos jours. Le **chapitre 6** présente les choix méthodologiques sur l'analyse de l'occupation du sol en région sahélienne à partir d'images multispectrales de télédétection. La méthode est appliquée (**chapitre 7**) pour dresser la carte de l'occupation et de l'utilisation actuelles du sol dans le Ferlo et le nord du bassin arachidier. Ce chapitre s'appuie sur une application pas-à-pas à partir de la sous-scène du Ferlo de la méthode retenue pour établir la cartographie de l'occupation du sol en 2010. La carte obtenue est ensuite analysée en mettant l'accent sur quelques villages, démarche qui permet de passer de l'occupation à l'utilisation du sol. Le **chapitre 8** est consacré aux principaux changements dans l'occupation du sol, montrés à partir d'une analyse rétrospective au cours des quarante dernières années (cartes de l'occupation du sol en 1973 et en 1999). Le croisement des cartes obtenues aux différentes dates permettra de mettre en exergue la dynamique de l'occupation du sol avec un regard particulier sur la couverture végétale, principale ressource qu'exploitent les agropasteurs.

**La troisième et dernière partie** de ce mémoire tentera de répondre à la question centrale qui est de savoir **si le Ferlo est un agroécosystème en voie de dégradation dans ce contexte de changements.**

La réponse à cette question sera abordée à travers trois niveaux d'analyses mobilisant des données de télédétection, des relevés de végétation, et des enquêtes auprès des populations. Dans le **chapitre 9**, l'étude des séries temporelles d'indices synthétiques de végétation (NDVI) permet une modélisation des rythmes biologiques du couvert végétal. Ainsi pourrions-nous, à partir de là (**chapitre 10**), analyser l'évolution de la végétation, envisagée ici comme une ressource pour les sociétés rurales et leur bétail et aussi comme une indicatrice des changements socio-environnementaux intervenus au cours de ces dernières décennies. Les conséquences de ces changements se lisent à travers la dynamique des paysages ruraux (**chapitre 11**) marqués par une forte hétérogénéité d'un lieu à l'autre. Enfin, le **chapitre 12** aborde la perception par les sociétés rurales des changements socio-environnementaux et les évolutions des pratiques et stratégies agricoles et pastorales.

## **Première partie : Le Ferlo, un agroécosystème sahélien**

---

Le premier objectif de cette première partie de thèse est de replacer l'étude des dynamiques de l'anthroposystème sahélien du Ferlo par rapport au débat actuel sur l'évolution des milieux sahéliens de l'Afrique de l'Ouest. A travers une revue bibliographique, nous présenterons la zone d'étude, le Ferlo sénégalais, dans ses caractéristiques physiques et humaines pour mieux appréhender les processus de changements qui s'y opèrent aujourd'hui et sur lesquels, l'histoire tient un rôle important. En effet, les pays sahéliens, le Sénégal en particulier, ont subi le poids des politiques coloniales et postcoloniales d'exploitation des ressources naturelles. Ces choix politiques ont profondément extraverti les modes de production agricoles et pastorales que la péjoration de la pluviosité avait affaiblis. Cette revue de la littérature sera par ailleurs l'occasion d'effectuer un examen critique des concepts utilisés dans ce travail ainsi que la définition d'une méthode au regard de la problématique générale posée. Cette méthode est le résultat de la combinaison de plusieurs techniques (techniques cartographiques et de terrain) qui seront alors détaillées.

## Chapitre 1 - L'environnement biophysique du Sénégal intérieur à l'heure des changements socio-environnementaux

---

« *Les facteurs primaires de la géographie physique d'une région naturelle sont l'histoire géologique et le climat actuel, lui-même aboutissement d'une séquence de paléoclimats, qui doit être prise en considération* » (Biro, 1970)

Finistère ouest africain, le Sénégal est compris entre les latitudes 12°20' et 16°40' nord et les longitudes 11°20' et 17°30' ouest. Il couvre une superficie de 196 720 km<sup>2</sup>. Il est limité au nord par la Mauritanie, à l'est par le Mali et au sud par les deux Guinée (Bissau et Conakry). La Gambie constitue au sein du Sénégal une enclave de 300 kilomètres de long sur 20 kilomètres de large. Dans les lignes qui suivent, nous allons rassembler les informations existantes sur l'environnement au Sénégal en mettant l'accent sur la place qu'y occupent le Ferlo et le nord du bassin arachidier. L'objectif de ce chapitre comme de ceux qui vont suivre dans cette première partie, est de mettre l'accent sur les spécificités nationales qui vont rendre le Ferlo original au sein de la bande sahéenne. Cette originalité explique qu'on l'avait choisi de placer un site dans le programme EClis.

***Le programme EClis (Elevage – Climat - Sociétés - Contribution de l'élevage à la réduction de la vulnérabilité des ruraux et à leur adaptabilité aux changements climatiques et sociétaux en Afrique sub-saharienne).***

L'objectif scientifique d'EClis (2008-2013) consistait à évaluer la contribution des activités d'élevage aux interactions entre vulnérabilité/adaptabilité sociétale et vulnérabilité/résilience des agro-écosystèmes d'Afrique de l'Ouest sub-saharienne. La diversité et la complexité des écosystèmes, des systèmes de production agricole à composante élevage et celles des situations socio-économiques de l'Afrique au sud du Sahara ont été un défi pour le projet EClis. En effet, pour éviter les limites d'une approche purement monographique, il est proposé d'assurer une représentativité régionale par une approche transdisciplinaire sur plusieurs sites représentatifs du domaine sahéen. Dans ce cadre, la commune rurale de Tessékéré a été choisie comme site d'étude (avec les communes de Hombori au Mali, de Dantiandou au Niger et de Djougou au Bénin), déjà bien documenté par l'ISRA<sup>4</sup> et par le CIRAD<sup>5</sup>. L'originalité du Ferlo par rapport au reste de la zone sahéenne de l'ouest africain, repose sur les nombreux aménagements à vocation pastorale (forages, réserves sylvopastorales) qu'y ont été faits depuis l'indépendance. Ceux-ci ont amené des formes d'utilisation et d'occupation de l'espace particulières. A partir de là, notre positionnement dans cette étude qui se veut géographique avant tout, tentera de replacer le Ferlo dans le grand ensemble sahéen afin de caractériser l'hétérogénéité des dynamiques des systèmes socioécologiques.

---

<sup>4</sup> Institut Sénégalais de Recherches Agricoles.

<sup>5</sup> Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.

## 1. Relief plan et simplicité pédologique

« Le Sénégal est un pays relativement plat, constitué essentiellement de plaines et de plateaux. Le relief y est monotone et oppose les régions de socle (localisées dans le sud-est avec un point culminant à 581 m sur les contreforts du Fouta-Djalou) à celles de bassin sédimentaire qui sont constituées de bas plateaux, de plaines et de vallées alluviales dont les altitudes dépassent rarement 50 m, à l'exception de l'escarpement de la falaise de Thiès (plus de 100 m d'altitude) » (CSE<sup>6</sup>, 2000). Appartenant à ce grand ensemble, la région du Ferlo correspond bien à cette monotonie générale du relief. Les formes de ce relief dépendent essentiellement d'un modelé dunaire (dunes rouges de l'Ogolien) assez émué et fixé par une végétation à caractère steppique.

Au niveau pédologique (Fig. 3), l'existence de plusieurs types de sols résulte des conditions bioclimatiques et géologiques. Selon la classification faite par le CSE (2000), on rencontre dans le Ferlo :

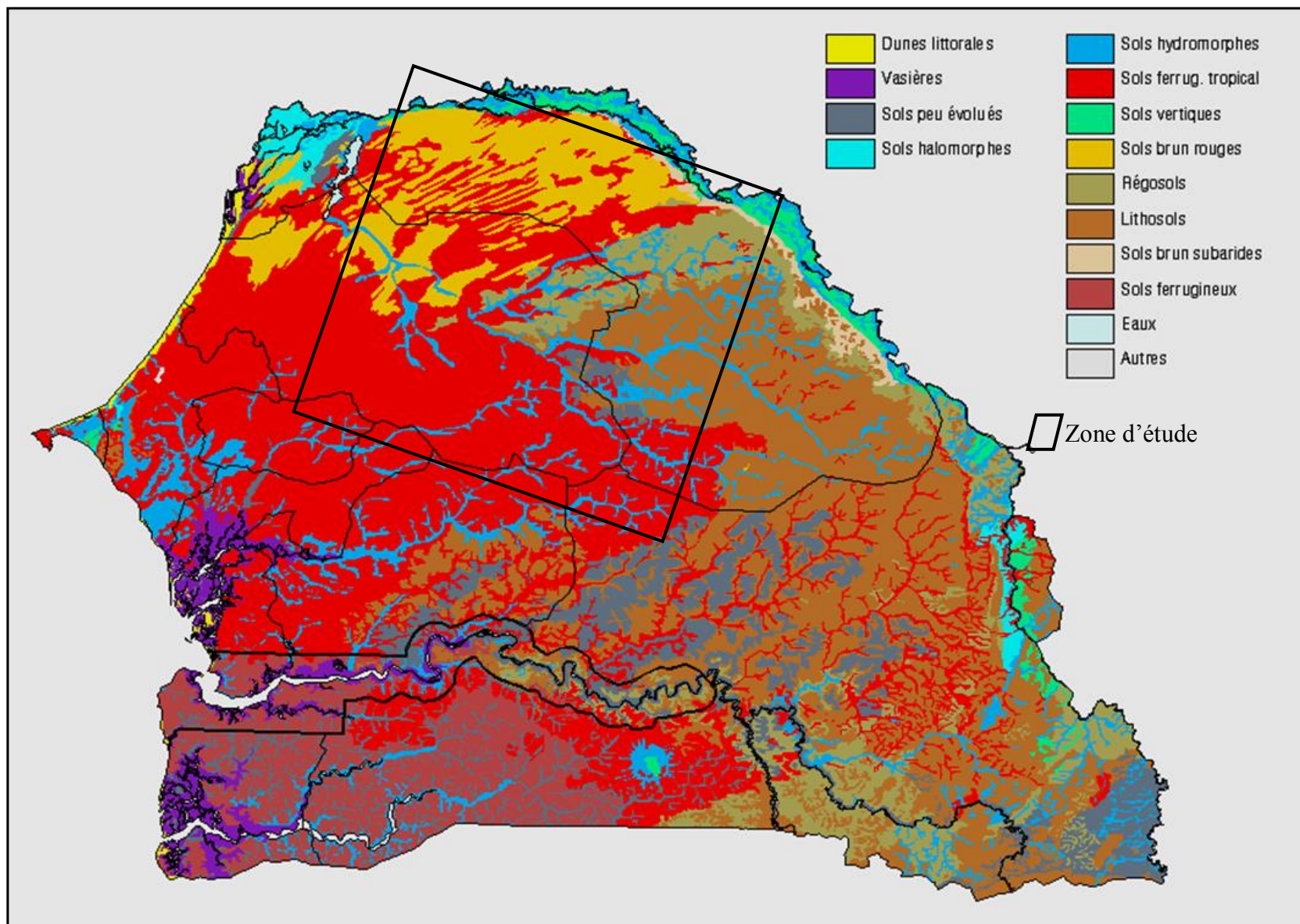
- « les sols isohumiques (brun - rouges subarides), au nord et au centre de la région, caractérisés par une texture sableuse sur tout le profil. Ils sont fragiles et sensibles à l'érosion éolienne » (CSE, 2000) ; ils ne se prêtent que très faiblement à l'agriculture ;
- « les sols ferrugineux tropicaux peu ou pas lessivés situés plus au sud (en particulier dans le nord du bassin arachidier) [caractérisés eux-aussi par leur forte proportion] en sable, ainsi que leur extrême sensibilité à l'érosion hydrique et éolienne. Ce sont les terres de prédilection de la culture de l'arachide, du niébé, etc. » (CSE, 2000) ;
- « les sols ferrugineux tropicaux lessivés, bruns ou beiges, que l'on rencontre au centre et au centre-sud du bassin arachidier et qui sont caractérisés par une texture sableuse ou sablo-limoneuse en superficie et limoneuse à limono-argileuse en profondeur. Ces sols sont exposés principalement à l'érosion hydrique, mais aussi éolienne. Ce sont des terres de culture de l'arachide » (CSE, 2000) ;
- « les sols hydromorphes caractérisés par la présence temporaire ou permanente de l'eau » (CSE, 2000) ; on les rencontre au niveau de la vallée fossile du Ferlo.

Cette pédologie générale du Ferlo et de la partie nord du Bassin arachidier (Fig. 3) est donc dominée par des types de sols peu évolués aux textures sableuses et très sensibles aux

---

<sup>6</sup> La création du CSE (Centre de Suivi Ecologique) en 1996 par les pouvoirs publics sénégalais était une réponse à la grande crise qui affectait les écosystèmes pastoraux du pays et qui avait durement affecté la base de production, entraînant une forte dégradation des ressources naturelles et des conditions de vie des populations. Le CSE met à la disposition du public des informations sur son site internet : [www.cse.sn](http://www.cse.sn).

Figure 3 : Carte des types de sols du Sénégal. Source : Cartothèque CSE ; URL : <http://ns.cse.sn/sid/cartoth/cartes/>



processus d'érosion. Les potentialités agricoles sont faibles en raison de la minceur des sols et de leur caractère le plus souvent purement minéral. Dans le nord du Ferlo, la pression sur la ressource pastorale et la longueur de la saison sèche réduisent le couvert végétal et exposent les sols à l'érosion éolienne. Ce phénomène participe aussi à l'ensablement des mares. Le caractère aléatoire de la pluviométrie depuis quelques décennies est l'un des principaux facteurs contribuant à la baisse de la productivité végétale de ces sols. Dans le sud du Ferlo et la partie nord du bassin arachidier, des décennies de monoculture arachidière<sup>7</sup> ont sensiblement appauvri les sols.

## **2. Le climat sahélien, marqué par la variabilité interannuelle**

Avant de revenir dans le chapitre 5 sur l'évolution récente du climat du Ferlo, il convient de le replacer dans le cadre du climat sahélien. Etudier celui-ci, c'est mettre en évidence sa principale caractéristique qui est la variabilité pluviométrique dans le temps et dans l'espace, un phénomène consubstantiel à l'anthroposystème sahélien. Cette variabilité a déjà fait l'objet de nombreuses études (Nicholson, 1981 ; Lamb, 1982 ; Folland *et al*, 1986 ; Lamb & Pepler, 1992 ; Janicot & Fontaine, 1993 ; Ndong, 1996 ; Bigot *et al*, 1997 ; Lebel & Viscel, 2005 ; GIEC, 2007 ; Hountondji, 2008). Il s'en dégage une certaine périodisation : la période humide allant 1930 à 1960, les grandes crises de sécheresses de 1970-1980 et la (timide) reprise des pluies au cours des quinze dernières années. Ils ont aussi, par ailleurs, montré la vulnérabilité dans laquelle se trouvaient ces sociétés humaines dont les activités principales étant de nature agricole ou pastorale, dépendent encore en grande partie de la « clémence du ciel ». Aujourd'hui, dans un contexte de changements globaux, le Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC) a discuté dans son rapport de 2007, ce que l'Atlas régional de l'Afrique de l'Ouest identifie comme « *les tendances futures susceptibles de se manifester au niveau mondial et sahélien en particulier : hausse des températures, montée du niveau des océans, modification du niveau et de la variabilité pluviométrique, etc.* » (Perret *in* CEDEAO-CSAO/OCDE, 2009). Cette situation ferait naître de nouveaux enjeux et risques, mais pourrait ouvrir également de nouvelles opportunités pour le continent africain (Perret *in* CEDEAO-CSAO/OCDE, 2008).

---

<sup>7</sup> On y reviendra dans le chapitre suivant consacré au poids de l'histoire coloniale dans l'occupation et l'utilisation des terres.

## **2-1- La mousson ouest-africaine dans la circulation atmosphérique générale**

« *La circulation de l'air en Afrique occidentale fait partie d'un ensemble plus vaste qui est la circulation générale de l'atmosphère. Elle s'inscrit dans le cadre des échanges méridiens. Cette circulation se particularise par la stratification aérologique de l'Afrique occidentale, par les flux et les discontinuités qu'on y rencontre, par ses variations et par le dynamisme des noyaux de vents forts qui s'y individualisent* » (Sagna, 1988).

Ce rappel de Pascal Sagna (1988) montre la particularité et la variabilité du mécanisme de fonctionnement climatique en Afrique sahélienne de l'ouest et au Sénégal en particulier ainsi que tous les facteurs qui interviennent dans cette circulation.

Les traits climatiques de la zone d'étude sont définis par les relations entre les grands centres anticycloniques subtropicaux plus ou moins permanents. « *Ces anticyclones subtropicaux servent de relais aux transferts méridiens de la circulation atmosphérique générale du globe et individualisent la zone intertropicale* » (Fauquet, 2005). En effet, la circulation se fait des hautes pressions tropicales vers les basses pressions intertropicales (Leroux, 1983 ; Sagna, 1988 ; Amram, 1996 ; Hountondji, 2008 ; Huber *et al.*, 2011). L'anticyclone des Açores est responsable des alizés du nord, localisés dans les parties basses de l'atmosphère. Ces vents se rencontrent dans la frange maritime sénégalaise. Le noyau anticyclonique (mobile) saisonnier centré sur la Libye donne naissance à un vent chaud et sec, de secteur est, communément appelé « *harmattan* ». L'anticyclone de Sainte-Hélène est responsable de la « *mousson* », un flux maritime tiède et très humide, de direction sud-ouest.

## **2-2- Les flux**

### **2.2.1. Les flux d'alizé**

Les flux d'alizé résultent de l'activité des hautes pressions tropicales (Açores et Sainte-Hélène). Ce sont des flux caractérisés par leur régularité. Cependant, ils sont sujets à des variations de direction (en raison de sa trajectoire incurvée autour des cellules anticycloniques dans les basses couches de l'atmosphère) et de vitesse. L'alizé « *demeure dans l'hémisphère qui l'a vu naître. Il est caractérisé par une inversion de température entre une couche d'air inférieure d'origine essentiellement polaire et une couche supérieure d'air tropical affectée par la subsidence* » (Leroux, 1975).

En fonction de leurs caractéristiques hygrométriques et de leurs trajectoires, on peut distinguer plusieurs types d'alizé :

- **l'alizé maritime** : Sa trajectoire océanique fait qu'il reste un vent constamment humide, frais voire froid en hiver et marqué par une faible amplitude thermique diurne.
- **l'alizé continental** : flux chaud et sec également appelé « harmattan »
- **l'alizé maritime continentalisé** qui est un flux maritime au départ mais qui finit son parcours sur le continent, « *ce nouvel itinéraire s'accompagne de la chute considérable de son taux d'humidité. Sa siccité s'aggrave au fur et à mesure qu'il pénètre à l'intérieur du continent* » (Ndiaye, 1994).

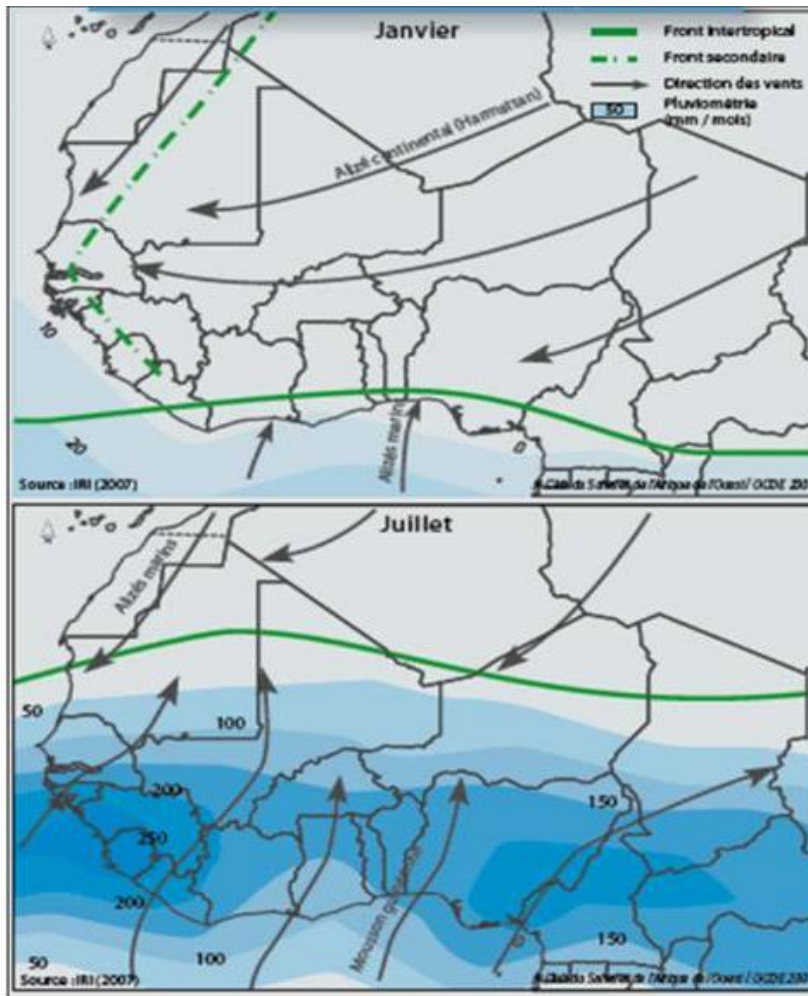
### 2.2.2. Les flux de mousson

La mousson (Fig. 4) est un flux originaire d'un hémisphère qui s'intègre dans la circulation de l'autre hémisphère géographique (Leroux, 1975 ; Wauthy 1983 ; Sagna, 1988) : « *la mousson provient de la déviation d'un alizé initial; cette déviation est fonction de la disposition relative du flux d'alizé et de la dépression, mais aussi du changement de signe de la force de Coriolis au franchissement de l'équateur et de la conservation de la quantité de mouvement du flux; cette déviation se fait suivant un Axe d'Inflexion de Trajectoire (A.I.T.) et l'alizé d'Est évolue en mousson d'Ouest* » (Wauthy, 1983). Elle joue aussi le rôle de masse froide par rapport à l'harmattan qui est chaud et sec (Rodier, 1964). Ces masses d'air, de température et d'humidité différentes, sont séparées par deux fronts. Le front des alizés, entre les alizés des Açores et l'harmattan est de direction nord-sud (Rodier, 1964). Il se déplace parallèlement aux côtes du Sénégal et de la Mauritanie. Il est relativement peu actif et n'a que peu d'influence sur le climat sénégalais (Rodier, 1964).

Le front intertropical (FIT) (Fig. 4), trace au sol de la limite séparant les masses d'air chaud et sec provenant du nord (harmattan) et les masses d'air humide, venant de l'Océan atlantique sud, liées à la mise en place de la mousson suit « *une direction générale est ouest et se déplace au cours de l'année en accompagnant, avec un décalage de quelques semaines, les oscillations apparentes du soleil de part et d'autre de l'équateur* » (Amram, 1996). « *Les circulations de mousson sont une réponse dynamique de l'atmosphère aux différences de température et d'énergie statique humide, liées à deux facteurs essentiels : le balancement de la position zénithale du soleil entre les deux tropiques au cours de l'année et les propriétés thermiques différentes des océans et des continents* » (Lebel & Vischel, 2005).

Les changements de température de la surface des eaux du nord et du sud de l'Océan atlantique et de l'Océan indien ainsi que les anomalies de température de surface de l'Océan

pacifique associées au phénomène d'El Niño sont aussi des moteurs importants de l'activité de la mousson ouest-africaine. Ses caractéristiques hygrométriques font qu'elle reste le principal vecteur de pluies au Sénégal et en Afrique de l'ouest (Sagna, 1988 ; Lebel & Vischel, 2005 ; Dieng, 2008). Ainsi, « *l'intensité de la circulation de mousson est [-il] donc un facteur essentiel d'abondance pluviométrique et ses fluctuations intra-saisonnières ou interannuelles conditionnent fortement le cycle de l'eau continental* » (Lebel & Vischel, 2005).



**Figure 4 : Cycle de la mousson en Afrique de l'Ouest (Source : Perret in CEDEAO-CSO / OCDE, 2009)**

Globalement, la mousson est un système dans lequel « *les interactions entre l'échelle convective (convection humide dans la Zone de Convergence InterTropicale ou ZCIT et convection sèche dans la dépression thermique), les Ondes d'Est, le JEA, et la convergence du flux humide dans les basses couches dominant* » (AMMA-France, 2001). Il demeure « *toutefois, [que] les interactions/rétroactions entre les dynamiques continentales et le climat sont encore mal comprises* » (Perret in CSAO-CEDEAO, 2009). C'est d'ailleurs l'une des

principales raisons de la mise en place du programme international d'étude de la mousson africaine (AMMA pour Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine ou *African Monsoon Multidisciplinary Analysis*).

**AMMA pour Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine  
ou *African Monsoon Multidisciplinary Analysis***

Le programme de recherche AMMA résulte d'une initiative de chercheurs français et s'est donné comme ambition de mieux comprendre la Mousson d'Afrique de l'Ouest (MAO) et sa variabilité de l'échelle journalière jusqu'à l'échelle interannuelle. Il est né dans un contexte marqué par une multitude d'inquiétudes à la fois conjoncturelles et structurelles. En effet, la forte variabilité spatio-temporelle des précipitations constatée depuis des dizaines d'années semble condamner le décollage de l'économie des pays de l'Afrique de l'Ouest (conséquences de la sécheresse) mais aussi la qualité de vie des populations (famines, maladies, etc.). À cela, s'ajoute la rareté des données permettant de comprendre les fluctuations de la pluviosité. Ainsi le projet vise-t-il trois objectifs principaux :

- « améliorer la compréhension de la mousson d'Afrique de l'ouest et de son impact sur l'environnement physique, chimique et biologique à l'échelle régionale et mondiale »,
- « fournir les connaissances scientifiques de base qui permettront d'établir les liens entre la variabilité climatique et les problèmes de santé, de ressources en eau et de sécurité alimentaire, de définir des stratégies de surveillance appropriées »,
- « veiller à ce que cette recherche multidisciplinaire réalisée au sein d'AMMA soit efficacement intégrée dans les activités de prévision et de prise de décision » [<http://www.amma-international.org/>].

## **2-3- Les précipitations**

En Afrique de l'ouest et en particulier au Sénégal, le régime pluviométrique est profondément lié au mouvement saisonnier de « *la zone de convergence intertropicale qui est l'espace de rencontre des alizés, vents chauds et secs soufflant du nord-est, avec les masses d'air humide, venant de l'océan atlantique sud, liées à la mise en place de la mousson* » (Perret in CEDEAO-CSAO/OCDE, 2009). Cette zone est marquée par l'alternance de deux saisons : une saison des pluies où l'essentiel des précipitations est reçue entre juillet et octobre et une saison sèche occupant le reste de l'année.

### **2.3.1. Typologie des précipitations au Sénégal**

Derrière ce mécanisme pluviogène général, on peut distinguer sur le territoire sénégalais, selon leurs origines, plusieurs types de précipitations (Sagna, 1988) :

#### **- Les précipitations liées aux intrusions d'air polaire :**

Communément appelées pluies de « *Heug* » (pluies hors saison en wolof) ou « *pluies des mangues* » (Seck, 1962), elles ne surviennent qu'en saison sèche et résultent de l'intrusion

d'air froid provenant des latitudes moyennes. Si elles apportent exceptionnellement des quantités importantes de précipitations par contre elles s'accompagnent d'une forte chute des températures qui peut avoir des conséquences très néfastes pour les populations, pour les récoltes et pour le bétail. Les 9, 10 et 11 janvier 2002, les hauteurs de pluies relevées ont été de 120 mm à Podor, 49 mm à Linguère et 26 mm à Dakar. La moyenne des températures qui tournait d'habitude autour de 35°C, tombait à 10°C à Podor par exemple (Sy, 2006). Les conséquences furent terribles et on a noté sur tout le pays: « 28 cas de personnes décédées, 13 993 maisons détruites, 13 561 bovins morts, 91 823 petits ruminants morts et 100 000 personnes sinistrées » (Communiqué du 22 octobre 2002 du comité de gestion de la catastrophe de janvier 2002, cité par Sagna, 2012).

- **Les précipitations issues des lignes de grains :**

Elles se forment en été boréal sur le continent Africain entre 06 °N et 17°N. Ces perturbations intéressent surtout la partie inclinée de l'équateur météorologique, connue sous le nom de front intertropical (FIT) (Fig. 4) (Sagna, 1988). La rencontre des flux d'alizé et de mousson donne naissance à ces discontinuités (équateur météorologique) qui sont des ruptures de la circulation méridienne (Leroux, 1983 ; Sagna, 1988). L'équateur météorologique a une structure verticale dans les couches moyennes atmosphériques et inclinée dans les basses couches.

- **Les précipitations liées à la partie active de l'équateur météorologique :**

Ces précipitations résultent de l'ascendance d'air humide. Du fait du refroidissement en altitude, la vapeur d'eau se condense en pluies. On les appelle aussi les pluies de mousson.

**2.3.2. La distribution spatiotemporelle des précipitations détermine les bioclimats et conditionne les activités en milieu rural sahélien**

Au niveau régional, la répartition spatiotemporelle des précipitations selon un gradient décroissant du sud au nord a souvent été utilisée pour la discrimination des domaines bioclimatiques ou autres « zones agroécologiques » (Trochain, 1940 ; Aubréville, 1950 ; White 1986) du Sahel et des régions adjacentes. Un tel découpage où les limites sont, par définition, peu claires, fondées sur un paramètre aussi fluctuant que la pluviosité peut paraître insuffisant (Alexandre 1994, Génin, 1995, Alexandre *et al.*, 1998) voire inadapté. Les subdivisions bioclimatiques ci-dessous (adaptées de Trochain, 1940, Aubréville, 1950 et White, 1986) feront l'objet d'une discussion. Elles sont toutes fondées sur la répartition

spatiotemporelle de la pluviosité et elles distinguent, pour les domaines qui nous intéressent ici :

- La zone saharo-sahélienne avec une pluviométrie moyenne annuelle oscillant entre 100 et 300 mm et où la végétation correspond à des formations arbustives très ouvertes et clairsemées ;
- La zone sahélienne où les apports annuels de pluie tournent autour de 300 à 500 mm (la saison des pluies - appelée *hivernage* - est circonscrite entre les mois de juillet et septembre), est par excellence le domaine de l'élevage itinérant ; l'agriculture pratiquée est dominée par les cultures vivrières céréalières, en particulier le mil et le sorgho, ainsi que la culture de l'arachide, mais la production agricole y est très tributaire des aléas de la saison des pluies car l'essentiel des activités agricoles se déroulent au cours de l'hivernage ;
- Les zones sahélo-soudanienne (pluviométrie entre 500 et 700 mm annuellement ; la saison des pluies dure 3 à 4 mois entre juin et septembre) où la culture du mil est dominante et soudano-sahélienne (700-900 mm de pluie) où la culture de l'arachide est très répandue à l'instar du bassin arachidier ; la végétation naturelle correspond au paysage de la savane arborée ;
- Une zone soudanienne (900-1200 mm de pluie) où la pluviométrie permet une variété d'activités agricoles. Ici, même si les apports sont plus importants, la saison des pluies ne dure pas plus de 4 mois.

« *Les précipitations en région sahélienne se singularisent par une très forte variabilité temporelle et spatiale (Fig. 5), avec une tendance à la baisse entre la fin des années 1960 au milieu des années 1990* » (Hountondji, 2008). Dans cette partie du monde, la disponibilité de l'eau conditionne la dynamique écosystémique (Huber *et al*, 2011) et la vie économique basée essentiellement sur les activités primaires (agriculture, élevage, ...). Dans leurs travaux récents, Huber *et al* (2011) ont montré que: « *The development and prosperity of the African Sahel, a semi-arid transition zone between the Sahara desert to the north and the woody Sudanian savanna to the south, largely depends on the rainfall regime* ».

Ainsi la disponibilité de l'eau est-elle « *primordiale dans les régions sahéliennes et soudanienne de l'Afrique de l'ouest où elle constitue malheureusement un facteur limitant au développement. Cette importance ne peut que s'accroître par la priorité désormais reconnue à l'agriculture comme base du développement* [par les pouvoirs publics sénégalais]. Or l'eau

*disponible, susceptible de devenir ressource, provient des précipitations* » (Hubert & Carbonnel, 1992). En effet, un examen de la situation pluviométrique du Ferlo (Fig. 5) montre une forte translation des isohyètes vers le sud et une baisse des quantités précipitées annuellement depuis la fin des années 1970. L'histoire climatique de cette partie du Sénégal révèle qu'entre 1931 et 1960, l'isohyète 600 mm a concerné la moitié sud du Ferlo. Au nord, les quantités moyennes annuelles de pluies étaient de 500 mm. Ces trois décennies apparaissent bien humides au regard de la situation actuelle. A partir des années 1970, il est noté une migration des valeurs 400 mm et 500 mm vers le sud. La valeur 600 mm disparaît complètement du Ferlo. Au nord, on notait l'apparition de l'isohyète 300 mm qui jusque-là ne concernait pas le territoire sénégalais. Cette situation montre encore une fois que le contexte climatique du Ferlo est marqué par les fluctuations interannuelles de la pluviosité qui ont des effets immédiats sur les récoltes et les quantités de fourrages disponibles annuellement. Un phénomène qui renforce la vulnérabilité des socioécosystèmes locaux. Cependant, lors de cette dernière décennie (2002 à 2011), les quantités de pluies recueillies annuellement dans le Ferlo comme dans d'autres régions sahéliennes d'Afrique de l'ouest montrent une tendance à la hausse (voir chapitre 5). Des améliorations qui renforcent l'optimisme des sociétés rurales et alimentent le débat sur le « *reverdissement du Sahel* ».

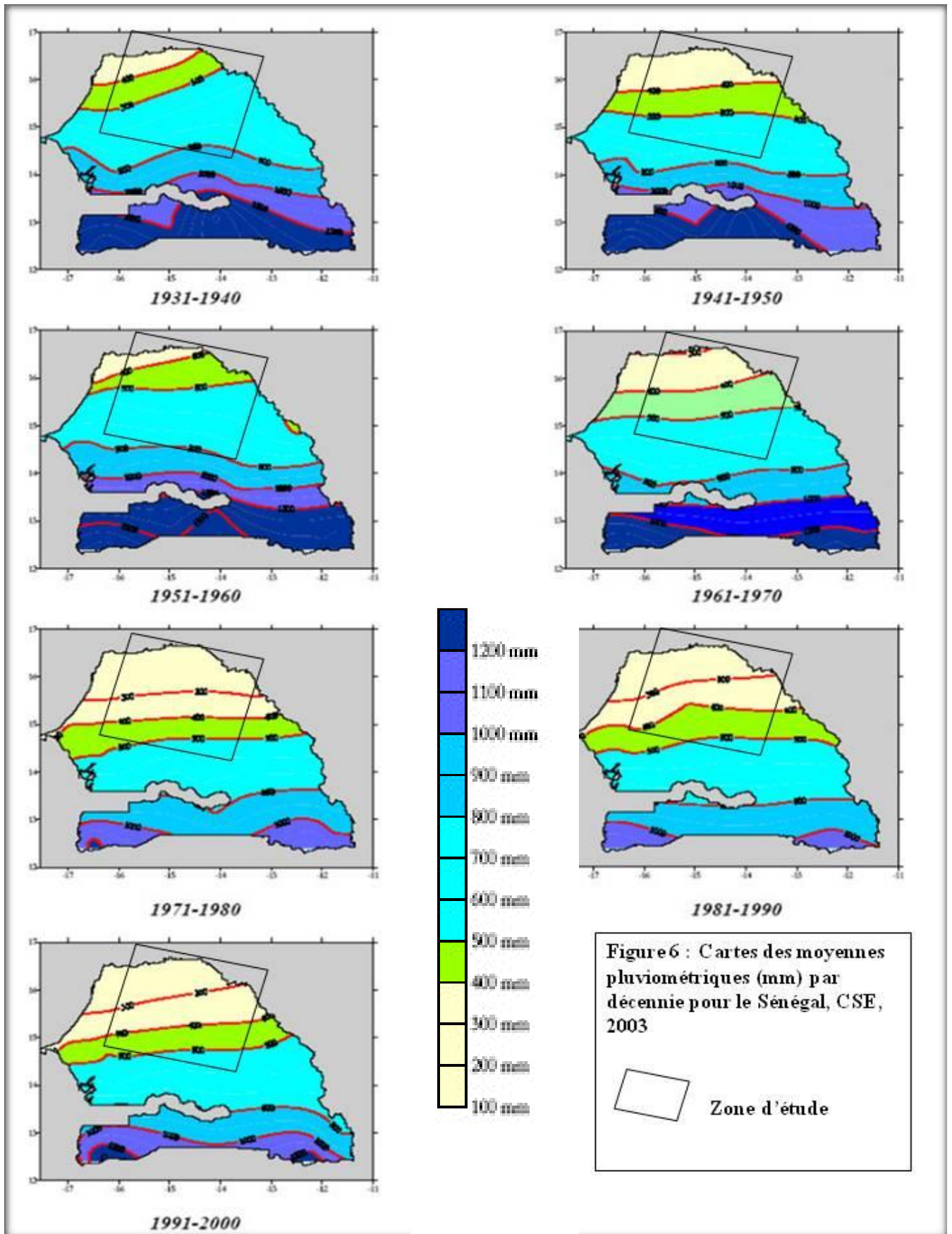


Figure 5 : Cartes des moyennes pluviométriques décennales du Sénégal (CSE, 2003)

### **3. La structure spatiale de la végétation sénégalaise et ses potentialités agropastorales**

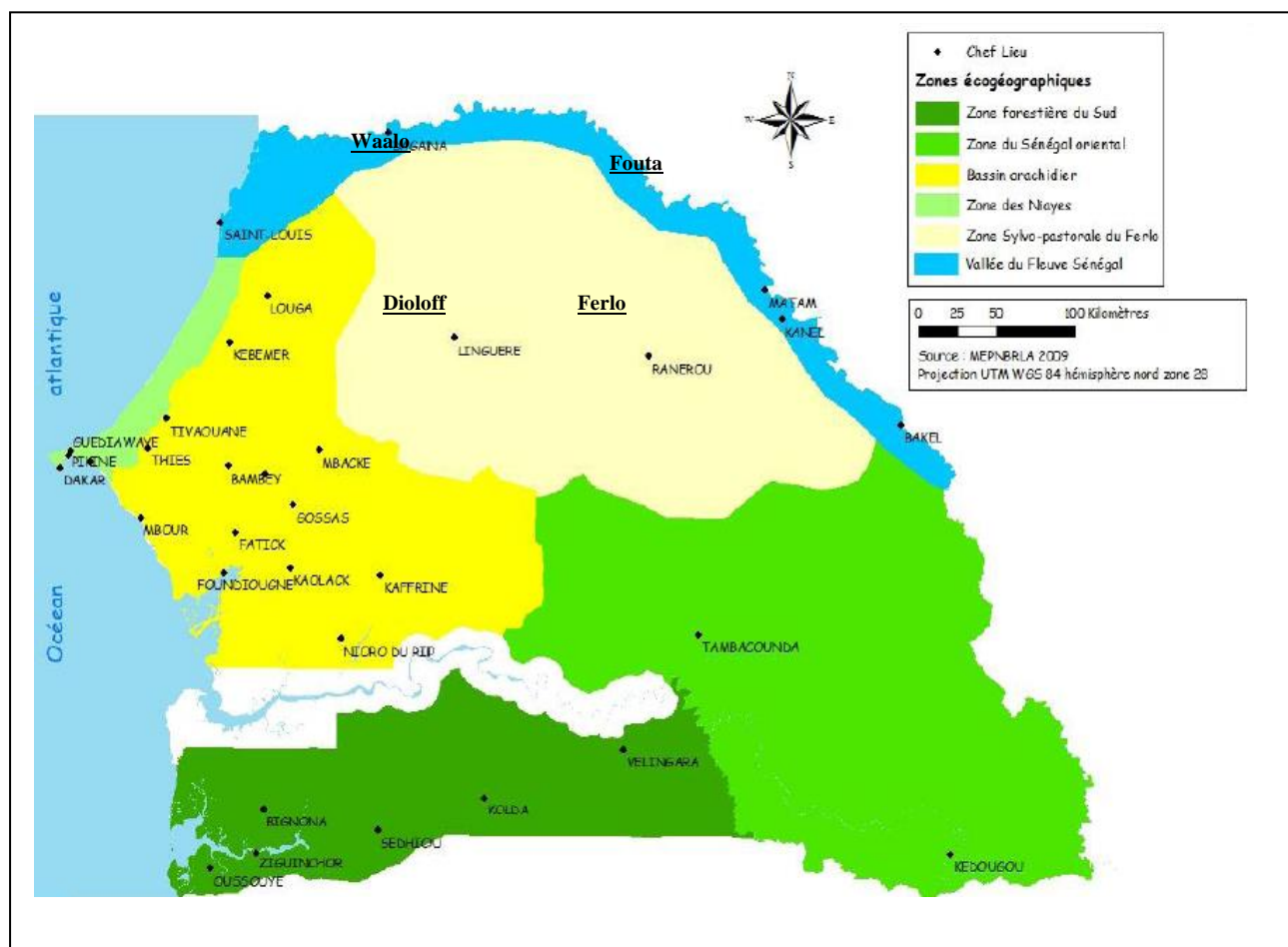
#### **3.1. De la zonation écologique ...**

Un autre indice du caractère un peu inopérant des découpages bioclimatiques sur le territoire sénégalais réside dans le continuum que présentent les paysages végétaux dans l'intérieur du pays. Déjà en 1940, Jean Trochain dans sa thèse sur la *Flore du Sénégal* soulignait en ces termes de la monotonie des paysages sénégalais :

*« Le géobotaniste devrait - quel paradoxe- circuler dans l'hinterland du Sénégal les yeux couverts d'un bandeau. Le soir en arrivant à l'étape, après avoir couvert grâce à une camionnette sans ressorts une centaine de kilomètres de pistes défoncées, il percevrait quelques différences avec le paysage qu'il a quitté au petit jour. »* (Trochain, 1940)

Ce point de vue est toujours valable dans la zone en général, et partout où l'absence de variation géomorphologique se fait sentir. Nous sommes en présence d'un milieu où la discrimination des différentes formations végétales (Fig. 7) est progressive et profondément liée à la distribution des pluies et de la disponibilité des eaux de surface. Ainsi elle subit l'influence du facteur hydroclimatique à l'échelle régionale, et des facteurs édaphiques et topographiques, dans le détail. A l'opposé de Trochain qui parle de modifications insensibles du paysage, Hountondji tente de montrer l'existence d'aires phytogéographiques : *« La distribution méridienne des isohyètes détermine l'existence d'aires phytogéographiques. Cette répartition des groupes végétaux en fonction de la gradation pluviométrique sert de base à la zonation climatique. Ces zones présentent une certaine régularité en Afrique de l'Ouest où elles suivent les isohyètes vaguement parallèles au Golfe de Guinée »* (Hountondji, 2008). Cette affirmation de Hountondji est discutable dans la mesure où déduire le climat du paysage est risqué, surtout dans des secteurs où celui-ci est étroitement dépendant de la mise en valeur par les sociétés rurales. Comme l'est aussi une zonation climatique basée sur la végétation.

Quoiqu'il en soit, la position du Sénégal sur la carte climatique de l'Afrique fait que la disponibilité en eau reste l'élément fondamental qui structure spatialement la végétation en en assurant le fonctionnement. La végétation sénégalaise se prête dès lors bien à l'analyse de gradient (Whittaker, 1967) : le gradient pluviométrique d'orientation nord-sud, nuancé par le contexte morphologique et édaphique, intervient dans la chorologie des espèces végétales. La végétation ainsi que la qualité des sols sont ensuite des facteurs environnementaux déterminants des conditions de sécurité alimentaire du fait de la proportion encore importante de la population dont les moyens de subsistance sont directement dépendants de l'exploitation de ces ressources naturelles. En retour, la végétation est aussi structurée par les usages développés par les sociétés rurales. Le socle géographique de l'organisation et l'occupation de l'espace est ainsi livré par l'observation de la végétation, ce que nous nous efforcerons de montrer dans ce mémoire.



**Figure 6 : Les principales zones écogéographiques au Sénégal (Source: Ministère Sénégalais de l'environnement, des bassins de rétention et des lacs artificiels, 2009)**

### 3.2. ... A la zonation agro-écologique

Pour les besoins de l'aménagement du territoire national (CSE, 2000) et sur la base de la combinaison de leurs caractéristiques biophysiques et socio-économiques, le Sénégal est subdivisé en six zones écogéographiques (Fig. 6). Les critères choisis pour délimiter ces zones prennent en compte un ensemble de facteurs biophysiques et socio-économiques qui ont permis de regrouper des espaces plus ou moins homogènes dans une perspective d'aménagement intégré. Ce sont : le bassin arachidier, la Casamance, les Niayes, le Sénégal oriental, la vallée du Fleuve et la zone sylvopastorale ou Ferlo (CSE, 2000). L'homogénéité de ces zones est, elle-aussi, discutable et l'un des objectifs de cette thèse est d'en discuter, mais en première instance, on peut citer les deux qui nous intéressent :

- « *la zone sylvopastorale, située au Sud du fleuve Sénégal, correspond au Ferlo où l'élevage extensif constitue l'activité dominante. D'une superficie de 55 561 km<sup>2</sup>, elle constitue l'une des zones éco-géographiques les plus vastes. Administrativement, la zone sylvopastorale est centrée sur une partie des régions de Saint-Louis, de Louga et de Matam* » ;
- « *le bassin arachidier avec 46 367 km<sup>2</sup> correspond à la zone où domine la culture de l'arachide. Il couvre une partie des régions de Louga et de Thiès, la totalité des régions de Diourbel, Fatick, Kaffrine et Kaolack et l'Ouest de la région de Tambacounda.* » (CSE, 2000) : <http://ns.cse.sn/sid/biblioth/pnae/pnae/resum.htm> )

Ce découpage résulte des choix politiques<sup>8</sup> en faveur de la gestion de l'environnement qui reste encore un défi et un enjeu politique et social pour les pays sahéliens en général (Blanc-Pamard *et al.*, 2002) et le Sénégal en particulier. En effet, l'environnement n'a pas toujours été une préoccupation de première importance dans les choix politiques adoptés au lendemain de l'acquisition de l'indépendance. Les principales mesures institutionnelles répondaient beaucoup plus à des préoccupations conjoncturelles (réaction en urgence aux crises climatiques) qu'à une stratégie globale de gestion de l'environnement. Dans un premier temps, les autorités se sont contentées de renforcer les mesures de classement des forêts<sup>9</sup> et des forages pastoraux et l'augmentation des réserves sylvopastorales héritées de la politique coloniale. Les véritables mesures en faveur de la protection de l'environnement sont plus récentes. C'est en 1995, en réponse aux conclusions du sommet de la terre tenu à Rio en 1992,

---

<sup>8</sup> Nous reviendrons, dans le chapitre suivant, sur l'évolution des politiques agricoles menées au Sénégal depuis les années 1960 jusqu'à nos jours et sur leur incidence sur l'occupation et l'utilisation de l'espace.

<sup>9</sup> A ce jour, le Sénégal compte 213 forêts classées et 6 parcs nationaux.

que le Sénégal s'est doté d'un Plan National d'Action pour l'Environnement (PNAE) avec deux objectifs majeurs :

- « *la sauvegarde de la faune et de la flore par leur protection efficace* » ;
- « *la satisfaction des besoins socio-économiques essentiels des populations par une exploitation rationnelle et durable de ces ressources* » (CSE, 2000)

Sur la lancée, le Centre de suivi écologique (CSE), évoqué depuis le début de ce chapitre, a été créé en 1996.

Le PNAE permet au pays l'identification de ses priorités en matière environnementale et de « *définir des stratégies de planification pour une gestion efficace des ressources naturelles et de l'environnement* » (CSE, 2000). La ratification des traités environnementaux internationaux, la politique de décentralisation entamée depuis quelques décennies et le code de l'environnement adopté en 2001 sont venus consolider ce dispositif réglementaire. Ceci se traduit par le renforcement des zones classées ou réservées définies dans le *Code forestier sénégalais* :

- « *les forêts classées sont des espaces forestiers interdits à l'exploitation en vue de leur conservation* » ;
- « *les réserves sylvo-pastorales sont des formations naturelles où des restrictions sont apportées, notamment sur les cultures, afin de permettre l'exploitation de la ressource par les pasteurs* » ;
- « *les réserves naturelles intégrales sont des zones constituant une collection représentative de formations naturelles, classées pour des raisons écologiques ou scientifiques* » (Code forestier sénégalais, 2008).

À l'instar du Sénégal, les stratégies mises en œuvre dans les pays du Sahel répondent le plus souvent à des urgences et se déclinent en des programmes nationaux de lutte contre la désertification et pour le développement rural. Il existe ainsi un véritable arsenal juridique avec des codes (code forestier, code de l'eau, de l'environnement, de la chasse, etc.) et des lois dans chaque pays sahélien. Ce dispositif, s'il a l'ambition de favoriser une gestion beaucoup plus écologique des ressources naturelles, est d'une efficacité limitée, les sociétés rurales restant réticentes, du fait de l'absence de prise en compte de leurs préoccupations dans les textes de loi. Ceci apparaît par exemple sur la question des feux de brousse (voir chap. 12) que les pasteurs transhumants continuent à utiliser malgré les interdictions et les risques pénaux encourus.

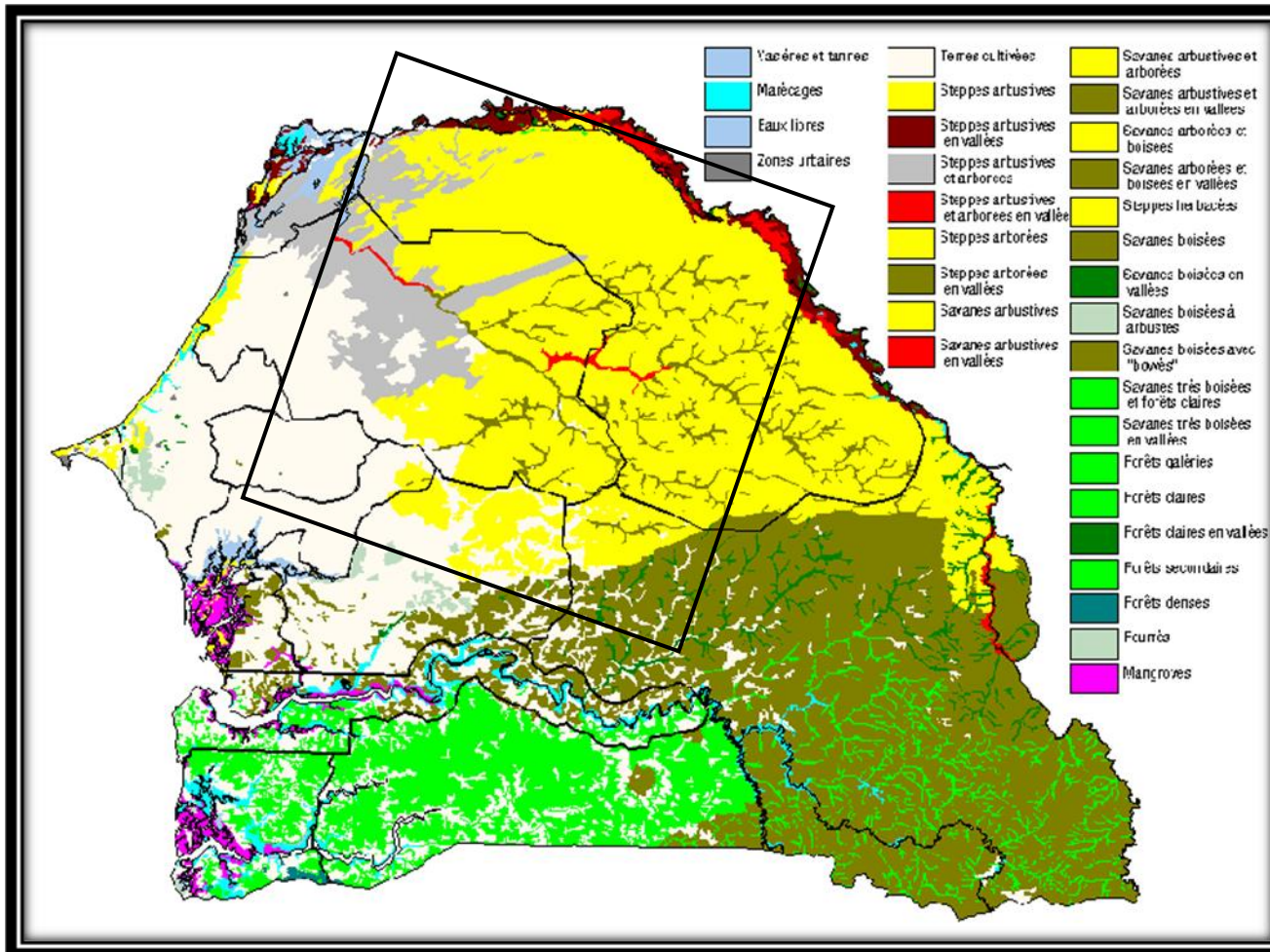


Figure 7 : Carte des formations végétales du Sénégal

(Source CSE, 2007 ; URL : <http://www.cse.sn/annuaire/ressnat/forestieres/cartevegetation.htm>)

#### **4. La zone écogéographique du Ferlo et ses marges sud**

Après cette présentation générale qui nous a permis de placer le Ferlo dans son double contexte régional sahélien et national, revenons, dans les lignes qui suivent, sur la présentation détaillée de l'espace biophysique qui constitue le cadre de notre travail.

La zone écogéographique du Ferlo est d'une superficie de 57 269 km<sup>2</sup> selon les documents officiels (CSE, 2000, 2009). Toutefois ce chiffre reste difficile à corroborer tant les limites du Ferlo sont imprécises ; de ce fait, nous avons privilégié les limites des images pour dresser nos cartes. Le Ferlo (Fig. 1 et 6) se trouve au sud du bassin du fleuve Sénégal et fait partie intégrante de la zone sahélienne sénégalaise. Pour résumer ce qui a été dit précédemment, le relief y est presque plat à l'exception de la vallée fossile et le climat de type tropical semi-aride. La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 300 mm au nord à 500 mm au sud (Ndong, 1996). L'activité éolienne montre une circulation des flux d'harmattan durant la saison sèche. Des flux qui participent activement à l'évaporation rapide des eaux pluviales retenues dans les mares. La végétation comme dans la plupart des régions sahéliennes, montre des paysages qui sont ceux de la savane sèche, ou de la steppe, alternant avec des secteurs dunaires. Les épineux, mieux adaptés morphologiquement, y survivent plus facilement que d'autres espèces. Une partie importante de cette région fragile a ainsi été aménagée des réserves sylvopastorales et des forêts classées ont été ménagées dans la région.

##### **4.1. Peuplement et société pastorale**

Le Ferlo est un vaste ensemble écogéographique mais aussi une zone où se côtoient divers peuples : Peuls, Wolofs, Toucouleurs, Sérères, Maures, etc. L'arrivée des Peuls aux environs de la vallée du Sénégal s'est faite durant près de huit siècles, entre les X<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles. Elle se fit par vagues migratoires apportant « *leur patrimoine traditionnel, c'est-à-dire familles et troupeaux cantonnés dans les terrains de leur choix sans que rien ne pût s'y opposer* » (Ba & Kesteloot, 1969).

Les deux grandes entités originelles auxquelles tous les groupes Peuls actuels se rattachent, les *Wodabé* et les *Ourourbé*, se sont par la suite divisées en une multitude de tribus. (André, 2008).

Dans le Ferlo, il y a eu deux grands ensembles migratoires qui ont donné la configuration sociétale actuelle : les Peuls de la vallée du Sénégal ou *Waalwaalbe*

(littéralement ceux du Waalo, appartenant à la vallée inondable) et les Peuls du *Dieri* ou *Jeerinkoobe* (appartenant à la zone exondée donc des terres du Diéri). Les *Waalwaalbe* se subdivisent en Peuls du *Fouta-Tooro* et Peuls du *Waalo*. Les *Jeerinkoobe* ont donné les Peuls du Ferlo ou du Djoloff (André, 2008). Plus vers le sud à la limite avec le Bassin arachidier, le groupe social Wolof marque sa domination non sans concurrence avec les Peuls concernant la ressource agraire. Une telle concurrence spatiale est induite par des usages différents des sols sur les marges sud du Ferlo où, à la faveur de l'amélioration récente des conditions de la pluviosité, le front agricole s'étend de plus en plus et gagne ainsi le nord. Pourtant, cette rencontre n'est pas toujours conflictuelle. Car des situations de complémentarité existent dans cette partie du Sénégal comme ailleurs en région sahélienne de l'Afrique de l'ouest (entre Djermas et Peuls dans le Fakara nigérien, par exemple) entre les éleveurs transhumants Peuls et les Wolofs sédentaires. Cette complémentarité se traduit aussi par des sortes d'accords tacites entre pasteurs et agriculteurs qui acceptent le séjour du bétail dans les champs déjà récoltés pour que les animaux puissent déposer des déjections qui fertiliseront le sol.

L'inégale répartition de la population sur l'espace se traduit dans la densité moyenne tournant autour de 12 habitants au km<sup>2</sup> (contre moins d'un habitant au km<sup>2</sup> en 1960) (Sarr, 2008). « *En général, la densité semble décroître de l'ouest vers l'est, où, à partir de la commune de Linguère, les carapaces latéritiques occupent beaucoup plus de place. Au sud et à l'ouest, la poussée et la pression du front de l'arachide a fait refluer les Peuls et les densités sont moins dérisoires* » (André, 2008). Le dynamisme agricole soutenu par la progression des colonies de paysans « *mourides* » depuis quelques années a changé la donne. Devant cette avancée rapide, les Peuls sentent-ils la nécessité de s'approprier la ressource foncière au risque de se voir exclure de « leurs terres ». C'est dans un tel contexte qu'il faut comprendre les dynamiques actuelles dans le Ferlo et ses marges.

#### **4.2. La géographie des ressources naturelles d'un milieu semi-aride**

Comme énoncé ci-dessus, le Ferlo est l'entité écogéographique la plus vaste du Sénégal. Il regroupe les régions administratives de Saint-Louis, Matam, Diourbel et Louga, ce qui équivaut à 29 % du territoire national. « *L'appellation plus technique de « zone sylvopastorale, [décidée par les autorités coloniales et confirmée par les gouvernants après l'indépendance] résulte de l'observation des contraintes physiques et des spécificités sociales du milieu. Elle englobe également de façon assez floue les zones sèches au Sud de la vallée du fleuve Sénégal* ». (Ickowicz *et al.*, 2005) Historiquement, cette partie du Sénégal est partagée

entre le territoire formant l'ancien royaume du Djoloff, (à l'Ouest), le Ferlo, le Waalo et le Fouta Tooro (Fig. 6). *Les caractéristiques physiques variées de la région déterminent la disponibilité et la répartition des ressources (eau, pâturages, etc.) de même que les possibilités offertes aux populations de les exploiter* (Ickowicz et al., 2005).

#### **4.2.1. Du point de vue géomorphologique, pédologique et...**

Selon Diouf (2003), « *la région d'étude appartient au bassin sénégalo-mauritanien qui a connu au cours de son histoire géologique deux transgressions marines séparées par deux épisodes continentaux* ». L'ensemble de cette zone du Ferlo est caractérisé par un relief plat et monotone. Il se présente sous forme de plateaux dunaires (communément appelés « *séno* » en peul) et de dépressions :

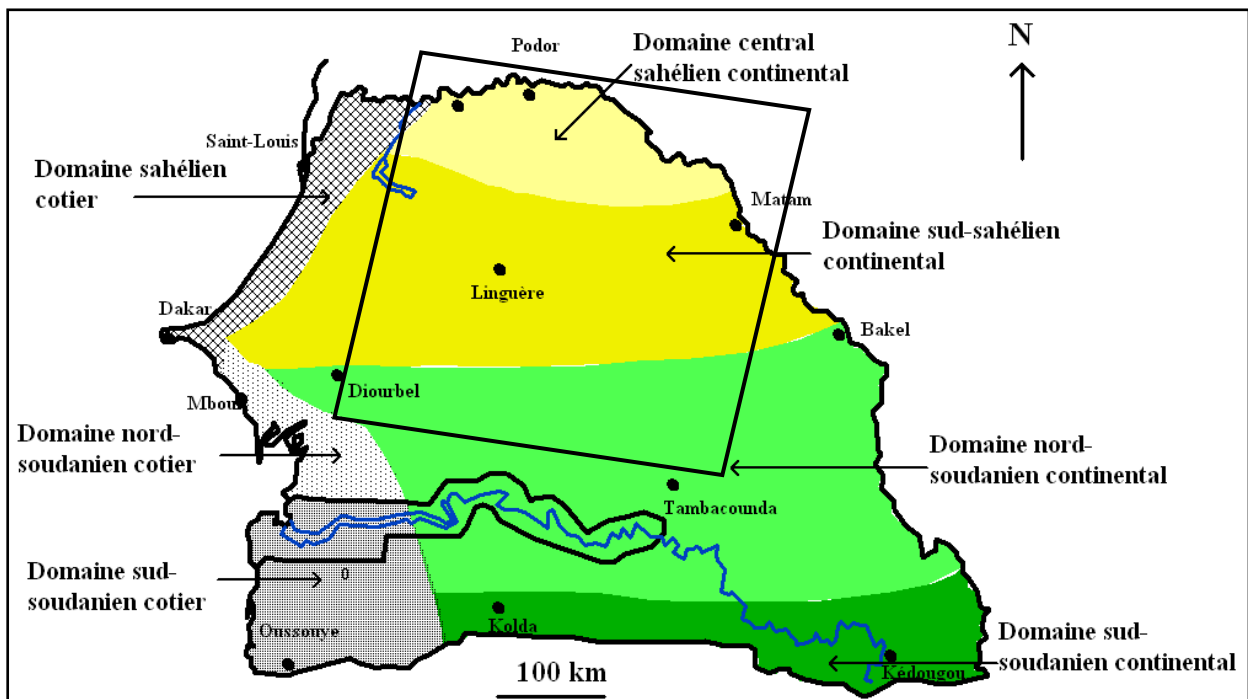
« *La couverture sableuse peut présenter des épaisseurs de 50 m à 100 m. Les rides sont séparées par des dépressions longitudinales argileuses à engorgement temporaire (bas-fonds). [...] Ces derniers sont des lits dans lesquels peuvent se développer pendant la saison des pluies, des mares d'eau temporaires* » (Diouf, 2003).

Ces mares sont exploitées par l'élevage transhumant.

La pédologie montre des sols dominés par des sédiments gréso-argileux du continental terminal et de l'éocène inférieur. Ce sont « *des sables compacts, en partie kaoliniques accompagnés de gravillons [qui] recouvrent une nappe d'eau souterraine fossile. Ces sédiments sont superficiellement couverts de sables éoliens qui ont en général peu d'épaisseur* » (André, 2008). Le paysage s'organise en trois ensembles pédologiques : « *les dunes en partie réactivées du nord (dit Ferlo sableux), les dunes fixées et parcourues en certains endroits par un réseau hydrographique fossile sur le continental terminal du sud (Ferlo sablo-argileux), et le plateau du sud-est, nappé de cuirasses gravillonnaires (Ferlo ferrugineux). Les sols évoluent en fonction de la latitude, du brun subaride au ferrugineux tropical* » (Michel, 1973, cité par Sy, 2012). Les sols sont, de ce fait, du groupe des sols sablo-argileux avec une accumulation d'argile dans les horizons profonds du sol.

Hormis la présence de la vallée fossile du Ferlo, « *l'hydrographie de la région ne présente aucune trace d'écoulement organisé et elle est caractérisée en saison des pluies par la présence d'une multitude de petites mares endoréiques. Le fond de ces mares est sablo-argileux (pseudo-gley)* » (André, 2008). Elles revêtent une importance capitale pour les activités pastorales dans le Ferlo dans la mesure où ils permettent la rétention des eaux de

pluies qui serviront, au moins saisonnièrement, à abreuver le bétail et éviter le recours systématique des forages. Ainsi sont-ils des éléments fondamentaux qui participent à structurer l'activité pastorale dans le Ferlo et amènent à des formes d'occupation saisonnière de l'espace bien différenciées. En effet, pendant la saison humide, la multiplication des mares et des bas-fonds inondés amène à une certaine diffusion dans l'espace des pasteurs alors que pendant la saison sèche, on assiste à une concentration spatiale autour des forages. Ce qui localement augmente la pression sur la ressource fourragère herbacée et, dans une moindre mesure, ligneuse autour des aménagements hydrauliques.



**Figure 8 : Les domaines climatiques au Sénégal (in Sarr, 2008 ; d'après Ndong, 1996 ; Sagna, 2005)**

#### 4.2.2. ... Climatique

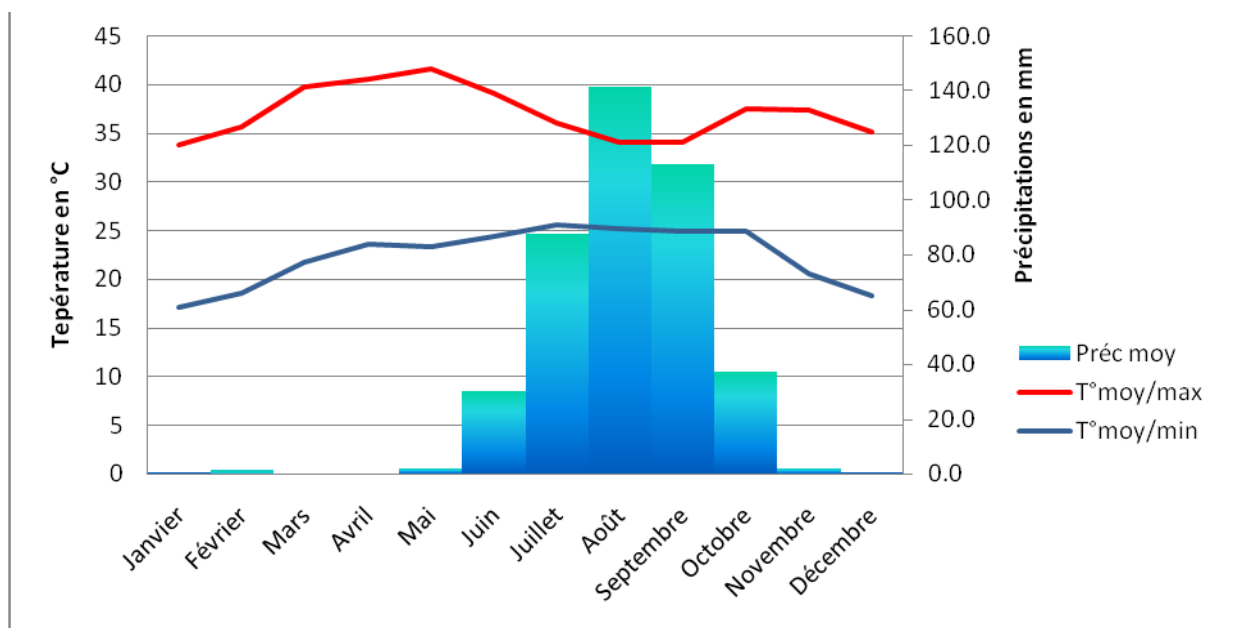
Du point de vue climatique, le Ferlo fait partie, on l'a vu, du domaine sahélien semi-aride. Le climat est caractérisé par une alternance saisonnière de 3 à 4 mois de pluie (hivernage) et de 8 à 9 mois de saison sèche. La pluviométrie annuelle moyenne est comprise entre 300 mm et 500 mm avec un maximum de précipitations au mois d'août (Fig. 8 et 9). Le déroulement de la saison des pluies est irrégulier et il peut se produire de courtes périodes sèches, d'où la forte variabilité dans le temps et dans l'espace de la pluviosité.

Dans la tradition des Peuls qui dominent la population de la région, on distingue 5 « saisons » basées essentiellement sur les dynamiques atmosphériques, sur la température, la

disponibilité en eau, la phénologie des arbres et la disponibilité des fourrages (Diouf, 2003). Ces « saisons » sont les suivantes:

- *dabundé* pour désigner la saison sèche fraîche marquée par la circulation des alizés maritimes qui apportent une fraîcheur matinale et nocturne ;
- *thiédio* ou saison sèche chaude coïncide avec l'activité des alizés continentaux ou Harmattan ;
- *setsellé* correspondant à la saison pré-pluvieuse qui correspond à la phase de mise en place progressive des flux de mousson ;
- *ndunggu* correspondant à la saison des pluies, donc de l'activité des flux de mousson ;
- *kaullé* ou saison post-pluvieuse marquée par une reprise de l'activité des flux d'alizés chauds et secs.

Les températures moyennes mensuelles (Fig. 9 : station de Linguère, située au centre de la région) varient entre des maxima moyens qui atteignent 41,6°C au mois de mai et une moyenne des minimales de 17,1°C en janvier. La chaleur du fait de l'importance de l'insolation est un des paramètres climatiques les plus importants de la zone (André, 2008) en raison de la forte évaporation des eaux retenues dans les mares et dépressions qu'elle implique.



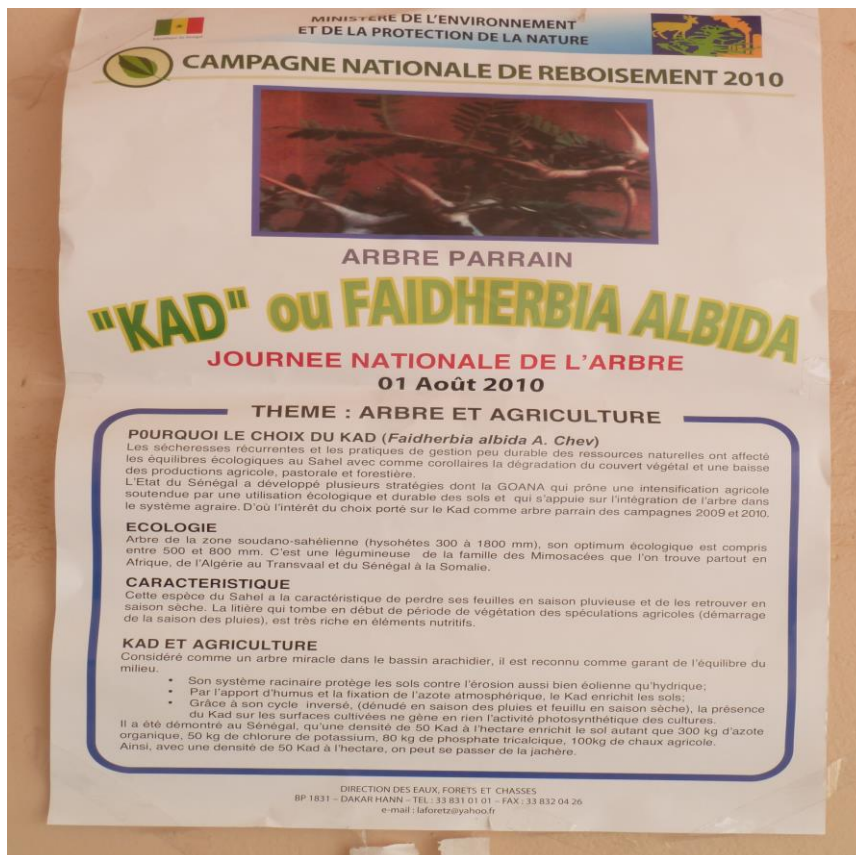
**Figure 9 : Régime des températures et des précipitations (1951- 2003) à Linguère**

### 4.2.3. Flore et végétation

La flore du Ferlo « s'ordonne selon le gradient pluviométrique avec une disposition zonale des domaines phytogéographiques interrompus par quelques groupements azonaux au niveau de la vallée du Ferlo. Les grands types de flore influencés par les grandes formations édaphiques, mais aussi par le climat qui joue un rôle essentiel dans la composition et la structure floristique, se présentent sous forme de pseudo-steppes arbustives et de savanes arbustives à arborées » (Sarr, 2008) caducifoliées, très ouvertes, souvent épineuses où prédominent *Acacia raddiana* et *Balanites aegyptiaca*. En rapport avec les types de sols et de la topographie, des ligneux comme *Acacia senegal*, *Balanites aegyptiaca* et *Combretum glutinosum* impriment leur leurs marques sur les paysages. Type de végétation le plus caractéristique du Ferlo et le plus répandu dans un grand nombre de milieux sahéliens, les steppes arbustives et arborées présentent une strate arbustive ou arborée. Ce couvert ligneux joue un rôle très important aux niveaux socioéconomique et écologique. Il « est considéré comme un indicateur utile pour évaluer la distribution des plantes ligneuses, leur impact sur les facteurs de production végétale et les interactions entre les plantes ligneuses et herbacées. » (Dekker & Ohler, 1980). A cette strate, est associé un tapis herbacé très discontinu composé essentiellement des plantes herbacées annuelles avec une domination des poacées à la bonne qualité fourragère assez représentatives de la zone d'étude : *Dactyloctenium aegyptium*, *Cenchrus biflorus*, *Aristida mutabilis*, *Schoenefeldia gracilis*, *Eragrostis tremula*, *Tragus berteronianus*, et une fabacée *Zornia glochidiata*, etc.

« La coexistence entre espèces herbacées annuelles ou vivaces et espèces ligneuses est favorisée par les diverses structures de chevelu racinaire qui permettent une pleine exploitation des réserves en eau » (FAO, 2008). Les espèces ligneuses à racines traçantes et diffuses sont généralement clairsemées afin de pouvoir drainer un vaste impluvium. Les espèces annuelles, à racines superficielles nécessitent une humectation continue des horizons de surface du sol alors que les herbacées vivaces bénéficient de l'humidité stockée en profondeur et que les espèces ligneuses à racines pivotantes peuvent récupérer l'eau profonde au voisinage des nappes phréatiques. *Acacia albida* (Photo ci-dessous) est sans doute l'espèce la mieux adaptée à ces conditions puisqu'elle présente un cycle végétatif « inversé » perdant ses feuilles en saison pluvieuse. Une situation qui comporte plusieurs avantages (Nas, 1979, cité par Bonkougou, 1984). En effet, la chute des feuilles pendant l'hivernage permet aux rayons de soleil d'atteindre les cultures plantées au-dessous et autour de l'arbre. Et durant la

saison sèche, le feuillage de *l'Acacia albida* est une source d'ombre fraîche, un fourrage (constitué par les feuilles, les petites branches et les gousses) d'une excellente qualité pour le bétail (Bonkougou, 1984). Il est aussi reconnu pour son rôle positif contre les effets de la déflation éolienne. Pour toutes ces raisons ainsi que tous les usages qu'en font les sociétés de la région, cet arbre revêt finalement une forte symbolique socioculturelle dans tout le Sahel.



**Photo 1: À Barkédji, affiche de la Journée nationale de l'arbre instituée depuis 1983 et célébrée le premier dimanche du mois d'août de chaque année. Celle de l'année 2010, fut consacrée à l'*Acacia albida* (= *Faidherbia albida*). (Photo : Fall, 2010)**

« Au gradient pluviométrique nord-sud, coïncide une succession latitudinale caractéristique d'espèces ligneuses. Sur sables par exemple, *Acacia raddiana* et *Acacia senegal*, espèces épineuses à feuilles caduques fines font place vers l'isohyète 400 mm à des espèces à feuilles larges et caduques telles que *Combretum glutinosum*, *Sclerocarya birrea* ». (FAO, 2008<sup>10</sup>) Vers l'extrême sud du Ferlo à la frontière avec le Saloum, le changement biophysique se traduit aussi par la présence de nouvelles espèces comme *Bombax costatum*. Sur les bords des mares et les berges des cours d'eau à écoulement temporaire, les espèces rencontrées sont *Mitragyna inermis*, accompagné par *Acacia nilotica* et *Acacia seyal*

<sup>10</sup> [http://harvestchoice.org/sites/default/files/downloads/publications/Niger\\_2005-07\\_Vol5.pdf](http://harvestchoice.org/sites/default/files/downloads/publications/Niger_2005-07_Vol5.pdf)

Il apparaît à travers cette description géographique du Ferlo et de l'espace au sud qui constitue la zone tampon avec le bassin arachidier, une région aux facettes multiples. La simplicité du contexte biophysique et le caractère éparpillé du peuplement n'homogénéisent pas pour autant les dynamiques naturelles et l'occupation et l'utilisation des sols. En effet, de l'extrême nord (Téssékéré et les communautés rurales qui l'entourent) au sud (Déli notamment) en passant par le centre (Barkédji et les communautés rurales environnantes), la distribution des paysages est marquée par une certaine hétérogénéité au sein de cette zone écogéographique. Cela renforce l'idée que la pluviométrie n'est pas un paramètre suffisant pour une typologie des paysages. Ainsi, ce découpage en régions écogéographiques homogènes peut être contesté. Les pratiques des sociétés rurales sur ces terroirs dans un contexte de changements à la fois biophysiques et démographiques sont en train de redessiner les contours paysagers du Sénégal intérieur. Ces dynamiques anthroposystémiques s'accompagnent de fortes modifications sur les limites déjà imprécises de ces entités écogéographiques. Depuis quelques années le front de l'arachide ne cesse de s'étendre vers le nord sur les terroirs du Ferlo et vers l'Est en direction du Sénégal oriental. Cette extension (voir chapitre 9) amène des recompositions sociales et spatiales dans les différentes communautés rurales. Une situation qui n'est pas sans poser des tensions entre différents groupes ethniques (principalement Wolof et Peul). Car à la faveur de l'amélioration des conditions de la pluviosité, il y a un regain d'intérêt pour les terres du Ferlo historiquement réservées à l'élevage transhumant. L'arrivée des grandes exploitations agricoles, dominées par des intérêts étrangers, comme les saoudiens avec l'exploitation de la gomme arabique dans le Ferlo central à Mbeuleukhé (exploitation couvrant une superficie de 20 000 ha), ou nationaux, comme les *Mourides* pour les cultures céréalières, à un moment où il y a une absence de législation sur le foncier rural (volet toujours en débat dans le cadre de l'Acte III de la décentralisation) complexifie ces dynamiques dans une région qui, du point de vue historique n'a pas toujours eu l'attention qu'elle méritait de la part des pouvoirs publics et ce depuis la colonisation. Le chapitre suivant aborde l'économie de cette histoire des politiques agricoles du temps de la colonisation jusqu'à aujourd'hui et leurs incidences socioenvironnementales dans le Sénégal intérieur.



## **Chapitre 2 : L'utilisation de l'espace et ses conséquences socioenvironnementales dans le Sénégal intérieur : le poids de l'histoire coloniale et post-coloniale**

---

A l'instar des autres états sahéliens issus de la colonisation française, le Sénégal a souvent pérennisé, au lendemain de son indépendance, les anciennes logiques coloniales qui faisaient souvent abstraction des spécificités locales. En témoigne la persistance du choix de la monoculture arachidière de rente, partout où elle est possible, au détriment des cultures vivrières qui permettent aux masses paysannes de subvenir à leurs besoins alimentaires. Dans un tel contexte, la région du Ferlo ainsi que les espaces faisant la transition vers le bassin arachidier, du fait de leurs caractéristiques physiques et sociales déjà évoquées dans le chapitre précédent, n'ont guère retenu l'attention des autorités pour une politique de mise en valeur rurale comme ce fut le cas dans d'autres régions du pays. Une marginalisation dans les décisions politiques qui a activement participé à l'isolement de la région. Cette situation n'est pas forcément négative dans la mesure où les aménagements ruraux n'ont pas été totalement absents, notamment à travers les forages et où l'absence de mise en valeur par l'agriculture a permis à l'élevage transhumant d'y perdurer. Dans ce contexte, la société peule, dominante dans la population, a pu s'adapter dans cet espace en ayant recours à la transhumance comme stratégie de maintien d'une activité d'élevage face aux contraintes biophysiques. Autour des campements permanents, le développement d'une petite agriculture vivrière en hivernage permet de subvenir aux besoins alimentaires. Au début des années 1950, les premières installations de forages pastoraux sont inaugurées dans le Ferlo, pas seulement pour venir en aide à une activité en proie à un milieu difficile, mais plutôt avec l'objectif de sédentariser – et de contrôler politiquement - les sociétés peules autour de ces aménagements hydrauliques (Santoir, 1983). Revenir sur l'histoire de ces dynamiques sociales et institutionnelles est nécessaire pour la compréhension des phénomènes d'occupation et d'utilisation de l'espace que nous avons aujourd'hui au Sénégal notamment entre le Ferlo et ses marges en direction du Bassin arachidier.

## 1. La politique et les stratégies coloniales d'exploitation des ressources agricoles et leurs conséquences dans l'occupation et l'utilisation de l'espace.

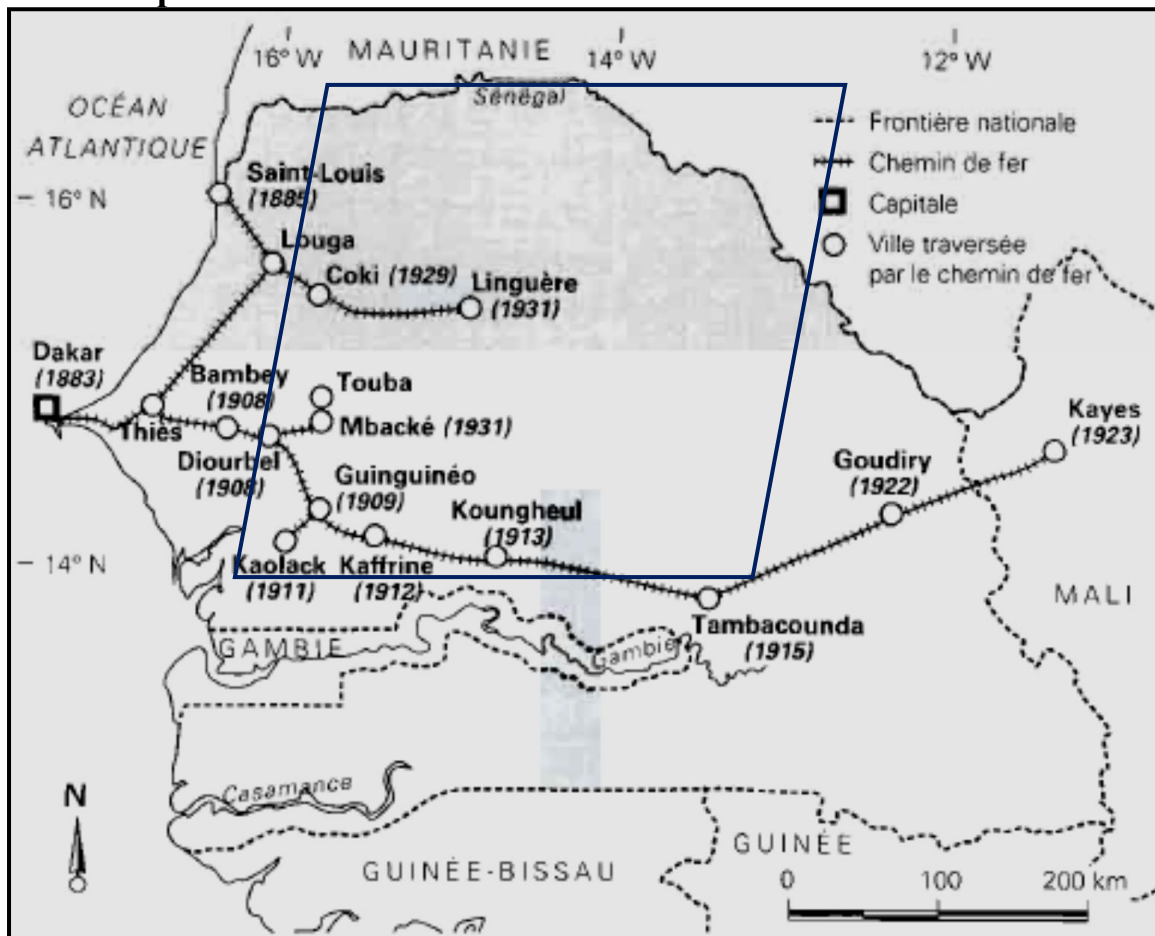


Figure 10 : L'établissement du chemin de fer au Sénégal (Source : Sidibé, 2005)

La politique coloniale avait réussi à mobiliser les meilleures terres pour des cultures de rente et d'exportation. Ce développement rapide de l'économie de traite basé sur des spéculations commerciales telle que l'arachide (*Arachis hypogaea*), plante originaire d'Amérique du Sud et introduite en Afrique par les trafiquants d'esclaves portugais en 1841 (Dia, 2009), a modifié de manière profonde l'occupation et l'utilisation de l'espace des campagnes sénégalaises. Il a aussi et surtout créé des pôles urbains côtiers et des escales d'échanges et de commerce à l'intérieur des terres, qui finiront par devenir de nouvelles polarités dans l'espace rural du Sénégal intérieur. Celles-ci vont donner naissance à de grandes villes côtières ou de l'intérieur du pays (Dakar, Saint-Louis, Diourbel, Thiès, Kaffrine, Kaolack, Tambacounda etc.). « *L'action coloniale a donc conduit à remplacer la configuration des villes-marchés précoloniales par une organisation macrocéphale dans laquelle un rang et une fonction sont attribués à chacun des centres. À chacune des zones*

*bioclimatiques est aussi assignée une vocation de production : activité pastorale en zone sahélienne, cultures céréalières, de rente et/ou de contre-saison en zone sahélo-soudanienne. L'indépendance [acquise] et les investissements des programmes de développement n'ont pas fondamentalement remis en cause ce modèle hérité » (Walther & Retailé, 2008) dont les conséquences sont toujours visibles au Sénégal.*

L'urbanisation s'est orientée vers le littoral au détriment de l'intérieur et a surtout été facilitée par la mise en place par les autorités coloniales de grandes voies et axes de communication au Sénégal, visant à réorganiser vers le littoral les courants de circulation (ligne ferroviaire reliant Dakar, Louga, Linguère et Saint-Louis), et dans la sous-région ouest africaine (Chemin de fer Dakar-Niger et Bénin-Niger) (Fig. 10) avec comme objectif principal l'acheminement des productions agricoles et minières de l'intérieur des terres vers la métropole en passant par les villes comptoirs établies sur la côte, « [jouant] *le rôle d'interface entre la métropole, dont elles sont souvent le prolongement littoral, et les [autres] colonies* » (Goerg, 2006). Tixier (1965), citant Gallieni, dit que l'objectif colonial était de « *mettre sur pied un vaste plan de pénétration sur la base du principe : utiliser d'abord les moyens existants qui sont en l'occurrence les deux grands fleuves : le Sénégal et le Niger* ». Par la suite, il fut assigné au rail le rôle d'« *épine dorsale de l'économie arachidière* » (Lesourd *et al*, 2004). Le long du réseau sénégalais vont se développer des escales qui vont polariser la traite de la graine ainsi que la distribution et la commercialisation de biens de consommation dans les zones les plus reculées du pays (Lesourd *et al*, 2004). Ces escales, dynamisées par l'activité des maisons de commerce qui s'y sont installées, vont donner naissance aux villes actuelles de l'intérieur du pays (Kaolack, Kaffrine, Diourbel, Louga, etc.). Ces nouvelles villes vont exercer un véritable attrait sur les populations des campagnes environnantes et servir finalement de base d'installation aux migrants dont certains ont quitté les villages et les campements où les productions agricoles ne permirent plus de maintenir un niveau de vie décent, pour venir y chercher essentiellement du travail ou faire du petit commerce. Ainsi, la mise en place de cette économie de rente a contribué à désagréger le tissu social pré-colonial avec une nouvelle division du travail induite par l'introduction d'une économie monétaire. Les rapports sociaux multiséculaires en ressortent bouleversés. La valeur du « travail » avait une forte symbolique sociale dans la mesure où elle permettait de relier les différents groupes sociaux (très hiérarchisés, des nobles jusqu'aux castés) par le biais d'un échange (en l'occurrence le troc) en cas de besoin alimentaire (céréales, bétails) ou d'équipements (outils

agricoles ou ustensiles). Dans un tel contexte social, la notion de profit ou de richesse est très relative et n'a aucune signification pécuniaire.

La nouvelle donne monétaire amène les groupes sociaux à redéfinir leurs rapports mutuels. La production est maintenant calquée sur le profit qui devra être réalisé. Et les hiérarchies ne sont plus sociales mais plutôt économiques. La ville devient ainsi le théâtre de cette désagrégation des liens sociaux et le cimetière des hiérarchies et normes sociales. Cet exode vers les centres urbains, nouvelles attractions des populations rurales en difficulté dans les campagnes, a connu des épisodes paroxysmiques durant les périodes de grandes sécheresses des années 1970 et 1980.

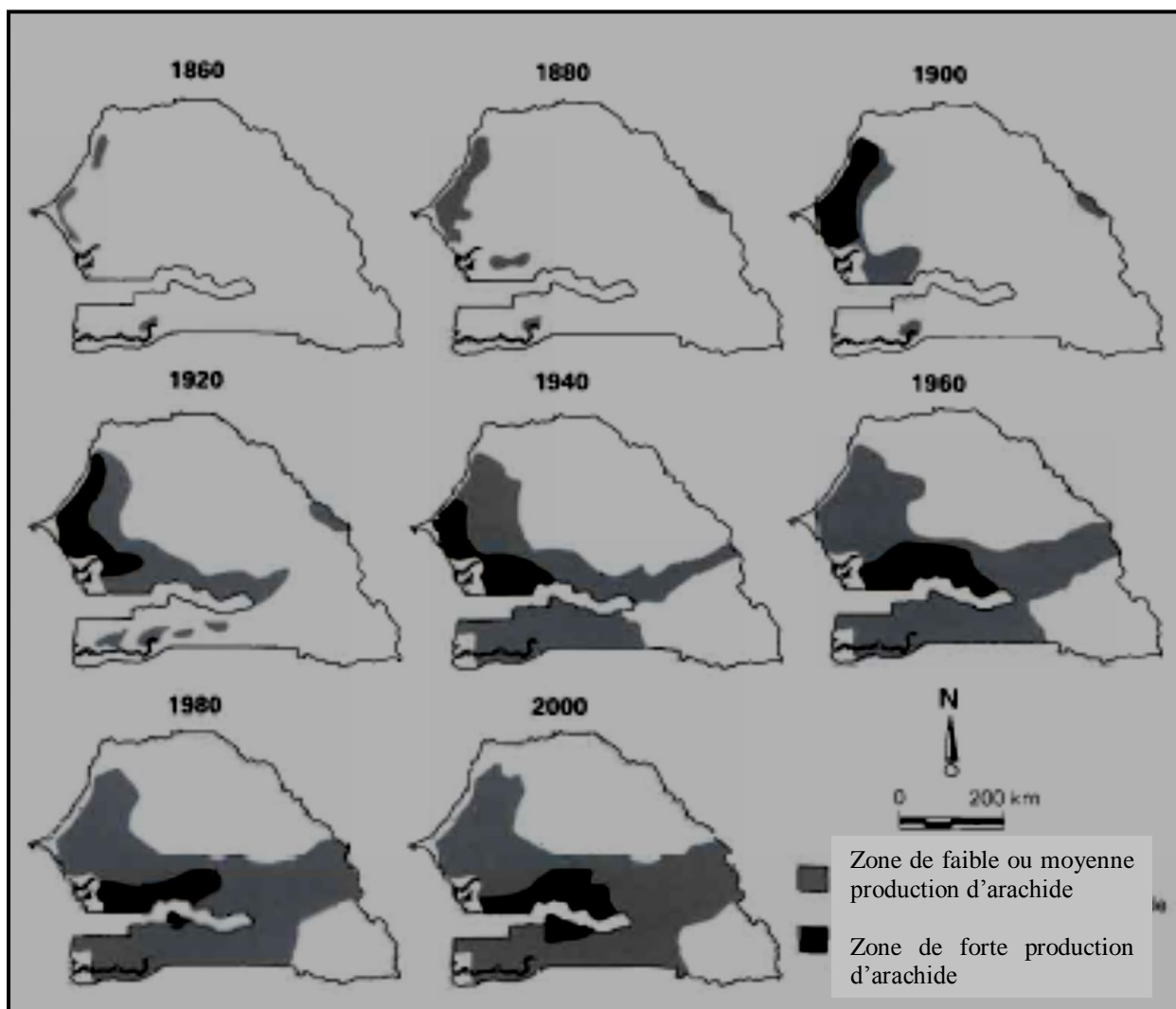
Du point de vue écologique, la mobilisation de nouvelles terres pour la production de l'arachide a surtout amené à des défrichements massifs et à la conquête de nouveaux espaces de cultures. A ce titre, le Ferlo, entité régionale qui émerge donc par défaut, a été « épargné » dans la mesure où son environnement a été jugé pauvre, peu fertile et hostile à tout établissement humain durable (Dia, 2009). En revanche, plus au sud, le Saloum, futur cœur du bassin arachidier, a vu sa savane arborée complètement défrichée. Cette dernière région avait retenu l'attention des autorités coloniales à cause de sa pluviométrie annuelle correcte, ses grandes réserves foncières et sa pédologie favorable à la culture arachidière. Le groupe social wolof qui, historiquement, vivait dans le Cayor (centre-ouest du Sénégal), s'est rapidement approprié cette spéculation arachidière. Le rapport qu'il avait avec l'espace et à la terre a ainsi beaucoup évolué devant les facilitations consenties par les autorités coloniales. Ici, il faut souligner le rôle joué par les *Mourides* dans cette colonisation des terres. Cette confrérie religieuse musulmane très versée dans le soufisme (islam mystique), fût fondée au Sénégal par Cheikh Ahmadou Bamba à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle. Elle est très active dans l'exploitation agricole de la terre assurée gratuitement par les adeptes ou *talibés* en quête du salut divin. Dans la confrérie *mouride*, le travail de la terre, tel que l'a décrit son fondateur, est avant tout une manifestation de piété. L'importance des exploitations agricoles *mourides* à travers le Sénégal, engendre des profits importants qui fondent aujourd'hui la puissance économique, politique et sociale de cette communauté religieuse au Sénégal. Mieux organisés à l'époque, les colonies *mourides*, à dominante ethnique wolof et originaire du Baol (région de Diourbel) ont été très actives dans la colonisation et les défrichements du bassin arachidier. Aujourd'hui encore, la plus grande exploitation agricole sénégalaise (40 000 ha) se trouve dans le Bassin arachidier et est gérée par les *Mourides*. Elle résulte de la déclassification d'une partie de la

forêt classée de Mbégué en 1991 par les autorités du pays et de son octroi au Guide de la confrérie *Mouride* (voir chapitre 11).

Ces exploitations agricoles wolofs avec une visée économique affichée ont été vues différemment par les autres groupes ethniques, tels les Mandingues ou les Sérères, qui ont souvent décrié les pratiques agricoles wolofs, jugeant qu'elles dégradait le milieu. Dès le départ, les Wolofs ont donc eu un rapport très particulier avec la terre dans cette partie du Sénégal qu'ils envisageaient comme un enjeu sociopolitique et surtout économique (Sidibé, 2005). Après des vagues de colonisation successives, un processus de territorialisation qui permit une nouvelle identification par rapport au terroir, est enclenchée. De simples migrants, ils sont devenus par la force de l'exploitation agricole et du développement économique de véritables acteurs du territoire.

Au départ localisé sur les terres peu productives du Cayor (Fig. 11), le front de l'arachide a gagné progressivement entre 1860 et 1900, la région du Sine Saloum. Entre 1920 et 1960, les superficies n'ont cessé de croître en direction des régions du sud qui jusque là étaient épargnées. En revanche, la colonisation agricole se détourna dans un premier temps du Ferlo, en raison des conditions déjà décrites. S'inscrivant dans cette dynamique impulsée par les autorités coloniales, les gouvernants, après l'indépendance, n'ont pas proposé de ruptures dans la politique agricole, espérant pouvoir fonder le développement économique sur les revenus dégagés par la production arachidière. Ainsi, depuis les années 1960, la course à la production massive a orienté le front de l'arachide en direction des terres neuves du Sénégal oriental et vers les systèmes socioécologiques de la Casamance et du Fouladou Pakao où « *la conquête de la forêt classée de Pata* » (Sidibé, 2005) reste un exemple édifiant sur la dégradation d'un milieu induite par les mauvaises pratiques agricoles notamment par le « tout à l'arachide ».

La communauté *mouride* s'est particulièrement investie dans cette colonisation des terres par l'établissement de « *daaras* » qui sont de véritables colonies de paysans travaillant sous les directives d'un marabout, guide spirituel. Aujourd'hui encore, elle est très dynamique dans l'agriculture. L'exemple de Khelcome est édifiant à ce sujet. Sa mise en culture a amené à de défrichements très importants et à la disparition de la savane arborée. Elle montre par ailleurs, le pouvoir et le rôle des marabouts dans la culture de l'arachide et des stratégies qu'ils mettent en place pour favoriser la colonisation de nouvelles terres.



**Figure 11 : Evolution des superficies destinées à la culture arachidière entre 1860 et 2000 (Source : Sidibé, 2005)**

## **2. Le Ferlo et ses marges sud, un espace longtemps marginalisé**

La politique coloniale a longtemps maintenu le Ferlo à la marge. L'intervention des autorités coloniales n'y date que de la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle et concernait l'hydraulique rurale par l'aménagement des forages à usage pastoral. Ces aménagements montrent qu'il y avait une certaine reconnaissance implicite du territoire à travers ses potentialités pour le développement de l'activité d'élevage. Par ailleurs, ils ont participé à la structuration de l'activité de transhumance sur tout le territoire. Ce volet est complété par la division du territoire en unités pastorales pour les usages de la ressource hydrique permettant ainsi de contrôler l'activité de la transhumance. Globalement une politique qui visait (en vain) la maîtrise des déplacements des Peuls dans ce vaste espace où l'absence d'exploitations

agricoles clairement identifiées spatialement assurait une certaine liberté de mouvement et d'accès à la ressource fourragère. La mise en place des réserves pastorales avait l'ambition d'assurer définitivement la disponibilité de la ressource pour le bétail.

La forte poussée agricole dans le sud du Ferlo et la succession des années de sécheresse ont épuisé les terres amenant les sociétés à faire refluer le front agricole vers le sud en direction de la Casamance et vers le Sénégal oriental où la péjoration de la pluviosité a été moins durement ressentie.

Les observations de Santoir (1983) montraient aussi que le sud du Ferlo n'était pas épargné par ces mouvements de populations : « *le sud Diolof, ainsi que le Sine, connaissent actuellement une évolution rapide qui pourrait, dans un proche avenir, apporter des changements radicaux tant au niveau du peuplement que de l'exploitation de ces régions* ». L'évolution du peuplement du Ferlo a confirmé cette observation. En effet, depuis quelques années, à la faveur de l'amélioration de la pluviosité, des colonies *mourides* commencent à s'installer non sans situation conflictuelle dans les communautés rurales du Ferlo sud (Barkédji) avec les mêmes logiques que celles antérieurement mises en place lors de la colonisation du Bassin arachidier. Le poids politique et économique de cette confrérie est un facteur déterminant dans cette installation, bénéficiant souvent, de la part des autorités, des terres. Un traitement que les Peuls du Ferlo ont décrié en 2005, lorsque les autorités sénégalaises avaient décidé de déclasser une partie de la réserve sylvopastorale de Doli en faveur de la communauté *mouride*. Les Peuls avaient alors vivement protesté contre ce projet de déclassement qui finalement fut annulé. L'augmentation des surfaces de cultures dans le Ferlo pose de sérieux problèmes au développement du pastoralisme. Des menaces qui amènent les sociétés rurales au développement de nouvelles stratégies d'occupation de l'espace. Ce contexte est aussi marqué par le débat en cours (au Sénégal) sur la mise en place d'un foncier rural qui réglerait définitivement tous ces problèmes.

### **3. Les politiques et stratégies de gestion des espaces agricoles et pastoraux de l'Indépendance à nos jours**

Cette sous-partie est consacrée aux politiques et stratégies agricoles définies par l'État au niveau national et ses incidences socioenvironnementales dans le Sénégal intérieur, en mettant un accent particulier sur toute la région qui va du Ferlo au nord du Bassin arachidier.

### **3-1- Entre 1960 et 1980 : L'omniprésence du pouvoir dans tous les échelons de la politique agricole**

Dès son accession à l'indépendance, le Sénégal, par mimétisme, a fait le choix du « maintien » des logiques coloniales de l'économie de rente malgré les tentatives de développement d'une politique d'industrialisation. L'exportation des ressources naturelles (produits agricoles et halieutiques, minerais, etc.), sous forme de productions brutes ou faiblement transformées, est encore à la base de l'activité économique. *« Cette période est marquée ainsi par une très forte implication des États comme acteurs incontournables et promoteurs du développement du secteur agricole. L'État producteur, nourricier et responsable du développement avait besoin de disposer des ressources pour mieux asseoir ses politiques publiques. »* (Dièye, 2008)

Les programmes de développement agricoles définis par l'État placent l'arachide au premier plan. Un choix stratégique qui devait être la principale source de devises pour l'Etat et de revenus pour les coopératives paysannes et les exploitations agricoles familiales. Ce choix politique de développement rural fut l'un des principaux leviers de l'extension spatiale de la monoculture arachidière (Sidibé, 2005) et de l'amélioration de *« sa productivité destinée à compenser les pertes financières liées à la suppression des tarifs préférentiels en 1964 par la France »* (Faye, 2011) pour ses anciennes colonies. Cette politique s'est appuyée sur des structures que l'Etat avaient mises en place et qui devaient servir de base d'encadrement, de suivi et de financement des paysans. C'est dans ce contexte que la Banque de Développement du Sénégal (BDS) qui deviendra plus tard la BNDS à été mise en place pour fournir des crédits à court et moyen termes aux producteurs agricoles. Au niveau de l'encadrement et de la commercialisation des productions, deux structures vont être créées pour jouer ce rôle. Il s'agissait de l'OCA (Office de Commercialisation Agricole) et les CRAD (Centres Régionaux d'Assistance au Développement). L'OCA était chargé de commercialiser les productions agricoles et d'approvisionner les paysans en matériels agricoles.

Les CRAD ont participé à la dynamique de mise en place des coopératives paysannes et ont joué finalement le rôle de trait d'union entre l'OCA et ces dernières. Notamment dans *« l'organisation des achats, du transport des graines, de la gestion du capital semencier et de sa vente à crédit aux producteurs, en plus de recenser les besoins des coopératives en matériel et engrais, et de récupérer ultérieurement les dettes en nature pour le compte de l'OCA »* (Sakho Jimbira, 2009). Le choix de rationalisation des dépenses publiques et de l'efficacité politique entreprises ont été les motifs de la fusion de l'OCA et des CRAD

intervenue en 1966 avec la création de l'ONCAD (Office National de Coopération et d'Assistance pour le Développement). Les missions qui lui furent dévolues étaient d'assurer la collecte et la commercialisation de la production d'arachide ainsi que l'approvisionnement en intrants et équipement agricole aux producteurs. « *L'ONCAD utilisait les coopératives comme interlocuteurs dans les villages car lui permettant de diffuser et de collecter tout aussi efficacement les semences et les graines d'arachide* » (Lombard, 1990).

Cette première phase de politique agricole a totalement ignoré le sous-secteur de l'élevage qui se trouva ainsi relégué au second plan. C'est seulement à partir des années 1970 que « *des initiatives sont prises pour s'attaquer aux questions d'alimentation du bétail, d'intensification de la production de viande, de gestion des espaces pastoraux, d'amélioration génétique* » (Faye, 2011). Elles ont vu la mise en place de la SODESP (société de développement sylvopastoral) dans le Ferlo, de la SODEFITEX dans le Sénégal oriental et de la SODEVA dans le bassin arachidier. Les stratégies d'intensification de l'élevage des petits ruminants, l'embouche bovine, l'introduction de nouvelles races (à viande et à lait) et le développement du *ranching* (notamment celui de Doly) sont autant d'actions entreprises pour remédier à la situation de précarité et de vulnérabilité à laquelle le sous-secteur de l'élevage était confronté. Une stratégie politique qui devait par ailleurs, revitaliser la région du Ferlo longtemps oubliée dans les politiques.

#### **Les races bovines présentes au Sénégal –**

Les races locales de bovins exploitées au Sénégal sont le zébu *Gobra*, un bovin de grande taille à bosse (protubérance musculo-graisseuse) et des cornes en forme de lyre que l'on rencontre dans tout le Ferlo et sur une bonne partie de la bande sahélienne. Ensuite, le *N'dama* (littéralement petite taille en wolof), une race rustique et trypano-tolérante (résistante aux effets des piqûres de la mouche tsé-tsé) présente en Casamance et dans le Sénégal oriental. Et enfin, le métis du *Gobra* et du *N'dama*, connu sous le nom de *Diakoré*. Parmi les races introduites dans le cadre de la politique d'amélioration des techniques d'élevage, nous avons le *Goujerat*, une race indienne bien acclimatée au Sénégal et que les Peuls apprécient. Les autres races introduites sont le fait de riches fermiers privés qui s'inscrivent dans une logique d'exploitation moderne de production de lait et de viande. Il s'agit principalement des races européennes telles que *la Montbéliarde* et *la Holstein*.

Ces premières tentatives n'ont guère rencontré l'adhésion des populations concernées et se sont traduites par des échecs. Ceux-ci ont été aggravés par la sécheresse de 1973 qui avait durement frappé les pays sahéliens par des baisses record de la production agricole et un cheptel en grande partie décimé. Ce déficit de production agricole vivrière conséquent qui résulta de la politique agricole et économique très extravertie qui a été menée (Amin, 1971) a créé une situation de déséquilibre alimentaire sans précédent. La solution retenue pour y remédier a été l'importation massive de produits céréaliers, principalement le riz, base alimentaire de la population tant rurale qu'urbaine. Ainsi au niveau national, le pays a vu accroître ses importations de riz depuis la fin des années 70, passant de 250 000 T à près de 800 000 T aujourd'hui (ANSD, 2009). Ce qui est paradoxal au vu des potentialités (disponibilité de terres fertiles sur les différentes vallées fluviales) de développement d'une riziculture qui pourrait auto-suffire le pays, comme en témoigne le nombre de bassins fluviaux présents sur le territoire. Mais les choix politiques des nouveaux gouvernants, comme évoqué plus haut, ne furent qu'un prolongement du vieux système d'extraversion et d'exploitation des colonies qui devaient rester de simples pourvoyeurs de matières premières qu'elles soient minières ou agricoles. L'une des principales conséquences d'une telle logique a été la modification complexe et profonde des habitudes alimentaires locales induite par l'abandon progressif des spéculations vivrières au détriment des cultures de rente qui ont fini par exacerber les problèmes alimentaires que la zone a connus (Gado, 1993 ; Dubresson & Raison, 2003).

### **3-2- Un tournant politique au début des années 1980 : les programmes d'ajustement structurel et le désengagement (forcé) de l'Etat**

La grande crise socioéconomique, politique et écologique enregistrée durant les décennies 1970 et 1980 dans les pays sahéliens, a été l'une des raisons de la mise en place des Programmes d'Ajustement Structurel (PAS) imposés par le FMI et la Banque mondiale avec pour objectif principal un rétablissement des équilibres au sein des économies nationales. Le rôle des pouvoirs publics dans les choix d'orientation de politique générale a été singulièrement restreint par les institutions financières internationales. L'analyse économique classique était que « *l'hégémonie de l'État constituait un frein à l'essor économique. Au volontarisme de l'État s'est substitué la volonté des bailleurs de fonds avec la mise en place des Programmes d'ajustement structurel* » (Dièye, 2008)

Les premières mesures d'ajustement économique concernant le secteur agricole vont dans le sens du désengagement de l'État (avec le slogan « *Moins d'État, mieux d'État* ») et de

la création d'un climat économique capable de faire de l'agriculture une activité économiquement rentable pour des acteurs privés. Elles devraient s'accompagner d'une politique visant à privatiser ou restructurer les entreprises publiques (Sakho Jimbira, 2009), tout en recherchant la responsabilisation des agriculteurs, des éleveurs et des différents acteurs, la libéralisation des prix et des marchés, la décentralisation politique et l'incitation à l'investissement privé en milieu rural. Par ailleurs, ces politiques ont mis fin « *aux ambitions d'autosuffisance alimentaire déclinées à l'échelle nationale. L'autosuffisance alimentaire nationale va dès lors laisser la place à la sécurité alimentaire, celle-ci étant atteinte lorsque la situation d'offre de biens alimentaires correspond à la demande globale de biens alimentaires* » (Hrabanski, 2011).

Cette période marque un tournant avec la mise en place de programmes spécifiques prenant en charge le sous-secteur de l'élevage jusque là négligé dans les politiques de développement agricole. Le programme de développement de l'élevage dans le Sénégal oriental (PDESO) a vu le jour dans ce contexte. Au demeurant, les effets escomptés n'ont pas été au rendez-vous. Le développement de la filière laitière comme celle de la viande et des autres produits issus de l'élevage, a été entravée par la crise économique issue de la dévaluation du Franc CFA intervenue en 1994. Les conditions climatiques très aléatoires de cette décennie ainsi que la faible adhésion des populations rurales concernées ont été aussi des éléments déterminants dans cet échec.

Les choix politiques et stratégies agricoles liés aux programmes d'ajustement structurel n'ont donc pas permis de réduire durablement et efficacement la pauvreté en milieu rural et d'enrayer le déficit de la balance commerciale des produits alimentaires et le recours à l'importation de produits alimentaire notamment le riz devient de plus en plus important (LOASP, 2004). La question de l'autosuffisance alimentaire reste ainsi un vieux rêve qui semble irréalisable depuis des décennies de politique.

### **3-3- La nouvelle orientation politique**

L'agriculture constitue avec l'élevage la première activité économique en zone rurale sénégalaise. Elle contribue d'une manière assez significative à la formation du produit intérieur brut (PIB) et occupe une large part de la population active (Sakho Jimbira, 2009). Pour ne plus reproduire les erreurs du passé, le Sénégal s'est doté depuis 2009 d'un outil législatif, la Loi d'Orientation Agrosylvopastorale (LOASP) qui définit le cadre d'évolution des secteurs concernés et le statut socioprofessionnel des producteurs, même s'il faut

reconnaitre que « *les politiques agricoles et autres lois d'orientation agricole sont devenues le champ de compromis idéologiques qui transparissent dans les visions, c'est-à-dire dans les constructions prospectives du secteur agricole* » (Goura Soulé, 2008). L'avancée significative notée dans la mise en place de la LOASP se traduit par la décision des pouvoirs publics de réformer le foncier rural et de mettre en place un Plan National de Développement de l'Élevage (PNDE), en concertation avec les collectivités locales et les organisations de producteurs concernés dans le cadre de la politique de décentralisation. Un programme somme toute ambitieux qui devrait permettre de redéfinir les espaces sylvopastoraux et de réconcilier *in fine* l'activité pastorale et l'agriculture et de leur meilleure association.

**Article 22 :**

*« La définition d'une politique foncière et la réforme de la loi sur le domaine national constituent des leviers indispensables pour le développement agro-sylvopastoral et pour la modernisation de l'agriculture. La politique foncière repose sur les principes suivants : la protection des droits d'exploitation des acteurs ruraux et des droits fonciers des communautés rurales, la cessibilité encadrée de la terre pour permettre une mobilité foncière favorisant la création d'exploitations plus viables, la transmissibilité successorale des terres pour encourager l'investissement durable dans l'exploitation familiale, l'utilisation de la terre comme garantie pour l'obtention du crédit. »*

Extrait de la LOASP, 2004

Cependant des inquiétudes demeurent encore et sont relatives à la poursuite des activités pastorales dans le cadre de la redéfinition du foncier rural qui, à terme, fera apparaître de nouveaux enjeux concernant l'accès aux ressources pour le bétail. « *La complexité de la question foncière se traduit par la multiplicité des enjeux qui la composent et des dynamiques qui la traversent. L'évolution des contextes socio-économiques et politiques nationaux et du contexte international fait apparaître de nouveaux défis fonciers, dont l'ampleur reste encore incertaine* » (Brasserie, 2008). En effet, cette problématique foncière bien prise en compte dans le cadre de cette nouvelle loi, ne fera qu'augmenter la pression sur les terres et sur les ressources naturelles dans la mesure où l'élevage risque d'être le parent pauvre dans cette mise en valeur. Dans le Ferlo, la forte tradition des populations à la mobilité avec le bétail, sera incompatible avec cette loi foncière. Car un nouveau découpage foncier impliquera une sédentarisation des sociétés et de l'activité d'élevage.

Sur un autre plan, les petites exploitations familiales risquent de connaître le même sort. Les projections démographiques montrent une augmentation de la population à l'horizon

2020 – 2030. Malgré les migrations vers les villes, le risque d'un émiettement des propriétés existe encore. La politique de décentralisation entamée depuis les années 1960 devait ouvrir vers une gestion foncière au niveau local, notamment à l'échelle de la communauté rurale. Ainsi les collectivités locales devront-elles pleinement assurer les compétences qui leur sont transférées notamment en matière foncière. Le problème aujourd'hui est que ce transfert est souvent théorique. Car « *les dynamiques de décentralisation se révèlent être des dynamiques institutionnelles de création, par le haut, d'entités territoriales dont la légitimité foncière reste entièrement à construire, face à des territoires villageois ou inter-villageois qui, eux, font localement sens* » (Brasserie et al, 2008). L'implication de l'ensemble des acteurs à la base est nécessaire pour la réussite d'une telle mission.

Le secteur agricole sénégalais reste dominé par une agriculture de subsistance marquée par son caractère extensif et sa très faible productivité et un élevage aussi à caractère extensif et itinérant également peu productif. En effet, bien qu'occupant 60 % de la population active, le secteur agricole (agriculture et élevage) ne contribue que faiblement au PIB, environ 15 %. L'élevage reste toujours étroitement et historiquement dépendant des activités agricoles.

Les logiques politiques et économiques ont toujours mis l'accent sur l'agriculture au détriment de l'élevage. Un choix qui, non seulement a rompu les équilibres entre ces deux bases des économies paysannes mais a aussi inscrit les paysans et les pasteurs dans un système économique qu'ils ne maîtrisent pas. Cette dernière option a été un facteur important dans l'extension des surfaces cultivables au détriment des réserves pastorales et des forêts classées. Cet accroissement des terres cultivables notamment dans le sud du Ferlo, ne s'est malheureusement pas traduit par une intensification agricole mais plutôt par la persistance de stratégies de production extensives peu productives, très demandeuses en terres et participent aussi à la dégradation des écosystèmes. Il est aussi source de tensions et conflits entre les éleveurs et les paysans. Les questions qui surgissent aujourd'hui portent sur la problématique de la prise en charge des besoins alimentaires d'une population fortement croissante à l'intérieur du pays comme sur le littoral, de la préservation des écosystèmes ainsi que d'une nouvelle refondation des systèmes socioécologiques qui limiterait les impacts négatifs sur l'environnement du développement des activités d'élevage et d'agriculture. En effet, les pratiques agricoles extensives des sociétés rurales (éleveurs et paysans) du Ferlo ou du Sahel en général, ont toujours été vues comme dégradant les écosystèmes déjà confrontés à la

péjoration de la pluviosité. Un débat qui, comme nous le verrons dans le chapitre suivant, n'est pas encore tranché.

### **Chapitre 3 : La question de la dégradation des écosystèmes sahéliens en rapport avec l'extraversion des modes de production agricoles et la pluviosité**

« Spontané ou sélectionné, dégradé ou reconstruit, le manteau végétal qui sert de cadre aux sociétés africaines répond à toutes les nuances de la notion d'environnement »

Pélissier, 1980

Dans les lignes qui suivent, l'étude consacrée à la question de la dégradation des écosystèmes est centrée sur une contextualisation régionale (Sahel ouest africain) avant de se focaliser sur les exemples locaux sénégalais. Cette démarche permet d'appréhender les mécanismes de cette dégradation à petite échelle (niveau régional) et les conséquences locales de ceux-ci.

La production scientifique et littéraire relative à la dégradation des écosystèmes dans le Sahel est très importante et diversifiée (Charney & Stone, 1975 ; Bonfils, 1987 ; Tucker *et al.*, 1994 ; Swift, 1996 ; Nicholson, Tucker & Ba, 1998 ; Nicholson *et al.* 1998 ; Batterbury & Warren, 2001 ; Hermann & Hutchinson, 2005 ; Sivakumar, 2006 ; Nicholson, 2011). Chasse gardée de la science coloniale avant les indépendances, la sous-région a, depuis la fin des années 1960, retenu l'attention de la recherche internationale qui a souvent emprunté aux tropicalistes et aux africanistes formés dans le giron des universités et des grandes écoles des métropoles des notions, sans toutefois leur attribuer toujours le même sens. Ainsi en est-il des concepts de « dégradation » et de « désertification », discutés ci-après.

Le Sahel doit cet intérêt de la recherche internationale aux catastrophes naturelles et aux crises politico-économiques et sociales qui l'ont frappé (grandes sécheresses, disettes et famines, guerres, instabilité politique, etc.) et ont fini par le transformer en un véritable « laboratoire d'expériences scientifiques » pour les sciences humaines et sociales<sup>11</sup> comme pour les sciences de l'environnement. Une formule de Cour (2001) résume bien cela quand il assimile le Sahel à « la quintessence des problèmes de l'Afrique subsaharienne ». Aussi les études qui y ont été réalisées portent-elles généralement sur des thèmes liés à la désertification et à la dégradation des écosystèmes. Ces différentes thématiques sont ainsi devenues les questions majeures au Sahel et la problématique environnementale du XXI<sup>e</sup> siècle (Banque Mondiale, 2002). Pourtant, les premiers indices de ce qui allait être identifié comme *désertification* remontent au début du siècle dernier. Ainsi, en 1935, à la suite d'un voyage

---

<sup>11</sup> Sur un autre plan, Jean Copans (2011) dira même que l'Afrique noire fut le paradigme fondateur des sciences sociales françaises et francophones du développement (1920-2010).

dans les colonies anglaises et françaises d'Afrique de l'ouest, le géographe britannique Stebbing (1935, 1937, 1938) constatait déjà, avec un prisme « *exagérément pessimiste* » (Aubréville, 1973) un « *débordement du Sahara* » (Stebbing, 1935) et montrait du doigt la déforestation, conduisant inéluctablement à une érosion et à un appauvrissement des sols. Ses observations mettent alors en évidence l'effet des tempêtes de sables sur les sols nus dégradés dans le nord du Niger (région de Tahoua), le raccourcissement des périodes de jachères et la progression de l'agriculture sur brûlis. Il conclut à une avancée inexorable du désert. Quelques années plus tard, la publication de l'ouvrage *Climats, forêts, et désertification de l'Afrique tropicale* de l'ingénieur des eaux et forêts français André Aubréville (1949) met en exergue, « *le processus de changement de végétation menant à des sols dégradés et/ou dénudés en Afrique tropicale* ». Il dira, dans ce sens, que « *ce sont des vrais déserts qui naissent sous nos yeux, dans des pays où il tombe annuellement de 700 à plus de 1500 mm de pluie* ».

L'auteur propose alors le concept de *désertification* pour argumenter et étayer ses observations. Très utilisé depuis lors, le concept est chargé d'équivoque, puisqu'investi de sens qu'il n'avait pas au départ. Les nombreuses définitions, plus de 130 selon Mainguet (1990), l'ont rendu purement polysémique. Aujourd'hui, les chercheurs se sont accordés sur le fait qu'il est devenu un « concept-tiroir » ambigu, méritant une étude critique dans la mesure où la plupart des affirmations qu'il contient se sont révélées alarmistes (Batterbury & Warren, 2001). Pour Bennouna (2003), « *ces définitions multiples [du concept de désertification] s'expliquent par la complexité du phénomène observé, l'abondance de ses facettes et de ses degrés, la non connaissance de ses limites précises, la difficulté de mesurer le degré de son irréversibilité, la difficulté de le combattre* » (Bennouna, 2003). Ainsi, il nous est paru intéressant de faire une étude critique de ce concept et voir le bien-fondé de toutes les acceptions qui lui sont prêtées.

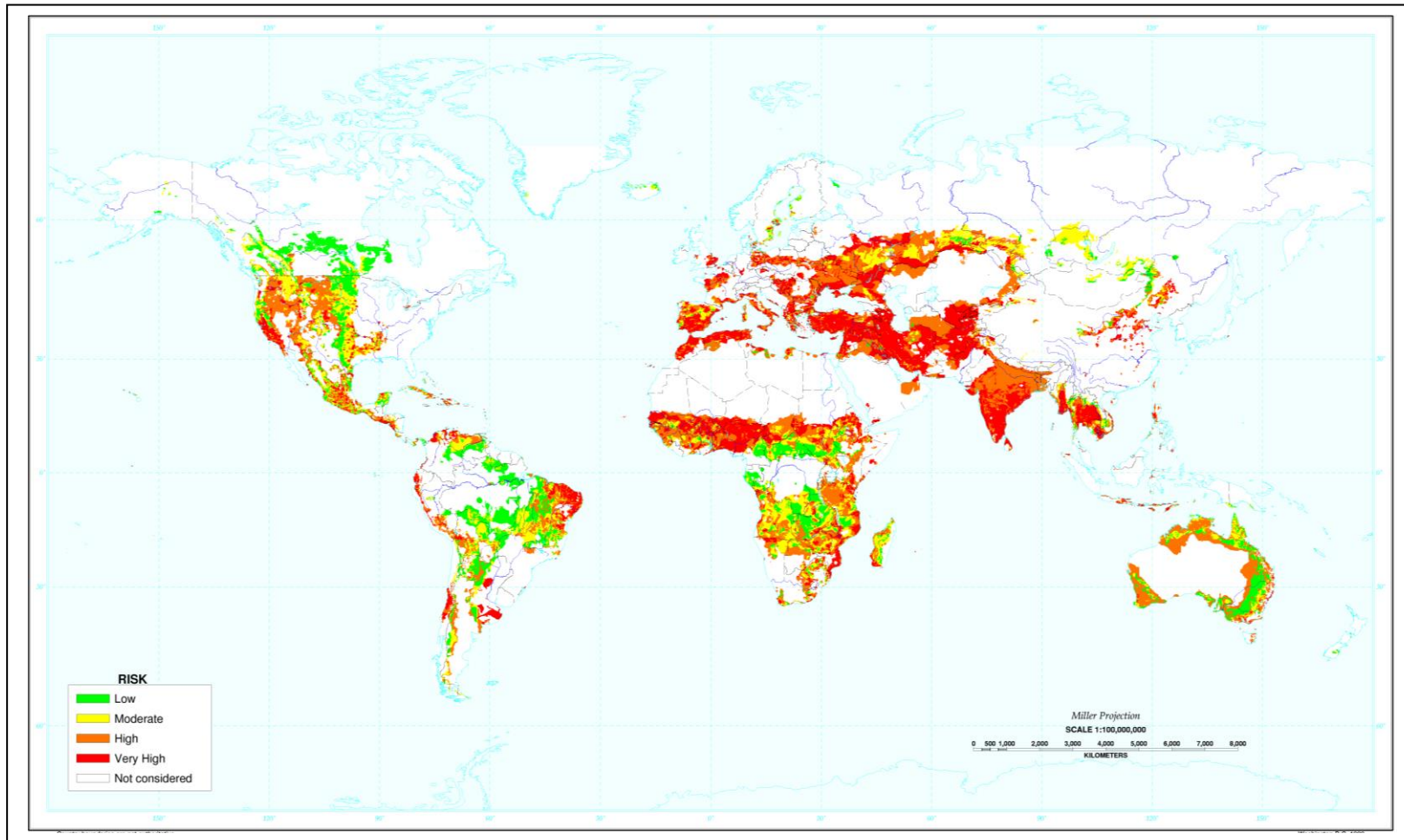


Figure 12 : Le risque de désertification d'origine anthropique à l'échelle mondiale (Source : Tobler *et al.*, 1995)

# **1. Désertification, dégradation, résilience, adaptation : des notions en discussion**

## **1.1. La désertification, une notion issue de la science coloniale**

Si la désertification est devenue un terme difficile à définir aux yeux des chercheurs, c'est surtout lié au fait que le concept englobe un ensemble de processus de transformation biophysique (Rozanov, 1982 ; Dregne & Chou, 1993) difficiles à cerner partant de la sécheresse jusqu'à la dégradation des écosystèmes naturels qui posent de sérieux défis aux pays concernés (Batterbury, 2001) qui sont, pour le cas du Sahel, dans leur grande majorité très pauvres et démunis. D'autres le considèrent exclusivement comme le résultat d'une transformation physique (Ahmed & Kassas, 1987 ; Mainguet, 1994, Warren & Agnew, 1988). Le processus de transformation correspond à une intensification progressive des changements biologiques et physiques des écosystèmes arides et semi-arides. Le résultat de cette transformation est l'apparition des traits désertiques - résultant des changements - là où ils n'existaient pas auparavant (Zonn, 1978).

Comme vu précédemment, la littérature scientifique est riche en définitions et en approches du concept de désertification (Aubréville, 1949 ; Rozanov, 1977 ; Dregne, 1983 ; Nicholson *et al.* 1998; Warren, 2001). A ce niveau de l'analyse, il y a lieu de distinguer une différence fondamentale entre la production scientifique coloniale sur la question et la position de la communauté scientifique au lendemain des indépendances des Etats sahéliens de l'Ouest africain. En effet, les ingénieurs forestiers coloniaux mirent plus l'accent sur le rôle de l'anthroposystème où « *l'indigène* » reste le principal élément perturbateur du fait de la non maîtrise de ses activités agricoles et pastorales qui ont un impact négatif sur les milieux naturels et contribuent ainsi à leur dégradation. La science de l'après-indépendance est plus « prudente » dans la mesure où elle montre que cette action anthropique est mineure face à la longue tendance « d'assèchement » (Warren, 2001) que le Sahel connaît et pense qu'elle constitue le résultat de processus naturels extrêmes (grandes sécheresses, baisse de la pluviométrie). La science coloniale passe le relais aux programmes internationaux ou régionaux (CILSS), aux Organismes Non Gouvernementaux (ONG) et aux programmes de recherche qui ont fini par organiser une véritable activité économique autour de cette question en drainant des financements très conséquents bien que les véritables objectifs de leurs études

et l'applicabilité ou la valorisation des conclusions qui en découlent sont toujours matière à débat.

La science coloniale était volontiers culpabilisante envers les pratiques des sociétés rurales indigènes qu'elle considérait comme dégradant l'environnement. Aussi retrouve-t-on ces positions dans les définitions de cette époque. En effet, pour Lavauden (1927) « *la désertification [...] est purement artificielle. Elle est uniquement le fait de l'homme. Elle est d'ailleurs relativement récente et pourrait être combattue et enrayée* ». Plus globalement, Fairfield Osborn (1948) souligne « *la détérioration des ressources naturelles de la planète par l'action des hommes de plus en plus nombreux* ». Développant une position moins négative envers les pratiques des sociétés rurales sahélienne et soudanienne sur leur environnement, Aubréville (1949) montre que la « *transformation des terres cultivables en désert [est] provoquée par l'érosion des sols, celle-ci étant directement liée à l'activité humaine* » (Aubréville, 1949). Par ailleurs, il a souligné, en particulier, l'intérêt porté par ces sociétés aux arbres et aux multiples usages que l'on peut en tirer.

Au lendemain de la grande sécheresse de 1973 dans le Sahel qui avait mobilisé la communauté internationale, les études sur les interactions entre les sociétés humaines et leur environnement ont connu un regain chez les scientifiques, de même que l'étude des conséquences des sécheresses sur les milieux biophysiques. C'est dans ce contexte que voit la naissance de plusieurs organismes et programmes de recherche dédiés à la question, que le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE, 1977) définit la désertification comme : « *The diminution or destruction of the biological potential of land which can ultimately lead to desert-like conditions* ». Cette position de la communauté scientifique internationale reprend ainsi une partie des thèses d'Aubréville, en montrant que l'explication par le facteur anthropique passe au second plan, sans toutefois disparaître. Pour le pédologue russe Rozanov (1977), la désertification est « *un processus naturel ou anthropique d'un changement irréversible du sol et de la végétation des terrains arides allant jusqu'à la diminution de la productivité biologique. Dans les cas extrêmes, ce processus peut mener jusqu'à une désintégration totale du potentiel biotique et la transformation du territoire en désert* » (Rozanov, 1977). La position de l'agronome Harold Dregne est plus critique à l'égard de la responsabilité humaine dans le processus de désertification quand il le définit comme : « *L'appauvrissement des écosystèmes terrestres sous l'impact de l'homme. C'est un processus de détérioration de ces écosystèmes qui peut être mesuré par la réduction de la*

*productivité des plantes désirables, l'altération de la biomasse et de la diversité de la micro et macrofaune et flore, accélérée par la détérioration des sols ; il accroît les risques pour l'occupation humaine » (Dregne, 1983).*

Ces deux positions ont été reprises et précisées par la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (UNCCD), issue des conclusions de la Conférence de Rio de 1992 et mise en place en 1994, qui a finalement proposé une définition assez globale qui montre que les causes du phénomène sont globalement liées à l'action anthropique et à la variation du climat à l'échelle de la planète : « *la désertification est la dégradation des terres et de la végétation, l'érosion des sols et la perte de la couche arable et des terres fertiles dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches, phénomènes résultant essentiellement de l'activité humaine et des variations climatiques* » (UNCCD, 1996).

Cette problématique de la désertification et de la dégradation des écosystèmes reste une des préoccupations qui continuent encore à mobiliser la communauté scientifique mondiale. Récemment, l'intrusion des ONG, surtout dans le cadre du Fonds pour l'Environnement Mondial a fait évoluer le débat dans les pays pauvres notamment ceux de la sous-région sahélienne où la problématique de la dégradation de l'environnement est maintenant au cœur des politiques de développement économique (aux niveaux régional et national dans un contexte mondial marqué par les débats sur des préoccupations environnementales notamment le changement climatique). Cette arrivée des ONG et des institutions internationales dans le champ de la désertification se traduit aussi par une certaine médiatisation du phénomène avec des clichés controversés qui ne correspondent pas toujours à la réalité du terrain. Ainsi, comme le souligne Nicholson (2011), « *les questions pertinentes ont été assombries par la controverse, la désinformation, et une grave pénurie de données et d'études scientifiques rigoureuses* ».

Quoiqu'il en soit, et c'est là une évolution fondamentale, la désertification n'est plus exclusivement un processus lié aux mauvaises pratiques agricoles des paysans et pasteurs sahéliens (Prince *et al.* 1998; Anyamba & Tucker, 2005; Nicholson, 2005). Elle est avant tout, un risque planétaire (Fig. 12). Les pays riches industrialisés sont autant menacés que les pays pauvres ou émergents. La figure 12 montre que ce phénomène est plus aigu dans le continent asiatique (où la Chine, l'Inde, le Proche-Orient et les pays issus de l'ex-Union soviétique présentent les risques les plus forts). En Europe, c'est au niveau de la péninsule ibérique et dans le nord-ouest de la France que le risque lié à l'action anthropique est plus élevé. Alors que dans le continent américain, le Nordeste brésilien et la façade ouest des Etats-Unis sont

les régions les plus concernées. Ce qui démontre par ailleurs que la situation qui prévaut dans le Sahel n'est pas si alarmante comme cela transparait dans certaines études. Pour Ozer *et al* (2010), l'exagération actuellement de la situation sahélienne est liée au fait que « 88 % des études scientifiques publiées sur la désertification au Sahel entre 2000 et 2005 dans la littérature à diffusion internationale ont été réalisées par des chercheurs américains ou européens qui, le plus souvent, travaillent à distance sans tenir compte de la situation socio-économique des populations locales ». Le chiffre de 88 % paraît étonnamment précis et, sans vouloir défendre à tout prix la discipline, l'examen de la bibliographie géographique internationale montre qu'elle ne manque pas de publications critiques par rapport à la théorie de la désertification et s'appuyant sur un solide travail de terrain.

### **1-2. Résilience des écosystèmes et adaptation des sociétés humaines**

Le point de vue de la communauté internationale sur la problématique de la désertification, par-delà la prise en compte des considérations d'ordre physique (variation climatique principalement) continue, on l'a vu, à placer la responsabilité humaine (PNUE, 1990) au premier plan malgré la mise en évidence du rôle prépondérant des processus naturels participant à l'évolution des écosystèmes. Dans ce cadre, les sociétés paysannes et pastorales sahéliennes ont été montrées du doigt. Leur forte démographie et leurs pratiques jugées très mauvaises sur les écosystèmes ont été les principaux arguments avancés et repris aujourd'hui sans véritable recul critique dans de nombreuses études. Dans la période récente, la *désertification est devenue un problème planétaire* (Fig. 12) (UNCCD, 2003) car concernant directement 250 millions de personnes sur un tiers de la surface planétaire (Sivakumar, 2006). On voit ce que cette approche classique de la question de la désertification et de la dégradation des sols peut avoir des aspects culpabilisant pour les sociétés rurales.

Les études récentes sur la question ont montré grâce aux outils techniques de plus en plus pointus (télédétection) et à des modélisations (modèles climatiques), d'une part, des facteurs qui témoignent d'une certaine résilience des systèmes socioécologiques sahéliens (Folke, 2006), d'autre part, des relations complexes qui existent entre la sécheresse et la désertification (Nicholson *et al.* 1998). Un nouveau paradigme autour de cette résilience à la désertification se construit autour du concept d'adaptation (Pielke, 1998 ; Smit *et al.*, 2000 ; Brooks, 2003). Ce facteur de résilience des écosystèmes (Folke, 2006) et des sociétés est une nouvelle donne qui est en train de changer notre perception sur l'évolution des paysages sahéliens. Du coup, la question mérite d'être reformulée en tentant d'évaluer cette résilience.

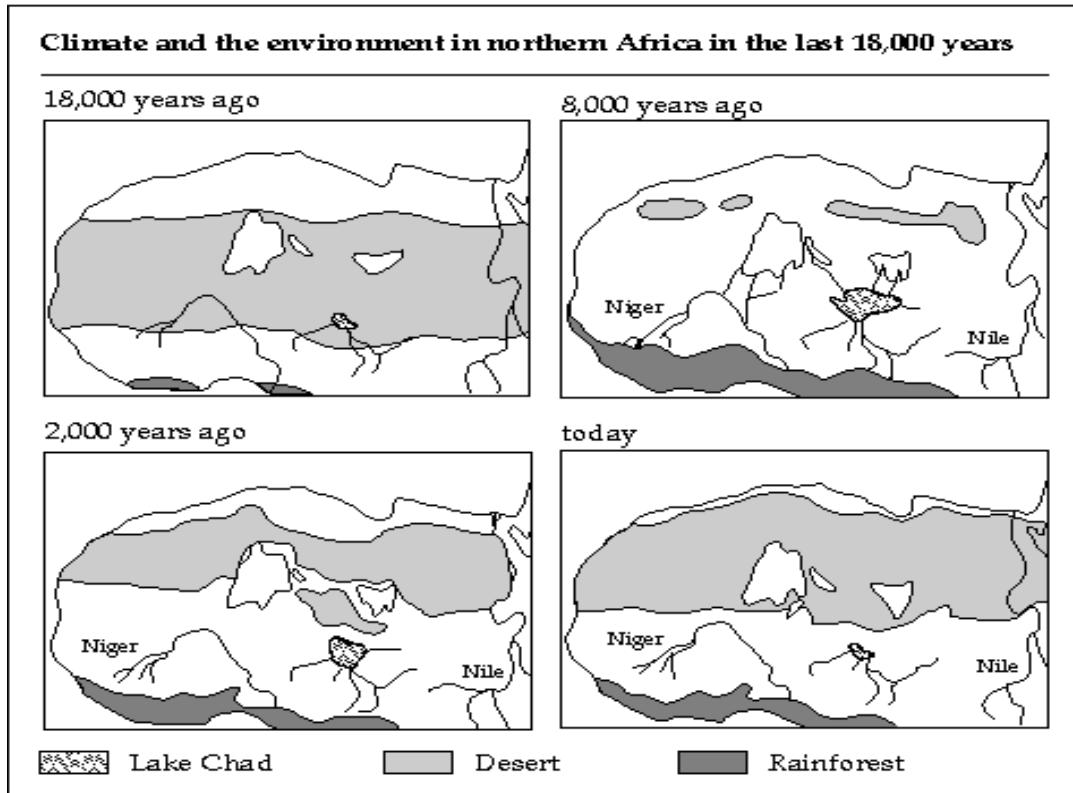
En fait, les sociétés rurales sahéliennes, parfois encore présentées comme immobiles et routinières<sup>12</sup>, ont fait preuve de diverses capacités d'adaptation depuis longtemps à ces phénomènes naturels extrêmes qui ne sont pas des nouveautés comme on l'a vu à travers l'histoire climatique récente de la zone. La longue période sèche de 1965-1995 a révélé au monde que les sociétés rurales ouest-africaines étaient encore et toujours directement soumises à un environnement fondamentalement changeant. Elles ont développé des « *stratégies d'adaptation en cherchant à limiter les risques, à réduire leur dépendance vis-à-vis des aléas naturels, dans un système de pensée où les caprices de la pluie prennent sens dans une relation de l'homme au sacré* » (Roussel & Luxereau, 1997). Ainsi s'est-il opéré un véritable ajustement des systèmes socioécologiques face à un contexte régional marqué par plusieurs changements à caractère physique, socioéconomique et politique.

### **1-3. A la recherche des causes et des mécanismes**

Le débat sur les causes et les mécanismes de la désertification est nourri, comme en témoigne le nombre d'études concernées. Comme nous l'avons remarqué dans les différentes définitions étudiées, les avis ne sont pas partagés sur les principales causes. Certains chercheurs privilégient la piste anthropique tandis que d'autres se focalisent sur les processus naturels. Cette différenciation dans les approches est à la base des modèles d'équilibre et de non-équilibre écologique (Hermann & Hutchinson, 2005) qui ont marqué la production scientifique relative à la question de la dégradation des écosystèmes et de milieux « naturels ou semi-naturels » au cours du XX<sup>e</sup> siècle. Ainsi nombre d'études scientifiques ou épistémologiques (Tansley, 1935 ; Harroy, 1949 ; Pickett & White 1985 ; Blandin & Bergandi, 2003) discutent du paradigme de l'équilibre de la nature et des menées néfastes de l'humanité qui la « dénaturerait » et romprait ces fragiles équilibres. Pour Lindhal (1959) : « *l'équilibre de la nature met en jeu l'eau, le sol, la flore et la faune. Le facteur qui perturbe le plus souvent cet équilibre est l'homme qui, avec ses armes de destruction, la mise en culture croissante des sols et la croissance accélérée de sa population, provoque une révolution dans la nature* ». Nombreux sont les auteurs (Blandin, 2009 ; Gunnell, 2009 ; Alexandre & Génin, 2012 pour ne citer que quelques auteurs francophones) qui récusent l'idée qu'il y aurait des équilibres dans la nature. Ce serait un contresens dans un monde biophysique où l'instabilité est la règle.

---

<sup>12</sup> Sans même parler du célèbre discours de Dakar de l'ancien président de la république française Nicolas Sarkozy.



Source: E. Messerli, Geographic Institute of the University of Berne, Switzerland

**Figure 13 : Evolution de l'environnement et du climat de l'Afrique du nord et de l'ouest durant les 18 000 dernières années**

## 2. Les facteurs naturels

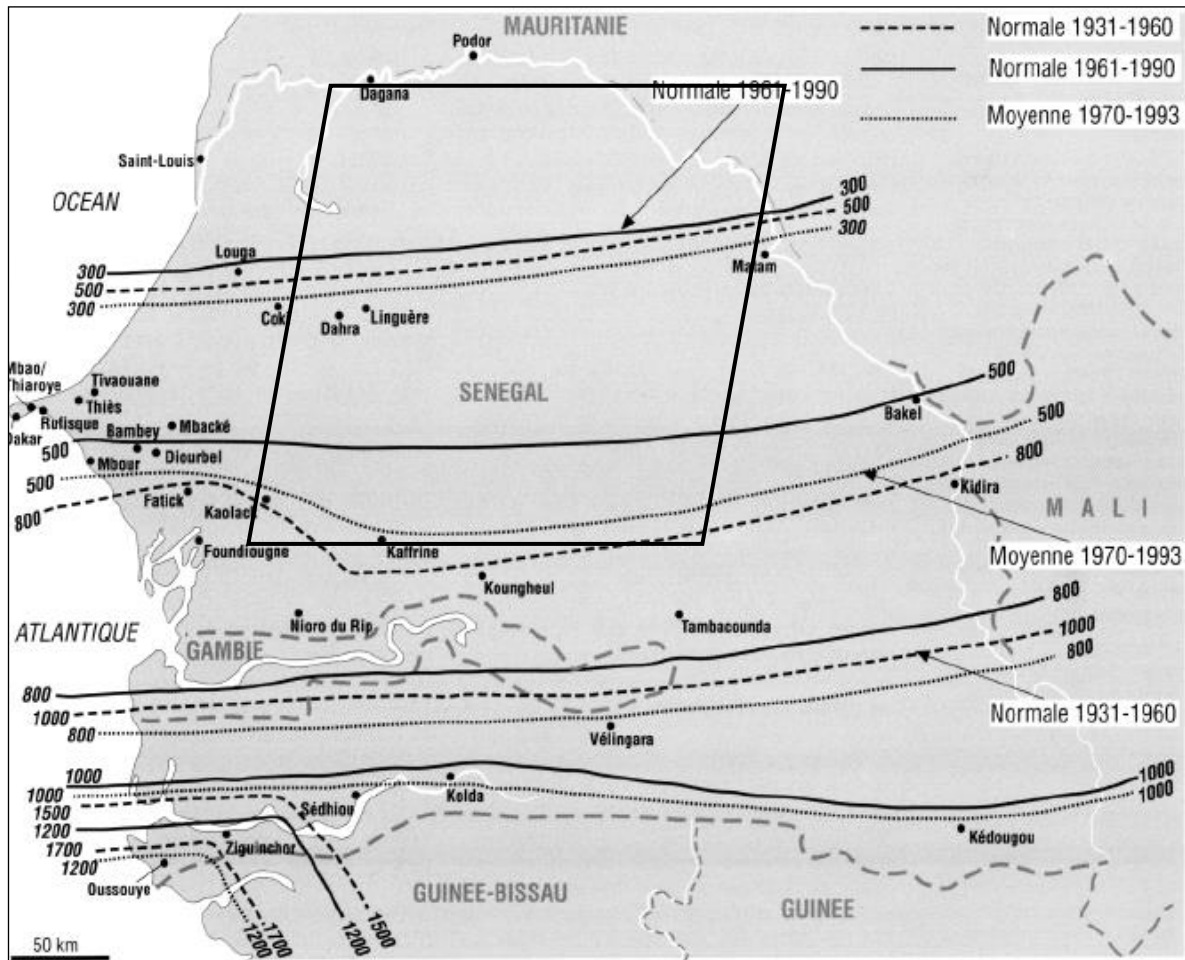
Les relations entre les fluctuations des précipitations, les sécheresses à caractère cyclique et la dégradation des écosystèmes sont très étroites et complexes (Hulme, 2001). Pour le cas du Sahel, ces processus naturels sont difficiles à dissocier pour la simple raison qu'ils sont souvent concomitants (Nicholson *et al*, 1998 ; Hulme, 2001 ; Hermann et Hutchinson, 2005). Les modèles informatiques et mathématiques ont permis de remonter le temps et de dresser un tableau de l'évolution du couple environnement et climat (Fig. 13). Des résultats récents mettent en évidence les relations entre les perturbations climatiques enregistrées dans la zone sahélienne, la dégradation du couvert végétal et de la progression des terrains arides et secs.

On note par ailleurs que l'aridification ne date pas d'aujourd'hui (Fig. 13). La progression des zones arides était beaucoup plus importante il y a 20 000 ans ! L'extension du désert du Sahara était si importante qu'il occupait pratiquement toute l'Afrique de l'Ouest. A l'inverse, il y a 8 000 ans, la régression des terrains désertiques était nettement marquée. Le

désert était alors confiné dans les contreforts du Maghreb. Mais depuis deux millénaires, la progression du front désertique au sud du Sahara « condamne » de plus en plus l'espace sahélien. Cette aridification n'est pas ainsi un fait nouveau dans le Sahel. Ce qui est nouveau, avant de voir la responsabilité que l'homme peut avoir dans ce processus, c'est que la progression du désert depuis 2 000 ans frappe les sociétés humaines.

La pluviométrie est un facteur déterminant dans la dynamique d'évolution des écosystèmes sahéliens. La variabilité interannuelle et la distribution spatiale des précipitations de ces cinquante dernières années sont en relation avec la récurrence des sécheresses qui affectent le Sahel (Le Barbé & Lebel, 1997). A cette échelle de temps, la pluie a globalement baissé en quantité et en fréquence (nombre d'événements pluvieux), ce qui a pour effet la translation des isohyètes (Ndong, 1996) vers le sud. Ainsi pour le cas du Sénégal, les travaux de Ndong (1996) ont montré, la migration des isohyètes vers le sud (Fig. 14). On peut distinguer sur la normale 1931-1960, la migration très marquée de la valeur 500 mm qui était à hauteur du Ferlo et qui se retrouve pour la moyenne de 1970-1993 à plus de 200 km vers le sud.

Les études issues de programmes récents (HAPEX Sahel, AMMA, etc.) sur l'évolution de la mousson en Afrique de l'Ouest, principale pourvoyeuse de pluie pour le Sahel, confirment cette tendance.



**Figure 14 : La translation des isohyètes : le cas du Sénégal (Source : Ndong, 1995)**

Les conséquences d'une telle situation sur les agroécosystèmes sahéliens sont dramatiques, notamment durant les paroxysmes de la sécheresse (1973, 1984). Les écosystèmes se retrouvent très fragilisés. La désertification (au sens climatique) qui en résulte entraîne une perte de la couverture végétale et de la productivité en biomasse dans le temps et dans l'espace. Les populations rurales qui dépendent de la pluie pour la poursuite de leurs activités agricoles sont directement affectées. Sagna (1988) dans sa thèse sur les lignes de grains en Afrique de l'Ouest constate ainsi : « *La variabilité pluviométrique interannuelle en Afrique de l'Ouest préoccupe les populations. Le déficit pluviométrique qui s'est amorcé en 1968 s'accompagne d'un dessèchement de la zone soudano-sahélienne. Celui-ci se traduit par un épuisement des eaux superficielles. Ainsi compris, le dessèchement n'est pas une hypothèse mais un fait d'observation sur lequel tout le monde est d'accord. Son aggravation même légère peut entraîner des conséquences économiques et sociales graves* » (Sagna, 1988). Cependant, le contexte biophysique actuel marqué par une certaine amélioration des

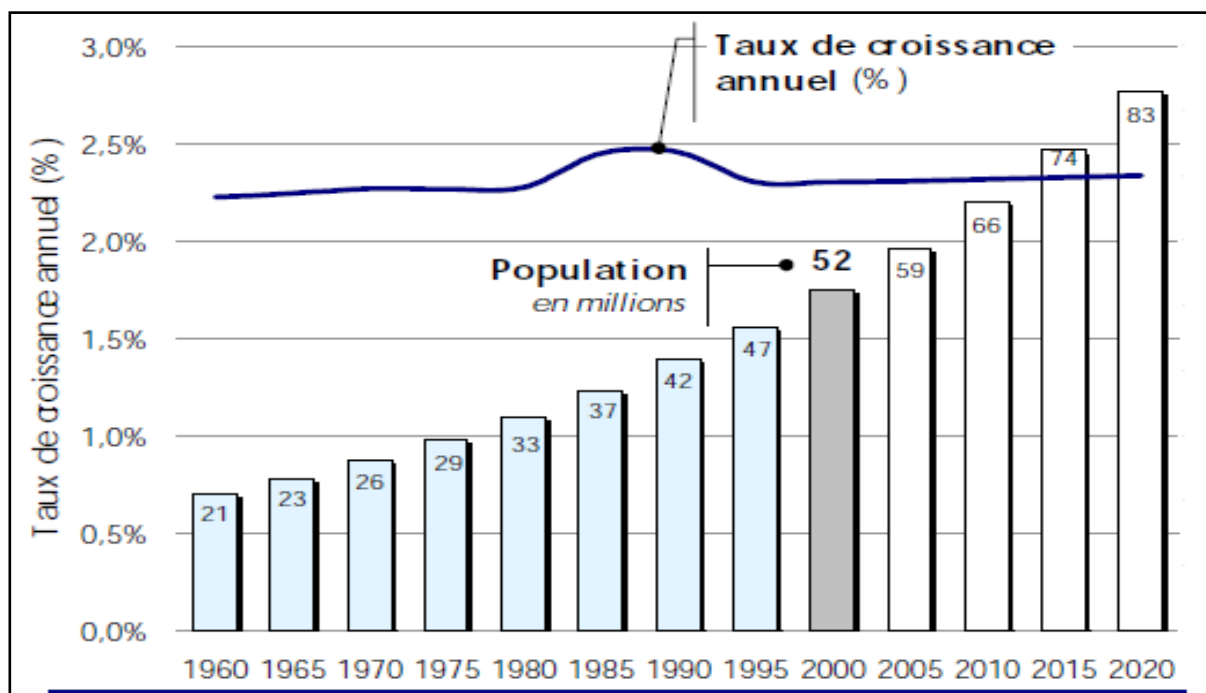
conditions de la pluviosité depuis quelques années doit inciter à une nouvelle lecture de ces phénomènes.

### 3. Le facteur anthropique : la question démographique et l'emprise spatiale accrue de l'agriculture

L'explication par les facteurs naturels de la désertification ne suffit pas à elle seule à cerner cette problématique. L'impact des sociétés rurales sur leur environnement notamment dans un contexte où la croissance démographique est encore forte dans le Sahel, ne peut être nié. La question sera ensuite de savoir quel regard on peut porter sur l'emprise spatiale prolongée de ces sociétés rurales. Doit-on, comme dans les sciences coloniales des années 1920-1930, le lire comme négatif ? Le Sahel serait-il la seule région au monde où la mise en culture et l'utilisation pastorale du milieu sont vécues comme une dégradation ?

#### 3-1. Les grands traits de la démographie sahélienne

L'Afrique subsaharienne est la dernière partie du monde à engager sa transition démographique (Cour, 2000) (Fig. 16). La population a globalement bénéficié avec la colonisation et les indépendances, d'une amélioration de la qualité de vie qui s'est traduite par une croissance démographique qui se maintient à des taux forts quoique l'on ait basculé dans la deuxième phase de la transition démographique. Cette augmentation a créé un sérieux déséquilibre entre la population totale et les ressources disponibles.

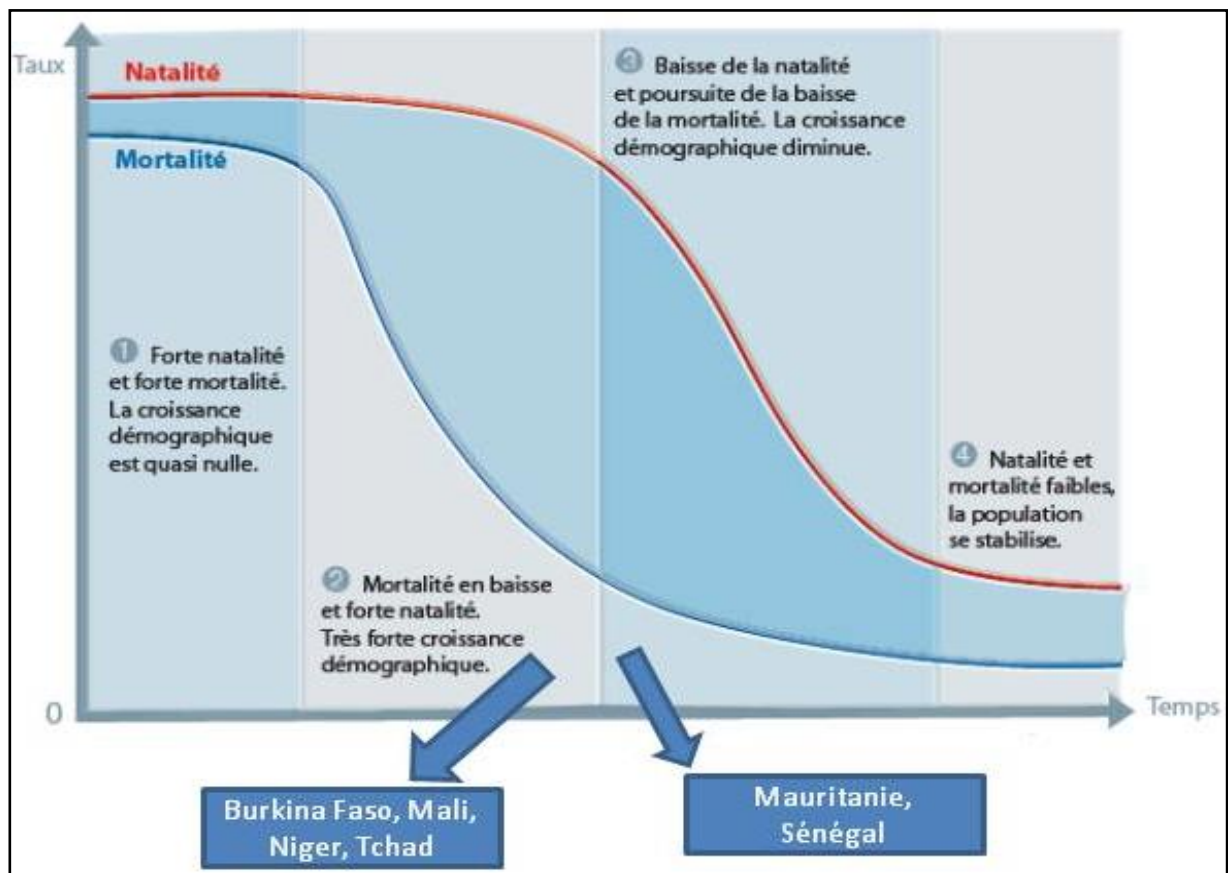


**Figure 15 : Population totale et croissance démographique dans neuf pays de l'Afrique de l'Ouest entre 1960 et 2020 (Burkina Faso, Cap-Vert, Gambie, Guinée Bissau, Mali, Niger, Sénégal, Tchad, Mauritanie) (Source : Club du Sahel, OCDE, 2007)**

En effet, si on considère toute la région ouest-africaine, la population qui avait stagné jusqu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle est passée de l'ordre de 40 millions d'habitants dans la première moitié du XX<sup>e</sup> siècle à 85 millions dans les années 1960. *En 2006, elle était d'environ 300 millions d'habitants, soit près de 4,6 % de la population mondiale, 43 % de celle de l'Afrique subsaharienne. Pour les pays dits sahéliens (Fig. 15), les taux d'accroissement annuel de la population sont proches de la moyenne subsaharienne : 2,6 % en 2000-2005 et une prévision tendant vers la baisse de 1,2 % en 2045-2050 (CEDEAO, 2007).* Pourtant, bien des pays n'ont pas encore amorcé cette baisse qui, finalement tarde à venir comme l'a souligné le démographe Hervé Le Bras<sup>13</sup> (2013) lorsqu'il parlait de « l'exception sahélienne » en matière de démographie. Il s'agit notamment des cas malien et nigérien qui, comme nous le montre la figure ci-dessous, vivent encore l'étape 2 de leur lente transition démographique qui s'accompagne d'une accélération de la croissance démographique. *La croissance reste forte y compris en milieu rural en dépit de la dynamique d'urbanisation sans précédent connue par l'Afrique de l'Ouest au cours des quarante dernières années : la population urbaine passant en moyenne de 15 % à plus de 45 % de la population totale. Pour enregistrer une telle évolution, il avait fallu un siècle et demi à l'Europe de l'Ouest.* (Club du Sahel, 2007). Le poids des populations rurales demeurent toujours élevé dans tous ces pays. A côté de cette contextualisation sous-régionale, les situations nationales sont très contrastées à cause des situations économique-politiques différentes et dans une certaine mesure de la situation géographique. Les pays enclavés n'ayant pas accès à la mer (Niger, Mali, Burkina Faso) connaissent une croissance démographique très forte. La transition démographique (Fig. 16) est plus longue par rapport aux autres pays côtiers (Sénégal ou Mauritanie).

---

<sup>13</sup> [http://www.liberation.fr/monde/2013/02/14/le-sahel-est-une-exception-demographique\\_881869](http://www.liberation.fr/monde/2013/02/14/le-sahel-est-une-exception-demographique_881869)



**Figure 16 : La transition démographique dans le Sahel (Source : CEDEAO-CSAO/OCDE 2007)**

Dans ce contexte, la pauvreté perdure. « *Le manque de ressources économiques, la marginalisation et l'exclusion sont des facteurs qui influent négativement et de façon déterminante sur l'utilisation incorrecte et l'usage abusif des ressources forestières (ou sylvopastorales) et de l'environnement en général* » (FAO, 2003<sup>14</sup>). Tous les pays sahéliers font partie aujourd'hui de la catégorie des Pays les Moins Avancés (PMA) avec un PIB/habitant de l'ordre de 350 \$/an. Les critères retenus pour cette catégorisation économique témoignent de l'état de pauvreté extrême dans lequel se trouvent ces Etats. Les Nations Unies (2003) s'appuient sur trois indicateurs :

- « *un revenu par habitant basé sur une estimation moyenne du produit intérieur brut par habitant pendant trois années ; s'il est inférieur à 900 \$ US, le pays est retenu pour la qualification de PMA* » ;

<sup>14</sup> <http://www.fao.org/docrep/ARTICLE/WFC/XII/MS22-F.HTM>

- « un retard dans le développement humain basé sur un indice composite incluant des indicateurs de santé, de nutrition et de scolarisation » ;
- « une vulnérabilité économique basée sur un indice composite incluant des indicateurs sur l'instabilité, la production et les exportations agricoles, le manque de diversification de la production » (Nations Unies, 2003<sup>15</sup>).

Sur les quarante-huit PMA que compte la planète, trente-trois sont en Afrique. L'ensemble des pays de la sous-région ouest africaine sauf la Côte d'Ivoire, le Ghana et le Nigéria sont concernés. Dans ce cadre, le Sénégal pris dans son ensemble est plutôt situé en situation intermédiaire entre ces pays émergents et les PMA, mais le Ferlo est plus proche du modèle du Sahel intérieur que du Sénégal littoral. La population du Sénégal reste inégalement répartie dans le territoire. Elle est concentrée à l'Ouest du pays sur la frange littorale et au Centre (Thiès et Diourbel). Les régions de l'Est et du Nord, particulièrement le Ferlo, sont très faiblement peuplées.

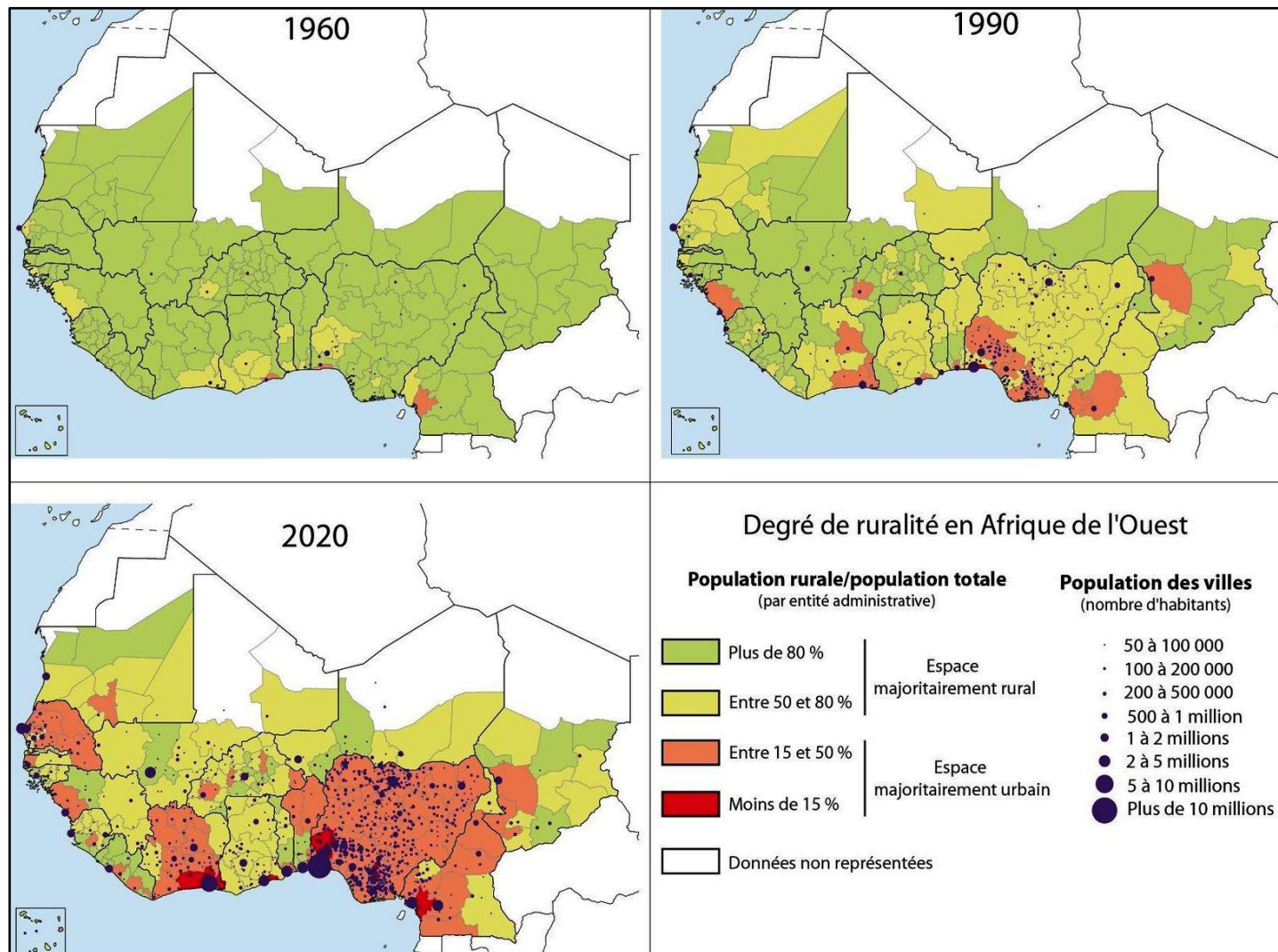
### **3-2. Une population rurale qui continue de progresser malgré les mutations socioéconomiques et politiques.**

Pélessier (1966) disait que « l'Afrique occidentale tout entière est une immense paysannerie ». Près de cinquante ans plus tard, dans les pays sahéliens de l'Afrique de l'Ouest, la part de population qui vit dans les zones rurales (Fig. 17) est toujours importante malgré l'urbanisation. La population rurale est encore majoritaire dans beaucoup de pays de la bande sahélienne, quoiqu'elle recule en pourcentage : 53 % au Sénégal (ANSD<sup>16</sup>, 2013), 66,7 % pour le Mali, 79 % au Burkina Faso et 83 % au Niger (Banque mondiale<sup>17</sup>, 2013). En chiffres absolus, la population rurale croît toujours et l'état de pauvreté perdure. Dans une conjoncture climatique moins défavorable, les défrichements cultureux progressent dès lors fortement et la pression d'exploitation sur les ressources forestières et pastorales sahéliennes s'accroît (Floret *et al.* 1993; Mortimore *et al.* 2001, Alvergne, 2007).

<sup>15</sup> <http://archive.wikiwix.com/cache/?url=http://www.un.org/special-rep/ohrlls/ldc/ldc%2520criteria.htm&title=%C2%AB%C2%A0The%20Criteria%20for%20the%20identification%20of%20the%20LDCs%C2%A0%C2%BB>

<sup>16</sup> Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie (Sénégal)

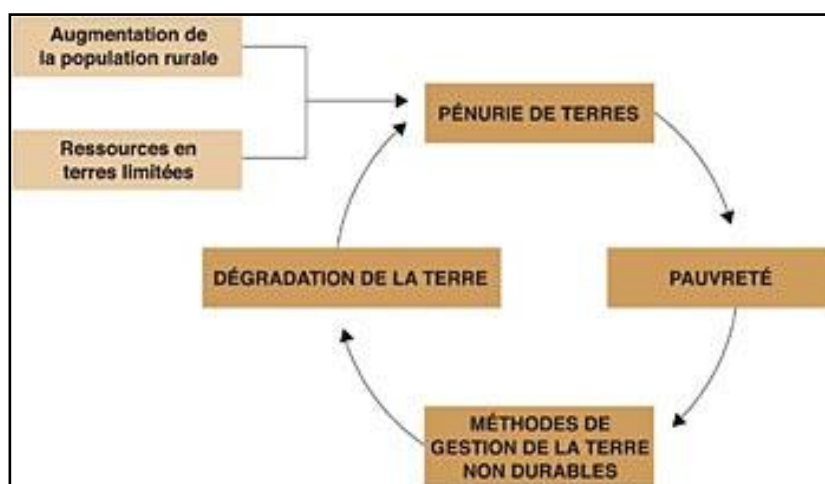
<sup>17</sup> <http://www.tradingeconomics.com/>



**Figure 17 : Degré de ruralité en Afrique de l'ouest.**

(Source : Club du Sahel et de l'Afrique de l'Ouest/OCDE 2007)

La tentation est grande de lier les trois questions - forte démographie, pauvreté et dégradation des milieux - (Fig. 18). De nombreux auteurs font ainsi l'hypothèse que dégradation des écosystèmes et pauvreté sont liées. Pour Andrieu (2008), « *il est possible de supposer que la pauvreté, en ce qu'elle crée des situations de crise, peut être un facteur incitant à des pratiques peu respectueuses de l'environnement et de la régénération des ressources* ». En raison du « *manque de capital, d'opportunités économiques, les populations pauvres en majorité rurales, sont conduites à exploiter les ressources naturelles qui sont déjà limitées de manière à satisfaire leurs besoins immédiats* » (Cornet, 2007). Cette exploitation peut avoir des conséquences socioenvironnementales car elle dégrade la ressource, renforçant la vulnérabilité des sociétés (Smith & Koala, 1999). Dans les campagnes, la demande en produits alimentaires d'une population sans cesse croissante, nécessite le défrichement de plus en plus important et l'extension des surfaces de culture (Hiernaux *et al.*, 2004). A cela s'ajoutent des problèmes politiques qui peuvent être à l'origine de déplacements importants de populations vers des zones qui étaient déjà saturées. C'est le cas par exemple dans la Dallol Bosso au Niger où il y a eu ces dernières années une forte immigration d'Haoussas et de Peuls du Nigéria voisin où l'agissement de groupuscules islamistes a créé des situations d'insécurité. (Alexandre *et al.*, 2013).



**Figure 18 : Liens de causalité entre les ressources en terres, la population, la pauvreté et la dégradation de la terre (Source : FAO, 2003)**

Dans le Sénégal de l'intérieur, entre le Ferlo et la Bassin arachidier, la situation de proximité avec les grands centres urbains de l'intérieur (Touba, Diourbel, Dahra, Kaffrine, Kaolack) qui constituent avant tout des zones d'accueil de population anciennement rurales, pose la problématique d'une demande en produits agricoles (céréales, viande, lait, etc.) de

plus en plus importante. Le développement de la ville de Touba – capitale du mouridisme, confrérie fondée par Cheikh Amadou Bamba au XIX<sup>e</sup> siècle, devenue la deuxième agglomération du Sénégal -, « *entièrement construite par des ruraux organisés et encadrés par la confrérie religieuse* » (Gueye, 2000) s'est traduit par une multiplication des *daaras* ou colonies agricoles dans les régions environnantes (Bassin arachidier, Ferlo sud principalement). Cette situation pousse les agriculteurs par ailleurs, à aller s'installer sur de nouveaux terroirs à la recherche de terres cultivables. Une situation qui se traduit sur le terrain par des pratiques agricoles (agriculture extensive, monoculture, abandon progressif de la jachère) qui participent à l'appauvrissement des sols et à leur dégradation à long terme.

Pour Fauquet & Morel (2006) : « *partout au Sahel, d'importantes transformations écologiques et sociales ont donc modifié en profondeur les activités de production, leur organisation spatiale, les perceptions et les stratégies paysannes. Ces mutations de nature diverse affectent en premier lieu la base productive, mais il s'agit également, dans un contexte de forte croissance démographique, de transformations foncières, sociales, économiques et d'évolutions liées aux politiques de l'État et des services décentralisés. Par ailleurs, ces mutations, toutes liées les unes aux autres, ne se résument pas à un simple processus de dégradation ou de déclin. Certaines traduisent au contraire des capacités de réaction ou d'adaptation du monde rural face à des situations de crise* ». Cette position est intéressante en ce qu'elle met en évidence le rôle prépondérant des mutations économiques et sociopolitiques dans l'évolution des écosystèmes sahéliens. C'est aussi l'opinion de Sivakumar (2006) qui met l'accent sur la relation directe entre le surpâturage, les mauvaises pratiques agricoles et la dégradation des terres dans les milieux arides et semi arides : « *There is considerable evidence from different parts of the world that dramatic changes in agricultural practices during the last several decades are one of the main driving forces for land degradation in the drylands. It is clear that these human-induced changes have a significant influence on the energy balance of both land and atmosphere. Changes in both land use and land cover have contributed to land degradation in terms of both surface albedo and soil moisture impacts. Other anthropogenic activities such as overgrazing, biomass burning, and improper management of irrigation clearly contribute to land degradation and carry consequences for climate* ». Par ailleurs, sur cette même lancée, la position de la FAO (2003) montre que cette menace socioécologique est localement amplifiée par la faiblesse ou l'inexistence des législations environnementales. Une situation qui favorise l'utilisation

anarchique des ressources par les paysans pauvres ou parfois par les groupes sociaux puissants qui bénéficient de certains passe-droits de la part des autorités.

En définitive, la question de la dégradation des agroécosystèmes sahéliens ne peut être appréhendée qu'à travers une rigoureuse prise en compte des facteurs et processus naturels (sur une échelle de temps importante) et anthropiques permettant de dépasser l'*a priori* colonial de la responsabilité écrasante des sociétés paysannes ou agropastorales dans la dégradation des milieux. Au niveau régional, l'amélioration des conditions de la pluviosité notée depuis quelques années et l'optimisme qu'elle véhicule ne sont pas encore toujours visibles au niveau local où les tensions relatives à l'accès à la ressource se posent encore avec acuité.



## Chapitre 4 : Concepts et méthode

---

*« L'espace doit être perçu comme le siège d'une dialectique, fondée sur la contradiction homogénéité – hétérogénéité. »* Tricart, 1980

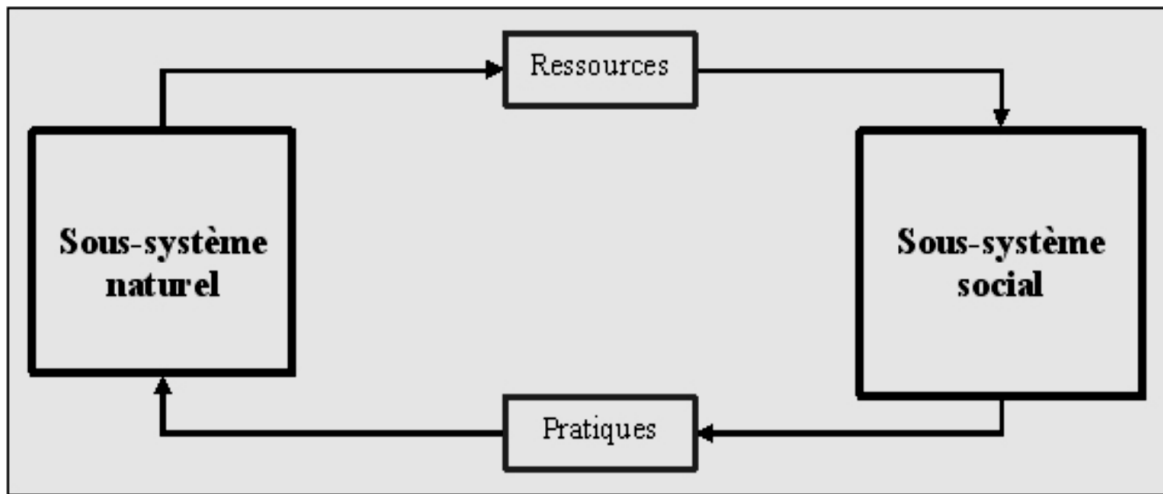
Ce travail de recherche met en jeu de façon combinée dans le cadre d'une approche systémique, les concepts de vulnérabilité et d'anthroposystème. L'étude critique de ces concepts n'est pas facile du fait de leur relativité et de l'évolution des champs paradigmatiques des sciences sociales en général et de la géographie en particulier, ce qui *« nous oblige en permanence à remettre en cause nos problématiques, nos objets de recherche, nos hypothèses de travail, nos méthodes et surtout à expliciter nos idéologies »*. (Bailly & Béguin, 2001). Voilà un programme auquel nous souscrivons et que nous allons tenter de suivre dans ce chapitre méthodologique.

### **1. Du concept d'anthroposystème à celui de système socioécologique : Une modélisation du « système homme-nature » dans le contexte des agroécosystèmes sahéliens**

*« La relation entre les dynamiques d'un système social donné et les dynamiques de son environnement est de toute évidence d'une complexité élevée. Cette complexité n'est pas le fait d'une combinatoire importante, mais reflète la nature même des interactions qui existent entre les deux objets »* (Sandron, 2001). Pourtant, le rôle de l'acteur humain a été longtemps étudié séparément du système naturel où son absence limitait la compréhension des interactions sociétés humaines / système naturel (Liu *et al.* 2007 ; Folke, 2007; Lagadeuc & Chenorkian, 2009). Issu des travaux du Programme Environnement Vies et Société (PEVS) du CNRS, le concept d'anthroposystème (Fig. 18), défini par ces concepteurs comme des *« systèmes complexes, hybrides et interactifs entre deux ensembles organisés constitués par un (ou des) sociosystème (s) et un (ou des) écosystème(s), plus ou moins artificialisé (s) »* (Lévêque, Muxart *et al.*, 2003) remet l'homme au centre du « jeu ».

Ce concept a permis, dans une perspective pluridisciplinaire, de fédérer des champs de recherche différents et éclatés sur un objet de recherche commun qui était l'environnement. L'opérationnalité du concept permet par ailleurs, une meilleure appréciation des interactions sociétés humaines / milieux biophysiques à différente échelle que ne le permettraient d'autres concepts comme le géosystème ou l'éco-complexe (Bertrand, 1978 ; Blandin & Lamotte, 1984 ; Blandin, 1992 ; Andrieu, 2008) ; une démarche pertinente dans un contexte sahélien où

le complexe de changements permanents est marqué par des mutations à la fois biophysiques, socioéconomiques et politiques.



**Figure 19 : Schéma de fonctionnement d'un anthroposystème (Andrieu, 2008)**

La notion d'anthroposystème suggère aussi que l'on est passé de processus spontanés d'organisation et de fonctionnement des écosystèmes (Blandin, 1992), dominés par les interactions physique-vivant, à des processus dominés ou construits par l'homme. Les systèmes socioécologiques (Redman *et al.*, 2004 ; Liu *et al.* 2007 ; Folke, 2007; Lagadeuc & Chenorkian, 2009) sont, à l'instar de l'anthroposystème, des complexes de systèmes où des agents sociaux et biophysiques interagissent à différentes échelles temporelles et spatiales (Janssen & Ostrom, 2006).

L'anthroposystème, comme le système socioécologique, renferme des composantes naturelles soumises directement ou indirectement à l'action anthropique (Fig. 19), les composantes socioéconomiques intervenant sur l'environnement à travers des techniques et des pratiques (Lévêque *et al.*, 2000 ; Andrieu, 2008). Ces différents ensembles sont en interaction et agissent aussi directement sur ces relations (Fig. 19).

Par ailleurs, ces deux concepts invitent à reconsidérer l'homme comme un facteur prépondérant de la dynamique d'évolution des écosystèmes et de la biosphère à travers ses différentes pratiques (agriculture, élevage, dynamiques socioéconomiques et développement technologique) aux effets structurants sur les paysages à une période où la forte empreinte de l'homme sur la planète fait l'objet de débats controversés et dont certains invitent à passer à l'ère géologique de l'« Anthropocène » (Crutzen & Stoermer, 1995).

## 2. La vulnérabilité ou l'évolution du paradigme sur le milieu sahélien

Au cours de ces dernières décennies, la recherche dans le domaine sahélien s'est beaucoup interrogée sur la *vulnérabilité* dans laquelle se trouveraient les systèmes socioécologiques. Ce choix est justifié par l'analyse que l'on retrouve communément dans les grandes organisations et grands programmes de recherche et de développement internationaux, analyse selon laquelle la détérioration de l'environnement s'est poursuivie en Afrique sahélienne, engendrant des changements environnementaux qui ont fini par maintenir une partie croissante de la population dans une situation difficile aggravée par l'augmentation des risques et de leur incapacité à y faire face (PNUE, 2002).

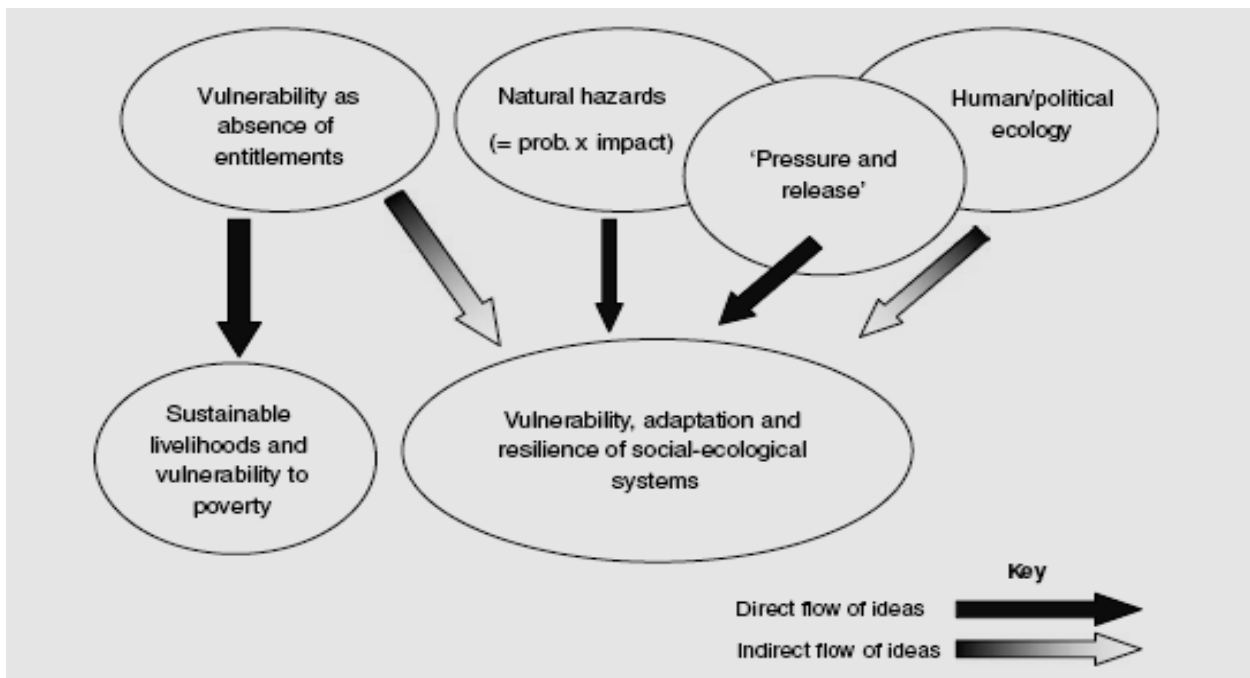
La recherche sur ce concept en sciences humaines et sociales comme en sciences naturelles et en technologie, a beaucoup évolué en termes d'objet, de perception et des outils (Fig. 20). Aujourd'hui, elle s'organise autour de plusieurs champs (urbain, rural, économique, social, etc.) (D'Ercole *et al*, 2009). Ainsi un « système socioécologique », ou un milieu naturel, peut être considéré comme vulnérable (Janin, 2006). Le défi pour la recherche reste cependant de pouvoir développer des mesures solides et crédibles et d'inclure la « *perception différentielle du risque* » (Adger, 2006). La vulnérabilité se décline alors à « *différentes échelles spatiales ou statistiques, à l'aide d'une batterie d'indicateurs conjoncturels ou structurels susceptibles d'être modélisés à des fins comparatives* » (Janin, 2006).

La définition du concept de vulnérabilité s'est souvent fondée sur une recherche de quantification (dommages, coûts) s'apparentant ainsi plutôt à une évaluation qu'à une tentative de définition. Depuis les années 1990, les études intègrent des valeurs sociales et culturelles (Texier, 2009). Les changements globaux ont insufflé un nouvel intérêt au concept qui se retrouve maintenant au cœur de nombreuses études allant du niveau d'exposition des systèmes socioécologiques aux différents scénarios de modélisation des risques liés aux changements climatiques. Définir ce concept, revient à s'interroger sur les notions que sont le niveau d'exposition, la sensibilité et la résilience (Janin, 2006).

Dans le cadre du changement climatique, le quatrième rapport du GIEC (2007) définissait la vulnérabilité comme la « *mesure dans laquelle un système est sensible – ou incapable de faire face – aux effets défavorables des changements climatiques, y compris la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes. La vulnérabilité est fonction de la nature, de l'ampleur et du rythme de l'évolution et de la variation du climat à laquelle le système considéré est exposé, de la sensibilité de ce système et de sa capacité d'adaptation* » (GIEC,

2007). Le GIEC tente ici d'évaluer le degré auquel un système est sensible aux « *blessures, dommages ou préjudices* » (Brooks *et al.*, 2005).

La vulnérabilité inclut aussi la dimension de la résilience des systèmes socioécologiques dans leur capacité à s'adapter aux conditions « extrêmes ». Pour Adger (2006), la vulnérabilité est : « *the state of susceptibility to harm from exposure to stresses associated with environmental and social change and from the absence of capacity to adapt* ». Cette position d'Adger est intéressante mais discutable dans la mesure où elle condamne certaines sociétés du fait de leur incapacité à faire face aux changements. Janin (2006) est plus prudent lorsqu'il définissait la vulnérabilité comme devant « *être considérée comme la capacité différenciée d'un individu ou d'une famille à endurer des stress de toute nature, à les contourner éventuellement et à réagir en mobilisant des ressources matérielles, sociales ou symboliques, à court comme à plus long terme. Elle peut être transitoire ou posséder une dimension plus structurelle* » (Janin, 2006).



**Figure 20 : L'évolution de la recherche sur la vulnérabilité selon Adger (2006)**

Les facteurs qui rendent un système vulnérable à un risque quelconque dépendront de la nature du système, son aptitude et du type de risque en question. Par exemple, les facteurs qui rendent les systèmes socioécologiques du Ferlo vulnérables à la sécheresse ne seront pas identiques à ceux qui rendent les régions d'un pays riche industrialisé, vulnérables aux inondations, tempêtes de vent et autres phénomènes météorologiques extrêmes (Adger, 2006).

Une classification de ces facteurs a été détaillée par Texier (2009) dans sa thèse en adaptant celle établie par Cannon (2000). Cette classification reprend la résilience en la complétant par l'état sanitaire et le degré de préparation individuelle ou collective. Ainsi la résilience peut-elle être définie comme la capacité des anthroposystèmes à faire face aux perturbations dues à des facteurs physiques, sociaux ou mêmes politiques. Elle est aussi liée à leur degré de préparation face aux aléas. Le faible niveau de développement technique et technologique des sociétés rurales sahéennes, particulièrement celles du Ferlo, peut apparaître comme un facteur les rendant davantage vulnérables aux aléas climatiques. L'observateur non averti peut interpréter la posture que ces sociétés ont face aux risques naturels comme une position qui relève du fatalisme. En effet, malgré la succession des crises de sécheresse encore fraîches dans la mémoire collective, le degré de préparation aux aléas est faible. La plupart des stratégies qui sont localement définies semblent tendre vers des logiques d'adaptation et de gestion des urgences plutôt qu'une démarche qui s'inscrit dans la prévision. Ces stratégies sont souvent mises à rude épreuve par des facteurs exogènes importants qui peuvent se traduire sur le terrain par l'arrivée de populations (cas du Dallol Bosso au Niger) ou l'extension des surfaces de culture avancée du front agricole (cas de l'anthroposystème Peul du Ferlo).

La vulnérabilité des anthroposystèmes sahéens, en particulier ceux du Ferlo sénégalais, est ainsi traduite par les interactions complexes entre les niveaux d'exposition, de sensibilité et de résilience propres à eux (Decamps, 2007). Elle dépend aussi et surtout aux relations que ces systèmes socioécologiques entretiennent avec leur environnement tant social que biophysique.

### **3. L'approche régionale : Entre homogénéité et hétérogénéité du domaine sahéen**

La définition d'une échelle d'étude et d'analyse est l'un des fondements de tout travail de recherche en géographie. L'approche géographique ici retenue, permettra de replacer la zone d'étude du Ferlo dans le grand ensemble sous-régional qu'est la zone sahéenne qui sera utilisée comme « échelle de référence ». Ce cadre d'analyse sous-régional permet de mettre en évidence les spécificités internes d'un site sahéen. Cette approche est critique avec l'homogénéité prêtée à l'espace sahéen dans beaucoup d'études consacrées à ce domaine bioclimatique. En effet, la configuration géographique, la nature des pratiques, le dynamisme démographique et les politiques publiques concernant les espaces ruraux, sont des facteurs

importants propres à chaque site sahélien et qui en dessinent les principales caractéristiques paysagères. Ainsi avons-nous des dynamiques spécifiques dans le Ferlo qui résultent de son histoire climatique, des sociétés qui s'y sont installées et y développent des activités pastorales pour une large part et agricoles. Le maintien de la transhumance y est dicté par un contexte biophysique particulier au sein duquel, les sociétés ont pu assoir depuis longtemps une activité d'élevage. L'organisation de cet anthroposystème peul pastoral ferlien est centrée autour des campements permanents ou semi permanents dans la partie nord. Une région où les aménagements hydrauliques (forages pastoraux) participent à la structuration de l'occupation et de l'utilisation de l'espace. Les différentes trajectoires de la transhumance du bétail sont organisées pendant la saison sèche autour des forages qui ont permis de diviser le territoire en unités pastorales qui couvrent toute la zone couverte par ceux-ci. Le maillage territorial de ces forages engendre des dynamiques pastorales qui sont propres au Ferlo et qui lui confèrent une certaine originalité par rapport aux autres sites sahéliens.

Vers le sud en direction du Bassin arachidier, le gradient croissant de la pluviosité se traduit par le caractère permanent du peuplement et le développement d'activités culturelles souvent associées à l'élevage. Ici, l'anthroposystème dominé par le groupe ethnique wolof s'organise autour de gros villages où les peuplements sont de plus en plus importants. La densité importante de populations dans ces zones rurales où la terre devient de moins en moins fertile après des décennies de monoculture arachidière et d'abandon progressif de la jachère, amène les villageois à la recherche de nouvelles terres cultivables sur d'anciens espaces dévolus au pastoralisme. Ce qui se traduit par une remontée vers le nord du front agricole.

L'échelle régionale est d'un grand intérêt pour cette étude car elle lui confère toute son originalité, en sortant du cadre des monographies locales paradoxalement généralisatrices qui dominent la bibliographie géographique dans cette partie de l'Afrique subsaharienne. L'intérêt d'une telle échelle d'étude sur le plan scientifique consiste en une meilleure connaissance du fonctionnement et de la variabilité spatiale et régionale des agroécosystèmes de l'Afrique sahélienne.

#### **4. La méthode suivie**

Après le choix des concepts et leur discussion, nous en arrivons au stade de la définition et de la précision de la méthode retenue dans ce travail géographique. L'ambition

de celui-ci est double. D'une part, les choix méthodologiques doivent permettre de caractériser les principaux changements intervenus au cours des cinquante dernières années dans le Ferlo et les marges septentrionales du Bassin arachidier, d'autre part, évaluer si ces changements correspondent à une dégradation des écosystèmes et à un accroissement de la vulnérabilité des anthroposystèmes et des populations. La réalisation de ces objectifs méthodologiques impose le recours à des choix techniques que nous discuterons ensuite en détail dans les deuxième et troisième parties.

#### **4-1. Caractérisation des changements biophysiques intervenus dans le Ferlo et ses marges au nord du Bassin arachidier.**

La première étape de ce travail consacrée à la caractérisation des changements biophysiques intervenus dans le Ferlo se déroulera à travers deux niveaux d'analyse. Premièrement, il s'agira pour nous d'étudier la variabilité climatique au cours de ces cinquante dernières années à travers le paramètre de la pluviosité. Dans un deuxième temps, nous allons cartographier l'évolution de l'occupation du sol sur la même période.

##### **4-1-1. Caractériser la variabilité climatique dans le Ferlo des années 1960 aux années 2010**

La succession depuis les années 1970 de périodes de sécheresse dans le Sahel a suscité un regain d'intérêt scientifique. Les études ont cependant besoin d'être actualisées en prenant en compte la période plus récente où la pluviosité a été plus favorable. L'objectif principal est de caractériser la variabilité climatique mais aussi de voir si celle qui est observée pour le Ferlo est synchrone (ou pas) avec l'évolution identifiée sur l'ensemble de la région sahélienne de l'Afrique de l'Ouest. La réponse technique à ce premier objectif sera une analyse des données statistiques de pluies relevées dans les différentes stations du réseau d'observation climatique sénégalais concernant la zone d'étude au cours des cinquante dernières années. A ce niveau, nous pouvons signaler l'existence aujourd'hui de plusieurs types de données satellitales reconstruites pour la pluie (CRUTS2.0). Nous avons cependant préféré la voie classique en n'utilisant que les données récoltées sur les différentes stations dans la mesure où, pour la période récente, elles n'avaient pas encore été très utilisées. Les données du CRU présentent beaucoup de limites : au niveau spatial, elles donnent une représentation spatialement homogène de la variabilité climatique. Dans le Ferlo (voir Chapitre 5) il existe en effet une forte variabilité dans la répartition spatiale de la pluie que ces données CRU ne pourront pas mettre en évidence à cause d'une résolution spatiale de 50 km. La moyenne calculée pour

chaque pixel tient compte des principales stations contenues dans celui-ci et celles environnantes. Ce qui ne permet pas de mettre en évidence avec finesse la répartition spatiale de la pluie. Cette reconstitution est, ceci étant, intéressante mais risquée dans une région où les stations météorologiques sont peu nombreuses.

#### **4-1-2. Cartographier l'évolution de l'occupation du sol au cours de la même période**

**L'occupation du sol** (ou *landcover*) qui fera l'objet d'une cartographie, renvoie à la couverture biophysique du sol. Elle peut se décliner sous différentes formes telles que les savanes, les steppes, les zones humides, etc. Un autre concept proche de celui-ci et utilisé dans cette thèse est **l'utilisation des sols** (*Land use*) que nous définissons par l'usage que les sociétés humaines font de leur environnement biophysique. En effet, la société rurale sahélienne qu'elle soit pastorale ou agricole, développe des modes de production centrés autour de l'agriculture et de l'élevage et, reposant en partie sur les ressources naturelles disponibles (ressources agraires, végétales, hydriques...). Cette utilisation du sol dans un contexte temporel marqué par des changements socioéconomiques et par une forte fluctuation de la pluviosité au cours de ces dernières décennies, participe à la dynamique des **paysages** (*Landscape*) et renforce leur hétérogénéité. Ainsi, ce paysage devient finalement un réceptacle de ces changements qu'il intègre et qui le façonnent en permanence. Etudier ce genre d'objet nécessite le recours à des outils qui sont capables de restituer la complexité de la dynamique de ces derniers. C'est en cela que notre choix s'est porté sur la télédétection qui apparaît aujourd'hui comme l'outil le plus pertinent pour caractériser à la fois l'évolution des milieux ainsi que leurs dynamiques.

La cartographie par télédétection de l'évolution de l'occupation du sol qui sera effectuée permettra de montrer l'état des différents paysages et de la végétation sur la même périodicité que celle concernant l'étude des fluctuations de la pluviosité. Ces cartes d'occupation du sol une fois dressées, serviront de base pour la réalisation de la cartographie des principaux changements enregistrés par le paysage et qui seront analysés dans la deuxième partie de ce travail.

## **4-2. Ces changements correspondent-ils à une dégradation des anthroposystèmes et à un accroissement de la vulnérabilité des écosystèmes et des populations ?**

Dans un deuxième temps, la méthode doit permettre d'établir un lien entre les changements mesurés et cartographiés et la part des facteurs physiques et humains susceptibles de les expliquer, ceci sera approché en complétant le travail de télédétection en ayant recours à l'étude de l'évolution spatiotemporelle du NDVI. La méthode doit aussi permettre de discuter du terme de dégradation, en étudiant la principale ressource sur laquelle s'appuient les sociétés, le couvert végétal, envisagé aussi bien dans sa dimension floristique que dans sa dimension physiologique et paysagère. Enfin, par le biais des enquêtes, on cernerá mieux la perception et les représentations que les sociétés rurales se font des changements socioenvironnementaux et les stratégies qu'elles ont adoptées pour faire face à une situation objectivement difficile. Ainsi pourrons-nous répondre à la question de la vulnérabilité des anthroposystèmes.

### **4-2-1- Recours aux indices synthétiques d'activité de la végétation.**

Il existe plusieurs indices synthétiques d'activité de la végétation. Nous n'utiliserons ici que le plus connu d'entre eux, le NDVI. Celui-ci permet de modéliser les rythmes de l'activité photosynthétique de la végétation en rapport avec la distribution spatiotemporelle de la pluviosité. Le domaine sahélien, caractérisé par un gradient croissant du nord au sud de la pluviométrie et où la couverture végétale (ligneuse et herbacée) a un rythme de croissance dépendant des apports de la pluviosité, s'offre bien à ce type de modélisation de l'activité photosynthétique de la végétation sur laquelle repose la ressource fourragère. Sans ignorer toutefois les limites du NDVI, nous avons trouvé intéressant d'actualiser son étude dans le Ferlo en prenant en compte la période de moindre déficit des pluies depuis 1995.

A partir des synthèses bihebdomadaires du NDVI fournies par le satellite NOAA-AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) entre 1981 et 2006, nous calculerons les cycles annuels de la végétation que nous mettrons en relation avec la variabilité pluviométrique. Une analyse qui permettra de mettre en évidence la structure de la végétation telle qu'elle s'ordonne entre le Ferlo et le Bassin arachidier.

#### **4-2-2- Analyse de l'état de la végétation envisagée comme ressource**

Dans le Ferlo comme dans le reste du Sahel, la végétation naturelle est utilisée par les sociétés rurales comme une ressource, fourragère notamment. Cette végétation qui « réagit » aux fluctuations de la pluviosité et aux pratiques et usages qu'en font les sociétés rurales, est une indicatrice intéressante des changements socio-environnementaux intervenus sur la zone depuis la fin des années 1960. Une analyse floristique à partir de relevés de végétation sur différents endroits et parcours (zones de champs cultivés, jachères, pâturages villageois, pâturages de transhumants, abords des points d'eau, etc.) sera effectuée avec un objectif qui est, dans un premier temps, de caractériser l'état actuel de ce couvert végétal. Elle permettra aussi de connaître les principales espèces qui composent ce couvert et comment celui-ci se structure par rapport à la variabilité et au gradient de la pluviosité ainsi qu'aux pratiques et usages des sociétés humaines. Un certain nombre de descripteurs écologiques seront définis et serviront de clé de compréhension sur les relations qu'entretiennent les espèces et leur milieu et les facteurs écologiques et sociaux qui sont à la base de cette géographie de la flore. Ces analyses seront *in fine* l'occasion de discuter avec des cas concrets de la question de la dégradation des écosystèmes sahéliens et de la vulnérabilité des sociétés qui les exploitent en rapport avec les cartes de changements. Une question qui, par ailleurs, permet de mettre en évidence l'hétérogénéité de l'organisation et de la dynamique des paysages ruraux dans cette partie du Sénégal.

#### **4-2-3- Dynamique des paysages ruraux dans le Sénégal intérieur entre le Ferlo et le Bassin arachidier**

La région sahélienne de l'Ouest africain a connu depuis la fin des années 1960, des changements biophysiques et socioéconomiques importants qui ont eu des conséquences sur la configuration des paysages végétaux et ruraux. Des changements portés avant tout par les pratiques des sociétés rurales qui en permanence renforcent l'hétérogénéité des paysages. Ainsi, de telles dynamiques incitent à une reconsidération du vieux découpage bioclimatique figé (Chevalier, 1900 ; Stebbing, 1935 ; Trochain, 1940 ; Aubréville, 1950) établi depuis plus d'un siècle et fondé avant tout sur la distribution de la pluviosité comme si celle-ci était immuable alors que celle-ci n'a cessé de fluctuer depuis le milieu du siècle jusqu'à aujourd'hui. Partant de ce constat et de nos observations sur le terrain combinées aux principaux résultats cartographiques et des analyses floristiques et climatiques, ce découpage bioclimatique sera repensé à l'aune des pratiques sociétales et des changements biophysiques.

Si du point de vue régional, le gradient pluviométrique croissant du nord au sud permet de voir un continuum floristique, localement, l'emprise des pratiques sociétales sur les écosystèmes crée des mosaïques paysagères qui infirment toute homogénéisation dans l'agencement des paysages.

#### **4-2-4. Perception et représentations des changements socioenvironnementaux**

La dernière étape de cette deuxième partie sera consacrée à l'étude de la perception et des représentations des changements socioenvironnementaux par les sociétés rurales agricoles et pastorales. Du point de vue technique, elle s'appuie sur des enquêtes dans les villages et campements entre le Ferlo et le Bassin arachidier, auprès de différentes composantes sociales : acteurs locaux, éleveurs transhumants, paysans. Elles devront renseigner sur la question centrale de la perception et des représentations sur les différents changements intervenus au cours de ces dernières décennies. Des changements qui seront mis en rapport avec l'évolution de la pluviométrie et des pratiques paysannes.

Cette première partie avait entre autres ambitions de présenter et de caractériser géographiquement l'agroécosystème sahélien du Ferlo (avec une extension sur ses marges sud vers le Bassin arachidier) dans son ensemble tout en procédant aussi à son articulation avec l'échelle régionale sahélienne où le débat sur l'évolution des milieux biophysiques se pose toujours avec une certaine acuité. Historiquement, le Ferlo, comme nous l'avons vu, a été d'une certaine manière « oublié » dans les choix de politique agricole à cause d'un environnement jugé inadapté à toute mise en valeur agricole. Cette situation a permis à l'élevage pastoral de s'y établir de façon durable aux prix de stratégies diverses. A l'instar des autres parties du Sahel, la région fut sévèrement marquée par les crises climatiques intervenues depuis la fin des années 1960 et qui ont durement affecté son potentiel biologique.

Aujourd'hui, à la faveur de l'amélioration des conditions de la pluviosité, de l'épuisement des terres du Bassin arachidier et de la multiplication des aménagements au niveau de la vallée du fleuve Sénégal, il jouit d'un réel intérêt et fait l'objet d'une colonisation agricole dans sa partie sud même si l'environnement demeure toujours fragile. Une nouvelle donne qui se traduit par une compétition pour l'accès à la terre et aux ressources pastorales. De tels changements dans les pratiques et usages des sociétés rurales contribuent ainsi à la

dynamique des paysages végétaux et par-delà posent la problématique de la dégradation des écosystèmes.

En combinant des techniques empruntant à la télédétection, à la biogéographie et aux techniques d'enquête, ces choix conceptuels et méthodologiques débouchent sur une approche systémique qui fait appel au concept d'anthroposystème (ou système socioécologique), une démarche scientifique intéressante dans la mesure où elle permet de comprendre les mécanismes qui gouvernent l'évolution des écosystèmes à travers la combinaison de deux sous-systèmes (un système social et un système naturel) qui interagissent. C'est à ce niveau que nous pouvons comprendre la question des pratiques sociétales et les transformations du milieu qu'elles induisent dans un contexte biophysique encore délicat.

## **Deuxième partie : Caractérisation des changements socioenvironnementaux dans le Ferlo au cours des 50 dernières années**

---

Des années 1950 à nos jours, des changements majeurs dans le Ferlo sénégalais, comme dans le reste du Sahel, sont intervenus dans les écosystèmes comme dans les sociétés. En effet, si le contexte climatique a été marqué par une péjoration de la pluviosité à partir des années 1970, le contexte socioéconomique n'a pas été aussi facile pour les sociétés rurales où vit encore la majorité des populations caractérisées par une croissance rapide. Une poussée démographique qui s'accompagne d'une extension importante des défrichements et des surfaces cultivées et une pression de plus en plus intense sur les ressources naturelles déjà marquées par les années de sécheresse.

L'ambition de cette deuxième partie est de caractériser les différents changements socioenvironnementaux intervenus dans le Ferlo au cours des cinquante dernières années. Dans un premier temps, seront étudiées les fluctuations de la pluviosité à travers les données récoltées dans les différentes stations du Ferlo et du Bassin arachidier. Ces données sont issues des mesures effectuées sur les quantités journalières et mensuelles de pluies précipitées dans chaque station. L'analyse de ces données permettra de mettre en exergue la variabilité spatiale et temporelle de la pluviosité à la fois au niveau des stations mais aussi dans chaque domaine bioclimatique (sahélien et soudano-sahélien). En effet, la répartition des stations entre le Ferlo (domaine sahélien) et le Bassin arachidier (domaine soudano-sahélien) suit le gradient pluviométrique croissant du Nord au sud. Dans un second temps, à partir des images *Landsat*, sera faite la cartographie de l'évolution de l'occupation du sol sur la même série temporelle. Une démarche qui permettra par la suite de faire une analyse rétrospective de l'occupation du sol qui s'appuiera sur les cartes des différents changements intervenus au cours de la période allant de 1973 à 2010.

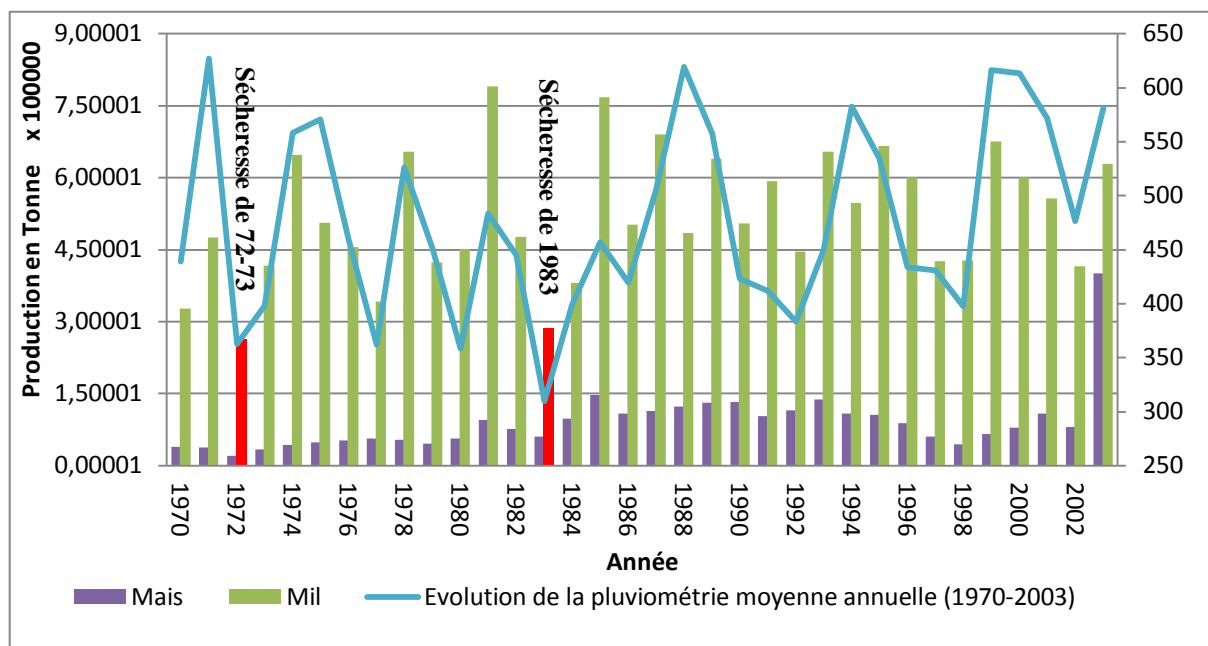


## Chapitre 5- La question de la variabilité pluviométrique dans le Sénégal intérieur : une histoire de successions de crises climatiques

---

L'histoire climatique du Sahel – au moins pour le siècle qui vient de s'écouler et pour lequel nous possédons des mesures – oscille entre des périodes sèches et des périodes humides qui se succèdent de façon presque cyclique et dont la durée de chacune s'étale sur plusieurs décennies. Cette oscillation climatique est, au moins pour partie, responsable de la vulnérabilité des systèmes socioécologiques, très sensibles aux fluctuations de la pluviosité. Le poids du secteur primaire qui regroupe l'agriculture et l'élevage notamment, dans les économies nationales est encore très important. La dépendance de ce secteur vis-à-vis de la variabilité pluviométrique est due à la prépondérance de l'agriculture pluviale. Ainsi, l'évolution quantitative des récoltes (Fig. 21) des années 1970 à aujourd'hui suit-elle de façon presque linéaire la courbe de cette variabilité pluviométrique. Au Sénégal, l'évolution des quantités annuelles de mil et de maïs (les deux céréales les plus cultivées, base de l'alimentation des populations rurales) récoltées entre 1970 et 2002 (Fig. 21) montre une baisse de celles-ci lors des années de grande sécheresse (1972-73 et 1983-84). Une situation qui a aussi des conséquences dans le sous-secteur de l'élevage qui est très dépendant de l'agriculture notamment pour la ressource fourragère que constituent les résidus des récoltes ainsi que pour les zones non cultivées léguées aux parcours de pâturages. Ces deux *hitaané boni* - années noires, années de malheur, en langue Peul - (1973 et 1984) sont toujours rappelées dans les enquêtes menées auprès des éleveurs et paysans que nous avons rencontré dans le Ferlo : « *En 1973 c'était la crise, ici on a perdu tous les troupeaux, il a plu deux fois seulement et après la pluie s'est arrêtée. Il y en a qui sont parti au Saloum et ils sont restés là-bas. On appelle cette année hitaanè boni, l'année noire. Depuis 1973, souvent ça va, souvent ça ne va pas, il y a des variations* » (Samba Ngoye Ka, éleveur à Thiargnie, octobre 2010).

Au niveau de la sous-région sahélienne ouest africaine, cette situation s'est traduite par une baisse importante du produit intérieur brut (PIB) dominé par le secteur primaire : au Niger et au Mali ils ont baissé respectivement de 18 % et 9 % à la suite de la sécheresse de 1983-84 (Kandji *et al.* 2006).



**Figure 21 : Comparaison entre l'évolution de la production annuelle de mil et de maïs avec la pluviométrie moyenne annuelle entre 1970 et 2003 (Source des données : FAOSTAT<sup>18</sup> ; Réalisation : Fall, 2014)**

L'intérêt que le monde scientifique porte à la compréhension de ces mécanismes climatiques complexes et leurs conséquences socioenvironnementales s'est appuyé sur le développement de nouveaux outils et procédés scientifiques assez efficaces pour leur étude. Ces technologies font appel à la télédétection, aux modélisations informatiques et climatiques de la circulation générale, aux statistiques et sont de plus en plus utilisées dans une approche qui fait appel à la pluridisciplinarité.

Dans le cadre de cette thèse, l'étude de la variabilité climatique (essentiellement du paramètre pluviométrique) dans le Ferlo et le bassin arachidier a été possible grâce à des séries de données de différentes natures et formats qu'il est nécessaire d'exposer dans un premier temps avant les résultats qu'elles ont générés.

## **1. Les données utilisées, leurs limites et les traitements appliqués**

### **1-1. Les séries de données pluviométriques des stations**

En Afrique subsaharienne en général et, sur ce point, le Sénégal ne fait pas exception, une des principales difficultés pour les chercheurs en climatologie est de trouver des données climatiques fiables sur des séries temporelles assez longues. Selon les observations faites par

<sup>18</sup> <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=339&lang=fr> (consulté le 24/10/13)

l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), le réseau des pays sahéliens présente de graves lacunes liées à des problèmes techniques (défaillance des instruments et des systèmes, insuffisance de la maintenance et de l'étalonnage, faiblesse des infrastructures de communication) et économiques (coût élevé de l'exploitation). La principale conséquence est qu'aujourd'hui la densité de ce réseau d'observations en Afrique est huit fois inférieure au minimum recommandé par l'OMM<sup>19</sup>. Sur l'ensemble du continent africain nous avons moins de 200 stations météorologiques automatiques répondant aux exigences de l'OMM. Par comparaison, la France en compte 550 (Météo-France, 2012).

Dans le cadre de ce travail de recherche, l'intérêt de disposer de stations dont les séries statistiques remontaient avant la mise en orbite des premiers satellites, jusqu'en 1950, permet ainsi de placer une partie notable des données durant la dernière grande période humide.

### **1-1-1. Le réseau d'observations météorologiques et climatologiques au Sénégal**

Le réseau d'observations agroclimatologiques et météorologiques du Sénégal a vu le jour durant la période coloniale. Les premiers instruments de mesure furent installés à Saint-Louis en 1853 par les colons français. Ce réseau fait partie aujourd'hui des plus anciens de l'Afrique de l'Ouest francophone. Sa composition actuelle selon les données de l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie du Sénégal (ANACIM) s'établit comme suit :

- 4 stations synoptiques principales,
- 8 stations synoptiques secondaires,
- 13 stations climatologiques,
- 6 stations agroclimatologiques
- 1 station automatique
- 300 postes pluviométriques.

---

<sup>19</sup> [http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press\\_releases/pr\\_882\\_fr.html](http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/pr_882_fr.html)

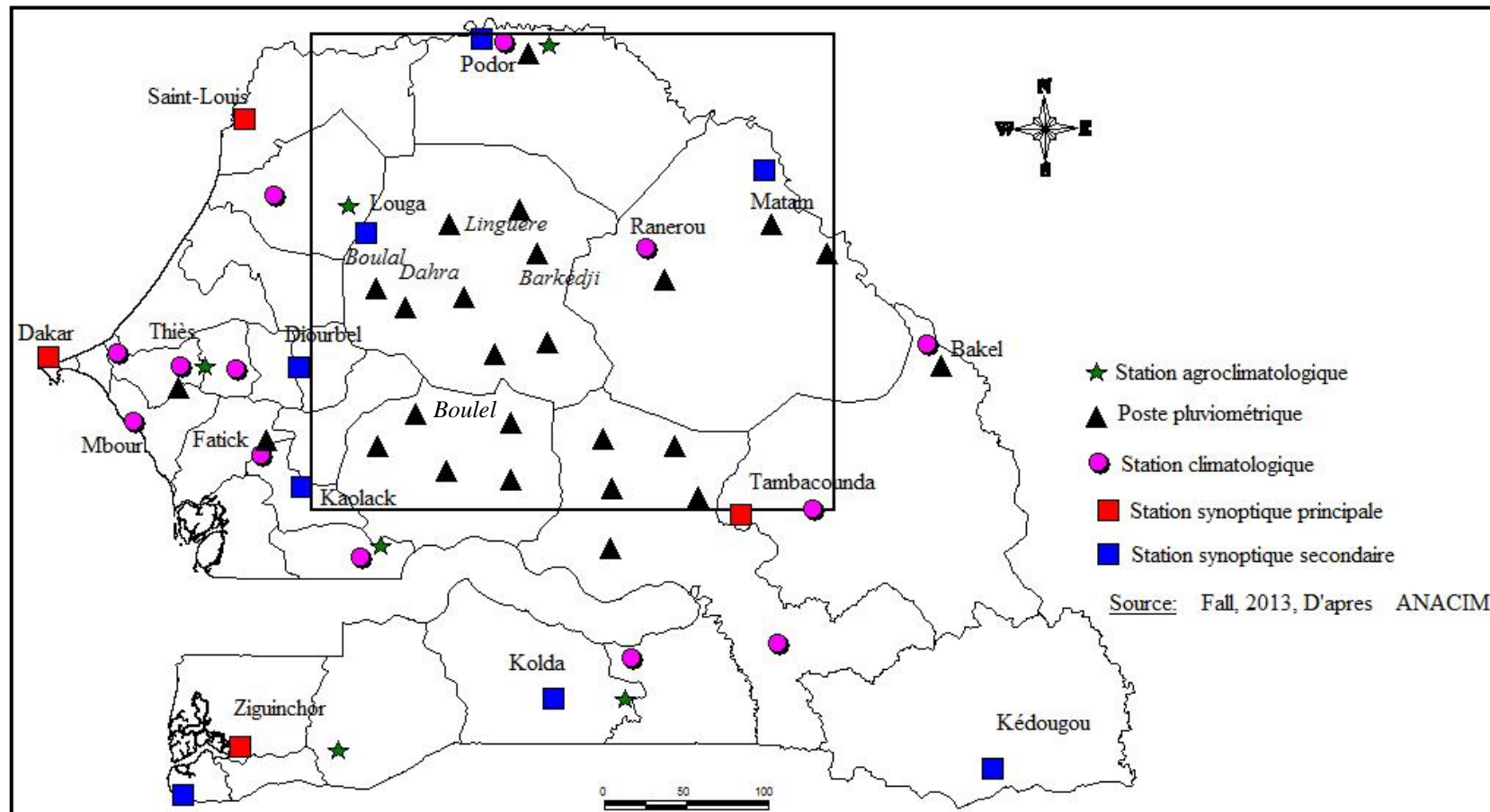


Figure 22 : Réseau des stations d'observations météorologiques au Sénégal (d'après les données de l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie- ANACIM)

### **1-1-2. Les stations synoptiques**

Le réseau synoptique sénégalais (Fig. 22) est composé de douze stations (4 principales et 8 secondaires) qui fournissent des mesures sur les conditions de surface (pression, température, humidité, vent, insolation et précipitations) et sur les phénomènes météorologiques. Ce réseau est intégré aux structures d'observations de l'organisation mondiale de la météorologie, qui permet une mutualisation des données au niveau régional et international. Comme telles, elles constituent la partie la plus fiable de l'échantillon. Sur les séries de données pluviométriques que nous traitons dans ce mémoire, une partie est issue des stations synoptiques secondaires de Diourbel, Louga, Kaolack et Matam et d'une station synoptique principale, la station de Tambacounda.

### **1-1-3. Les stations agroclimatologiques**

L'agroclimatologie est définie par Franquin (1984) comme « *l'application à l'agriculture, en temps différé, de l'information de nature climatologique, statistique, qui s'accumule avec le temps ; cette information renseigne notamment sur le risque climatique et s'adresse surtout à la planification de toutes les activités de caractère agricole à tous les niveaux : du niveau national (services ministériels) au niveau cultural (pratique agricole)* ».

Au Sénégal, le réseau agroclimatologique (Fig. 22) mis en place dans les années 1990 est géré et exploité par l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA). Il est composé de six stations (Louga, Vélingara, Nioro du Rip, Podor, Sédhiou, Goudiry). Ces stations ont vu le jour grâce aux projets du Comité Inter-états de Lutte contre la Sécheresse au Sahel (CILSS). Les observations effectuées sont de caractères physiques (pression, température, humidité, vent, insolation et précipitations) et biologiques (phénologie des cultures pluviales), une démarche qui permet de suivre en temps réel l'évolution des cultures et par-delà faire des prévisions sur les récoltes à venir. Ce qui est original mais un peu limité en raison du faible nombre de stations concernées. Ces stations effectuent des mesures horaires à tri-horaires qui sont transmises en temps réel toutes les trois heures via le Système Mondial de Transmission des données (SMT). Aucune station n'est malheureusement présente au cœur du Ferlo, ce qui témoigne à nouveau du caractère marginal de cette région dans la politique rurale du Sénégal. Aux marges occidentales du Ferlo, Louga, par ailleurs station synoptique secondaire, a toutefois été retenue dans la liste.

#### **1-1-4. Les postes pluviométriques**

Le service météorologique sénégalais compte à ce jour un réseau de 300 postes pluviométriques disséminés sur tout le territoire national (la Fig. 22 ne mentionne que les postes situés dans la zone d'étude). Les observations recueillies se limitent à la hauteur des précipitations journalières, dont on déduit les hauteurs de pluie mensuelles et du nombre de jours de pluie. C'est le dispositif le plus ancien du réseau car les premières mesures datent de la période coloniale, ce qui a permis d'avoir des séries de données qui remontent jusqu'aux années 1920 dans certaines stations (Diourbel, Fatick). Cependant, les problèmes liés à la gestion et à l'entretien de ces postes pluviométriques ont eu des conséquences sur la continuité des séries de données, posant également la question de la fiabilité de celles-ci.

#### **1-1-5. Les stations retenues**

Le choix des stations météorologiques a été évidemment conditionné par la disponibilité en qualité et en quantité des données climatiques. Comme évoqué plus haut, le réseau sénégalais à l'instar de ceux des autres pays africains, ne répond pas aujourd'hui à tous les besoins d'informations climatologiques. Dans un tel contexte, les critères de choix des stations d'étude ont une importance capitale.

Conformément à notre objectif, nous n'avons gardé que le paramètre pluviométrique dans cette étude climatique. Notre choix des stations pour l'étude s'est porté sur celles où il existe :

- des séries de données assez longues et couvrant une période commune à toutes les stations ;
- des données qui ne sont pas affectées par des lacunes trop importantes qui biaiserait les résultats.

Ce choix a aussi été guidé par le critère bioclimatique afin de mieux mettre en relation ces données et les relevés botaniques effectués entre le Ferlo et le Bassin arachidier.

Les stations retenues sont donc au nombre de dix et sont réparties suivant un gradient nord sud, entre la zone sahélienne et soudano-sahélienne (5 stations synoptiques, 3 postes pluviométriques et 2 stations climatologiques). Voir tableau ci-dessous.

**Tableau 1 : Liste des stations retenues**

STATIONS	Latitude	Longitude	Type observation	Domaine bioclimatique	Données	Période
MATAM	15°39'44.05"N	13°15'23.88"W	Synoptique	Sahélien	Pluviométrie	1950 - 2010
LOUGA	15°37'16.93"N	16°13'46.12"W	Synoptique	Sahélien	Pluviométrie	1950 - 2010
DAHRA	15°21'2.58"N	15°28'29.55"W	Pluviométrique	Sahélien	Pluviométrie	1950 - 2004
BARKEDJI	15°16'41.88"N	14°52'2.67"W	Pluviométrique	Sahélien	Pluviométrie	1950 - 2004
BAKEL	14°54'2.19"N	12°27'26.49"W	Climatologique	Sahélien	Pluviométrie	1950 - 2010
DIORBEL	14°39'4.22"N	16°13'58.30"W	Synoptique	Sahélien	Pluviométrie	1950 - 2010
FATICK	14°20'24.24"N	16°24'23.64"W	Climatologique	Soudano-sahélien	Pluviométrie	1950 - 2011
BOULEL	14°17'6.80"N	15°32'3.29"W	Pluviométrique	Soudano-sahélien	Pluviométrie	1950 - 2003
KAOLACK	14° 8'47.16"N	16° 4'41.38"W	Synoptique	Soudano-sahélien	Pluviométrie	1950 - 2010
TAMBACOUNDA	13°46'7.85"N	13°40'2.06"W	Synoptique	Soudano-sahélien	Pluviométrie	1951- 2010

Prenant en considération tous ces facteurs, nous avons établi des séries temporelles de 1950 à 2010, soit une période deux fois plus longue que celle qui est nécessaire pour établir des normales climatiques (soit 30 années de mesures) mais qui permettait de mieux dégager des tendances et d'affiner les périodisations existantes. Sur le tableau général des données, toutes les stations ne donnent malheureusement pas des données jusqu'en 2010 : Barkédji (1950 à 2004), Dahra (1950 à 2004) et Boulel (1950 à 2003). Dans un souci d'homogénéisation des séries en vue de leur traitement statistique, nous avons été obligé de faire abstraction d'une partie des données de certaines stations concernant la période 1920 à 1950. De l'autre côté, les séries antérieures aux années 1950 sont apparues trop incomplètes et ne concernaient pas toutes les stations.

L'étude statistique des séries temporelles consiste à analyser les données climatologiques historiques pour mettre en évidence des typologies, des tendances, la saisonnalité et les variations aléatoires :

- La tendance est représentée par l'évolution à long terme, positive ou négative, de la série temporelle,
- La saisonnalité se caractérise par les variations périodiques liées aux saisons.

Dans les lignes qui suivent, nous avons adopté la démarche conseillée par le WMO (2000) dans le cadre de l'étude des données climatiques :

- « Récolte et préparation d'un jeu de données, »
- « Vérification de la validité des hypothèses de recherche, »
- « Analyse graphique des données, »
- « Choix des tests statistiques à appliquer, »
- « Analyse statistique de la série pluviométrique, »

- « *Interprétation des résultats* » (WMO, 2000).

## **2. La variabilité interannuelle des précipitations dans le Ferlo et le Bassin arachidier entre 1950 et 2010**

### **2.1. Une clé de compréhension des crises climatiques au Sahel**

Au Sahel, les crises climatiques sont devenues une préoccupation majeure dans les questions de développement, d'environnement et, à l'avenir, une exacerbation de ces phénomènes pourrait avoir des conséquences dramatiques. « *Les populations, majoritairement rurales, sont particulièrement concernées par la variabilité climatique dans la mesure où celle-ci conditionne les ressources alimentaires, hydriques et financières avec des retombées directes sur la santé publique* » (Sultan, 2011). En effet, l'eau est la ressource naturelle dont dépendent le plus les anthroposystèmes sahéliens notamment ceux du Sénégal intérieur. Sa disponibilité participe à l'occupation et à la structuration de l'espace. Son irrégularité et le caractère très aléatoire de sa répartition spatiale pose même la question de la survie de l'activité agricole la plus dépendante de ces précipitations. Ces fortes perturbations de la pluviosité soumettent aussi les activités agricole et pastorale à d'importants aléas et entraînent de profondes modifications sur les différents systèmes de production (agriculture et pastoralisme) et d'exploitation extensive des terres (Bazzaz & Sombroek, 1996). Cette crise peut ainsi miner la stabilité de ces pays dans la mesure où leurs économies dépendent directement du secteur primaire agricole où évoluent plus de 50 % des actifs. Ce poids du secteur primaire dans les économies nationales n'a pas pour autant permis d'assurer à ces pays une autosuffisance alimentaire. Une situation qui renforce leur dépendance vis-à-vis du marché mondial des produits alimentaires déjà soumis à d'importantes fluctuations (crise économique, baisse de la production mondiale de céréale en 2008, inflation...). Une dépendance qui, comme le soulignait Jean Ziegler (2008), participe à « *la destruction [...] des [systèmes] d'agricultures vivrières* » africains. Ainsi à l'instar du Sénégal, certains pays sahéliens comme le Burkina Faso, la Mauritanie, ont connu en 2008, ce qu'il est convenu d'appeler « des émeutes de la faim<sup>20</sup> » alors qu'il ne s'agissait pas d'une année sèche.

La mise en évidence de la variabilité spatio-temporelle des précipitations fait appel à la connaissance des champs et structures de celles-ci. Les outils de la statistique permettent aujourd'hui de calculer et de modéliser les évolutions dans le temps et dans l'espace de cette

---

<sup>20</sup> Voir par exemple ces articles de 2008 de *Courrier international* ou du *Monde diplomatique* : <http://www.courrierinternational.com/dossier/2008/04/14/la-fao-et-les-emeutes-de-la-faim-dans-le-monde> ; <http://www.monde-diplomatique.fr/carnet/2008-04-14-Emeutes-de-la-faim>

variabilité climatique. L'organisation météorologique mondiale a préconisé le recours aux traitements statistiques pour caractériser la variabilité climatique (WMO, 1966). L'analyse consiste en « *la mise en œuvre et en l'interprétation de tests statistiques d'homogénéité ou de stationnarité* » (Lubès-Niel *et al.*, 1998) des séries temporelles. Cependant, les jeux de données mensuelles de précipitations se caractérisent le plus souvent par des effectifs faibles, et ne répondent que rarement aux normes requises pour l'application des tests statistiques paramétriques ou non paramétriques. Des compromis (estimations mathématiques des données manquantes) sont nécessaires pour le traitement de ces données de stations où les séries sont incomplètes.

## 2.2. Evolution des cumuls annuels de 1950 à 2010

**Tableau 2 : Statistique descriptive de la pluviométrie dans les stations retenues**

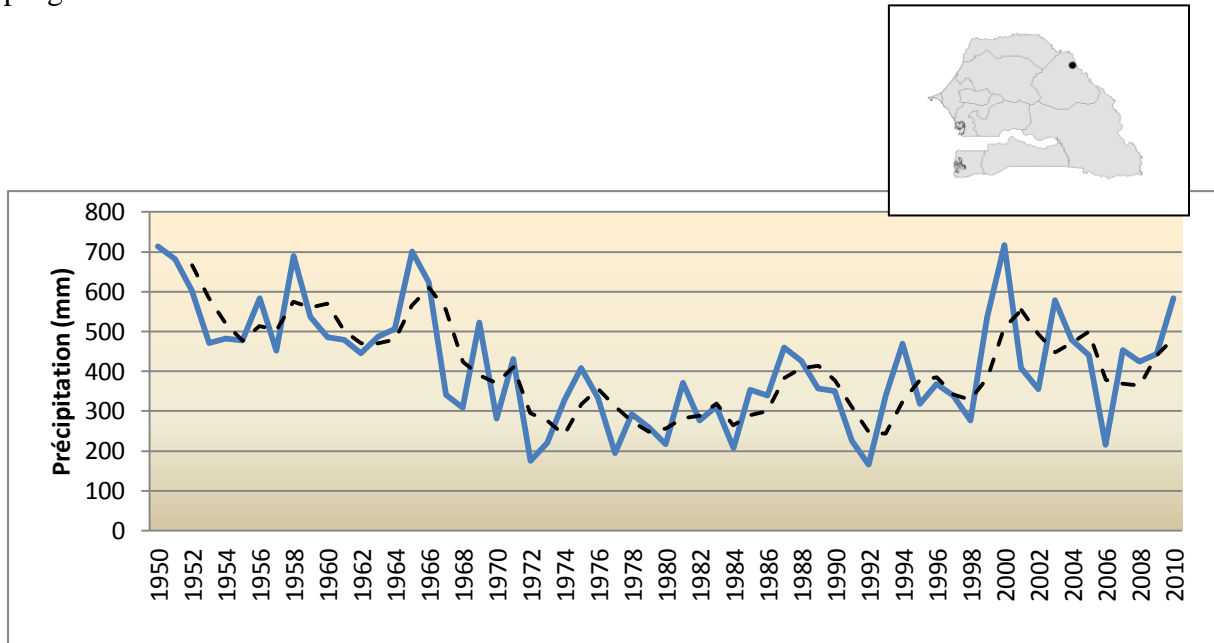
Stations	Mesures	Minimum (en mm)	année	Maximum (en mm)	année	Moyenne (en mm)	Ecart- type
<b>LOUGA</b>	60	121	1983	865	1952	342	148
<b>DAHRA</b> <sup>21</sup>	60	99	1983	858	1969	387	147
<b>BARKEDJI</b>	60	199	1999	725	1958	400	126
<b>BAKEL</b>	60	217	1958	900	1967	511	142
<b>DIORBEL</b>	60	275	1983	1013	1955	556	171
<b>FATICK</b>	60	276	1983	1051	1957	614	203
<b>BOULEL</b>	60	319	1983	987	1958	565	170
<b>KAOLACK</b>	60	305	1983	1177	1952	655	183
<b>TAMBACOUNDA</b>	60	433	1993	1213	1956	777	196

Il ressort du tableau 2 une forte inégalité des précipitations moyennes annuelles dans l'espace ainsi que la faiblesse globale des volumes totaux précipités. Le gradient décroissant de la pluviosité du sud au nord impose une baisse régulière des pluies. Les stations septentrionales sahéliennes (Louga, Barkédji, Matam, Bakel) ont été caractérisées par une importante baisse des volumes reçus annuellement à partir de 1973. Cette situation est aussi valable pour les stations soudano-sahéliennes mais avec des écarts à la moyenne moins importants par rapport à ceux du domaine sahélien. Si l'année la plus sèche est généralement 1983 (à l'exception de Barkédji et de Bakel), en revanche, la plus humide varie d'une station à l'autre (tableau ci-dessus) et se situe pour toutes les stations entre 1950 et 1970. Les écarts importants entre Barkédji et les autres stations du Ferlo sont dus à la qualité des données

<sup>21</sup> Les données temporelles des stations de Dahra et de Barkédji s'arrêtent en 2004 et celles de Boulel en 2003. Elles ont été reconstituées pour les dernières années.

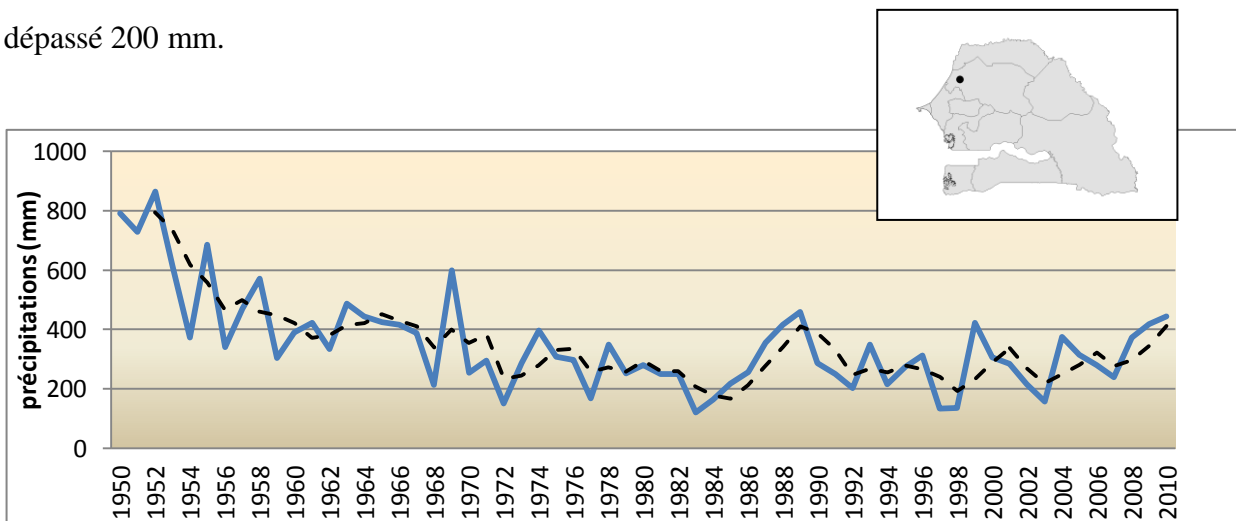
recueillies dans cette station. Ainsi pour ne pas biaiser nos résultats, nous l'avons finalement retiré de l'analyse.

Étudions maintenant plus dans le détail la variabilité spatiale de l'évolution de la pluviosité depuis 1950 dans la vallée du fleuve Sénégal, le Ferlo et le Bassin arachidier en progressant du nord au sud.



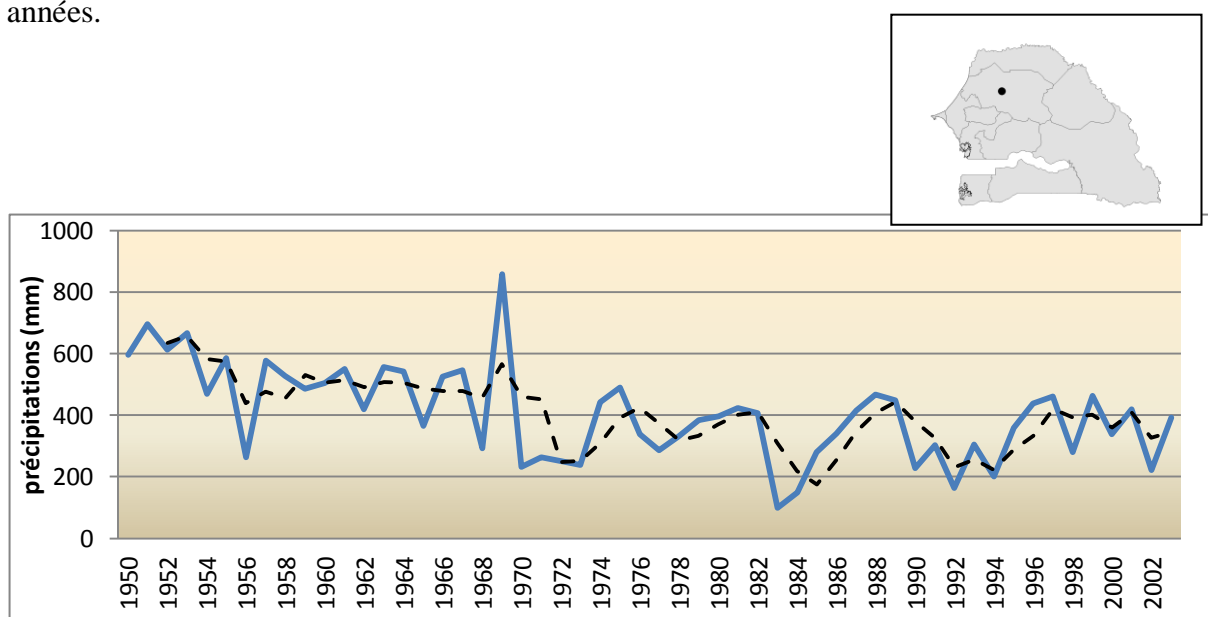
**Figure 23 : Évolution des cumuls annuels entre 1950 et 2010 à Matam**

La série temporelle de Matam dans la vallée du fleuve Sénégal et au nord-est du Ferlo (PMA : de l'ordre de 400 mm) montre une situation de pluviométrie assez favorable jusqu'en 1969. Du début des années 1970 jusqu'au milieu des années 1990, la baisse des quantités de pluies annuelles est sensible. Depuis 2000, on voit une certaine amélioration malgré la forte variabilité interannuelle forte comme en témoigne l'année 1986 où le total annuel n'a guère dépassé 200 mm.



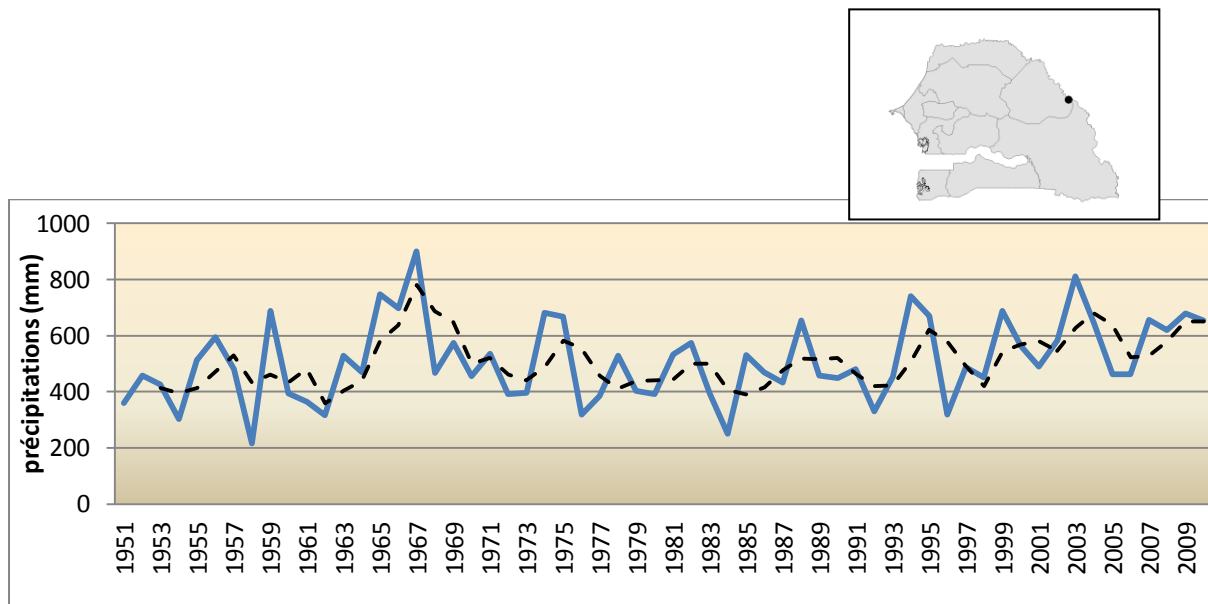
**Figure 24 : Évolution des cumuls annuels entre 1950 et 2010 à Louga**

A l'ouest du Ferlo, la situation pluviométrique de la station de Louga (PMA : 342 mm), entre 1950 et 2010 diffère de celle de Matam, en ce que la période 1950-1969 est marquée par une baisse progressive des cumuls annuels. Des années 1970 à aujourd'hui, la variabilité interannuelle est forte, mais, sur cette période, l'année la plus pluvieuse fut 1989 avec « seulement » 460 mm) sans que l'on discerne vraiment d'amélioration dans les dernières années.



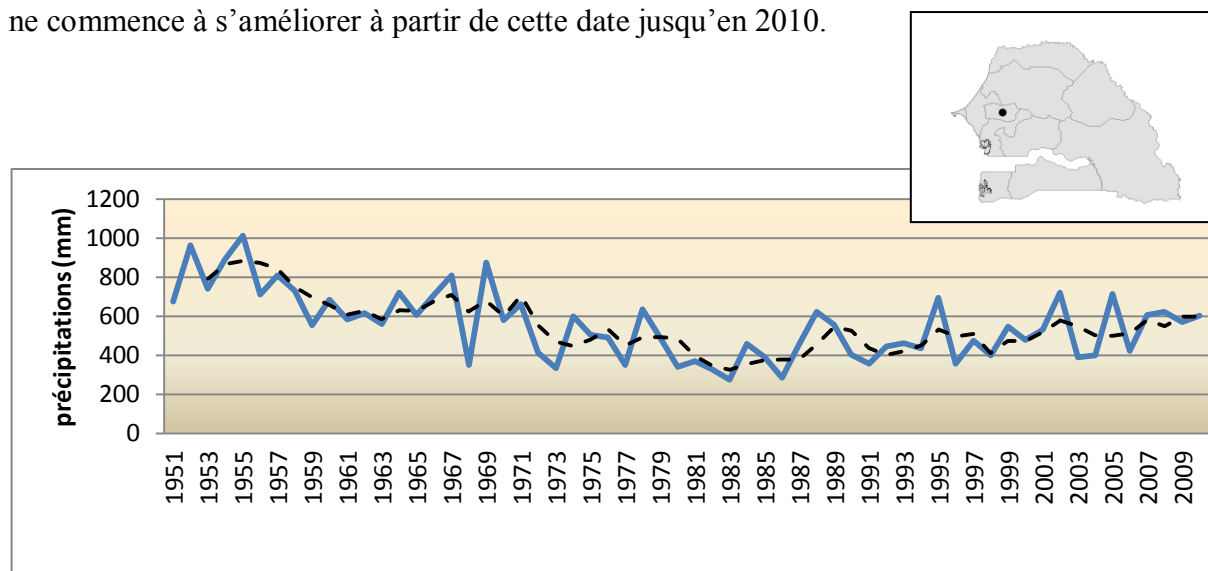
**Figure 25 : Évolution des cumuls annuels entre 1950 et 2003 à Dahra Djoloff**

Le cas de la station de Dahra Djoloff montre une évolution assez synchrone avec celle de Louga avec deux décennies globalement pluvieuses entre 1950 et 1970 (on notera l'année 1969 avec un cumul annuel exceptionnel de 857,6 mm). A partir de 1970, les années sèches se succèdent (1970, 1971, 1972, 1973, ...) sans que les années supérieures à la moyenne de la série qui est de 387 mm (1974,1975, 1988, 1997, 1999, 2001) ne dépassent beaucoup cette moyenne.



**Figure 26 : Évolution des cumuls annuels entre 1951 et 2010 à Bakel**

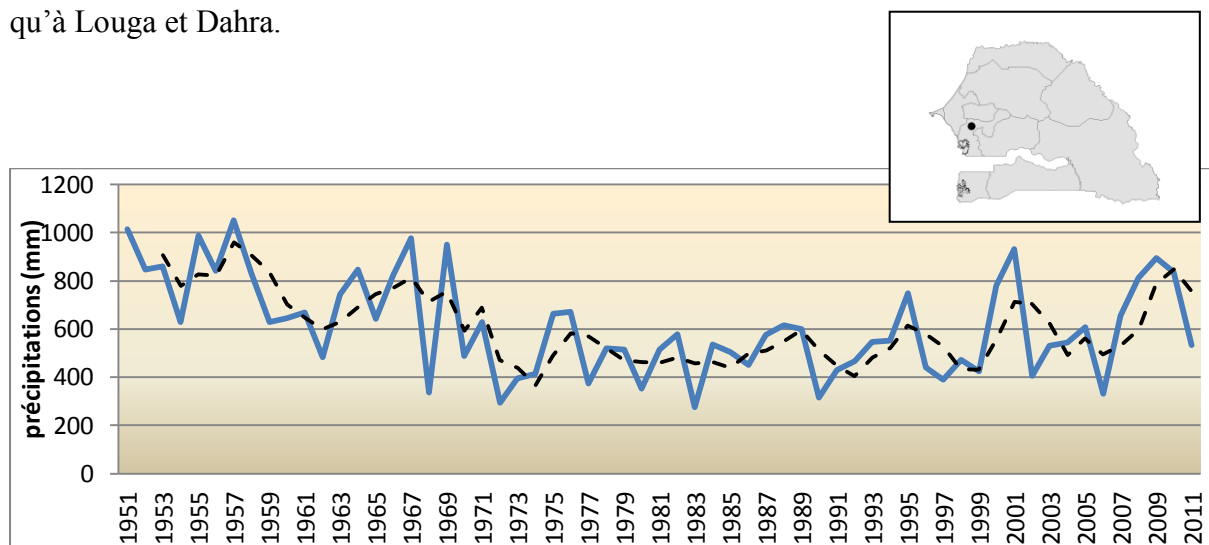
Plus au sud que Matam dans la vallée du fleuve Sénégal, la station de Bakel (PMA : 511 mm) montre des cumuls annuels globalement peu élevés sauf 1965-1968 (malgré une forte variabilité) entre 1951 et 1967, une année marquée par un total de 899,9 mm. En revanche, à partir de 1968, une faiblesse notoire sur les moyennes annuelles par rapport à la décennie écoulée, intervient et va se maintenir jusqu'au milieu des années 1990 avant que la situation ne commence à s'améliorer à partir de cette date jusqu'en 2010.



**Figure 27 : Évolution des cumuls annuels entre 1950 et 2010 à Diourbel**

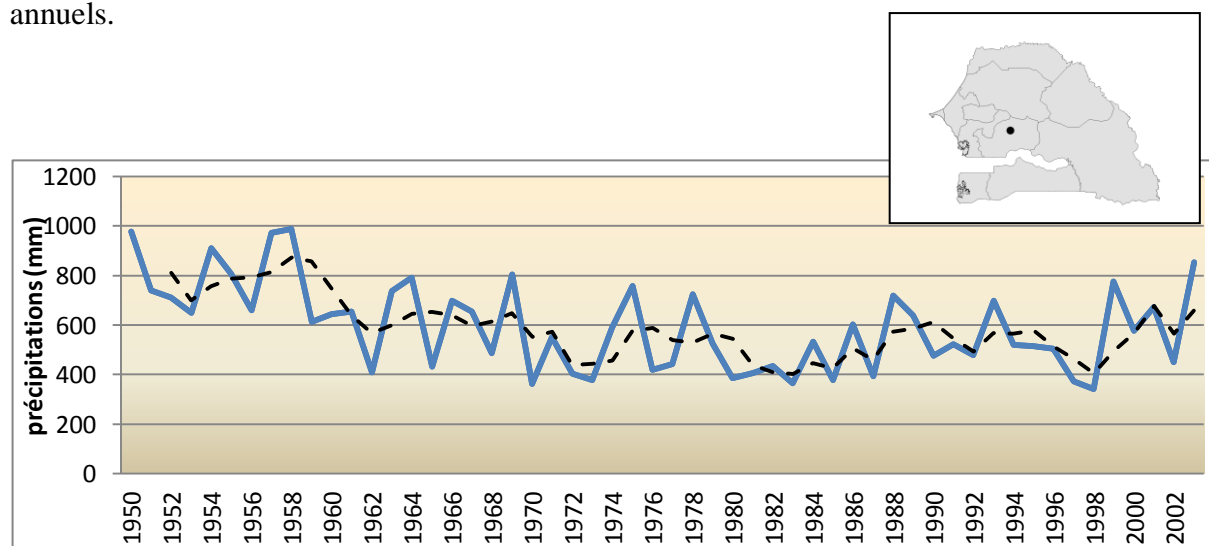
À partir de la station de Diourbel (PMA : 556 mm), on aborde les latitudes de transition entre le Ferlo et le Bassin arachidier. De 1950 à 2010, la pluviométrie de la station de Diourbel montre deux périodes distinctes : 1950 à 1970 où les cumuls annuels sont importants mais en baisse progressive et, de 1970 à 2010 marquée par la stabilité de cette situation de faibles

cumuls annuels. La période plus récente montre une amélioration à peine plus discernable qu'à Louga et Dahra.



**Figure 28 : Évolution des cumuls annuels entre 1951 et 2011 à Fatick**

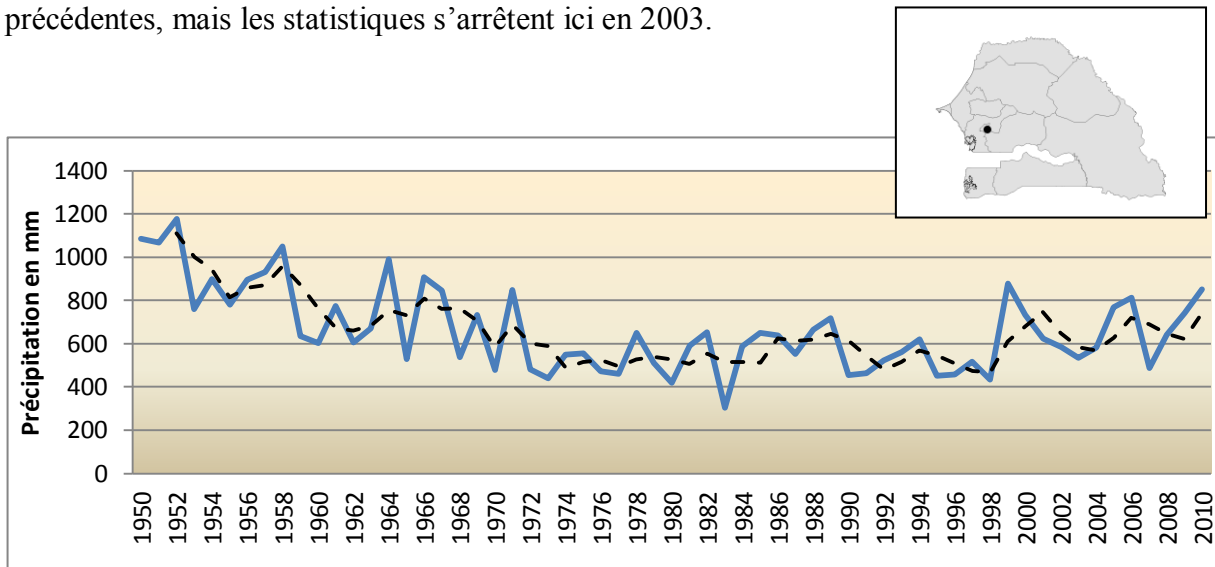
La périodisation est comparable dans la station de Fatick avec une accentuation de la variabilité interannuelle. Les années 1950 à 1969 montrent toutes une pluviosité annuelle au-dessus de la moyenne (614 mm) à l'exception de 1962 et 1968. À l'inverse, entre 1970 et 1999, les cumuls annuels sont pour la plupart en deçà de cette moyenne. A partir de 2000, l'amélioration est notable mais cela repose surtout sur quelques années de forts totaux annuels.



**Figure 29 : Évolution des cumuls annuels entre 1950 et 2003 à Boulel**

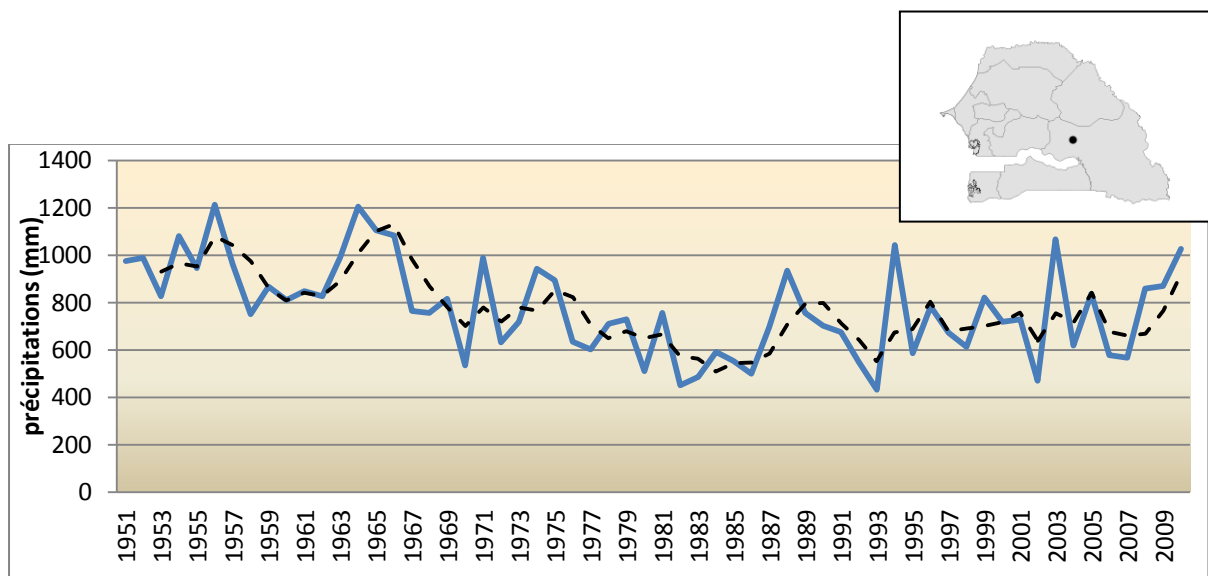
Avec des contrastes interannuels plus atténués, la station de Boulel (PMA : 565 mm) apparaît proche dans sa chronologie de celle de Diourbel, marquée par une diminution progressive des totaux pluviométriques annuels entre 1950 et 1970 passant ainsi de moyennes annuelles de 850 mm environ à des moyennes autour de 500 mm des années 1970 à 2003 n'a guère évolué.

L'amélioration sur la période plus récente est moins discernable que dans les stations précédentes, mais les statistiques s'arrêtent ici en 2003.



**Figure 30 : Évolution des cumuls annuels entre 1950 et 2010 à Kaolack**

Dans le Bassin arachidier, la station de Kaolack (PMA : 655 mm) se caractérise, elle-aussi, par une tendance nette à l'abaissement des quantités de pluies annuelles entre 1950 et 1972. En abordant ces stations plus méridionales, mieux arrosées, la périodisation est mieux marquée. À partir de 1973, la baisse des cumuls annuels est ainsi très importante par rapport aux décennies précédentes : alors que 1956 et 1964 dépassent 1 200 mm, après 1972, aucune année ne dépasse 800 mm. Entre 1999 à 2010 la situation s'est relativement améliorée avec le retour des cumuls au-dessus de 800 mm au cours de certaines années (1999, 2006, 2010).



**Figure 31 : Évolution des cumuls annuels entre 1951 et 2010 à Tambacounda**

Dans le Sénégal oriental, la station de Tambacounda (PMA : 777 mm) confirme ce qui vient d'être écrit pour Kaolack : sur la période 1951 – 1971, les cumuls annuels moyens sont de 920 mm (avec une forte variabilité interannuelle) nettement au-dessus des valeurs de la période 1972 - 1993 avec certaines années au-dessous de 500 mm. A partir de 1994, on note un retour des valeurs supérieures à 1 000 mm (1994, 2003, 2010) traduisant une amélioration globale de la situation.

L'analyse statistique des séries temporelles annuelles pour chaque station a montré que si la périodicité générale est à peu près la même pour l'ensemble des stations étudiées, des différences existent néanmoins dans l'ampleur de la variabilité interannuelle et dans la reprise plus ou moins discernable des précipitations depuis le milieu des années 1990. Dans la bande sahélienne, l'analyse montre que les deux premières décennies de la série chronologique (1951-1960 et 1961-1970) sont les plus humides mais pas pour tous les postes, (voir Bakel).

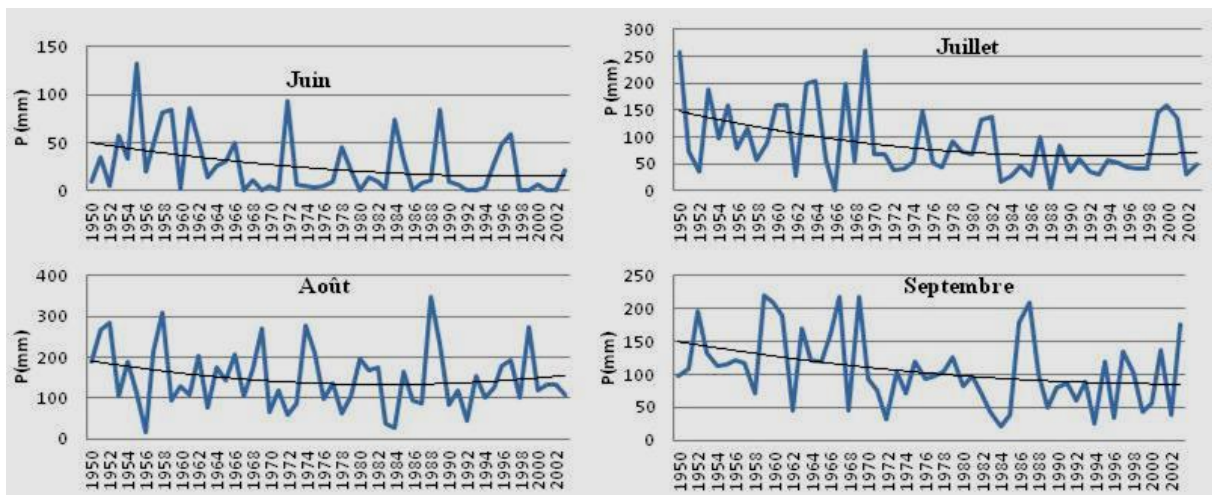
Une rupture dans les séries chronologiques apparaît pour toutes les stations à partir de 1969-1970 avec une baisse remarquable à partir de cette date des précipitations annuelles. Cette période a vu l'installation d'une répétition d'années sèches qui vont marquer l'histoire climatique récente de cette partie du monde. Cette période de récurrence des années sèches a connu des épisodes paroxysmiques en 1973 et en 1984. Deux grandes sécheresses qui ont marqué l'ensemble des pays sahéliens avec des conséquences socio-économiques et écologiques désastreuses. Les volumes globaux sont alors faibles pour toutes les stations. Ce phénomène apparaît bien dans les résultats statistiques aussi bien dans le Ferlo que dans le Bassin arachidier. Ces crises climatiques se sont aussi traduites dans l'irrégularité spatio-temporelle des pluies. A la faiblesse des volumes annuels de précipitation s'ajoute une répartition inégale de celles-ci dans l'espace.

Le troisième élément qui ressort est la (timide) « reprise » des pluies depuis la fin des années 1990, reprise qui est discutée dans les travaux récents des climatologues (Eklund & Olsson, 2003 ; Olsson *et al.* 2005 ; Nicholson, 2005 ; Fensholt & Rasmussen, 2010). Il est vrai que l'on n'a plus rencontré d'années de sécheresse sévère ces quinze dernières années, toutefois, le caractère très aléatoire des précipitations dans le Sahel impose une certaine prudence, ce que confirme l'étude de la saison des pluies.

### **2.3. L'irrégularité de la saison des pluies dans le Sahel sénégalais entre 1950 et 2010**

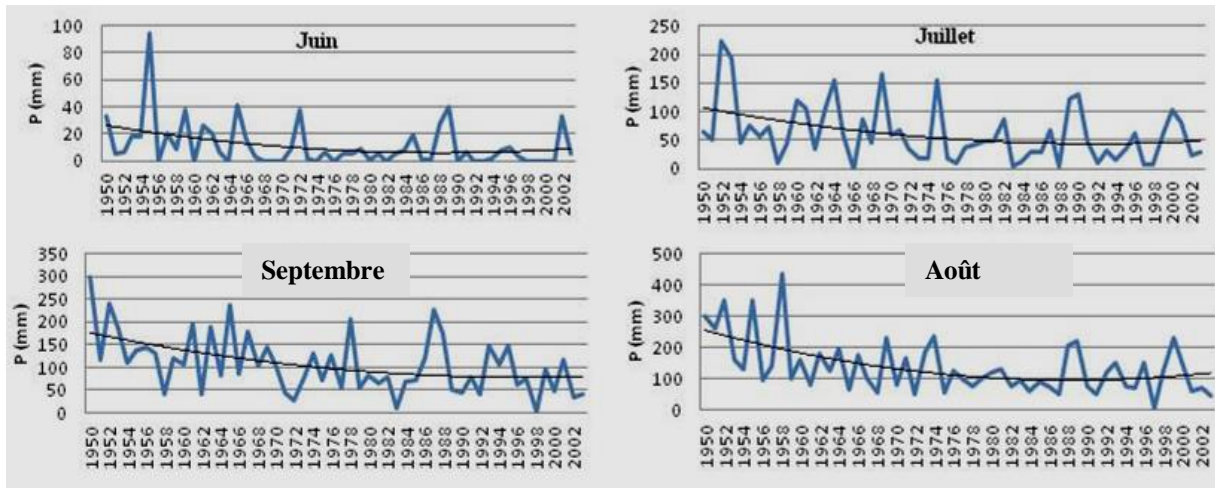
La connaissance de la variabilité de la saison des pluies permet de mettre en évidence les facteurs qui sont à l'origine des crises climatiques (Usman & Reason, 2004 ; Englehart &

Douglas, 2006). Le début et la fin de l'hivernage, les pauses pluviométriques sont autant de paramètres que les stratégies paysannes ont intégré dans leur calcul des périodes de semis et en conséquence du choix des types de cultures à semer suivant le déroulement de l'hivernage. L'approche saisonnière montre une variabilité des précipitations suivant les mois que dure l'hivernage. Elle peut aussi donner une idée sur la durée de la saison et la périodicité des évènements pluvieux. Enfin cette dimension de la variabilité revêt une importance capitale pour les systèmes agricoles et pastoraux dans la mesure où nous sommes dans des terroirs où l'eau est une ressource indispensable directe ou indirecte pour toutes les activités. Sa faiblesse ou sa mauvaise répartition affecte indubitablement les équilibres locaux et aggrave la vulnérabilité des socioécosystèmes.



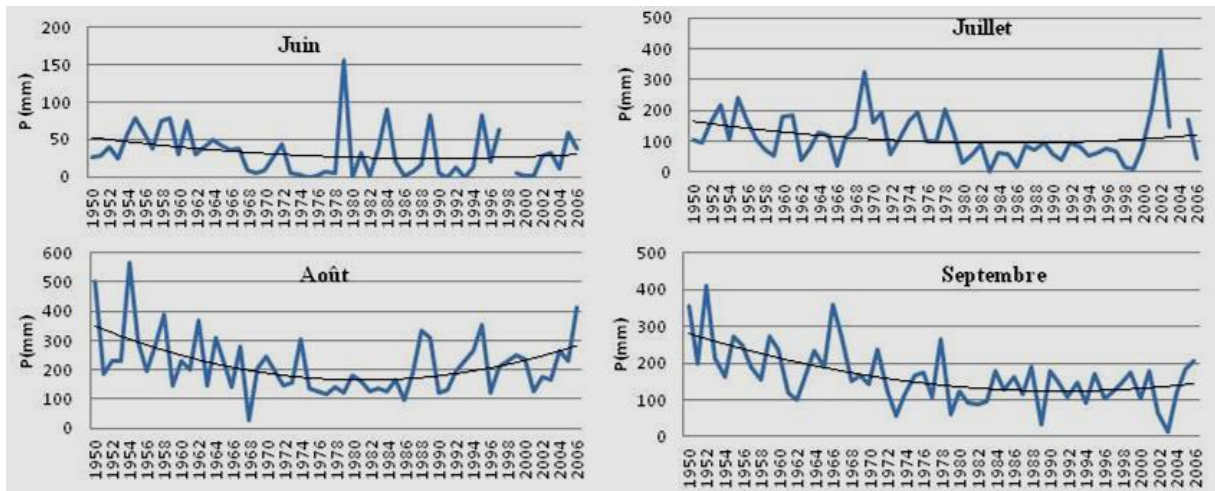
**Figure 32 : Évolution de la saison des pluies (juin, juillet, août, septembre) entre 1950 et 2003 à Dahra Djoloff**

L'évolution des précipitations en saison des pluies à Dahra entre 1950 à 2003 montre une tendance à la baisse aux mois de juin et juillet, donc en début d'hivernage, sur la période allant de 1950 à 1984 et une stabilité depuis 1985. Les deux décennies entre 1950 et 1970 sont caractérisées par des apports pluviométriques importants durant le mois de juillet. Les mois d'août et de septembre contribuent à plus 60 % en moyenne sur les volumes saisonniers.



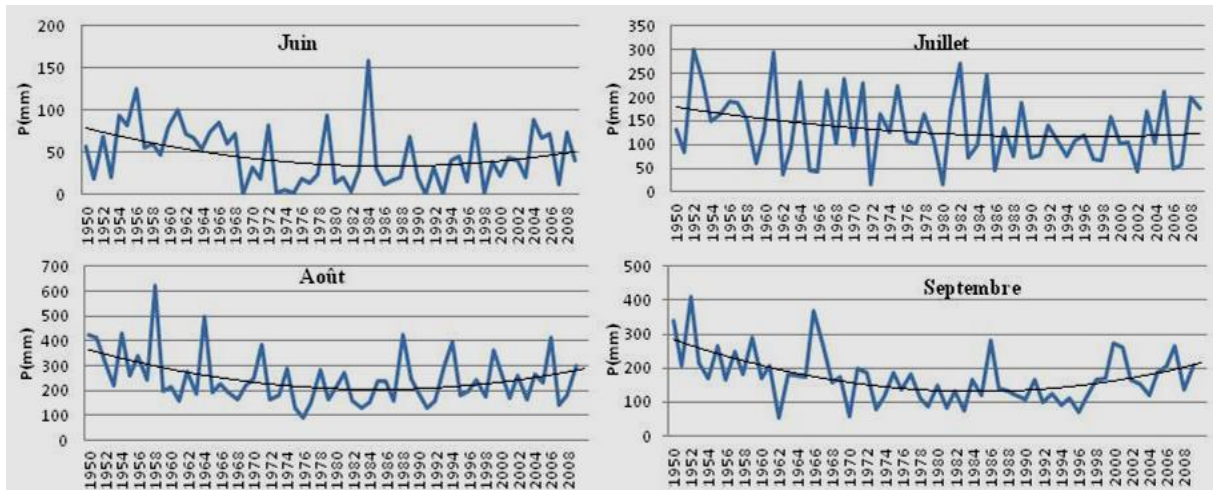
**Figure 33 : Évolution de la saison des pluies (juin, juillet, août, septembre) entre 1950 et 2002 à Louga**

La tendance générale observée à Dahra se retrouve à Louga même si les apports mensuels sont moins importants ici. Les quantités de pluies mesurées sont très faibles pendant le mois de juin. Les mois d'août et de septembre renferment l'essentiel des précipitations et sont caractérisés par une très forte variabilité.



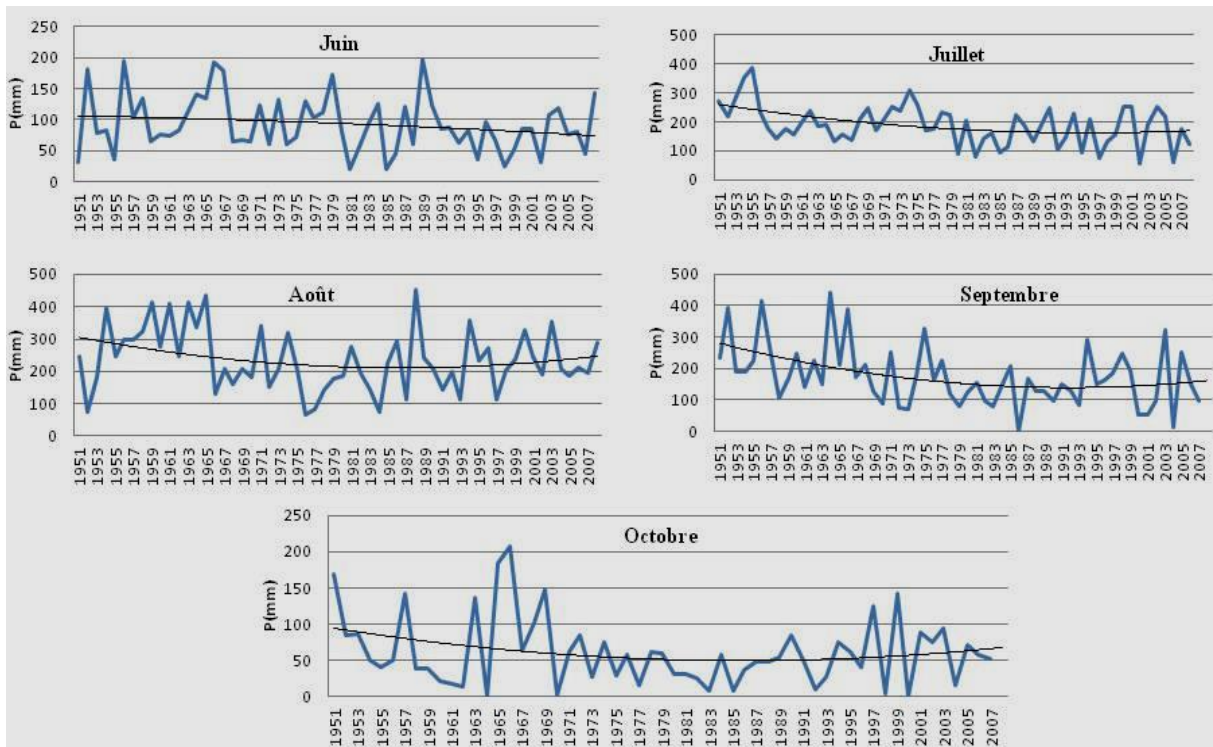
**Figure 34 : Évolution de la saison des pluies (juin, juillet, août, septembre) entre 1950 et 2008 à Diourbel**

La station de Diourbel présente une tendance à la reprise des précipitations saisonnières après une longue période de baisse entre 1950 et 1980. Cette reprise est particulièrement visible sur le mois d'août. Le mois de septembre montre une variabilité assez forte au cours de cette dernière décennie. L'apport du mois de juin est faible (à l'exception de 1979 où les quantités ont été faibles les autres mois de la saison.)



**Figure 35 : Evolution de la saison des pluies (juin, juillet, août, septembre entre 1950 et 2009 à Kaolack**

A l'instar de la station de Diourbel, Kaolack aussi montre une tendance à la reprise après la longue baisse caractérisant la période qui va de 1950 à 1980. En revanche, le mois de juillet présente une certaine stabilité malgré la forte variabilité qui la caractérise. Les apports importants des mois d'août et de septembre se sont améliorés au cours de la période qui va du milieu des années 1990 à aujourd'hui avec une moyenne de précipitations qui se situe entre 400 et 200 mm.



**Figure 36 : Evolution de la saison des pluies (juin, juillet, août, septembre entre 1950 et 2008 à Tambacounda**

Plus au sud, à Tambacounda, il faut aussi prendre en compte le mois d'octobre, la saison des pluies s'allongeant, ceci étant, la série temporelle de la station de Tambacounda, à l'exception du mois de juin (qui a une tendance à la baisse), fait état d'une situation analogue à celle de Kaolack même si les volumes annuels de précipitations sont beaucoup plus importants ici et la durée de l'hivernage plus longue. Le mois d'août reste le mois le plus pluvieux.

Les graphiques ci-dessus montrent une tendance générale assez commune à toutes les stations. Certes, il existe des nuances entre le Ferlo et le Bassin arachidier sur la reprise des précipitations qui apparaît de façon moins nette dans le premier. Au-delà de la confirmation de l'irrégularité interannuelle, l'analyse fait ressortir deux éléments intéressants : l'affaiblissement des quantités de précipitation reçues aux mois de juin et d'octobre, coïncidant respectivement au début et à la fin de l'hivernage ; la pluviosité plus forte des mois de juillet, août et septembre est caractérisée par une forte irrégularité sur laquelle repose la fluctuation interannuelle des totaux pluviométriques.

Dans toutes les stations, le mois d'août pèse du plus grand poids dans les apports pluviométriques. Quelques exceptions demeurent par ailleurs dans chaque station où les mois de septembre ou de juillet ont pu être plus pluvieux que le mois d'août suivant les années. A Tambacounda, le mois de septembre a enregistré 3 fois plus de pluies que le mois d'août en 1952, 1964 et 1966. Le caractère irrégulier des saisons de pluies ressort ici. Des cas similaires sont visibles dans tous les postes mais leur occurrence est faible sur toute la série chronologique.

Depuis la fin des années 1980, nous pouvons par ailleurs noter une augmentation assez importante des volumes de précipitations enregistrés pendant les mois d'août et de septembre et ce. Diourbel se singularise par le retour d'une importante pluviosité au mois de juillet lors de cette dernière décennie.

La reprise de la pluviosité elle, concerne, pour le moment, plus les stations du Bassin arachidier que celle du Ferlo où les tendances sont moins marquées. A l'opposé, la baisse des quantités de pluies annuelles observée entre les décennies 1970 et 1980 a été synchrone sur l'ensemble des stations étudiées.

### 3. Etude de l'irrégularité des pluies et de la sécheresse par l'Indice Standardisé des Précipitations

Il existe plusieurs indices qui offrent la possibilité de mesurer le niveau de sécheresse<sup>22</sup> d'une année climatique: le *Palmer Drought Severity Index* (**PDSI** ; Palmer, 1965), permet de mesurer le niveau de sécheresse en se fondant sur les précipitations et les températures ; le *Standardized Precipitation Index* **SPI** (McKee *et al.*, 1993) et l'*Effective Drought Index* **EDI** (Byun & Wilhite, 1999) s'appuient sur « la précipitation effective qui consiste à calculer pour chaque jour de la série une valeur d'eau disponible en prenant en compte les précipitations des jours passés » (Louvet, 2011).

Bien qu'aucun indice ne soit intrinsèquement supérieur aux autres en toutes circonstances, certains sont mieux adaptés que d'autres lorsque seules des données très simples sont précises. Le choix du SPI s'est imposé en raison de la nature de nos jeux de données (précipitations mensuelles et annuelles).

L'indice s'écrit selon la formule suivante (Bergaoui *et al.* 2001) :

$$SPI = Xi - Xm/Si$$

Où  $Xi$  est le cumul de la pluie pour une année  $i$ ;

- $Xm$ , la moyenne de la série temporelle
- $Si$ , l'écart-type des pluies annuelles observées pour la même série temporelle.

Le SPI est donc un indice où les valeurs négatives indiquent les phases de sécheresse et les valeurs positives les années humides.

Les avantages qu'offre cet indice ont été développés par Lloyd-Hughes & Saunders (2002) :

- son calcul est très simple car il ne se fonde que sur des données pluviométriques ;
- il peut être calculé sur des segments de temps variables ;
- son approche de normalisation permet de montrer que la fréquence d'occurrence des événements extrêmes est la même pour toutes les stations ;
- il permet de mettre en évidence le degré de sévérité du déficit hydrique selon différentes classes qui fixent des critères précis d'évaluation (Tableau ci-dessous).

---

<sup>22</sup> Une présentation détaillée de tous ces indices est disponible sur le site du National Drought Mitigation Center (NDMC) aux États-Unis : <http://drought.unl.edu/Planning/Monitoring/ComparisonofIndicesIntro.aspx>

**Tableau 3 : Nomenclature des valeurs de SPI**

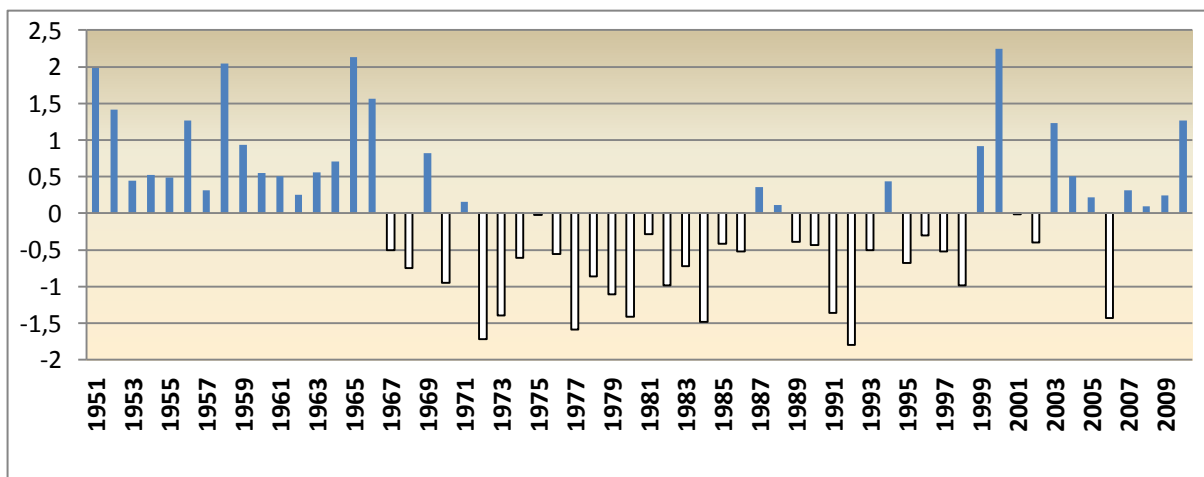
SPI Values	Category
2,00	Humidité extrême
1,50 to 1,99	Humidité forte
1,00 to 1,49	Humidité modérée
-0,99 to 0,99	Situation normale
-1,00 to -1,49	Sécheresse modérée
-1,50 to -1,99	Sécheresse forte
-2,00	Sécheresse extrême

Source : McKee *et al.* (1993)

Selon la valeur indiciaire, nous avons la typologie ci-après. Les classes vont de l'humidité extrême à la sécheresse extrême en passant par l'humidité forte, l'humidité modérée, la sécheresse modérée et la sécheresse forte. Il a été utilisé dans diverses régions climatiques du globe (Giddings *et al.*, 2005 ; Wu *et al.*, 2001, Sönmez *et al.*, 2005).

Les limites principales reprochées à cette méthode sont :

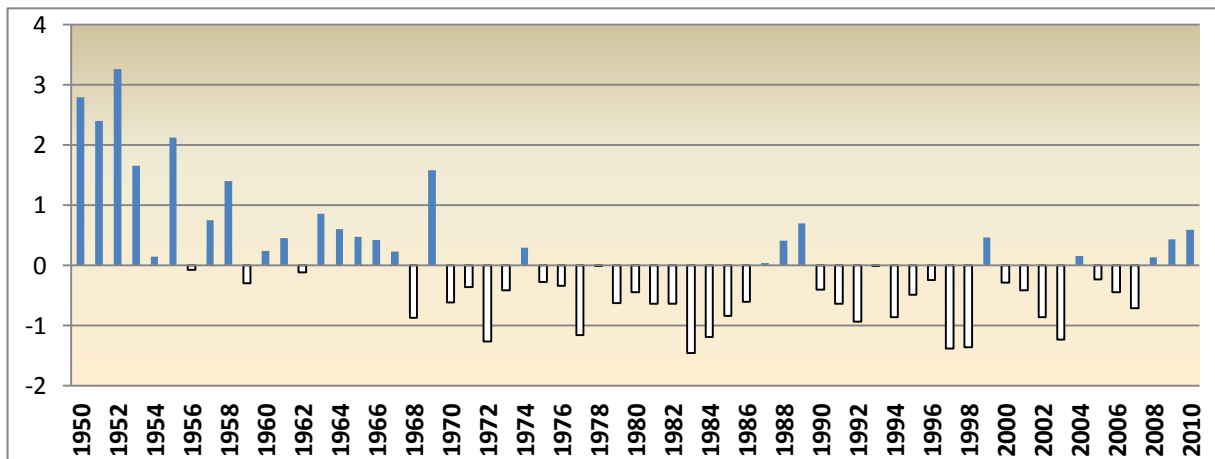
- Les erreurs - des valeurs élevées trompeuses - peuvent apparaître en appliquant le SPI sur des petits segments de temps sur des régions avec des saisons sèches (comme c'est le cas de notre zone d'étude).
- Les valeurs fondées sur des données préliminaires sont susceptibles de changer.



**Figure 37 : Évolution de l'indice standardisé des précipitations entre 1951 et 2010 à Matam**

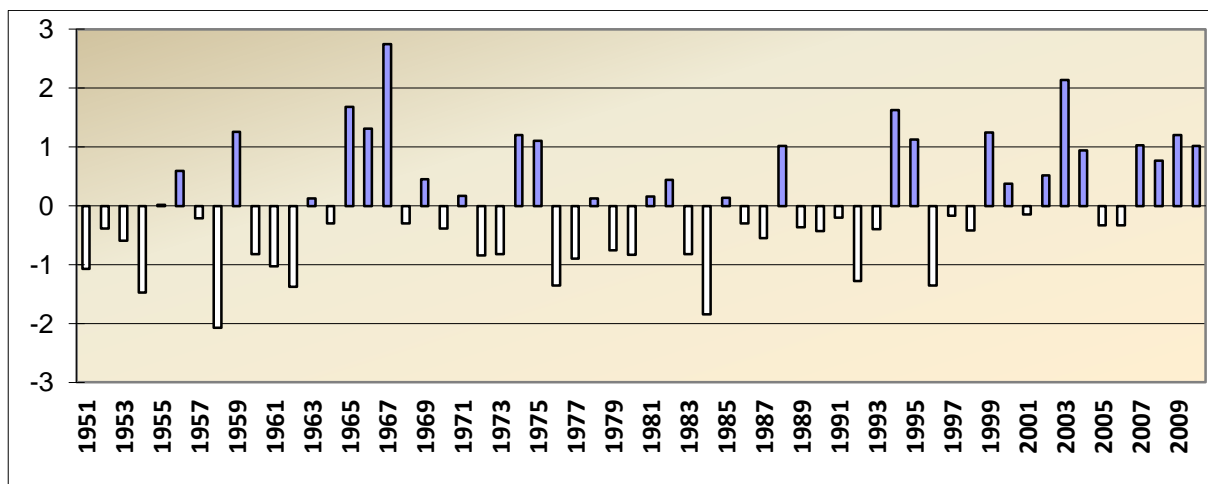
Le résultat obtenu pour la station de Matam illustre l'avantage du calcul du SPI qui clarifie la périodisation esquissée plus haut. Entre 1951 et le début des années 1970, on retrouve ainsi la

succession d'années humides ou très humides en 1951, 1958 et 1965. A partir de 1971, avec la baisse de la pluviométrie, les années sèches se succèdent jusqu'à la fin des années 1990 et les années de sécheresse forte apparaissent bien. Entre 2000 et aujourd'hui, le SPI montre une amélioration de la pluviosité avec la récurrence des années humides à l'exception de l'année 2006 considérée comme sèche dans toutes les stations à l'exception de Kaolack. Matam est, par ailleurs, la seule station du Ferlo à présenter une année « d'humidité extrême » (en 2000) depuis 1990.



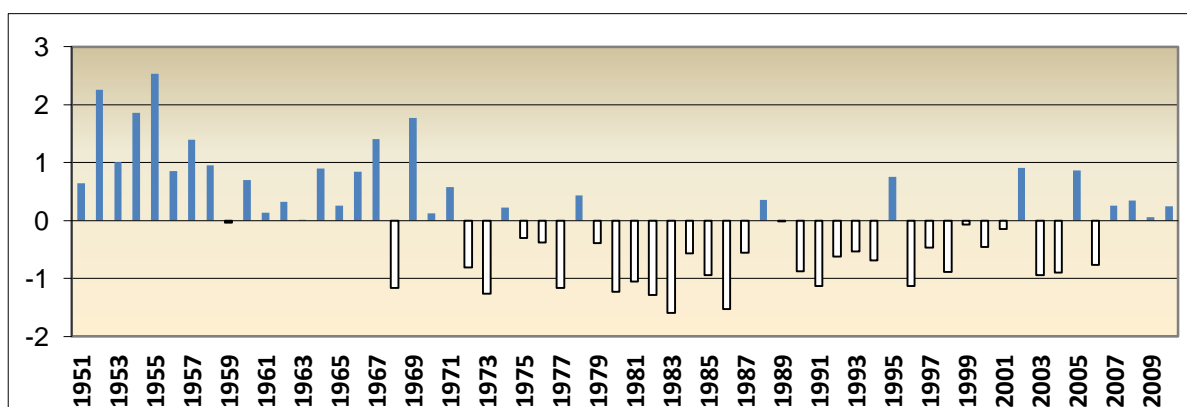
**Figure 38 : Évolution de l'indice standardisé des précipitations entre 1950 et 2010 à Louga**

La situation de la station de Louga au regard des résultats du SPI se divise en deux grandes périodes : entre 1950 et 1970 avec une forte fréquence d'années humides et à partir de 1970, l'importance du poids des années sèches montre que la phase sèche qui s'est amorcée tôt ici, a été plus la longue par rapport aux autres stations du Ferlo. La faiblesse des cumuls annuels malgré une légère amélioration depuis 2005 retarde encore la reprise constatée dans les autres stations. La dernière année « d'humidité forte » date de 1969.



**Figure 39 : Évolution de l'indice standardisé des précipitations entre 1951 et 2010 à Bakel**

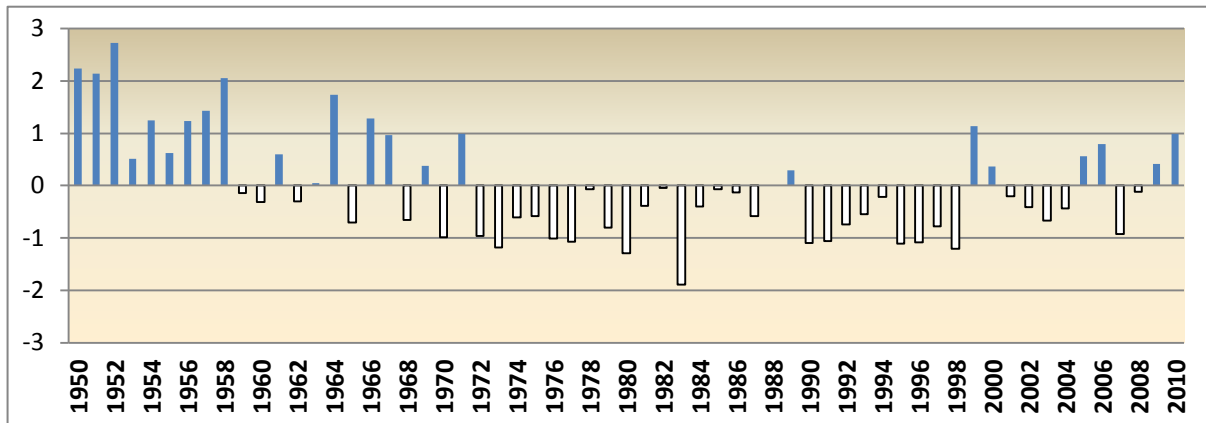
Un autre avantage du détour par les indices est qu'il révèle plus clairement les problèmes sur les jeux de données. Ainsi le résultat très particulier de la station de Bakel conduit à s'interroger sur la qualité des données fournies pour cette station. En effet, contrairement à la station de Matam pourtant proche et contrairement à toutes les autres stations, Bakel montrerait une première période (entre 1951 et 1965) marquée par des années sèches. Durant la grande période sèche (entre 1972 et début 1990) commune à toutes les stations, elle présenterait une alternance d'années humides et sèches. Un tel résultat conduit à écarter Bakel dans la suite du raisonnement.



**Figure 40 : Évolution de l'indice standardisé des précipitations entre 1951 et 2010 à Diourbel**

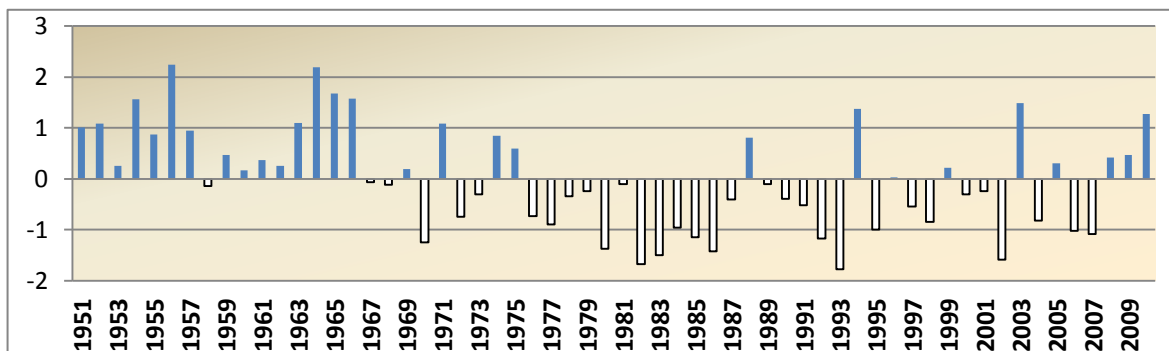
Le SPI homogénéise notre échantillon et le résultat de la station de Diourbel est finalement proche de celui de Matam et l'on retrouve bien les trois périodes caractéristiques de l'évolution de la pluviométrie dans le Sénégal intérieur des années 1950 à nos jours,

périodisation confirmant celle donnée par les climatologies pour l'ensemble du Sahel. En effet, la série de Diourbel met à nouveau en exergue, une phase humide allant des de 1950 à 1970. Ensuite, une longue succession d'années sèches qui intervient à partir de 1972 jusqu'à la fin des années 1990. La phase récente de reprise des pluies apparaît ici plus timide.



**Figure 41 : Évolution de l'indice standardisé des précipitations entre 1950 et 2010 à Kaolack**

L'évolution du SPI à Kaolack présente la même configuration que celle de Diourbel. Dans cette station, localisée dans la zone soudano-sahélienne, la reprise des précipitations a été amorcée en 1999 avant les stations sahéliennes situées plus au nord. On notera l'année 2006, année sèche partout sauf ici, ce qui démontre la variabilité spatiale des quantités d'eau précipitées saisonnièrement.



**Figure 42 : Évolution des indices standardisés des précipitations entre 1951 et 2010 à Tambacounda**

Plus au sud encore, à Tambacounda, sous un climat plus humide (les précipitations moyennes annuelles calculées sur l'ensemble de la période atteignent, rappelons-le, 777 mm), l'évolution du SPI apparaît un peu atténuée, la grande phase sèche (entre 1970 et 1990) observée dans toutes les stations a ainsi été moins longue ici. Surtout, cela amène à

s'interroger sur les notions « d'humidité » ou de « sécheresse » définies par le SPI. Ces notions n'apparaissent que relatives à chacune des stations et une année très sèche à Tambacounda n'a certainement pas la même signification que le même résultat obtenu à Louga ou Matam.

Si on considère les stations dans leur ensemble, les résultats montrent une série divisible en deux périodes où les résultats sont homogènes par rapport aux tendances observées. La première période 1950-1970 est humide à très humide partout. Durant cette période, de nombreuses années apparaissent même, par contraste avec l'ensemble de la série, extrêmement humides pour les stations sahéliennes. La seconde partie de 1971 au début des années 2000 met en évidence une période très déficitaire marquée par des successions d'années de sécheresse modérée à forte, particulièrement la décennie des années 1980 symbolisées par la grande sécheresse de 1983-1984 encore fraîche dans la mémoire des populations.

Le SPI traduit ainsi une situation globalement dominée par des phases de sécheresse modérée et de périodes moyennement humides (HM) (Tableau 4, Fig. 43). Les « années sèches » occupent plus de 50 % des séries sur tous les postes. La station de Kaolack avec 61,7 % d'« années sèches » est celle où l'affaiblissement des précipitations a été le plus sensible. Les « années humides » quant à elles tournent autour de 45% des séries temporelles en moyenne sur toutes les stations et 38,3 % seulement pour Louga.

Dans toutes les stations, les années de sécheresse modérée tournent autour de 36 %. Louga et Kaolack ont les valeurs les plus fortes avec, respectivement, 47,5 % et 45 %. Si, dans tous les postes on retrouve des années d'humidité extrême par contre aucune ne présente une situation de sécheresse extrême sur toute la série temporelle : pour la période considérée, le SPI souligne ainsi que la période humide des années 1950 et 1960 est plus exceptionnelle que la période sèche qui a suivi, ce qui rejoint la position de certains climatologues.

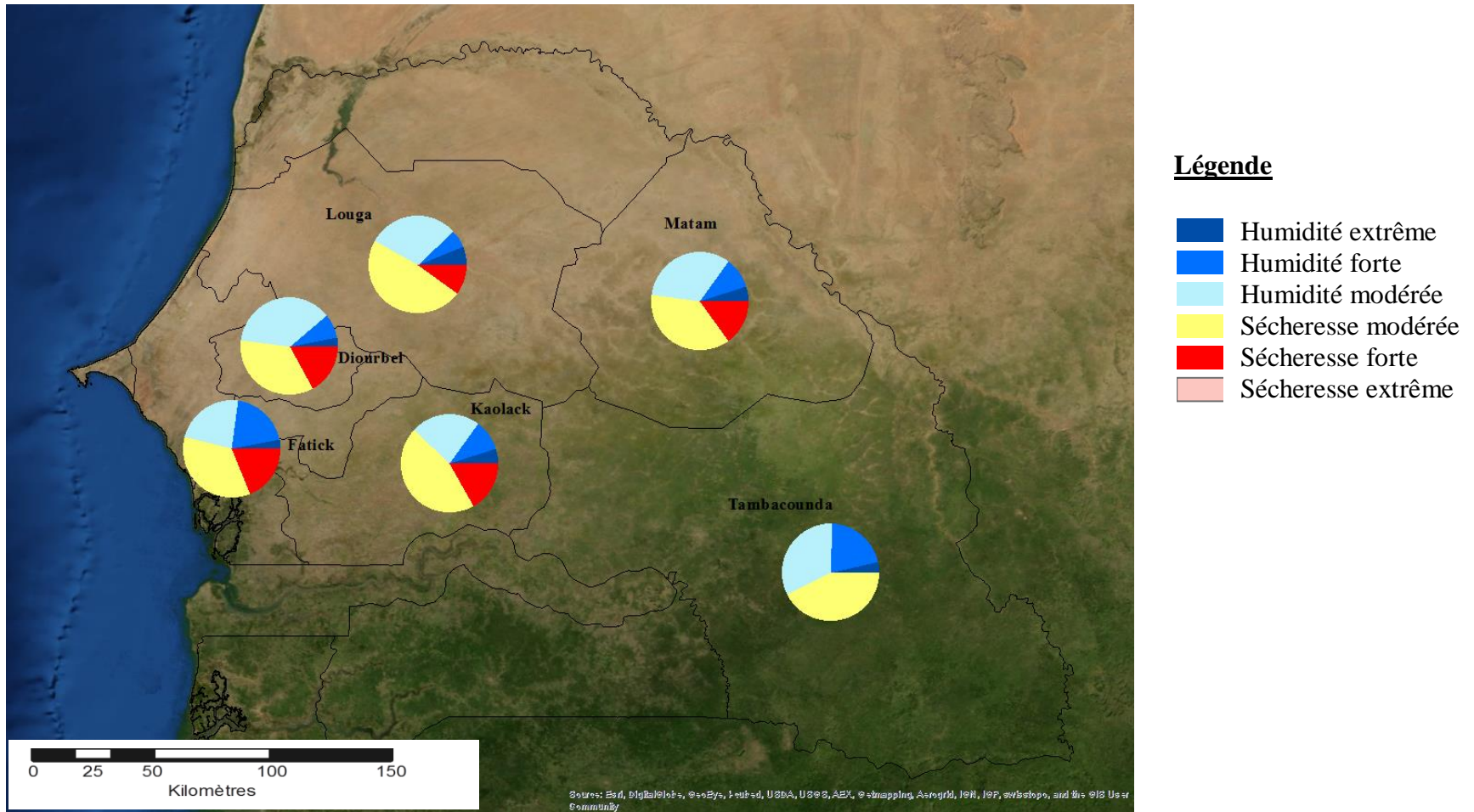
Sur les nombres d'années d'humidité extrême survenues entre 1950 et 2010, Matam en a connu 3, Louga, 4, Diourbel 2 et Kaolack 4. Il serait intéressant de souligner que tous ces cas d'années d'humidité extrême sont situés entre 1950 et 1970. Aucune station n'en a connu depuis lors.

**Tableau 4 : Répartition des types d'années (selon le SPI) pour chaque station entre 1950 et 2010**

<b>SPI</b>	<b>MATAM</b>	<b>LOUGA</b>	<b>DIOURBEL</b>	<b>FATICK</b>	<b>KAOLACK</b>	<b>TAMBA</b>
HE	5	6,5	3,3	3,3	5	3,3
HF	10	5	8,3	20	10	16,7
HM	33,3	29,5	36,7	23,3	23,3	26,7
SM	36,7	47,5	35	35	45	35
SF	15	11,5	16,7	18,3	16,7	18,3
SE	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Poids années sèches (%)</b>	51,7	59	51,7	53,3	61,7	53,3
<b>Poids années humides (%)</b>	48,3	41	48,3	46,7	38,3	46,7

(**HE** : humidité extrême, **HF** : humidité forte, **HM** : humidité modérée, **SE** : sécheresse extrême, **SF** : sécheresse forte, **SM** : sécheresse modérée)

Les résultats de l'étude des SPI soulignent aussi la grande irrégularité des précipitations dans le Ferlo (et plus globalement dans le Sahel) dans le temps et dans l'espace. La rupture apparue dans les années 1970 avec la récurrence des années de sécheresse qui a durement affecté les systèmes socio-écologiques du Ferlo est bien mise en exergue. L'analyse confirme aussi la succession récente d'années d'humidité modérée, surtout au cours de la période 2005-2010. Cette situation concerne toutes les stations de la zone d'étude.

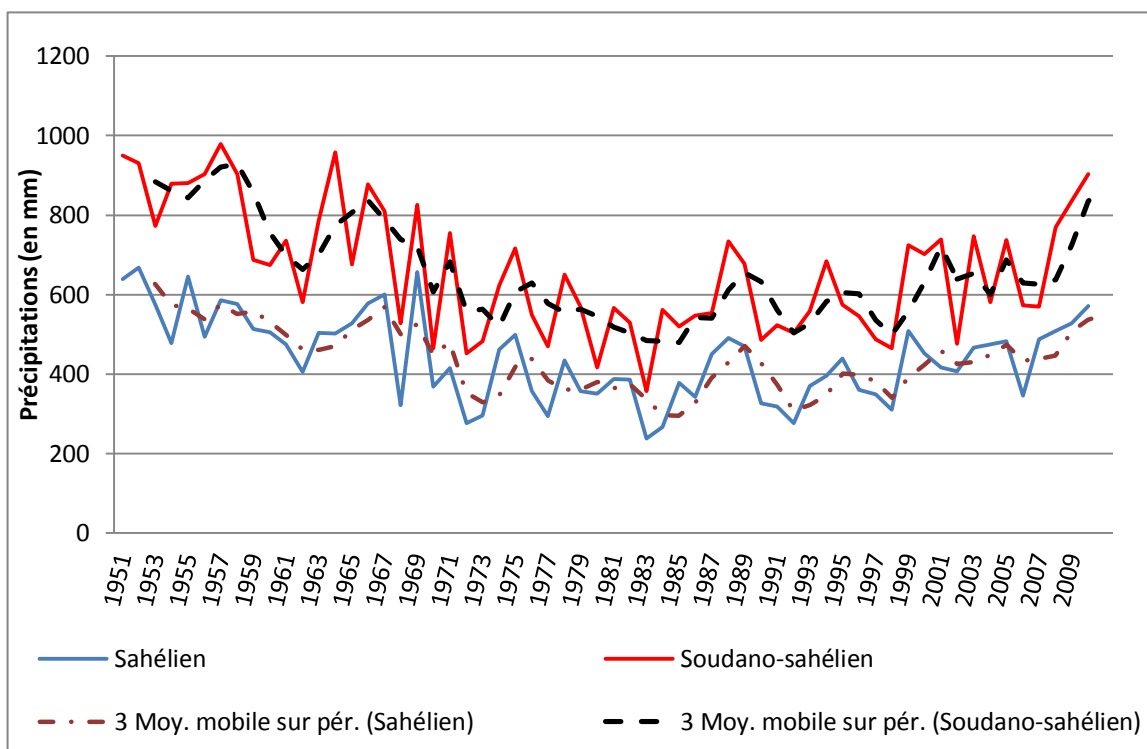


**Figure 43 : Carte de la répartition des années pluviométriques (typologie SPI) par station entre 1950 et 2010**

#### 4. La variabilité pluviométrique dans les domaines bioclimatiques

Comme nous venons de le voir, l'un des traits majeurs du climat dans le Sénégal intérieur est la variabilité spatio-temporelle des précipitations. Ceci étant, la répartition spatiale des précipitations moyennes annuelles suit un modèle très simple avec le gradient nord-sud. Par commodité, ce champ de variation graduelle des pluies a été classiquement découpé en quatre domaines bioclimatiques sur le territoire sénégalais (voir chap. 2) et seules les bandes zonales sahélienne et soudano-sahélienne nous intéressent ici.

Nous allons tenter dans ce paragraphe par une opération qui n'a qu'un caractère purement indicatif de caractériser la variabilité climatique aux échelles moyennes en essayant d'évaluer les différences entre les deux zones. Nous avons pour cela procédé à une addition des précipitations annuelles des stations placées dans chaque domaine bioclimatique. Opération indicative car le faible nombre des stations retenues ne permet pas de constituer un échantillon très représentatif de la situation climatique entre le Ferlo et le Bassin arachidier.

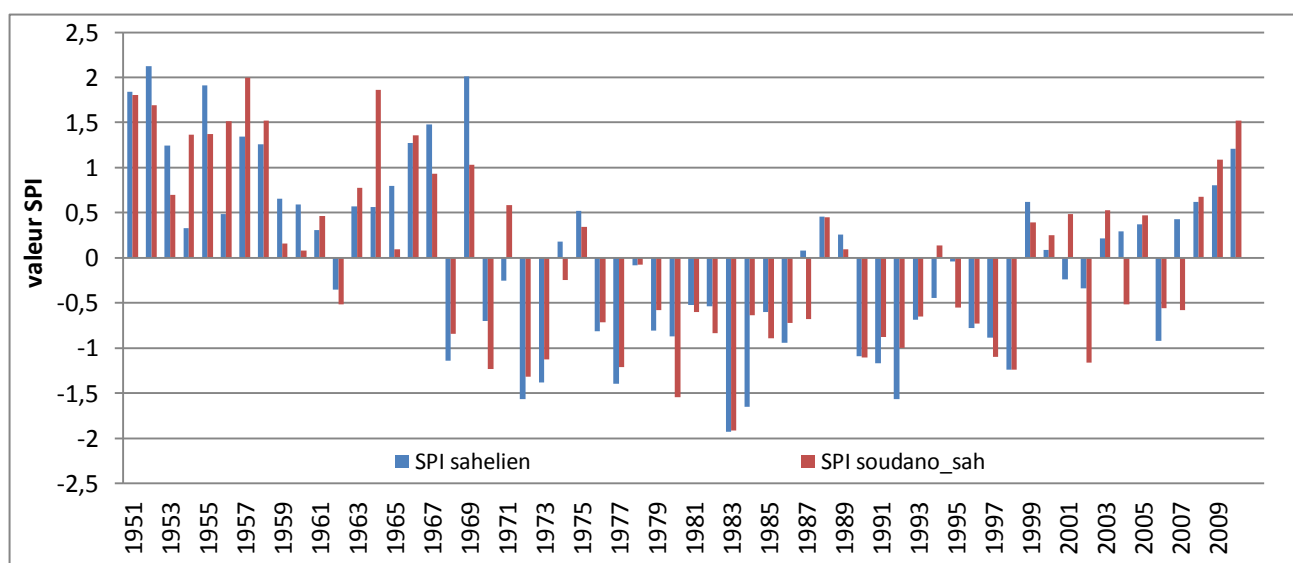


**Figure 44 : Évolution des cumuls annuels pluviométriques entre 1951 et 2010**

Les évolutions des cumuls annuels (Fig. 44) dans les deux domaines suivent globalement la même tendance, mais des disparités peuvent exister certaines années. La

concordance est grande sur la première décennie qui, comme nous venons de le voir, est pluvieuse dans tous les postes, surtout dans le domaine soudano-sahélien.

Une première rupture apparaît en 1961, année moins pluvieuse d'environ 200 mm pour les deux domaines climatiques. Une deuxième rupture apparaît en 1968, plus sévère dans la partie sahélienne. La troisième rupture qui marque l'installation de façon durable de la sécheresse commence en 1970. Entre 1970 et 2000, période de crise climatique, la tendance a été similaire dans les deux domaines. Les années de sécheresse se sont succédées avec la même ampleur.



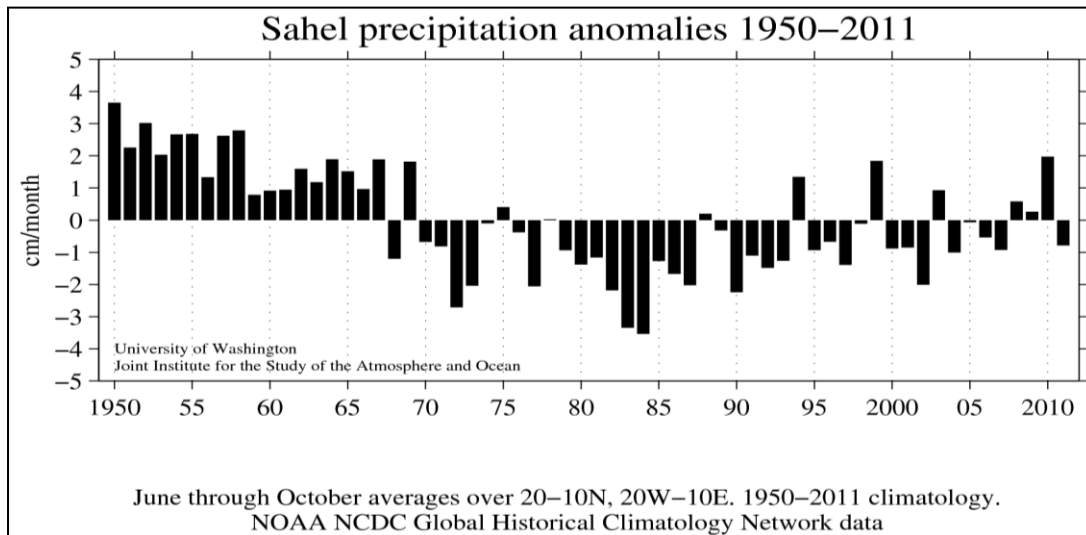
**Figure 45 : Evolution de l'indice standardisé des précipitations**

Les SPI calculés à cette échelle permettent d'avoir un aperçu global de la variabilité des précipitations. La Figure 45, à l'instar des résultats stationnels, montre la différenciation entre les deux premières décennies de 1950 à 1970 très humides et celles qui ont suivi et qui étaient très déficitaires. Les deux domaines se différencient durant les périodes humides ; en revanche, l'ampleur des années sèches est la même. Les moments aigus de crise climatique ont donc frappé les deux domaines climatiques mais leur signification n'est évidemment pas la même, avec des conséquences dramatiques dans la zone sahélienne pour les anthroposystèmes pastoraux qui dépendent très directement de la pluie pour les pâturages, alors que c'est plutôt l'activité agricole (mauvaises récoltes) qui est touchée dans le domaine soudano-sahélien.

**Tableau 5 : Synthèse des SPI dans les deux domaines climatiques**

Domaine SOUDANO SAHELIEN			Domaine SAHELIEN		
SPI	Variable	Pourcentage	SPI	Variable	Pourcentage
HE	0	0	HE	2	3,3
HF	12	20	HF	8	13,3
HM	18	30	HM	19	31,7
SM	20	33,3	SM	21	35
SF	10	16,7	SF	10	16,7
SE	0	0	SE	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>60</b>	<b>100</b>	<b>TOTAL</b>	<b>60</b>	<b>100</b>
<b>Années humides</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>Années humides</b>	<b>29</b>	<b>48,3</b>
<b>Années sèches</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>Années sèches</b>	<b>31</b>	<b>51,7</b>

Une autre présentation des résultats (Tableau 5) permet de se rendre compte que les années « sèches » ont été un peu plus nombreuses dans la zone sahélienne, alors que dans la zone soudano-sahélienne, nous pouvons noter une égalité entre les années « sèches » et les années « humides ».



**Figure 46 : « Anomalies » des précipitations dans le Sahel entre 1950 et 2011**

Ces résultats corroborent les observations faites par le JISAO (Université de Washington)<sup>49</sup> à partir des données NOAA NCDC (Fig. 46) sur la ceinture sahélienne. Dans cette présentation L' « anomalie » repose sur les écarts des précipitations annuelles de 1950 à 2011 par rapport aux normales calculées sur la période de référence (majoritairement humide) de

<sup>49</sup> Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean : <http://jisao.washington.edu/data/sahel/>

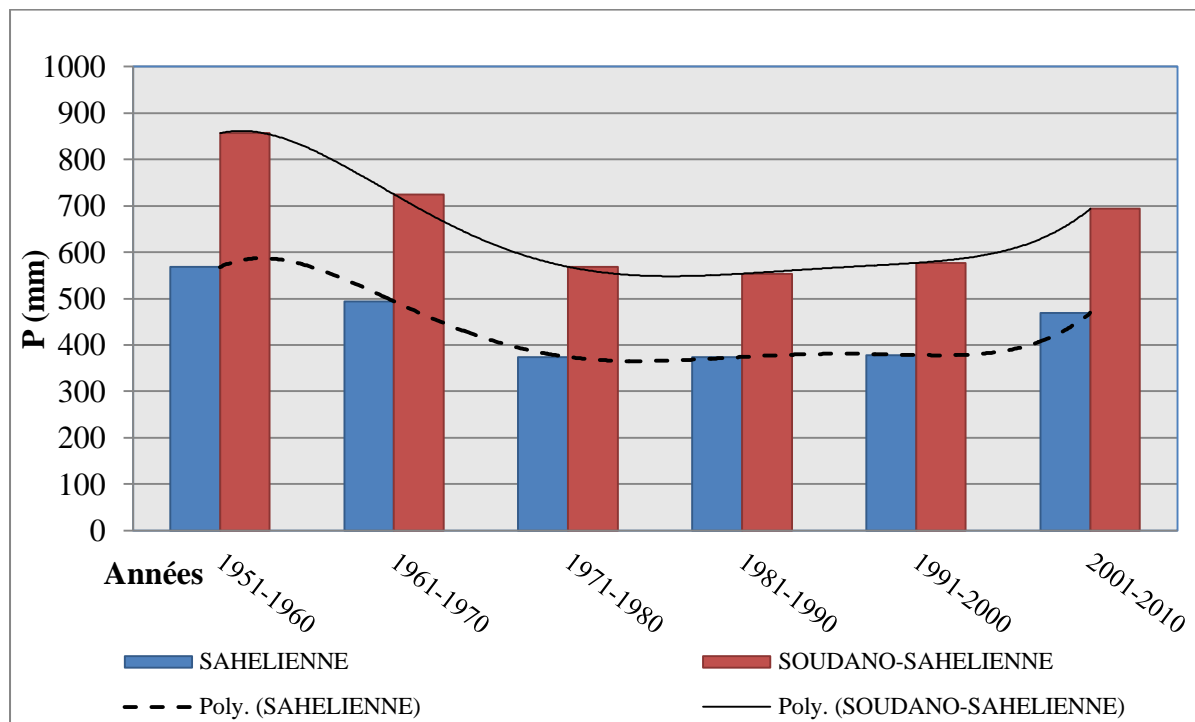
1950 à 1979. Cette norme temporelle à partir de laquelle, seront déterminées les années dites humides ou sèches (anomalies) apparaît très arbitraire.

## 5. Evolution décennale des précipitations

**Tableau 6** : Synthèse des cumuls décennaux moyens

synthèse des cumuls décennaux moyens		
	Précipitations (mm)	
DECENNIES	SAHELIEN	SOUDANO-SAHELIEN
1951-1960	568	856
1961-1970	494	724,5
1971-1980	374	568,5
1981-1990	374	553,5
1991-2000	378	577
2001-2010	469	693

Nous prolongeons ici la présentation du contexte climatique de notre étude en simplifiant encore le résultat par une étude à l'échelle de temps décennale des précipitations pour le Ferlo (domaine sahélien) et le Bassin arachidier (domaine soudano-sahélien).



**Figure 47** : Évolution des moyennes décennales des précipitations

- **La décennie 1951-1960**

C'est de loin la plus pluvieuse. Elle marque le passé récent assez humide de la région, coïncidant avec la fin de la période coloniale. La zone soudano-sahélienne, avec une moyenne décennale de 850 mm, a connu une décennie particulièrement humide. Certaines valeurs stationnelles atteignent des maxima historiques. Ce fut aussi le cas pour la zone sahélienne avec des cumuls aussi élevés que la moyenne de la série générale.

- **La décennie 1961-1970**

Avec le recul, cette décennie apparaît comme une période de transition qui a auguré les bouleversements climatiques que le Sénégal allait connaître dans les décennies suivantes. Les quantités reçues ont baissé par rapport à la décennie précédente mais restent supérieures à la moyenne 1950-2010. Une particularité est à noter : la pluviosité exceptionnelle de l'année 1969 dans les deux domaines climatiques.

- **Les décennies 1971-1980 et 1981-1990**

Ce sont les deux décennies les plus déficitaires durant l'histoire climatique récente de la zone. La péjoration de la pluviométrie s'installe dès 1970, connaît un premier paroxysme en 1973, et persiste durant la deuxième décennie avec un deuxième épisode paroxysmique en 1984. Les stations qui comptent jusqu'à 60 % d'années au-dessous de la moyenne de la série considérée sont toutes situées au nord et au nord-est de la zone étudiée (Matam, Dahra, Bakel). La première partie de la décennie 1981-1990 a été caractérisée par une intensité plus grande des sécheresses, phénomène qui a exacerbé la crise.

- **Les décennies 1991-2000 et 2001-2010**

La première décennie est aussi caractérisée par une situation générale de faible pluviosité, malgré le retour d'années au-dessus de la moyenne. Toutes les stations du domaine sahélien ont connu 20 à 30 % d'années à saisons « déficitaires ». La décennie 2001-2010 est mieux identifiable à une reprise des précipitations : les quantités reçues de précipitations sont supérieures à la moyenne de la série totale dans les deux domaines climatiques. Les cumuls sont tous supérieurs à ceux des trois décennies précédentes. Avec cette amélioration généralisée de la pluviosité, les espoirs d'un « reverdissement du Sahel » sont de plus en plus nourris, ce qui, on le verra, s'est traduit au sud du Ferlo par une reprise du front de colonisation agricole. Cependant la forte variabilité intra- et interannuelle des pluies impose

une certaine prudence. Ainsi, certaines années peuvent-elles encore raviver le mauvais souvenir de la grande crise climatique :

« *Le Sénégal a connu en 2002 un déficit pluviométrique record qui a rappelé, par certains aspects, les années 1968, 1983 et 1991. Pour l'ensemble de l'hivernage, le caractère déficitaire global est variable d'une région à une autre. Le déficit est inférieur à 10 % à Saint-Louis, Matam et Nioro. Il reste toutefois élevé à Podor (43,6 %), Linguère (43,3 %), Mbour (47,2 %), Simenti (58,6 %) et Ziguinchor (46,7 %). Kaolack se singularise par un excédent de 11,4 %. La variabilité interannuelle des précipitations au Sénégal n'est plus à démontrer* » (Ndong, 2007).

## 6. Les tests statistiques de détection des changements

Pour asseoir nos résultats, nous avons voulu tester la significativité des ruptures enregistrées dans cette histoire récente du climat du Sénégal intérieur. Notre choix s'est porté sur la méthode par les moyennes mobiles et sur le test de Pettitt.

### 6-1. Variabilité des précipitations avec la méthode de filtrage par les moyennes mobiles (filtre et résidu)

**Tableau 7 : Synthèse statistique générale**

Variable	Mesures	Minimum	Maximum	Moyenne 1950-2010	Ecart-type
Sahélien	60	238,5	668,3	442,9	106,1
Soudano-sahélien	60	357,9	979,2	662,1	158,9

La mise en évidence de l'évolution des tendances pluviométriques observées au courant de la période 1951-2010 doit se faire en rapport avec les variations des fréquences saisonnières. Des études ont déjà montré cette forte irrégularité qui caractérise les saisons pluvieuses dans le Sahel en général et au Sénégal en particulier (Ndong, 1995 ; Sarr 2008). Le souci de régionalisation des données stationnelles est poursuivi ici par regroupement de celles-ci en deux domaines zonaux bioclimatiques, ce qui permet d'atténuer « l'effet station ». Ce choix s'explique par le fait que les données pluviométriques recueillies sont malheureusement pour la plupart entachées d'erreurs inhérentes à leur collecte et à leur transmission. Cette approche statistique permettra de neutraliser les erreurs et omissions

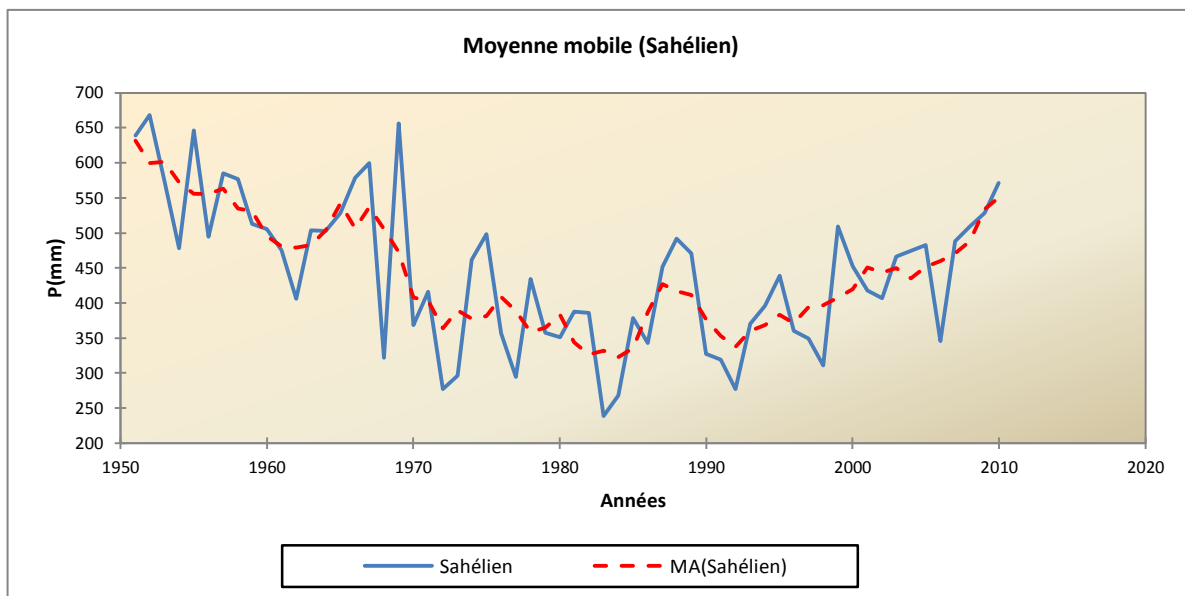
susceptibles d'induire des biais dans l'analyse et l'interprétation des résultats. Quelques corrections permettant l'extraction du signal climatique et la suppression de cet « effet station » ont été effectuées.

La méthode de filtrage utilisée ici est centrée sur les moyennes mobiles. Le but d'un lissage par la technique des moyennes mobiles arithmétiques est de faire apparaître non seulement l'allure de la tendance générale, mais aussi de modéliser en espérant aboutir à une certaine valeur prédictive de cette étude. Ceci étant, seul le recours à la climatologie dynamique et aux complexes interactions atmosphère-océan-continent peut réellement permettre de parvenir à une modélisation pour le futur, ce qui n'était pas à notre portée, ni même dans les objectifs de ce travail.

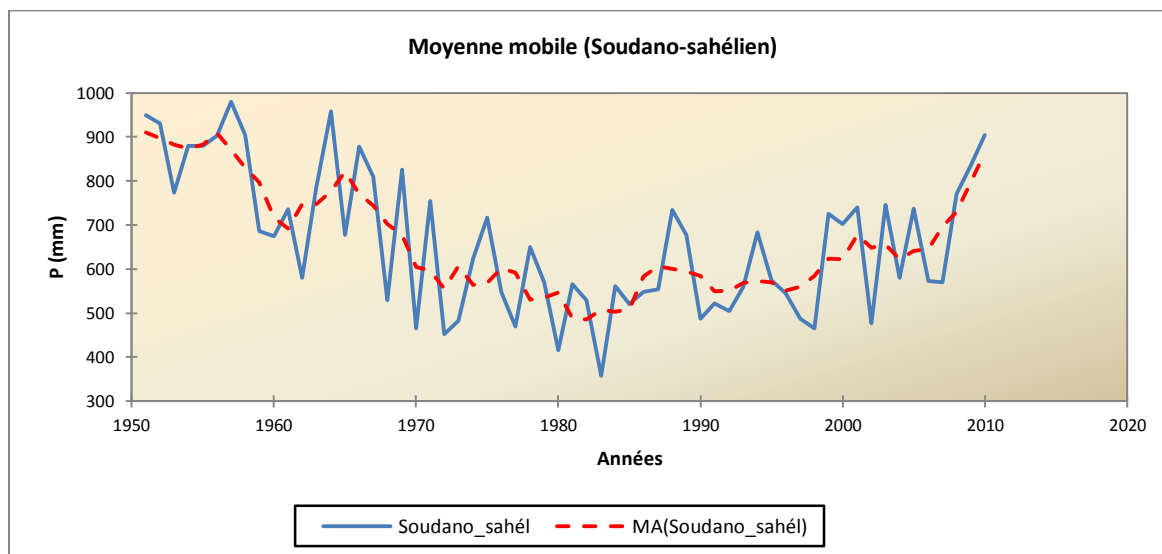
La formule s'établit comme suit :

$$\bar{x}_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x_{n-k} \quad \text{ou} \quad \bar{x}_n = \bar{x}_{n-1} - \frac{x_{n-N}}{N} + \frac{x_n}{N}$$

Où N= nombre de valeurs consécutives et n période considérée



**Figure 48 : Évolution des cumuls pluviométriques en zone sahélienne sénégalaise selon la méthode des moyennes mobiles**



**Figure 49 : Évolution des cumuls pluviométriques en zone soudano-sahélienne sénégalaise selon la méthode des moyennes mobiles**

Les deux figures ci-dessus (Fig. 48 et 49) confirment l’hypothèse de la forte irrégularité temporelle des cumuls pluviométriques dans les deux domaines bioclimatiques.

Les totaux annuels qui ont fortement diminué dans le temps confirment la rupture entre les décennies 1951-1960, 1961-1970 très pluvieuses et celles des années 1970 et 1980 très déficitaires. La pluviométrie moyenne annuelle pour ces soixante dernières années dans le domaine sahélien est de l’ordre de 443 mm et de 662 mm pour le domaine soudano-sahélien.

Le filtre appliqué sur cinq ans met en évidence trois périodes relativement distinctes.

- les années 1950, très pluvieuses,
- la rupture dans les années 1970 -1980, très déficitaires coïncidant avec les grandes sécheresses que le Sénégal a connues
- la « reprise » entamée au cours de la première décennie du XXI<sup>e</sup> siècle ; on remarquera que, par cette méthode, celle-ci apparaît plus significative qu’avec les chiffres bruts stationnels.

Le lissage imposé par le filtre atténue mais ne fait pas disparaître l’irrégularité interannuelle très élevée dans les deux domaines climatiques, surtout dans les décennies comprises entre les années 1970 et la fin des années 1980.

## 6.2. Mise en évidence de l'homogénéité ou de l'hétérogénéité des séries temporelles par le test de Pettitt

Le test de Pettitt à l'instar des autres tests d'homogénéité se fonde sur l'hypothèse nulle qu'une série temporelle est homogène entre deux temps donnés (Pettitt, 1979). Ce test apprécié pour sa robustesse et ses performances sur l'étude de la stationnarité des données, permet de montrer le moment T de rupture ou de changement dans les séries chronologiques. C'est un test non paramétrique qui ne nécessite pas d'hypothèses *a priori*. Sa description par Lemaitre (2002) est rappelée dans l'encadré suivant :

<p><b>Statistique du test :</b></p> $U(t) = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^n \text{signe}(x_i - x_j)$ $T = \max \{  U(t) , t=1 \dots n \}$ <p><b>Variante :</b></p> $K = \max \left\{ \left  \frac{U(t)}{\sqrt{nt - t^2}} \right , t=1 \dots n \right\}$ <p><b>Calcul de la probabilité p,</b> probabilité de dépassement de la valeur k prise par la statistique T du test sur la série observée.</p> $p = P(T \geq k) = 2 \exp\left(\frac{-6k^2}{T^3 + T^2}\right) \quad \text{si } p < \alpha \quad \text{alors l'hypothèse nulle est rejetée}$ <p>En ce qui concerne la statistique K, « p » peut être calculée à l'aide de la méthode du bootstrap</p>	<p><b>Notations :</b></p> <p>La fonction signe est définie comme suit</p> $\text{signe} : \mathfrak{R} \rightarrow \mathfrak{R}$ $\forall x \in \mathfrak{R}, x \rightarrow \text{signe}(x)$ <p>telle que</p> $\begin{cases} \forall x > 0, \text{signe}(x) = 1 \\ x = 0, \text{signe}(x) = 0 \\ \forall x < 0, \text{signe}(x) = -1 \end{cases}$
--	---

**Tableau 8 : Résultat Test de Pettitt (Sahélien) :**

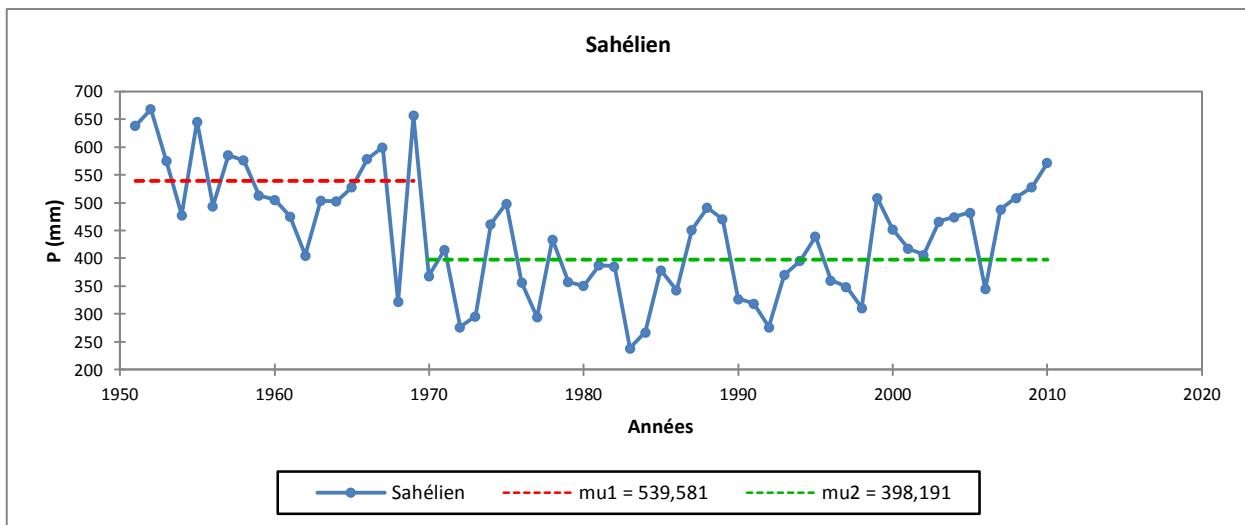
<b>K</b>	<b>601,000</b>
<b>t</b>	1969
<b>p-value (bilatérale)</b>	< 0,0001
<b>alpha</b>	0,05
<b>La p-value a été calculée en utilisant 10000 simulations Monte Carlo</b>	
<b>Intervalle de confiance à 99% autour de la p-value :] 0,000; 0,000 [</b>	

Interprétation du test :

- H0 : Les données sont homogènes
- Ha : Il y a une date à partir de laquelle il y a un changement dans les données

Etant donné que la p-value calculée est inférieure au niveau de signification alpha=0,05, on doit rejeter l'hypothèse nulle H0, et retenir l'hypothèse alternative Ha.

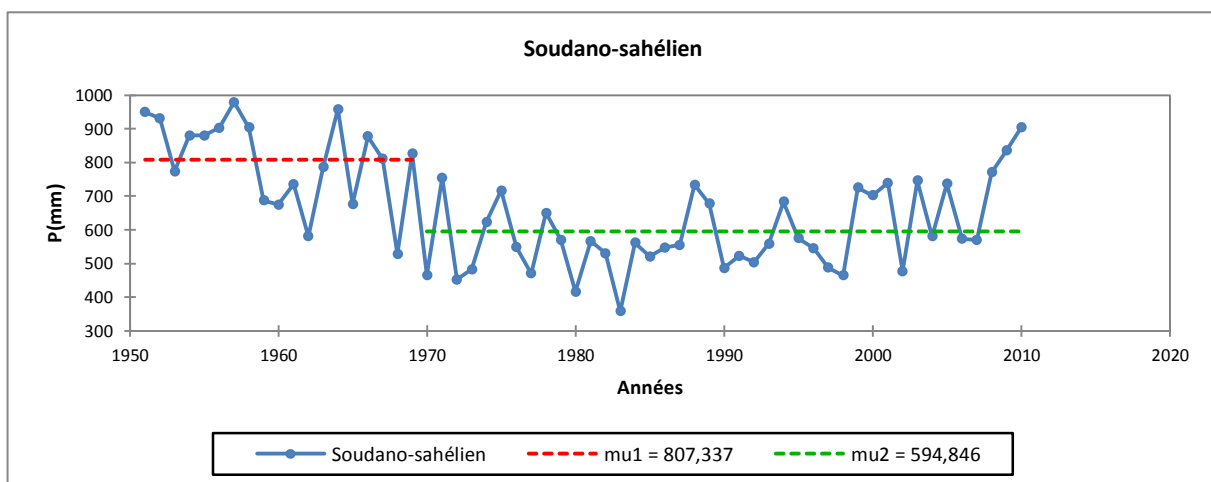
Le risque de rejeter l'hypothèse nulle H0 alors qu'elle est vraie est inférieur à 0,01%.



**Figure 50 : Résultats du Test de Pettitt pour le domaine sahélien**

**Tableau 9 : Résultat Test de Pettitt (Soudano-Sahélien)**

<b>K</b>	<b>579,000</b>
<b>T</b>	1969
<b>p-value (bilatérale)</b>	< 0,0001
<b>Alpha</b>	0,05
<b>La p-value a été calculée en utilisant 10 000 simulations Monte Carlo.</b>	
<b>Intervalle de confiance à 99% autour de la p-value :] 0,000; 0,000 [</b>	



**Figure 51 : Résultats du Test de Pettitt pour la zone soudano-sahélienne**

Les résultats du test de Pettitt (Fig. 50 et 51) permettent de voir que, lors des cinquante dernières années, le « comportement » pluviométrique enregistré dans les deux domaines bioclimatiques a évolué de la même façon. Le test fait apparaître l'année 1969 comme

moment le plus significatif de rupture. Elle se manifeste par une chute nette des totaux annuels précipités, scindant la série en deux périodes (humide et sèche). Les totaux annuels de la deuxième moitié de la décennie 1961-1970 sont tout aussi importants et corroborent les observations faites par Djoufack-Manetsa (2011) dans le nord camerounais qui montrent qu'ils « *côtoient le seuil de significativité, mais seule l'année 1969 est au-dessus d'elle* ».

En effet, dans la zone sahélienne la période humide (1950-1970) a reçu en moyenne 539 mm de précipitation alors que la période sèche n'a reçu que 398 mm. Une « perte » de l'ordre de 140 mm de part et d'autre du moment de rupture qui s'est traduite par la translation des isohyètes vers le sud. Dans la partie soudano-sahélienne, si la période humide a reçu en moyenne 807 mm, la période sèche n'a eu que 594 mm en moyenne. La baisse de la pluviométrie y est donc encore plus sensible. La courbe calquée sur une périodicité de trois ans montre finalement que les déficits des années 1983 et 1984 sont supérieurs à 200 mm.

En définitive, il apparaît à travers cette étude statistique de la pluviométrie dans cette partie du Sénégal, la forte variabilité temporelle et spatiale de celle-ci et une évolution de la situation climatique marquée par une crise quasi-cyclique à partir des années 1970 jusqu'au début des années 2000. Les cumuls annuels des différentes stations ont montré globalement trois périodes distinctes. La première est symbolisée par les fortes valeurs de cumuls durant les deux premières décennies de la série. Les deux suivantes (1970-1990) sont restées célèbres à cause des déficits historiques que la zone a connus pendant les deux grandes sécheresses (1973 et 1984). Ce résultat confirme le point de vue de Sarr (2008) qui avait noté que « *les résultats de l'analyse de l'évolution de la pluviométrie laissent penser à une séquence climatique (depuis la fin des années 1980), plus humide que celle des années 1970-1980, mais qui reste encore plus sèche que la séquence des années 1950-1960* ». La dernière décennie étudiée confirme l'amélioration entamée au cours de la décennie 1990. Les cumuls enregistrés entre 2006 et 2011 sont supérieurs à la normale (1971-2000) et confirment la tendance à la hausse des précipitations. Cette amélioration s'accompagne d'une forte variabilité interannuelle. Les changements au niveau de la pluviosité ont renforcé la vulnérabilité dans laquelle se trouvent les socioécosystèmes. Les sociétés rurales ont dû s'adapter aux prix de stratégies diverses qui ont eu des impacts au niveau de l'utilisation des ressources et dans la dynamique d'occupation des sols.

## **Chapitre 6 : Traitement d'images multispectrales de télédétection pour la cartographie de l'occupation du sol en région sahélienne : choix méthodologique**

---

L'analyse diachronique des images multispectrales à haute résolution pour la cartographie de l'occupation du sol et de ses changements (Andrieu, 2008 ; Rabarimanana *et al.* 2003 ; Chowdhury, 2006 ; Chavez & MacKinnon, 1994; Ulbricht & Heckenford, 1998) doit répondre à l'un des objectifs majeurs de cette thèse qui est de caractériser, de cartographier et de mesurer la dynamique des paysages et des ressources naturelles entre le Ferlo et le Bassin arachidier sénégalais. La réalisation de cet objectif passera par deux séries d'analyse de données satellitaires :

- Les séries de données Landsat (MSS, TM et ETM+)<sup>50</sup> seront utilisées pour dresser les cartes d'occupation du sol selon trois dates, choisies en fonction de l'étude climatique (chap. 6) : 1973, 1999 et 2010. La possibilité de remonter jusqu'aux années 1970 est intéressante dans la mesure où cela permet de réaliser la carte d'occupation des sols au moment où se produit le 1<sup>er</sup> épisode de grande sécheresse. 1999 se situe après près de 3 décennies de sécheresse. La date la plus récente – 2010 - permet de détecter les changements intervenus après la reprise des précipitations, changements qui ont affecté le couvert végétal et les changements d'utilisation (agricole ou pastorale) du sol.
- Le traitement des séries de données sur les indices de végétation de type NDVI (Indice Normalisé de Végétation) sera réalisé dans l'optique de mettre en évidence les variations spatio-temporelles de l'activité biologique de la végétation des années 1980 à nos jours. La végétation est la principale ressource qui permet de maintenir l'activité d'élevage dans les milieux sahéliens, le Ferlo en particulier.

---

<sup>50</sup> Landsat MSS : *MultiSpectral Scanner* (satellite muni d'un scanner multispectral) ;

Landsat TM : *Thematic Mapper* (satellite capable de fournir des données permettant de faire une cartographie thématique) ;

Landsat ETM+ : *Enhanced Thematic Mapper* (satellite muni d'un radiomètre puissant, capable de produire des images couvrant un champ d'observation de 185 km sur 185 km, avec une résolution spatiale de 30 m).

## **1. Méthode de traitement d'images**

La pauvreté relative et la monotonie des paysages sahéliens a été souvent décrite dans la littérature scientifique classique (Trochain, 1940 ; Aubréville, 1949 ; Pélissier, 1966 ; Toupet, 1992). Ce sont, *a priori*, des éléments quidoivent rendre assez difficile la réalisation de cartes d'occupation du sol, en raison de l'absence de contrastes tranchés dans les états de surface. L'absence de véritables formations forestières, la faible variation pédologique, le caractère saisonnier du tapis herbacé sont autant d'éléments qui laissent en effet présager d'une grande homogénéité des cartes obtenues. La réalité peut être tout autre. L'accroissement démographique que la zone connaît en ce moment a entraîné des dynamiques nouvelles qui ont une incidence directe sur les différentes unités paysagères.

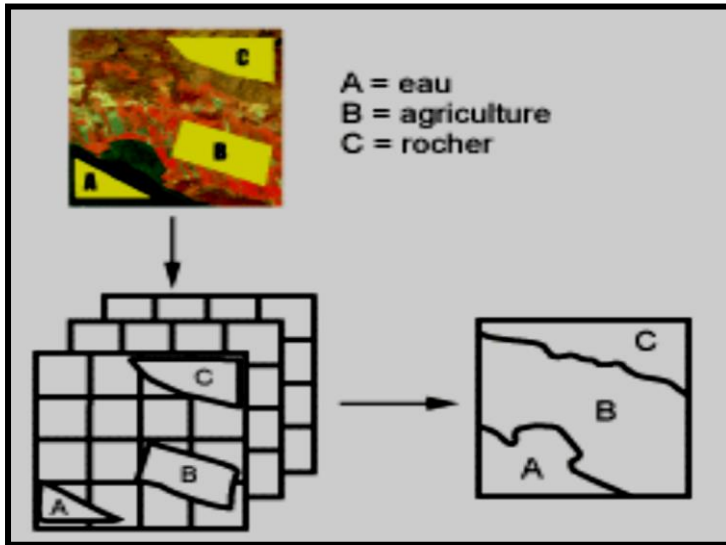
S'il peut s'avérer facile de détecter la végétation sur les images, par contre, la tâche sera ardue en ce qui concerne leur typologie (végétation herbacée et différents degrés de couvert ligneux). La végétation sahélienne offre, sur ce point, peu de différences marquées dans les taux de recouvrement et apparaît assez difficile à caractériser à partir des images Landsat qui sont à résolution moyenne. Nous compléterons leur étude en ayant recours aux images de très haute résolution en libre accès sur le site *Google Earth* pour dresser des études de cas sur différents finages autour des villages ou des aires de campement.

Réaliser, grâce à la télédétection des cartes d'occupation du sol et de la dynamique de cette occupation dans un tel contexte, c'est avant tout recourir aux méthodes de classification qui peuvent être scindées en deux grands groupes : les techniques de classifications supervisées et les techniques de classifications non supervisées.

### **1.1. Les classifications supervisées**

La méthode de classification dirigée ou supervisée utilise des zones dites d'entraînement qui sont des zones bien renseignées et bien connues de l'utilisateur (Andrieu, 2008). Ces zones où l'on connaît la nature réelle des objets permettent de générer des signatures spectrales caractéristiques de chacune des classes et d'affecter à chaque classe des règles de sélection des pixels. Les zones d'entraînement ou zones test doivent être les plus homogènes possibles (CCT, 2014 ; Pahari & Murai, 1999 ; Latifovic *et al*, 2004 ; Siddiqui *et al*, 2005 ; Fraser *et al*, 2005 ; Chowdhury, 2006 ; Andrieu, 2008) et leur sélection est fondée sur les connaissances précises de l'analyste, sa familiarité avec la région étudiée et la typologie des surfaces présentes sur l'image. « *Une classification supervisée commence donc*

par l'identification des classes d'information qui seront ensuite utilisées pour définir les classes spectrales qui vont les représenter » (Centre Canadien de Télédétection, 2014).



**Figure 52 : Synthèse du principe de la classification supervisée (Source : Centre Canadien de Télédétection, 2014)**

Cependant, en contexte sahélien, l'étendue et le caractère peu tranché des paysages nous ont amené à ne pas choisir cette méthode pour cartographier l'occupation du sol. Les données récoltées au cours des missions effectuées, ainsi que les images de haute résolution ont plutôt été utilisées comme éléments de vérification (« vérité-terrain ») pour les cartes produites par classification non supervisée.

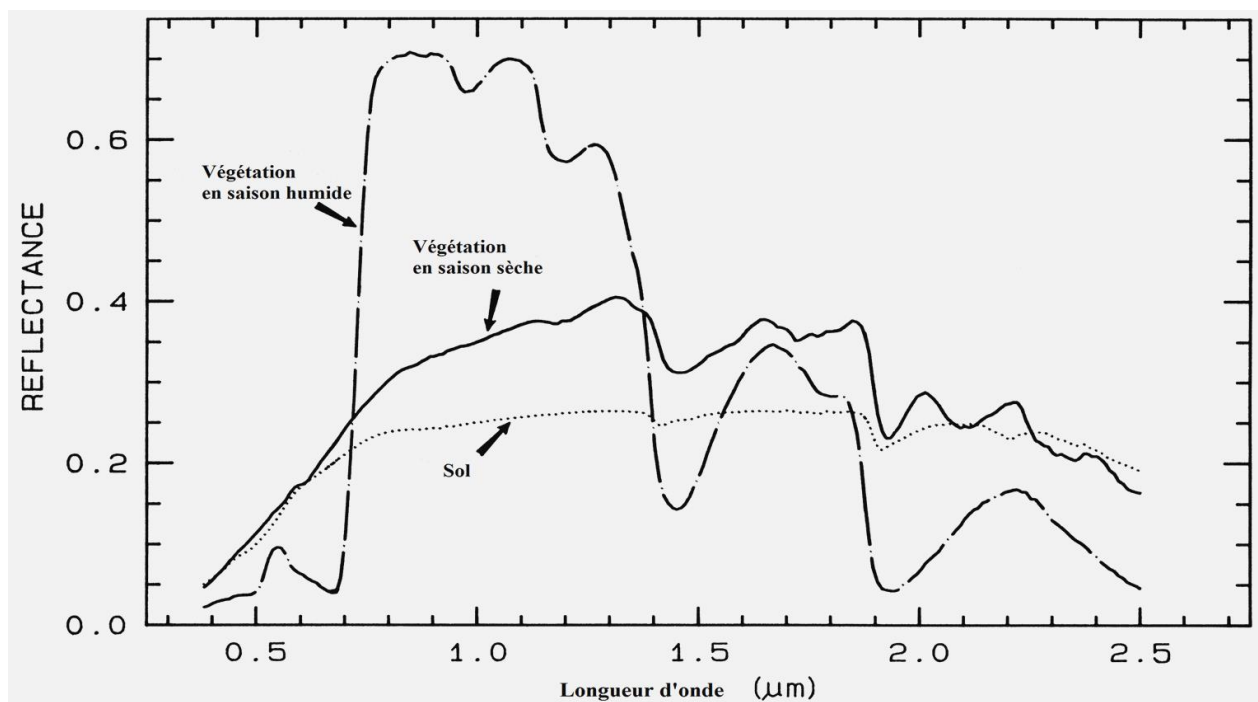
### **1.2. Les classifications non supervisées**

Dans le cadre des classifications non supervisées, l'analyste procède de façon inverse, ne faisant pas intervenir de zones test ou d'entraînement (Masoud & Koike, 2005 ; Nagendra *et al.* 2006). Aucune classe n'est établie *a priori*. Il suffit de préciser le nombre de classes désiré, et un processus de classification automatique (selon des algorithmes mathématiques) permet de regrouper les individus (ou pixels) pour définir des classes spectrales relativement homogènes. Il est recommandé de commencer par un nombre de classes suffisamment important pour capter toutes les nuances, avant de procéder éventuellement à des regroupements. Ce travail est effectué *via* l'algorithme des nuées dynamiques (Kmeans) (Diday, 1971). Le principe décrit par Diday (1971) se fonde sur le calcul des moyennes de N classes. Par des itérations successives, une affectation des pixels aux centres de classes en fonction de leur distance minimum est réalisée. Pour chaque itération, les pixels sont reclassés

en fonction des nouvelles moyennes obtenues. L'opération se poursuit jusqu'à ce que le nombre maximum d'itérations soit réalisé.

Il appartient donc à l'analyste de définir le nombre de classes qui seront formées avec les données contenues sur l'image. Le résultat se présente sous forme de classes qui peuvent être groupées ou séparées selon leurs caractéristiques physiques. Cette méthode présente l'avantage que la division est fondée sur « *les paramètres statistiques des classes, qui couvrent habituellement de grandes étendues géographiques, plutôt que sur un échantillon d'entraînement* » (Alföldi, 1996) dont la représentativité peut s'avérer douteuse. Le choix repose aussi sur le fait que le travail de télédétection a été réalisé avant d'aller sur le terrain, permettant ensuite de contrôler au sol les résultats obtenus en ciblant des endroits représentatifs ou problématiques de notre zone d'étude.

Dans le détail, le traitement se subdivise en plusieurs étapes. Dans un premier temps, l'image est scindée grâce à la méthode des nuées dynamiques, en plusieurs classes qui seront affinées et regroupées après étude des courbes de réflectance de chacune d'elles. Ainsi, au fur et à mesure du traitement, une dizaine de classes identifiables à des types connus d'occupation du sol a été isolée. Chacune de ces classes correspond en effet à un type de réflectance (Fig. 53). Par la suite, les données sur les ressources naturelles (eau, végétation etc.) que nous avons récoltées lors de nos deux missions de terrains ont permis d'affiner certaines classes notamment les brûlis ou les différentes formations végétales.



**Figure 53 : Courbes de réflectance de la végétation et du sol (Source : Clark, *in* Rencz ed. 1999).**

L'étape suivante consiste à vérifier l'homogénéité des classes obtenues en réalisant une classification non dirigée sur chaque masque (image binaire représentant une classe que nous avons isolée en vue de la vérification). Devant l'hétérogénéité de certaines classes, nous avons eu recours aux analyses en composantes principales (ACP) portant sur l'ensemble des pixels. Le recours à cette technique statistique (applicable à bien d'autres domaines que la télédétection) a pour but d'améliorer les contrastes radiométriques (N'Guessan *et al.* 2003 ; Girard & Girard, 1999). L'ACP permet « *de faire la synthèse des six canaux LANDSAT en six composantes principales hiérarchisées suivant l'importance des contrastes radiométriques. Les composantes principales forment alors des néo-canaux où les redondances ont été éliminées (exemple des canaux du visible en général très corrélés entre eux), et où chaque contraste radiométrique est étiré au maximum. L'ACP permet donc la détection de faibles contrastes radiométriques* » (Andrieu, 2008). Les nouveaux canaux obtenus servent de base à d'autres classifications non dirigées, affinant ainsi progressivement le résultat. Les masques finaux sont additionnés en vue de dresser les cartes d'occupation des sols pour chaque date.

## 2. Les données utilisées

Les données utilisées dans le cadre de ce travail proviennent toutes des capteurs *Multi Spectral Scanner* (MSS), *Thematic Mapper* (TM) et *Enhanced Thematic Mapper* (ETM+) du satellite Landsat<sup>51</sup> de la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). Ces capteurs effectuent des mesures dans 4 (MSS) et 7 (TM et ETM+) gammes de bandes spectrales. Leur acquisition a été facilitée par l'USGS<sup>52</sup> (*United States Geology Survey*) qui les met gratuitement à la disposition des chercheurs *via* leurs portails et systèmes de base de données en ligne GLCF<sup>53</sup> (*Global Landcover Facility*) et Glovis<sup>54</sup> (*Global Visualization Viewer*). La gratuité des données de cette nature est devenue un atout considérable pour des chercheurs du Sud, notamment ceux de certains pays d'Afrique où le coût élevé de l'acquisition des données et d'outils d'analyse a toujours été un facteur limitant la qualité de la recherche scientifique. Aujourd'hui, ces chercheurs disposent de ces bases de données géomatiques gratuites ainsi que celles fournies par *Google Earth*<sup>55</sup> et qui permettent d'accéder à la très haute résolution (Andrieu, 2008 ; Upegui Cardona, 2009 ; Andrieu, Alexandre *et al*, 2010 ; Baro, Mering & Vachier, 2011 ; Randrianarisoa, 2011 ; San Emeterio, 2013 ; Souley Yero, 2013).

La résolution spatiale est de 60 m pour la première génération de Landsat que nous avons utilisée dans le cadre de ce travail, et 30 m pour les images issues des capteurs TM et ETM+. Il nous a fallu 5 scènes Landsat pour couvrir toute la zone d'étude. Les images mesurent 160 km de côté et permettent ainsi de couvrir une superficie bien plus importante que les images à haute résolution (SPOT, Quickbird, etc.) ne peuvent le faire, rendant ainsi possible une étude d'échelle régionale.

**Tableau 10 : Fenêtres spectrales des capteurs Landsat MSS**

Bandes spectrales	Domaine	Longueur d'onde ( $\mu\text{m}$ )
MSS4	Vert	525-605
MSS5	Rouge	630-690
MSS6	Proche Infrarouge	750-900
MSS7	Proche Infrarouge	750-900

<sup>51</sup> <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>

<sup>52</sup> <http://www.usgs.gov/>

<sup>53</sup> <http://glcf.umd.edu/>

<sup>54</sup> <http://glovis.usgs.gov/>

<sup>55</sup> <https://support.google.com/earth/answer/176147?hl=fr>

**Tableau 11 : Fenêtres spectrales des capteurs Landsat TM**

Bandes spectrales	Domaine	Longueur d'onde (µm)
TM1	Bleu	450-515
TM2	Vert	525-605
TM3	Rouge	630-690
TM4	Proche Infrarouge	750-900
TM5	Moyen Infrarouge	900-1750
TM6	Infrarouge thermique	10,400-12,500
TM7	Moyen Infrarouge	2090-2350

Une étude portant sur le couvert végétal dans un climat à saisons contrastées et à pluviosité fortement irrégulière suivant les années requiert un choix sur les dates d'acquisition des images qui serviront à la réalisation des cartes d'occupation du sol. En effet, le contexte bioclimatique particulier de ce milieu, pose des contraintes. Ainsi les images au cœur de la saison des pluies sont-elles difficilement utilisables pour plusieurs raisons : forte couverture nuageuse pendant l'hivernage, forte activité chlorophyllienne qui atténue les contrastes notamment entre végétation ligneuse et herbacée. Il faut par ailleurs éviter les images de saison sèche dans la mesure où la couverture végétale disparaît ou cesse d'être active au cours de cette période ; on y note aussi le déclenchement de foyers de feux et leur corollaire les fumées ... Suivant en cela la bibliographie (Fotsing *et al.* 2003 ; Suarez, 2003 ; Andrieu, 2008 ; Sarr, 2008 ; Amogu, 2009), nous avons finalement choisi l'acquisition d'images prises entre les mois d'octobre ou de novembre donc en début de saison sèche, au moment où la ressource fourragère pastorale est encore disponible pour les agropasteurs et leur bétail et ce pour les 3 années ciblées (1973, 1999, 2010).

Sur le tableau des images retenues (Tableau 12), l'ensemble est homogène car les dates d'acquisition sont très proches voire les mêmes pour certaines images. La seule exception concerne les scènes MSS. En effet, il fut très difficile d'acquérir des images de qualité pour cette période. Les seules données disponibles étaient la plupart du temps inexploitable ou prises au milieu de la saison sèche avec souvent des écarts de 3 ans voire

plus entre les scènes. Finalement sur la série MSS, nous avons fait un compromis qui nous a amené à l'acquisition d'images datées de la fin de la saison des pluies (fin septembre) pour garder une certaine homogénéité entre les périodes. Pour les scènes TM et ETM+, le choix fut plus aisé et l'acquisition facile.

**Tableau 12 : Les différentes images satellites traitées**

<b>Scènes</b>	<b>MSS 1972 et 1973</b>	<b>TM 1999</b>	<b>ETM+ 2010</b>
<b>Lac de Guiers</b>	<b>25 septembre 1973</b>	<b>04 novembre 1999</b>	<b>26 novembre 2010</b>
<b>Centre Ferlo</b>	<b>24 septembre 1973</b>	<b>13 novembre 1999</b>	<b>19 novembre 2010</b>
<b>Matam</b>	<b>23 septembre 1973</b>	<b>21 octobre 1999</b>	<b>28 novembre 2010</b>
<b>Sud Ferlo</b>	<b>04 novembre 1972</b>	<b>13 novembre 1999</b>	<b>19 novembre 2010</b>
<b>Sud Matam</b>	<b>23 septembre 1973</b>	<b>21 octobre 1999</b>	<b>28 novembre 2010</b>

### 3. Chaîne de traitement en vue de la réalisation des cartes d'occupation du sol

#### 3.1. Schéma récapitulatif du traitement d'images

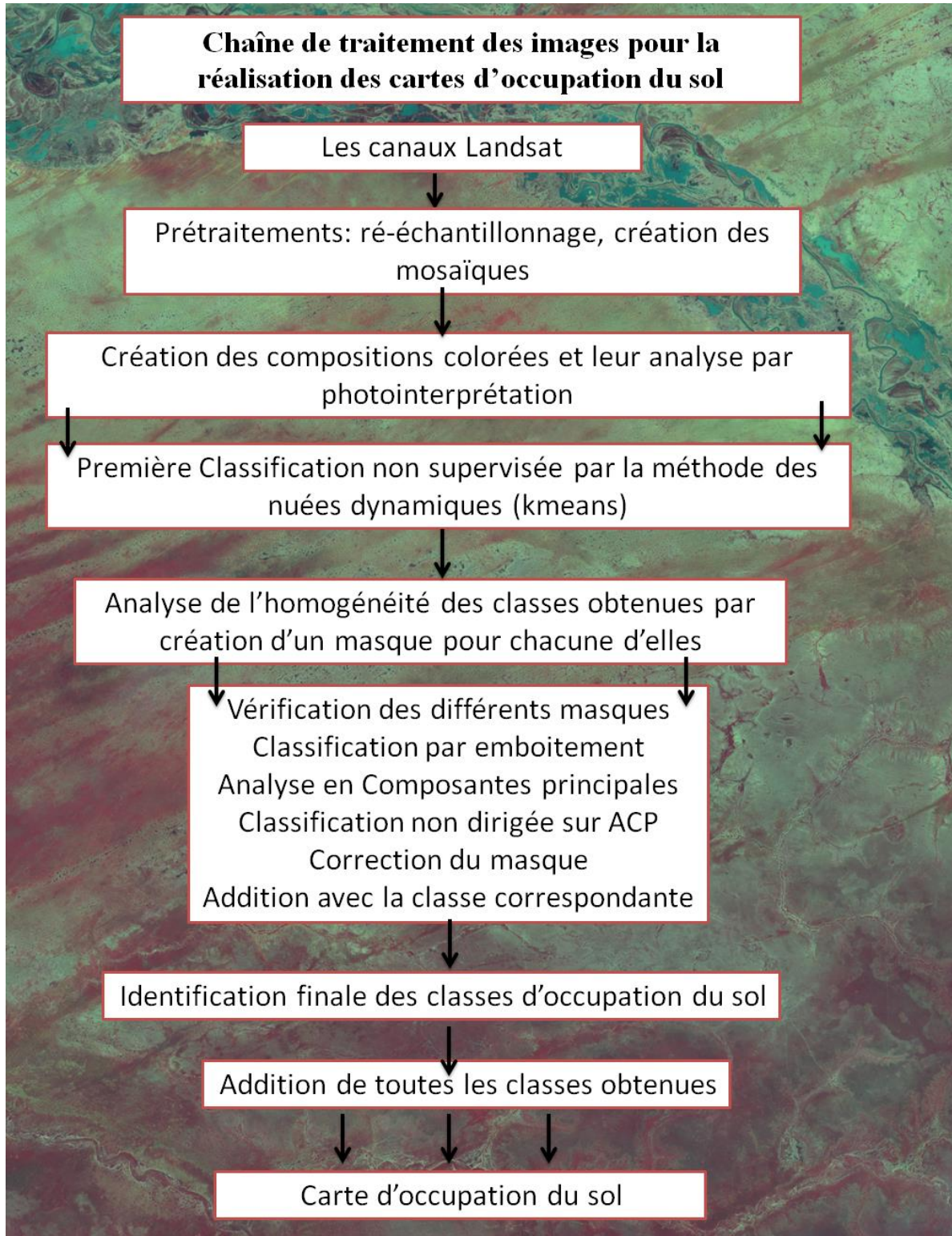


Figure 54 : Chaîne de traitement des images

### 3.2. Prétraitements effectués sur les images

Après acquisition des images, une première étape consiste en un travail de découpage des scènes pour constituer une mosaïque pour un traitement plus aisé. Pour ce faire, nous avons produit deux grandes mosaïques : une mosaïque Ferlo Nord et une autre Ferlo Sud et Bassin arachidier. Ce qui répondait à un autre objectif qui était d'homogénéiser les images entre elles.

La réalisation des cartes d'occupation qui serviront de base pour établir les cartes des changements doit s'appuyer sur des images qui ont les mêmes résolutions spatiales. Ce qui n'est pas le cas entre les images MSS, et TM et ETM+. En effet, les MSS disponibles sur la base ortho-rectifiée de GLCF ont une résolution de 60 mètres alors que les TM et ETM+ sont à 30 mètres. Un travail de ré-échantillonnage est nécessaire pour homogénéiser la base de données Landsat. Le principe du ré-échantillonnage est un recalcul de valeurs des pixels d'une taille donnée à partir des valeurs des pixels d'une image d'origine (Ruelland *et al.* 2011). La question qui se pose est alors : faut-il échantillonner l'image MSS avec des valeurs de TM et ETM+ ou l'inverse ? Le dilemme n'en est pas vraiment un, car, pour reprendre les termes d'Andrieu (2008), « *subdiviser un pixel n'apporte aucune information supplémentaire et prétendre augmenter la résolution de l'image MSS est évidemment une illusion* ». L'importance pour nous de dresser la carte de l'occupation du sol pour les années 1970 et sa comparaison avec la situation actuelle a guidé notre choix de ré-échantillonner les TM et les ETM+ à la résolution des MSS. Le passage de l'une vers l'autre fait perdre à l'image une part de sa finesse mais c'est un compromis nécessaire. Le travail s'est poursuivi avec la mise en place des mosaïques de compositions colorées (Fig. 55, 56 et 57) sur les trois dates.

### 3.3. Présentation des compositions colorées

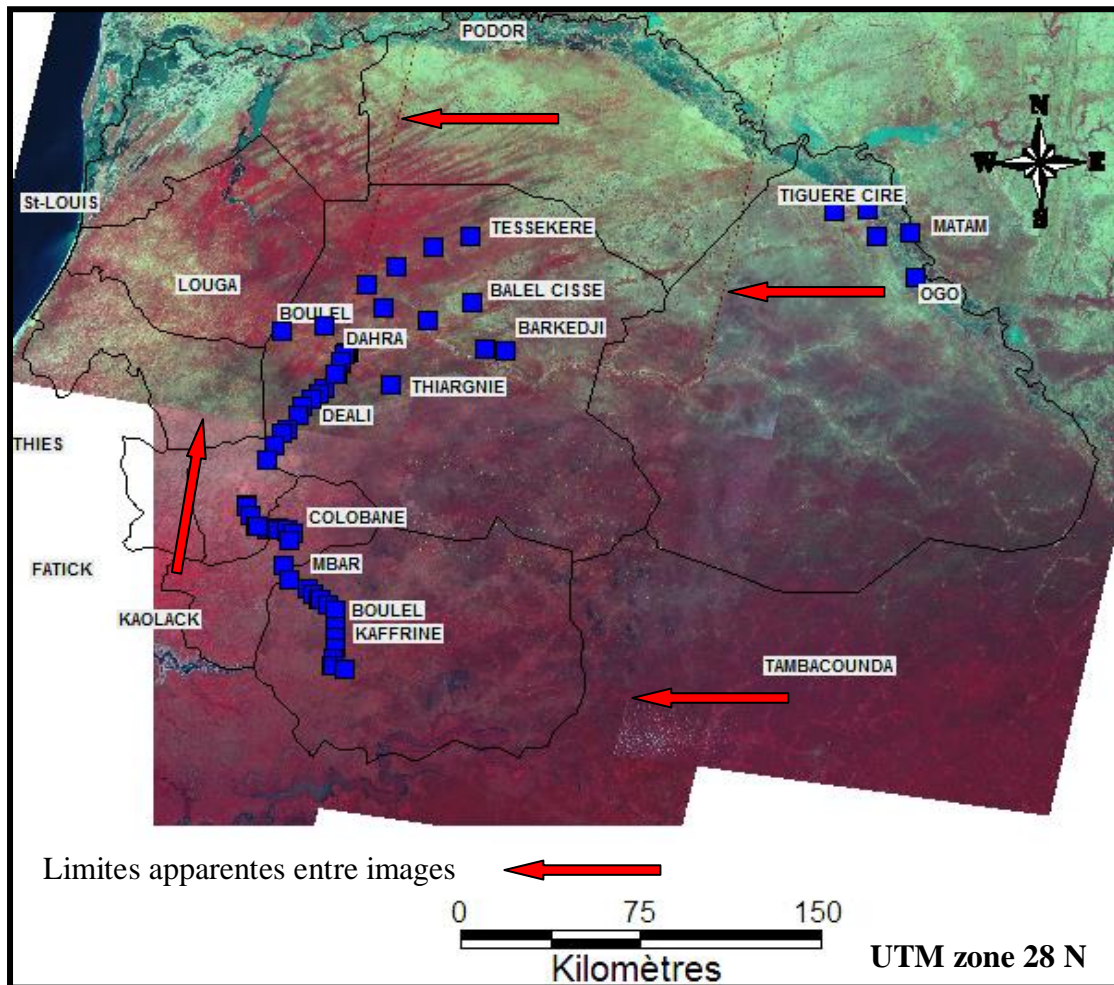
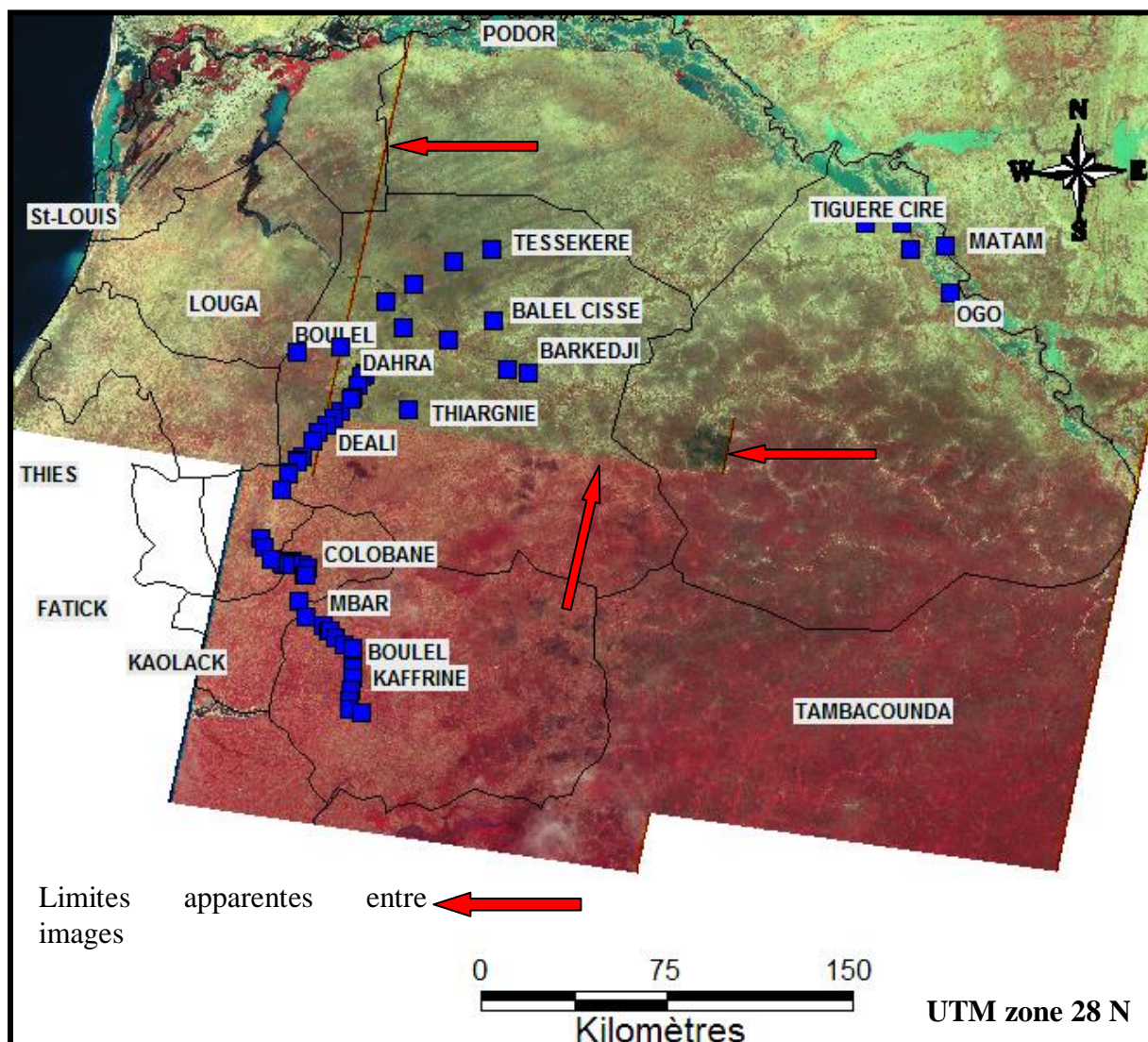
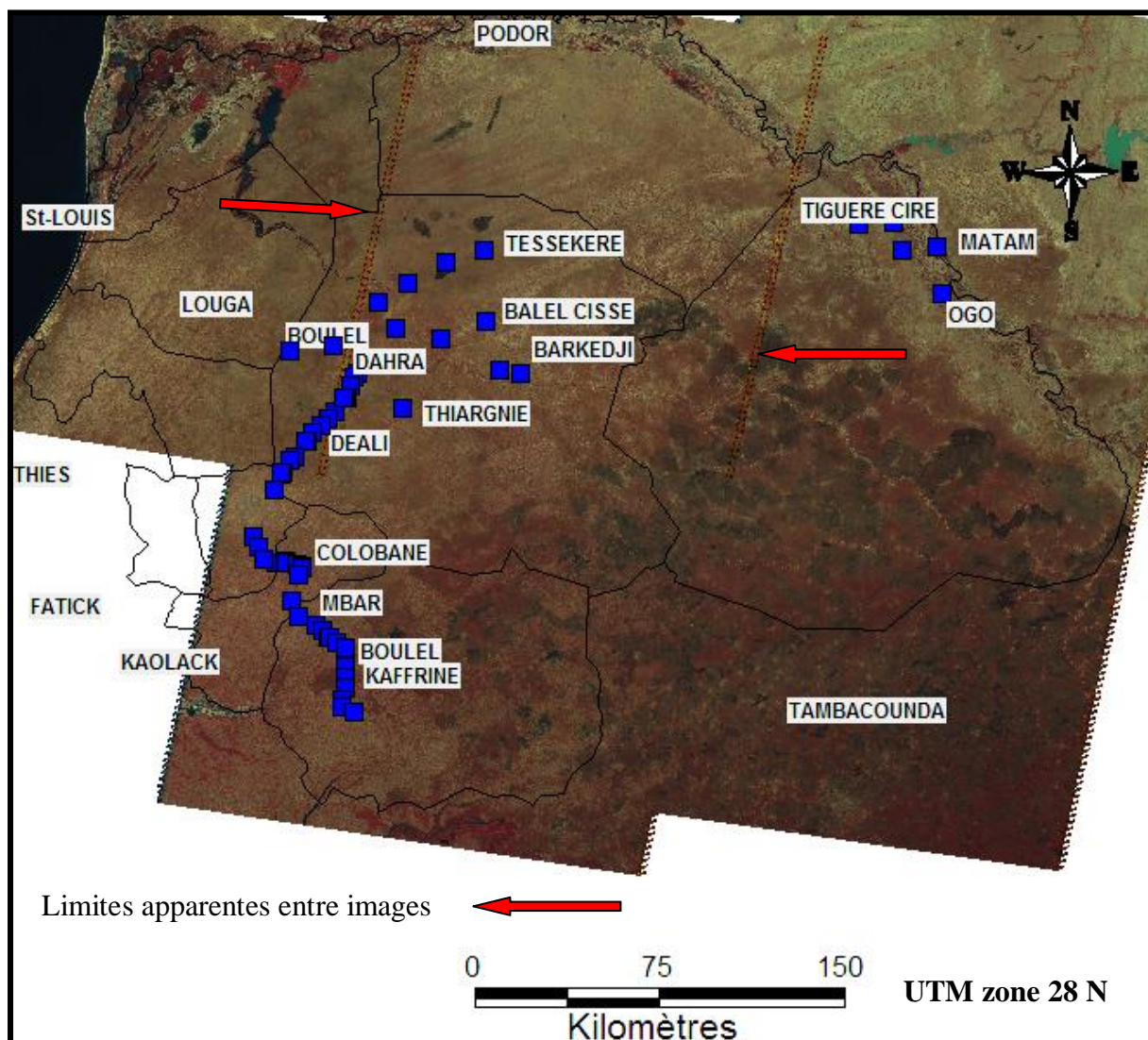


Figure 55 : Mosaique des compositions colorées des scènes MSS (1973) (Fall, 2014)



**Figure 56 : Mosaïque des compositions colorées des scènes TM (1999) (Fall, 2014)**

Des limites apparaissent notamment sur les contours des images même si elles sont atténuées. Elles proviennent le plus souvent des anomalies du capteur ou des décalages de dates importants entre deux images. Au cours du traitement proprement dit des images, une série de classification permet d'enlever une partie de ces « impuretés » qui ont un impact sur la qualité des résultats. Faute de pouvoir les enlever complètement, nous avons établi les cartes d'occupation du sol en tenant compte des marges d'erreur qu'elles engendrent dans les interprétations que nous pourrions donner sur les cartes d'occupation du sol finales.



**Figure 57 : Mosaïque des compositions colorées des scènes ETM+ (2010) (Fall, 2014)**

#### **4. Nomenclature de la carte d'occupation des sols**

La mise en évidence de catégories d'occupation du sol (Tableau 13) s'effectue par l'interprétation des courbes radiométriques issues de la moyenne de luminance par canal de l'ensemble des pixels de chaque classe issue de la classification non supervisée, opération technique qui nécessite, on l'a vu, un long travail de reclassifications avant de parvenir à une classe d'occupation du sol homogène et interprétable. La faible variation paysagère qui caractérise les milieux sahéliens est un élément déterminant qui doit être pris en compte dans la définition de la nomenclature pour les cartes d'occupation du sol. Cette réalité régionale n'empêche pas la micro-hétérogénéité induite par les dynamiques locales (activités agricoles et feux de brousse principalement) qui seront étudiées au chapitre 12.

En fonction du terrain et de la qualité des données dont nous disposons, 9 classes d'occupation du sol ont été retenues. Une dixième classe correspond à l'absence de données en raison de la couverture nuageuse. Il nous a semblé illusoire de vouloir aller plus loin en reconnaissant d'autres nuances notamment dans le degré d'ouverture de la végétation. La confrontation avec le terrain a conforté notre nomenclature. Les photographies des figures suivantes, prises dans divers lieux où ont été effectués des relevés de végétation permettent d'établir un rapport entre occupation du sol et paysage.

**Tableau 13 : Les principales classes d'occupation des sols retenues**

	<b>Les différentes classes d'occupation des sols retenues</b>
<b>1</b>	Végétation ouverte sur sols sombres
<b>2</b>	Végétation ouverte sur sols clairs
<b>3</b>	Végétation fermée
<b>4</b>	Sols nus sombres
<b>5</b>	Sols nus argilo-sableux
<b>6</b>	Sols nus clairs
<b>7</b>	Eaux
<b>8</b>	Végétation aquatique et milieux irrigués
<b>9</b>	Brûlis, végétation incendiée
<b>10</b>	Nuages



**Figure 58 : Relevé N° 73, formation végétale ouverte sur sol sombre à Keur Médina Fallou (Fall, 2012)**

Ce paysage correspond à une jachère récente colonisée par *Guiera senegalensis* et *Cassia occidentalis* à Keur Médina Fallou (région de Kaolack) dans le Bassin arachidier (Fall, novembre 2012).



**Figure 59 : Relevé N° 17 formation végétale très ouverte sur sol clair au sud de Dahra (Fall, 2012)**

Au sud de Dahra, physionomie végétale steppique marquée par une faible densité du couvert ligneux composé principalement d'*Acacia raddiana* et *Balanites aegyptiaca*. Le tapis herbacé est dominé par les espèces annuelles utilisées comme ressource pastorale par les agropasteurs ; ces espèces annuelles apparaissent comme végétation sèche sur les images (Fall, Novembre 2012).



**Figure 60 : Relevé N° 132 formation végétale dense à Keur Sandao (Fall, 2012)**

Physionomie de savane arbustive dense à Keur Sandao à proximité de la forêt classée de Kaffrine. Le couvert arbustif est dominé par *Guiera senegalensis* et *Combretum glutinosum*. Les graminées annuelles sont représentées par *Schizachyrium exile* (ou *gnangue* des Wolofs). (Fall, novembre 2012)



**Figure 61 : Eaux : le fleuve Sénégal à Matam (Fall, 2010)**

Les rives du fleuve Sénégal à Matam, de l'autre côté, vue sur la Mauritanie. Les pirogues assurent la traversée pour les personnes.



**Figure 62 : Relevé N°2 Zone incendiée à Tésékéré (Fall, 2010)**

Un récent foyer de feu entre Wouro Samba et Téssékéré. La récurrence des phénomènes de feux de brousse constitue une menace pour la disponibilité des ressources pastorales, comme l'ont souligné la plupart des agropasteurs rencontrés lors des deux missions sur le terrain.



**Figure 63 : Milieux irrigués : Casier agricole sur la vallée du fleuve Sénégal à Tiguéré Ciré (Nord de Matam) (Fall, 2010)**

Un casier agricole avec du maïs à Tiguéré Ciré au nord de la commune de Matam. Le recours à l'irrigation pour le développement de l'agriculture est devenu une priorité dans les politiques gouvernementales. Une stratégie qui doit permettre à terme d'affranchir l'agriculture de sa dépendance à la pluviosité. Ce développement des exploitations agricoles sur la vallée du fleuve pose aussi la question de l'accès à la ressource fourragère et de la pratique de l'activité pastorale par les éleveurs qui en sont de plus en plus exclus.

Le choix final de la liste des types d'occupation du sol retenus a été fait en tenant compte de plusieurs paramètres. D'une part, la nomenclature retenue doit permettre de répondre à la problématique centrale de caractérisation de la dynamique d'évolution des ressources naturelles et de changements dans l'occupation du sol. D'autre part, les classes créées doivent être reproductibles sur toutes les séries d'images. Cette nomenclature simple des cartes d'occupation du sol nécessite de compléter et d'affiner l'analyse en ayant recours à des images de très haute résolution centrées sur quelques cas ponctuels. Cette opération permet de passer de la carte d'occupation du sol à une réflexion sur l'utilisation du sol et son évolution dans le cadre des sociétés rurales du Ferlo et ainsi, à une reconstitution de la dynamique paysagère.

Cette détermination de la nomenclature générale a aussi été complétée par une cartographie des différents types de sols présents dans la zone d'étude. Ce traitement spécifique a permis d'affiner la nomenclature dans le sens où il montre sur quel type de sol repose chaque classe d'occupation de végétation. Il a été fait à partir d'images datant du milieu de la saison sèche de (20 février 2010), une période où les réflectances des surfaces de sols nus sont plus importantes à cause de la disparition progressive du tapis végétal dominé par des espèces annuelles qui pour l'essentiel serviront de fourrage au bétail. Par ailleurs, cette mise en évidence des différents types de sols s'est faite par référence aux cartes pédologiques déjà réalisées dans la zone d'étude (voir Fig. 3, chap.1).

Dans le chapitre suivant, nous allons décrire le processus technique complet pour la réalisation de la carte d'occupation du sol en 2010. Cette démarche sera illustrée à partir de la sous-scène du Ferlo avant une généralisation sur l'ensemble des images.



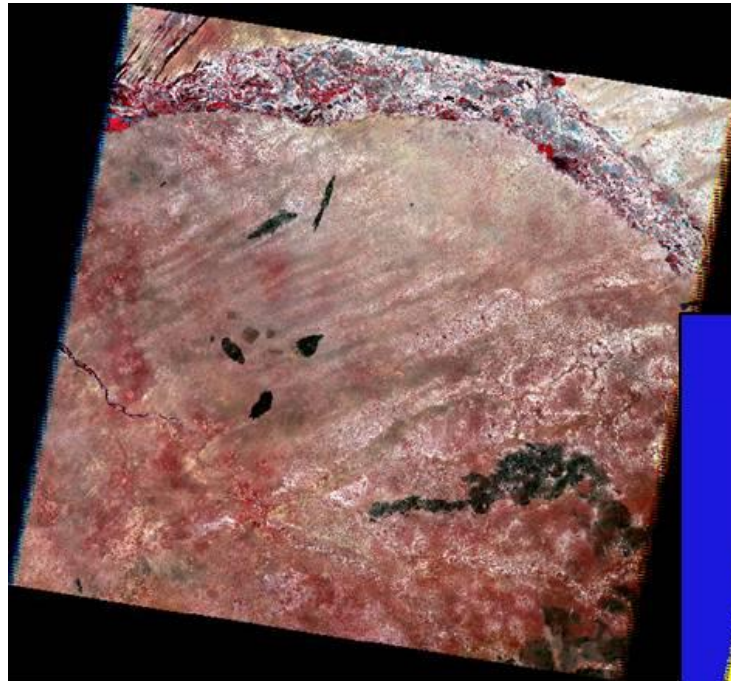
## **Chapitre 7 : Occupation et utilisation actuelles du sol dans le Ferlo et le nord du bassin arachidier**

La réalisation de la cartographie de l'occupation du sol pour l'année 2010 a été faite selon trois étapes : les prétraitements, une série de classifications et d'interprétation des courbes radiométriques et l'établissement de la carte finale après vérifications et corrections. Tout le processus de traitement a été effectué avec le logiciel de cartographie et de traitement d'images *Idrisi Taïga*. Dans les lignes qui suivent, nous allons illustrer cette démarche à partir de la sous-scène du Ferlo.

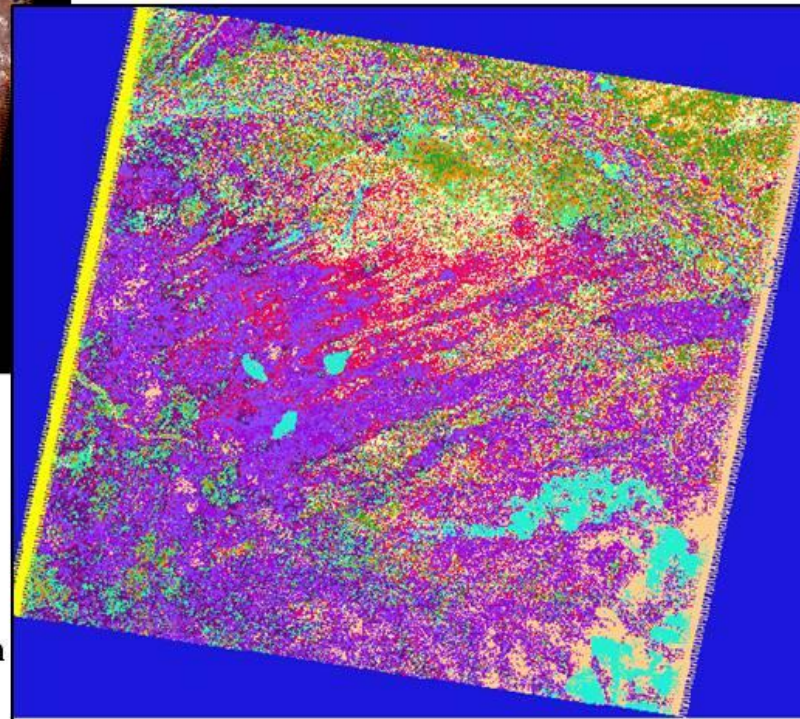
### **1. Application de la méthode pour la cartographie de l'occupation du sol en 2010**

Dans un premier temps, nous avons effectué une classification non supervisée (Fig. 64) avec l'algorithme des nuées dynamiques en demandant un résultat en 16 classes qui permettent de faire ressortir tous les contrastes du site. Le résultat obtenu n'a pas dépassé 12 classes, ce qui correspondait au maximum d'itérations possibles. Ainsi, avons-nous gardé ces 12 classes qui, après analyse, seront à la base de l'établissement de la carte de l'occupation du sol en 2010. A ce niveau, une première comparaison (Fig. 64) a permis de confronter la classification avec la composition colorée (fausses couleurs) obtenue avec l'association des canaux du visible (2 et 3) et du proche infrarouge (4), ce qui permet de mettre en évidence notamment les surfaces où la végétation est en activité chlorophyllienne. En nous aidant de cette analyse visuelle d'image, quelques types d'occupation du sol peuvent être identifiés notamment les brûlis. La comparaison par superposition des deux images permet par ailleurs de vérifier la pertinence de la classification en 12 unités d'occupation du sol.

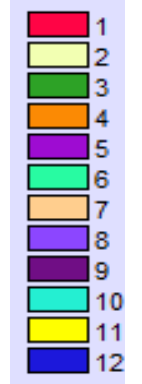
L'étape suivante a été consacrée à l'étude des 12 classes issues de cette première classification (Kmeans) à travers la mise en évidence statistique des paramètres de luminance pour chaque classe. L'étude des courbes radiométriques a été au fondement de l'interprétation et de la détermination de la nature de chaque classe permettant de procéder à des recoupements et d'identifier des types d'occupation du sol.



Composition colorée avec les canaux 2, 3 et 4



Classes



Résultats de la première classification (KMEANS) en douze classes

Figure 64 : Composition colorée et classification Kmeans de la sous-scène du Ferlo 2010

La classe 12 correspond aux éléments « d'impuretés », ici le cadre de l'image, que la classification permet d'éliminer. Elle se caractérise par une absence de luminance sur l'ensemble des canaux. Les classes 1, 2, 5, 6, 7, 8 et 9 forment les surfaces en végétation. La classe 10 regroupe les surfaces de brûlis, les surfaces argileuses sombres et une très faible couche de végétation. La classe 11 forme les surfaces aquatiques reconnaissables avec une chute des valeurs de luminance à partir du TM3. Elle présente aussi des impuretés avec l'existence de bordures. Ces classes sont ensuite isolées une à une pour une observation plus approfondie (Fig. 66) en vue de leur affinement.

Une première reclassification (Fig. 67) permet de regrouper les classes correspondantes au sein d'une seule et unique classe. Ce qui nous amène à une première carte avec 5 classes d'occupation du sol.

Les classes qui présentent des bordures feront l'objet d'une nouvelle classification par emboîtement (Fig. 68) en vue de leur élimination. La classification non dirigée par emboîtement permet par ailleurs de subdiviser une classe d'occupation en plusieurs sous classes qui seront alors étudiées une à une pour identifier leur signification (Fig. 68). La classe 11, par exemple, était *a priori* constituée par les milieux aquatiques. Une analyse de celle-ci, complétée par l'étude des courbes radiométriques, montre qu'il n'y avait pas seulement des zones aquatiques (Fig. 69). Ainsi des correctifs ont-ils été apportés.

Quant aux classes de végétation, elles ont été regroupées, dans un premier temps. La nouvelle classe obtenue est soumise à une analyse en composantes principales qui reclasse les pixels concernés suivant 6 facteurs. La classification non dirigée appliquée sur ces composantes principales (Fig. 70). permet, en s'appuyant sur l'étude des courbes radiométriques (Fig. 71), de mettre en évidence les différents éléments qui composent la classification avec ici des classes de végétation très ouvertes à l'exception de la classe 5 dominée par les surfaces de sols nus sableux clairs.

Après cette première phase d'analyse, de classifications et de vérifications, l'ensemble des classes d'occupation du sol identifiées et retenues ont fait l'objet d'un regroupement au sein d'une même image (Fig. 72) qui sera la carte de l'occupation du sol en 2010 pour la région du Ferlo.

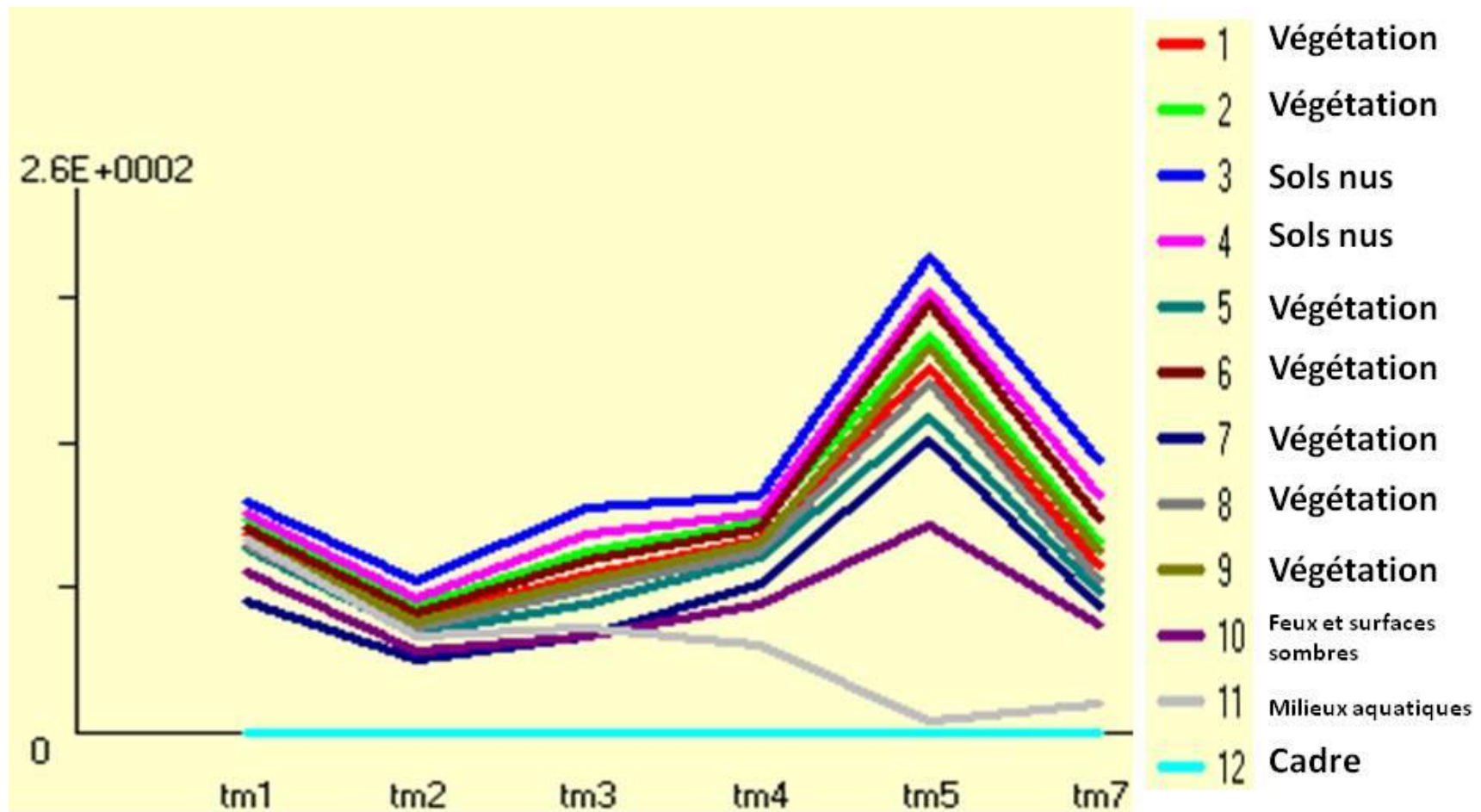


Figure 65 : Les courbes radiométriques de l'ensemble des classes de la première classification avec l'algorithme des nuées dynamiques (Kmeans)

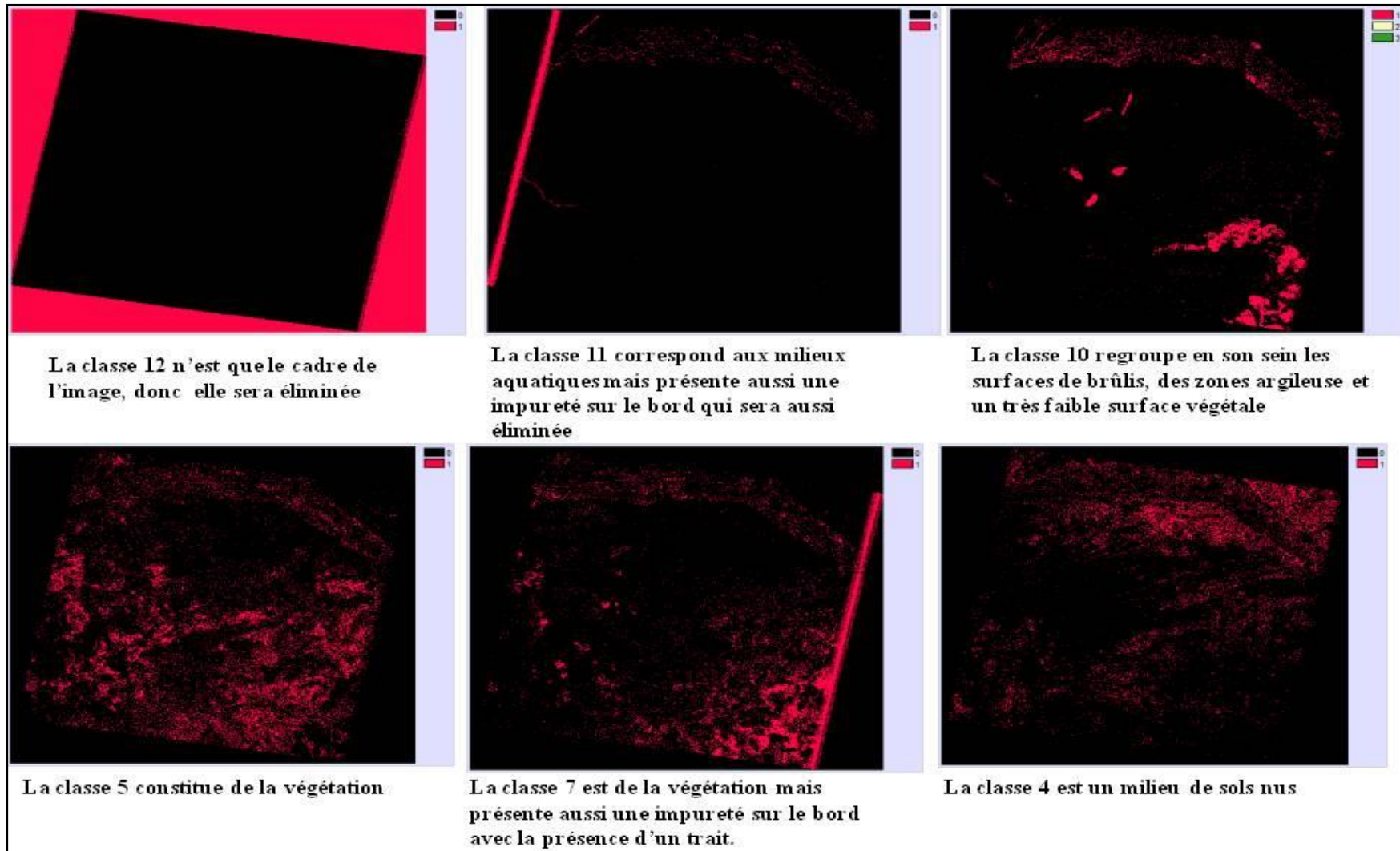
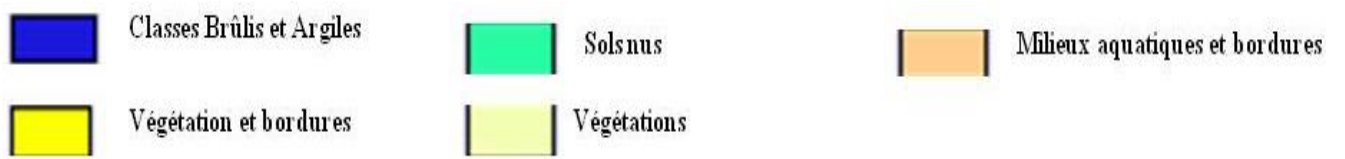
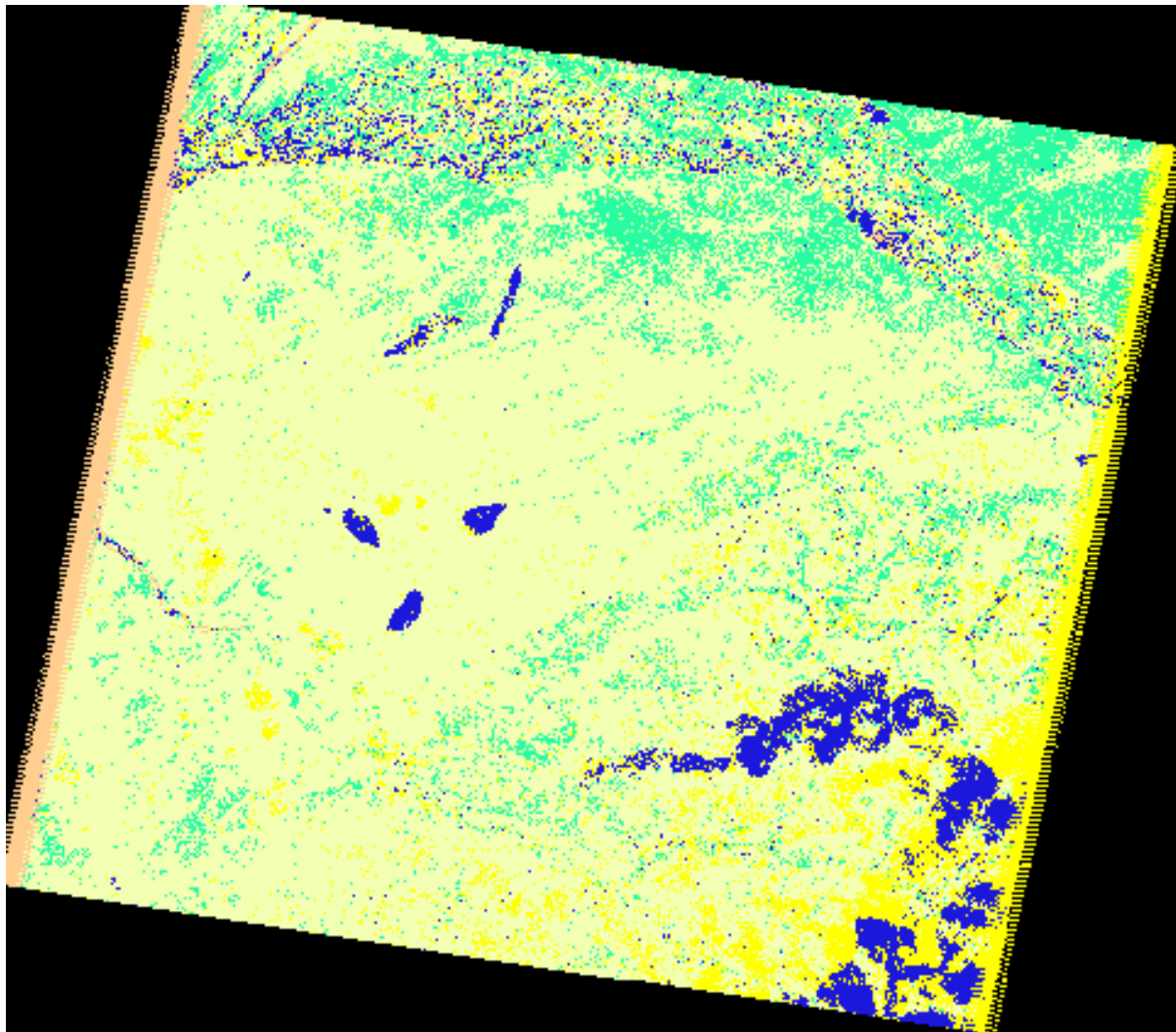
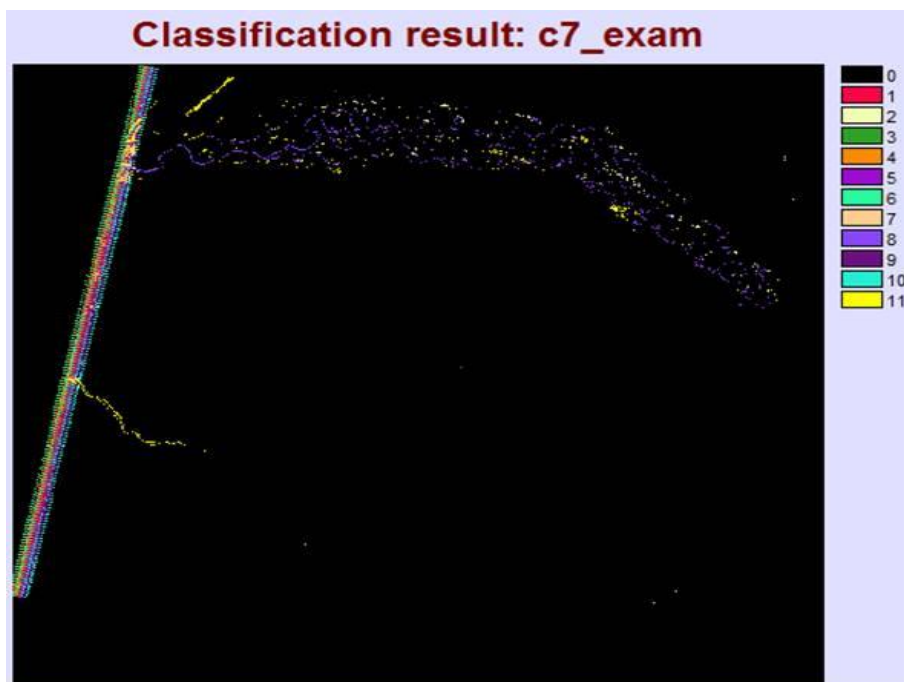


Figure 66 : Observation des classes 5, 7, 4, 12, 11, et 10

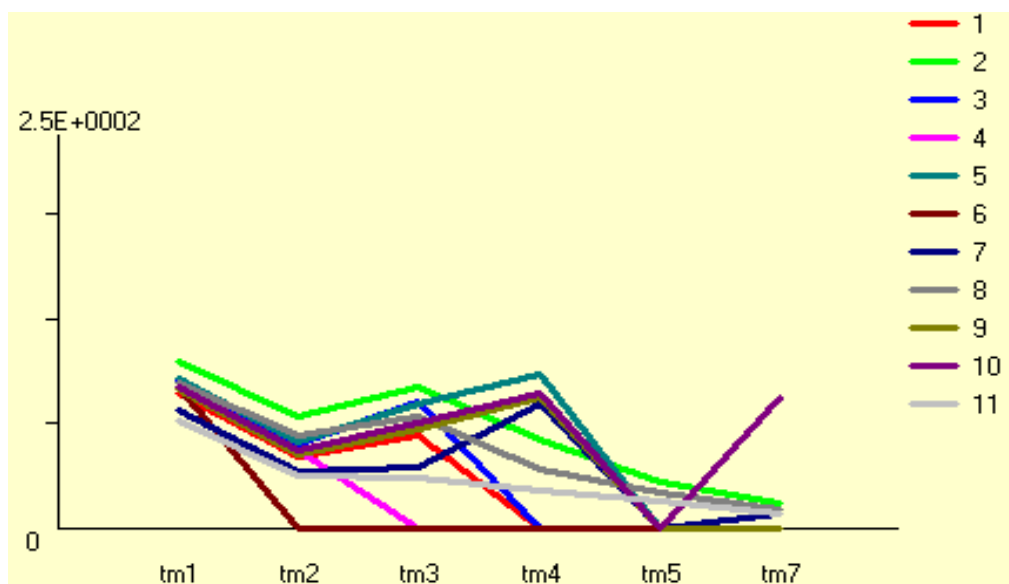


**Figure 67 : Regroupement des classes communes**



Une classification non dirigée par emboitement sur la classe des milieux aquatiques permet d'isoler les bordures de l'image

**Figure 68 : Résultat de la classification par emboitement sur la classe des milieux aquatiques**



**Figure 69 : Courbes radiométriques de vérification de la classe des milieux aquatiques**

Cette classification par emboitement permet une correction de la classe initiale à partir d'une subdivision de celle-ci en plusieurs sous-classes. Ici, les classes 2 (eaux très claires), 8 et 11 (eaux turbides) représentent les milieux aquatiques. Les autres classes concernent les impuretés (bordures...)

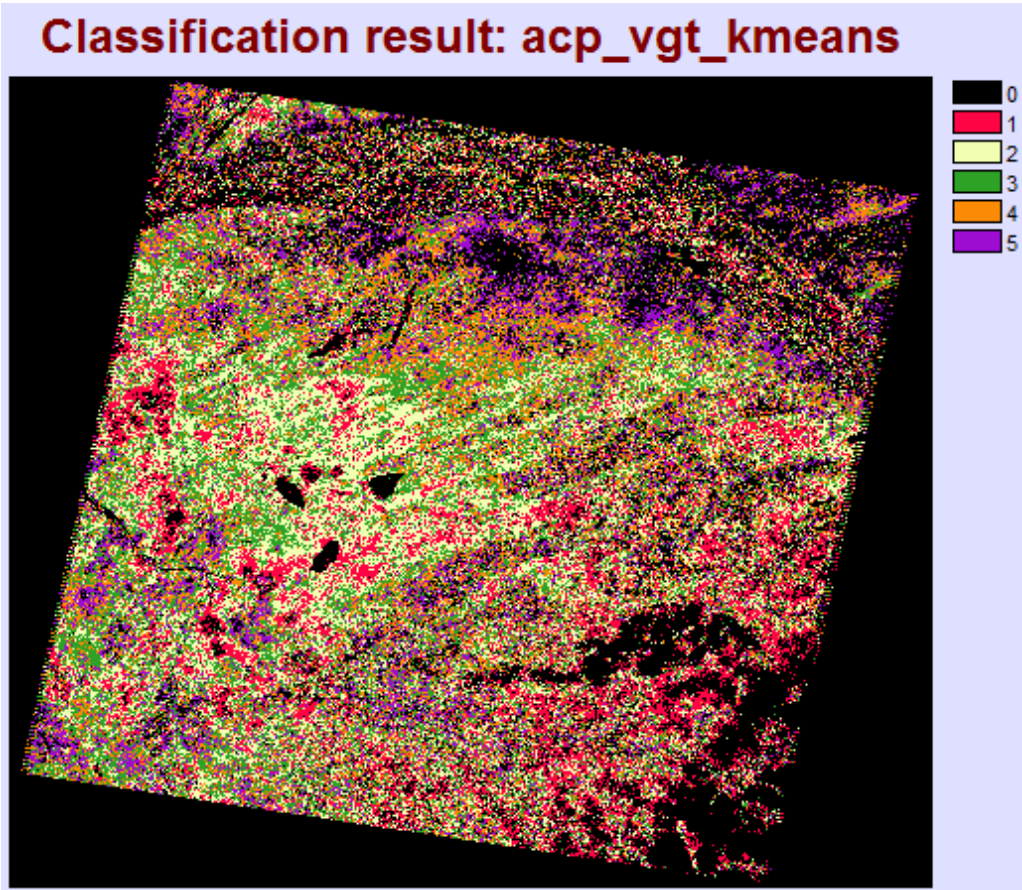


Figure 70 : Résultats de la classification non dirigée sur les facteurs de l'ACP (classe végétation)

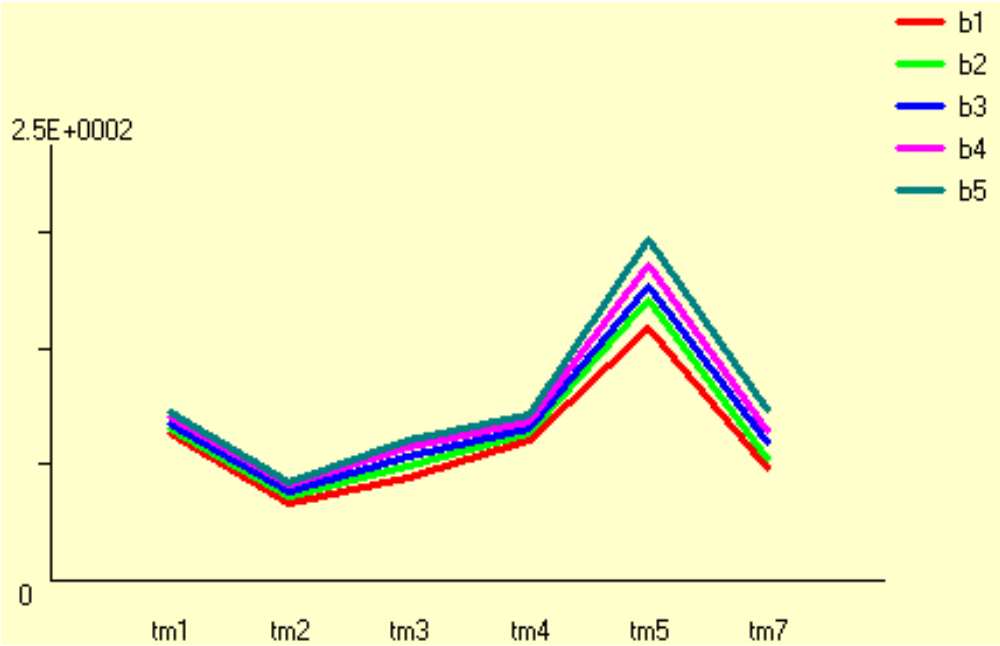
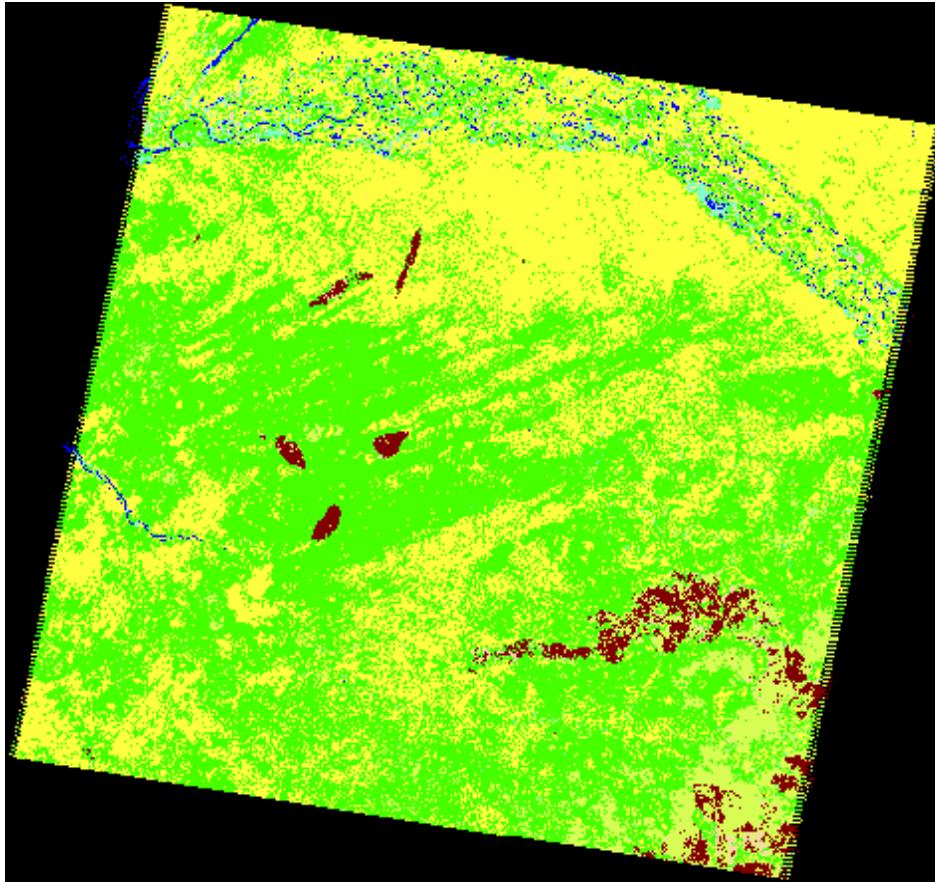


Figure 71 : Courbes radiométriques de la classification non dirigée sur l'ACP (Végétation)

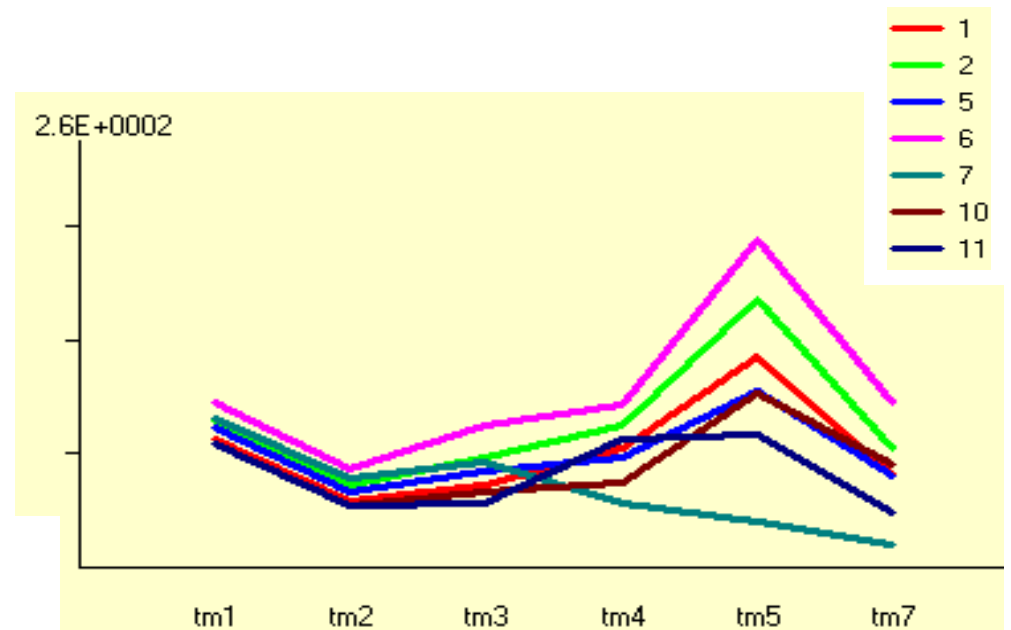
La carte obtenue de l'occupation actuelle du sol dans le Ferlo a été soumise à des vérifications à travers l'étude des serpents radiométriques (Fig. 73) qui montrent une bonne homogénéité des résultats de la classification. L'ensemble des images de 2010 a été analysé suivant la même procédure technique. Dans la section suivante, nous tirerons les principaux enseignements de cette cartographie.

Figure 72 : Regroupement des classes pour la carte d'occupation finale de la sous-scène Ferlo



- |   |                                   |    |                          |
|---|-----------------------------------|----|--------------------------|
| 1 | Végétation ouverte sur sol sombre | 7  | Milieus aquatiques       |
| 2 | Végétation ouverte sur sol clair  | 10 | Brûlis                   |
| 5 | Sols nus sableux sombres          | 11 | Végétation zone irriguée |
| 6 | Sols nus sableux clairs           |    |                          |

Figure 73 : Courbes radiométriques de la carte d'occupation finale de la sous-scène Ferlo



## **2. L'occupation et l'utilisation actuelles du sol dans le Ferlo et le nord du bassin arachidier en 2010**

La cartographie de l'occupation du sol a pour ambition de montrer la structure paysagère actuelle dans le Sénégal intérieur. Cette situation présente sera utilisée comme carte de référence qui permettra de nous inscrire dans le débat sur la dégradation des agroécosystèmes sahéliens ou de leur résilience à partir de l'exemple des socioécosystèmes du Ferlo et du Bassin arachidier. Une démarche dont l'originalité est de partir du contexte actuel pour dresser une analyse rétrospective des paysages. Cette méthode a montré sa pertinence lorsqu'Andrieu (2008) l'a testée dans le contexte régional des Rivières du Sud entre le Sénégal et la Guinée Bissau. Elle sera transposée dans le contexte du Sénégal intérieur.

L'étude de la carte d'occupation du sol sera renforcée par une étude sur l'utilisation des sols, avec un zoom sur des villages et campements s'appuyant sur les images de très haute résolution de *Google Earth Pro*. Ainsi, pourra-t-on, à partir de cette échelle d'analyse, faire la liaison entre occupation et utilisation du sol.

### **2.1. Etat de l'occupation du sol en 2010**

La carte de l'occupation du sol actuelle entre le Ferlo et le Bassin arachidier (Fig. 74) montre une présence importante de la couverture végétale qui occupe 51 % (y compris les aménagements agricoles pour la production de riz, de sorgho et de légumes dans la vallée du fleuve) de la superficie totale de la zone étudiée. Au sein de celle-ci (couverture végétale), la végétation ouverte sur sol sableux clairs, avec une forte présence dans toute la région du Ferlo ainsi qu'au nord du Bassin arachidier, constitue la classe végétale dominante avec 31 % de la superficie d'occupation totale. La végétation ouverte sur sols sombres, très présente dans le sud-est du Ferlo et dans le Sénégal oriental, n'occupe que 17 % de cette superficie totale. La végétation fermée est faiblement représentée avec 2 % seulement de la superficie. Si elle est quasi absente dans le Ferlo, on peut la retrouver, plus au sud, dans le Sénégal oriental. Les surfaces en végétation aquatique et les milieux irrigués occupent de faibles superficies (1 %).

Les surfaces où la couverture végétale est absente sont majoritairement constituées des sols nus avec les sols nus sableux clairs (25 %), les sols nus sombres (4 %), les sols nus sablo-argileux (1 %) et des milieux aquatiques (eaux fluviales et marines principalement) avec 10% de superficie d'occupation. Les surfaces correspondant à la classe de sols nus, du point de vue spatial correspondent d'une part à des secteurs sahéliens où la végétation ligneuse est quasiment absente et où les herbacées annuelles ont terminé leur cycle végétatif en début de

saison sèche, d'autre part à des champs agricoles après récolte en domaine soudano-sahélien. Les superficies de zones incendiées sont très importantes en 2010, au moment où a été saisie l'image (9 %). Elles sont principalement localisées au nord et au sud-est du Ferlo et dans le Sénégal oriental. Cette recrudescence des surfaces incendiées dans la période récente amène à des questionnements qui seront abordés et détaillés dans les sections qui vont suivre.

Globalement, la carte de l'occupation du sol en 2010 montre donc un paysage marqué par la forte présence d'un couvert végétal ouvert, constituant la principale ressource qu'utilisent les agroécosystèmes pastoraux du Ferlo. Les formations végétales très ouvertes dominent largement. En début de saison sèche, elles montrent qu'il existe encore une certaine disponibilité de la ressource fourragère, même après la quasi-disparition des espèces annuelles. L'autre enseignement majeur qui ressort en 2010 est la question des feux de brousse et de leur impact sur cette ressource fourragère. En effet, la forte proportion de superficies brûlées que nos observations de terrain confirmaient par ailleurs (cf chapitre 10, 12), montre l'un des phénomènes qui renforcent la vulnérabilité des anthroposystèmes. Des observations récentes sur d'autres parties du Sahel ouest africain (Garba *et al*, 2012 ; André *et al*, 2008, Hountondji, 2008 ; Snyman, 2003) et dans le Ferlo (Ancy *et al*, 2008 ; Sarr, 2008 ; Ruster, 2009, CSE, 2011) confirment cette situation. Selon le CSE (2011), au Sénégal, ces feux ne touchent pas seulement le Ferlo et le Bassin arachidier. Les régions du sud (Casamance) et du sud-est (Tambacounda et Kédougou) (Fig. 75) sont aussi concernées, mais, dans ces régions, l'exploitation du bois et sa pyrolyse (pour faire du charbon de bois notamment) explique leur ampleur. Dans le Ferlo, les feux – une pratique interdite par la législation sénégalaise - ont plutôt une origine accidentelle. Dans tous les cas, les atteintes aux ressources naturelles sont parfois considérables, la topographie plane favorisant la propagation rapide du feu.

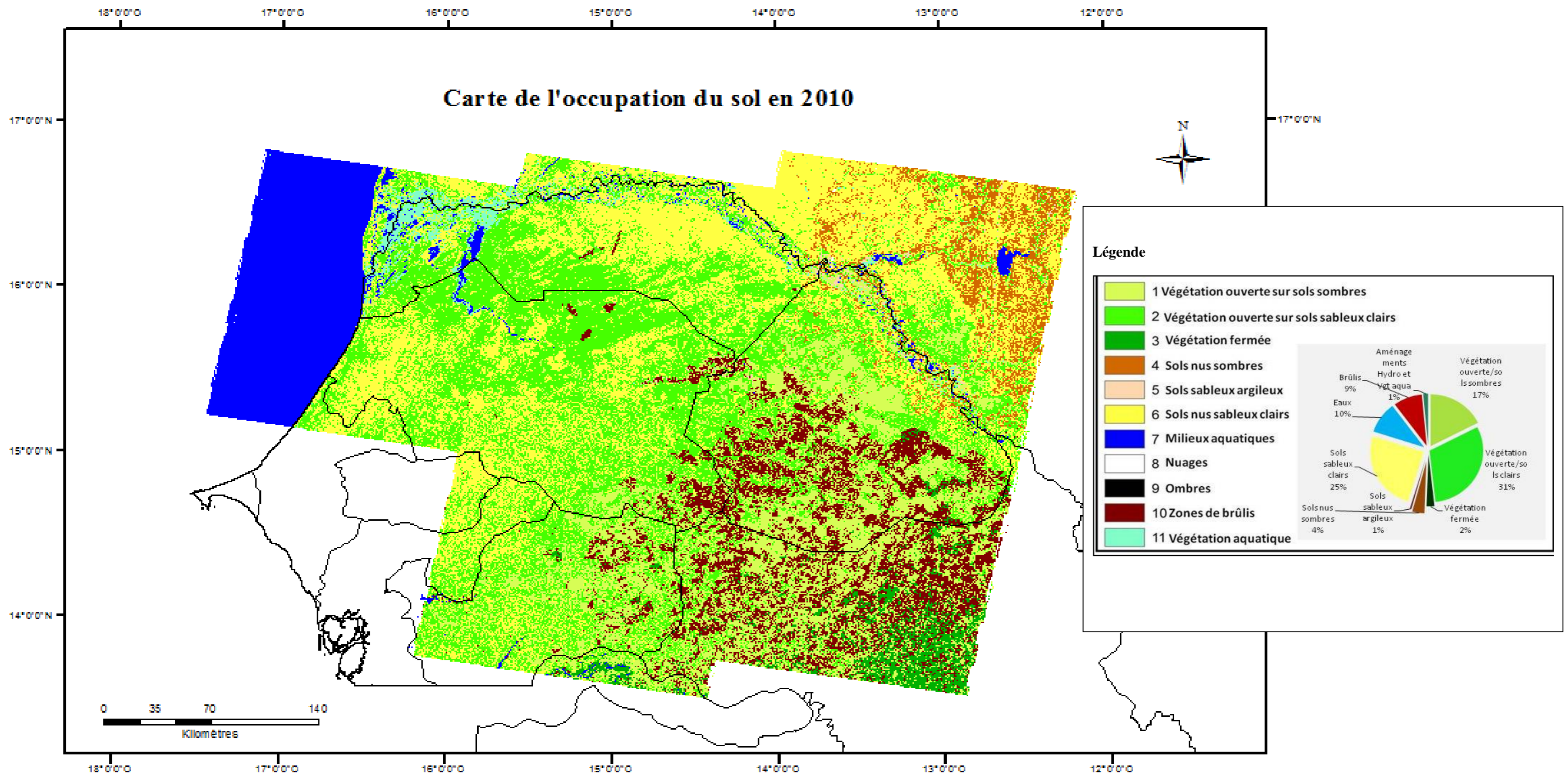
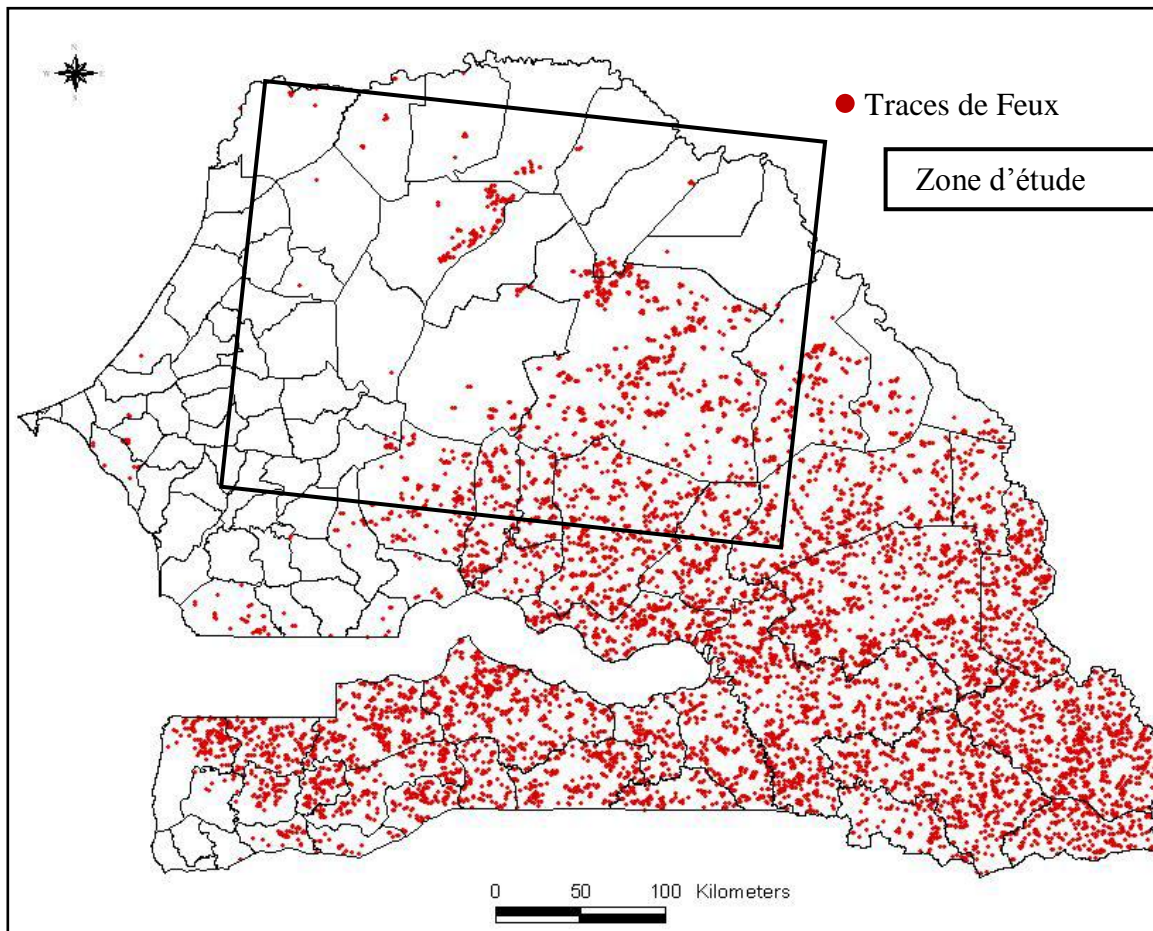


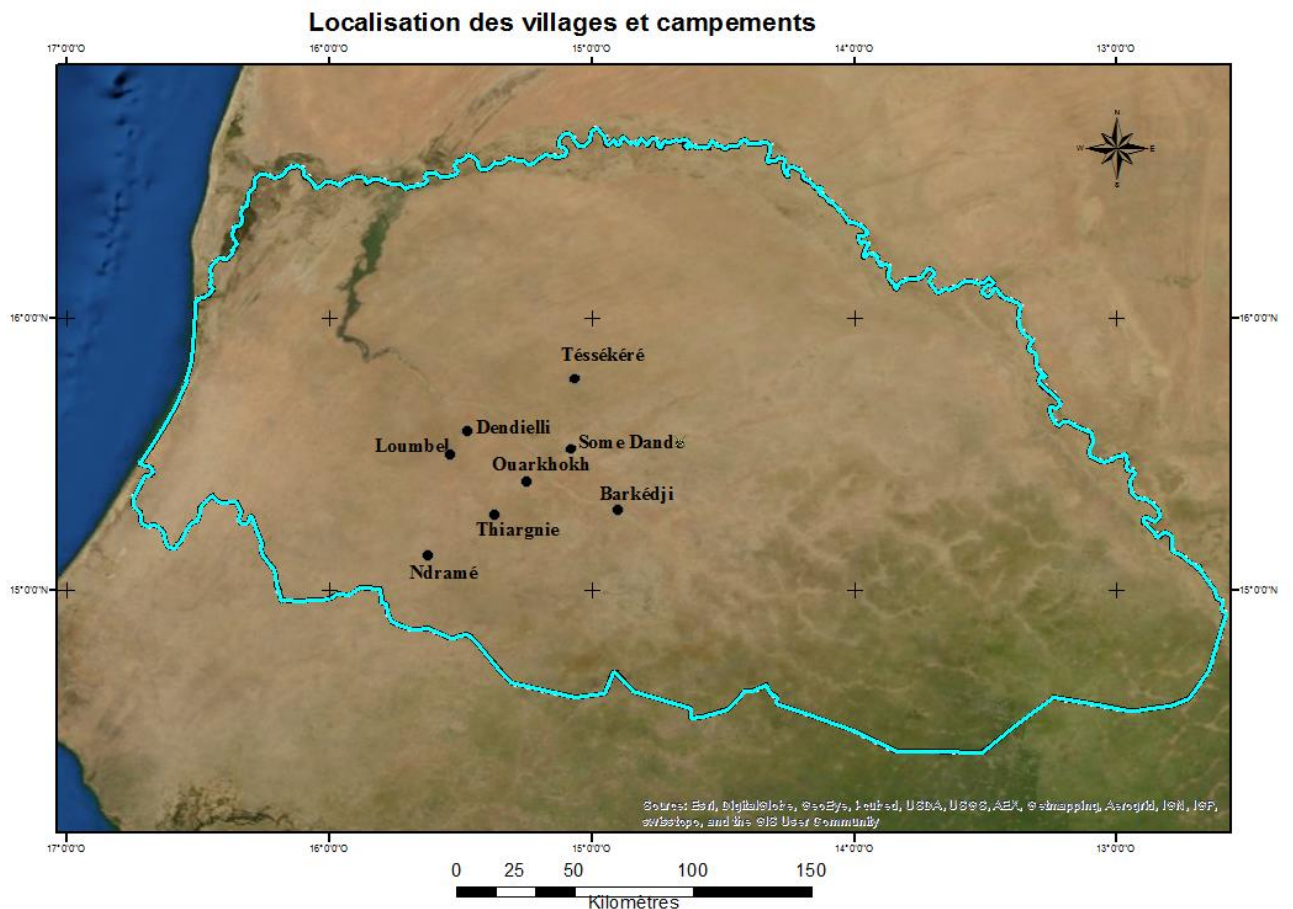
Figure 74 : Occupation actuelle du sol dans le Ferlo et le nord du bassin arachidier (Réalisation : Fall, 2014)



**Figure 75 : Carte des feux observés au Sénégal entre 2010 et 2011 (Source : CSE, 2011)**

### **3. De l'occupation à l'utilisation du sol : études de cas**

La carte de l'occupation du sol actuelle dresse un portrait global de la situation paysagère dans le Sénégal intérieur. Hormis les aménagements au niveau de la vallée du Fleuve, cette carte ne permet pas d'apprécier les dynamiques à l'échelle villageoise ou du campement ou même des points d'eau stratégiques (mare importante, forage, bassin de rétention d'eau de pluie, etc.). A ce niveau, on peut vraiment prendre la mesure de l'impact (positif ou négatif) du rôle joué par les pratiques des sociétés rurales. Ainsi avons-nous choisi après examen minutieux de la carte d'occupation du sol, de faire des focus sur quelques exemples très précis constitués de villages, campements permanents, points d'eau importants (Fig. 76) pour appréhender ces dynamiques.



**Figure 76 : Localisation des villages et campements**

### **3.1. Les villages peuls de Dendielli Guelli et Dendielli Namass au nord de Dahra Djoloff dans le Ferlo central.**

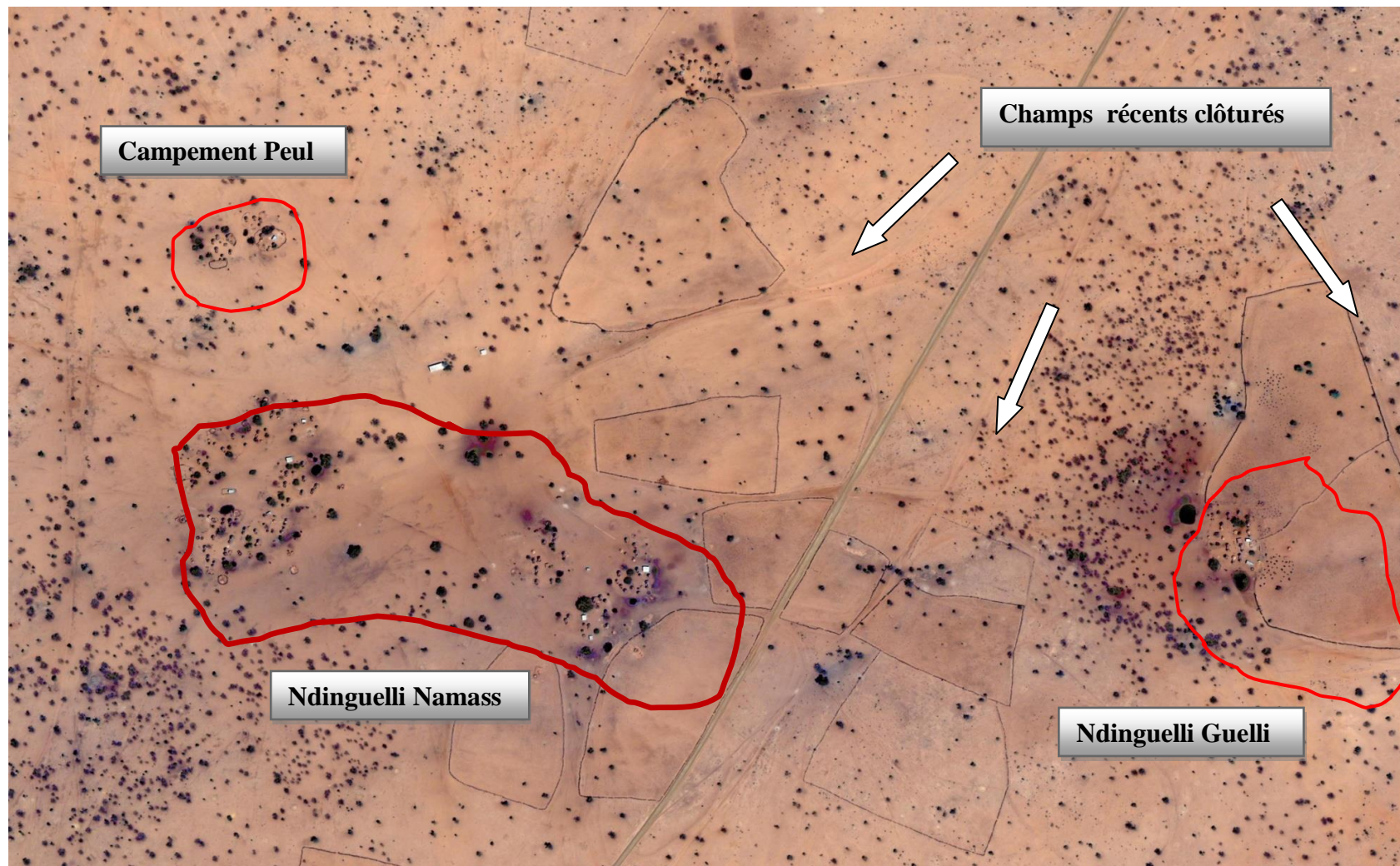
La carte d'occupation du sol montre ici aussi la domination de la végétation ouverte sur sols clairs à l'instar de Loumbel. Toutefois, l'image *Google Earth* (Fig. 78) montre une densité de ligneux plus importante (semis de points noirs) composée essentiellement d'*Acacia raddiana* et une strate herbacée composée d'espèces annuelles (*Zornia glochidiata*, *Schoenfeldia gracilis*) qui profitent à l'élevage. Pour les Peuls de ces deux localités, l'importance de la couverture ligneuse dans les deux villages se justifie par leurs pratiques « *respectueuses des lois* », les Wolofs étant, eux, accusés de couper les arbres :

« *C'est à cause des hommes qui coupent les arbres. Ce sont les Wolofs en majorité qui coupent les arbres et un petit peu les Peuls. Pour survivre, il y a des villages wolofs qui n'ont pas assez de moyens, ils vont couper de l'herbe, ramasser du bois mort pour les vendre, ils coupent les arbres pour faire aussi du charbon de bois...* » (Entretien avec Ndiala Ka à Ndinguelli Guelli, octobre 2010).

Au niveau de l'utilisation du sol, les Peuls de ces deux villages se convertissent de plus en plus à l'agriculture qu'ils associent avec l'élevage qui reste l'activité principale. Le développement de cet agropastoralisme est la conséquence de ce finage très récent qui apparaît sur l'image (Fig. 78) et que nos observations de terrains en octobre 2010 ont permis de confirmer. Le marquage de propriété ou la mise en défens, matérialisés par des *Euphorbia balsamina* ou par des épineux, traduit cette volonté de s'approprier la ressource agraire. Ce recours à l'agriculture s'inscrit dans un contexte où les changements socioéconomiques et environnementaux sont de plus en plus intenses et amènent les socioécosystèmes à la définition de nouvelles stratégies. Ce point sera particulièrement discuté dans le chapitre 12 consacré à cette question.



**Figure 77.** Paysage steppique dominé par *Acacia raddiana* à Ndinguelli Namass (Photo : Fall, 2010)



**Figure 78** : Les villages Peuls de Ndinguelli Guelli et Ndinguelli Namass au Nord de Dahra Djoloff dans le Ferlo central. *Ici, l'élevage longtemps pratiqué comme activité principale est de plus en plus associé à l'agriculture. Le paysage montre une physionomie de steppe arborée.*

### **3.2. Occupation et utilisation du sol à Loumbel, village wolof du Ferlo Ouest.**

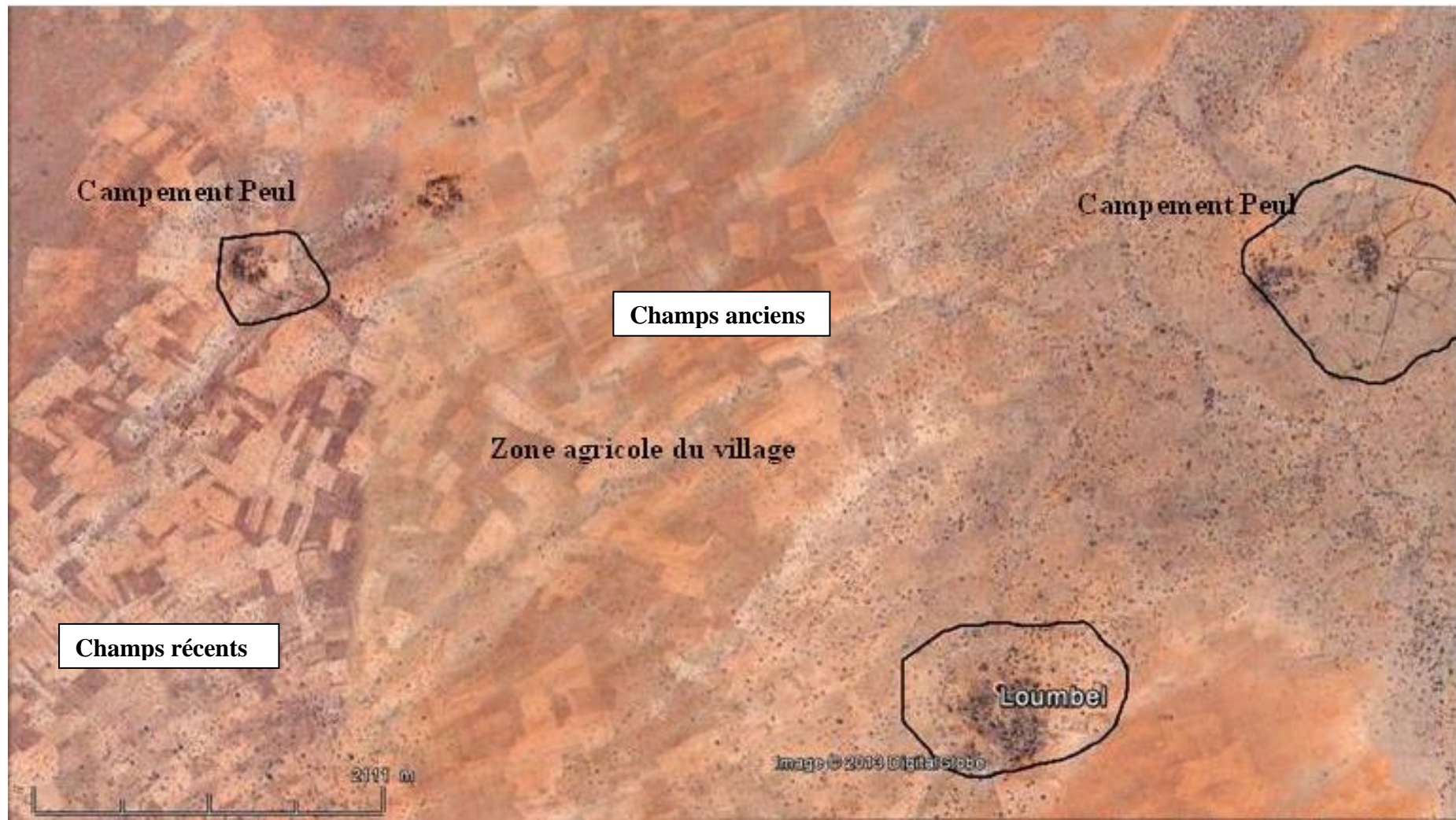
Le système d'exploitation agricole qui domine à Loumbel est l'agriculture. Elle est généralement associée avec un petit élevage domestique (ovins, caprins, éventuellement bovins, en petit nombre). Sur l'image (Fig. 80), la présence de deux finages (ancien et récent) traduit cette primauté de l'agriculture pluviale dans les systèmes d'exploitation des ressources naturelles. Ce finage ancien, devenu zone de pâturage, est caractérisé par des sols que l'agriculture extensive a rendu très pauvres et où se développe sur des surfaces importantes *Cenchrus biflorus*. Les relevés floristiques que nous avons effectués dans cette partie du Ferlo sont ainsi, du point de vue de la diversité des espèces, très pauvres. Le paysage, traduit sur la carte générale d'occupation du sol par la domination de la végétation ouverte sur sols clairs, se présente globalement avec une physionomie de steppe sur des sols sableux clairs, liés à la présence de reliefs dunaires. Les ligneux sont éparpillés partout, dans le village comme dans les champs. Cette strate est dominée par *Acacia raddiana* et *Balanites aegyptiaca*. Le tapis herbacé discontinu, base des pâturages est constitué principalement d'espèces annuelles, *Zornia glochidiata* et *Cenchrus biflorus* notamment. Ce type de paysage caractérise beaucoup de villages où les Wolofs sont majoritaires. Deux campements peuls sont installés de part et d'autre du village. Une installation qui peut se justifier par la présence d'un forage (pour abreuver le bétail) dans le village mais aussi pour l'accès aux pâturages après la récolte des champs. Historiquement, l'agriculteur Wolof a toujours négocié avec le pasteur Peul pour que celui-ci laisse son bétail séjourner dans les champs pour une fertilisation des sols avec les déjections des animaux qui profitent en même temps des pâturages de qualité. A Loumbel, une partie seulement des résidus de récoltes est récupérée par les agriculteurs pour leur bétail. Le reste est ouvert aux pasteurs transhumants.



**Figure 79:** Photo (Fall, 2010): Le paysage steppique à Loumbel. La strate arborée est dominée par *Acacia raddiana* et le tapis herbacé par *Cenchrus biflorus*.

*« Pendant tout l'hivernage, les champs sont interdits au bétail, à la fin des récoltes les champs sont libérés ... Les Peuls habitent dans le village d'à côté, ils peuvent venir faire pâturer le bétail. Nous, on récolte tôt tout ce qui est fourrage pour l'emmenner à la maison, après ce qui reste est pâturé. C'est ouvert à tout le monde ».* Entretien avec Mor Fama Lèye, gestionnaire principal du forage de Loumbel (octobre, 2010).

Le cas de Loumbel montre donc une certaine complémentarité dans les systèmes d'exploitation des ressources naturelles.



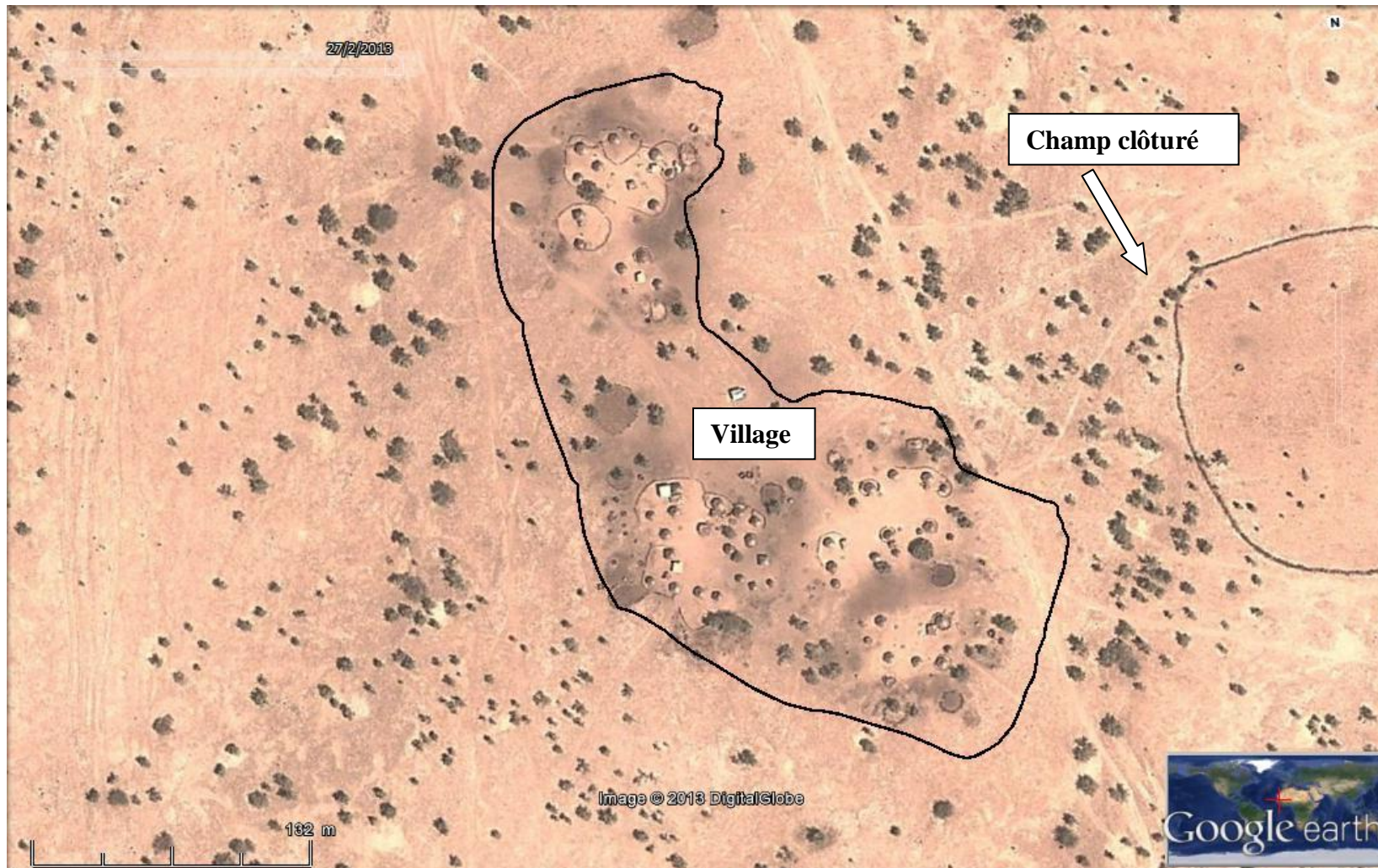
**Figure 80:** Village Wolof de Loumbel dans le Ferlo Ouest: L'agriculture pluviale est la principale activité. L'élevage est pratiqué à partir des deux campements équidistants du village. Source : *Google Earth*, 2013

### **3.3. Some Dandé dans le Ferlo nord, un village de pasteurs Peuls.**

Le village de Some Dandé (Fig. 81 et 82) présente aussi une physionomie de steppe arborée dominée par un arbre de la famille des Zygophyllacées, *Balanites aegyptiaca* ; le tapis herbacé est constitué d'espèces annuelles. Il est habité par des Peuls qui ne pratiquent que l'élevage transhumant. Lors de notre passage en octobre 2010, une seule famille s'adonnait à l'agriculture. Le seul champ qui apparaît sur l'image était clôturé avec *Euphorbia balsamina*.



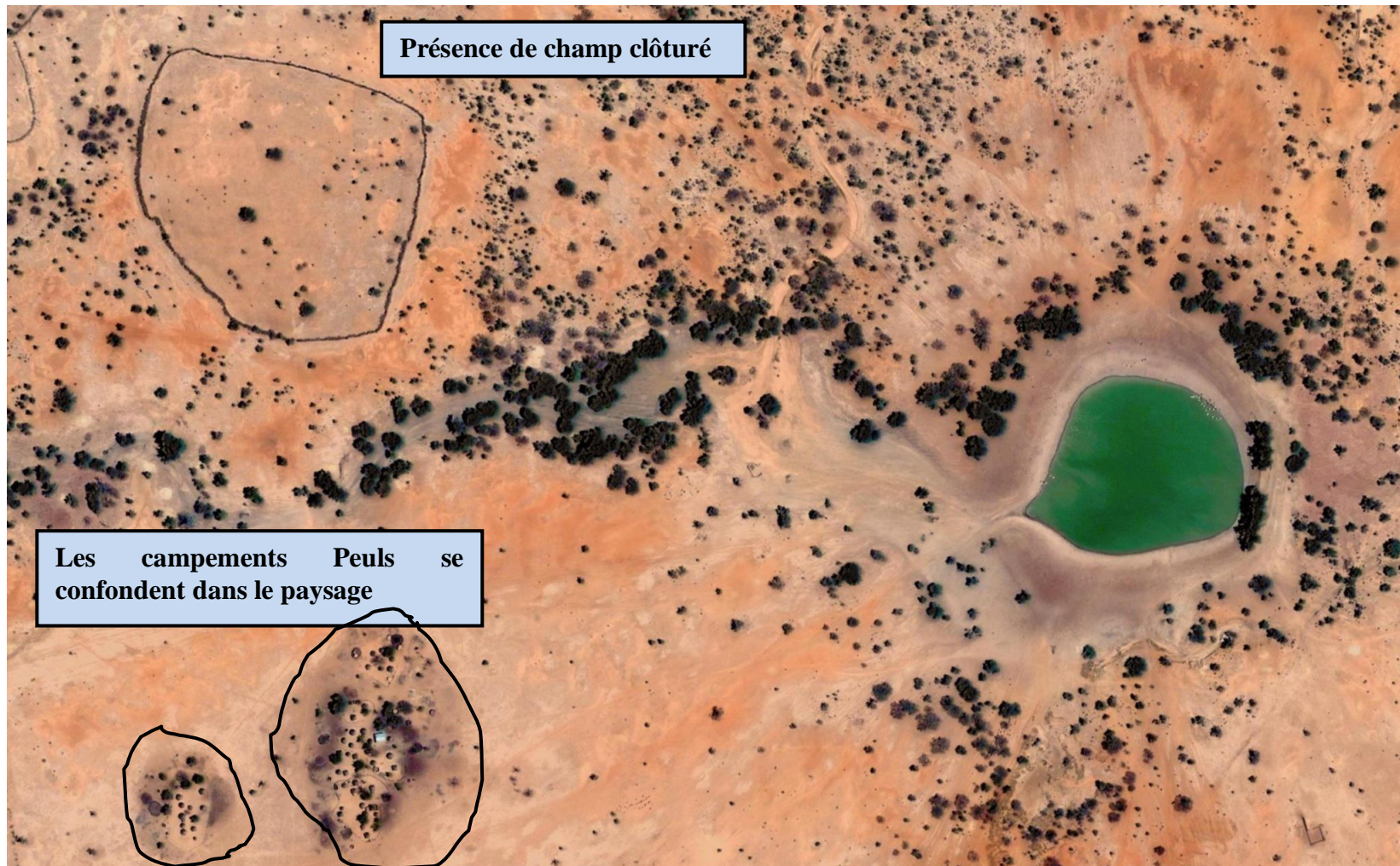
**Figure 81 : Steppe avec couverture ligneuse assez faible à Some Dandé (Photo : Fall, 2010)**



**Figure 82 : Some Dandé dans le Ferlo, un village de pasteurs Peuls. Lors de notre passage en octobre 2010, une seule famille pratiquait l'agriculture. Le seul champ qui apparaît sur l'image était clôturé avec *Euphorbia balsamina*. (Source : Google Earth, 27/02/2013)**

### **3.4. L'occupation du sol à proximité d'une mare permanente au niveau de la vallée fossile à Ouarkhokh dans le département de Linguère (Figure 83)**

La carte d'occupation du sol autour de la mare d'Ouarkhokh montre la dominance des sols sableux clairs (système dunaire) dans une situation de vallée fossile. La couverture ligneuse n'est pas absente, profitant du contexte de fond de vallée. La croissance des arbres est bien plus vigoureuse ici que dans les deux localités que nous venons de présenter. Sur la Fig. 83, le tapis herbacé n'est pas encore constitué à cette période de l'année (mars 2005), ce qui laisse apparaître le substrat sableux. L'importance de ce point d'eau qui a une position très stratégique par rapport aux mouvements de transhumance entre le Ferlo et le Bassin arachidier, amène des éleveurs à dresser des campements autour pour des séjours de plus en plus longs. La présence d'un grand village wolof (Ouarkhokh) étend le front agricole avec l'apparition de champs autour de la mare.



**Figure 83.** Mare permanente au niveau de la vallée fossile du Ferlo à Ouarkhokh dans le département de Linguère. *L'importance de ce point d'eau pour les activités de transhumance amène les éleveurs à séjourner autour voire en faire leur base principale de campement.* (Source : Google Earth, 13/03/2005)

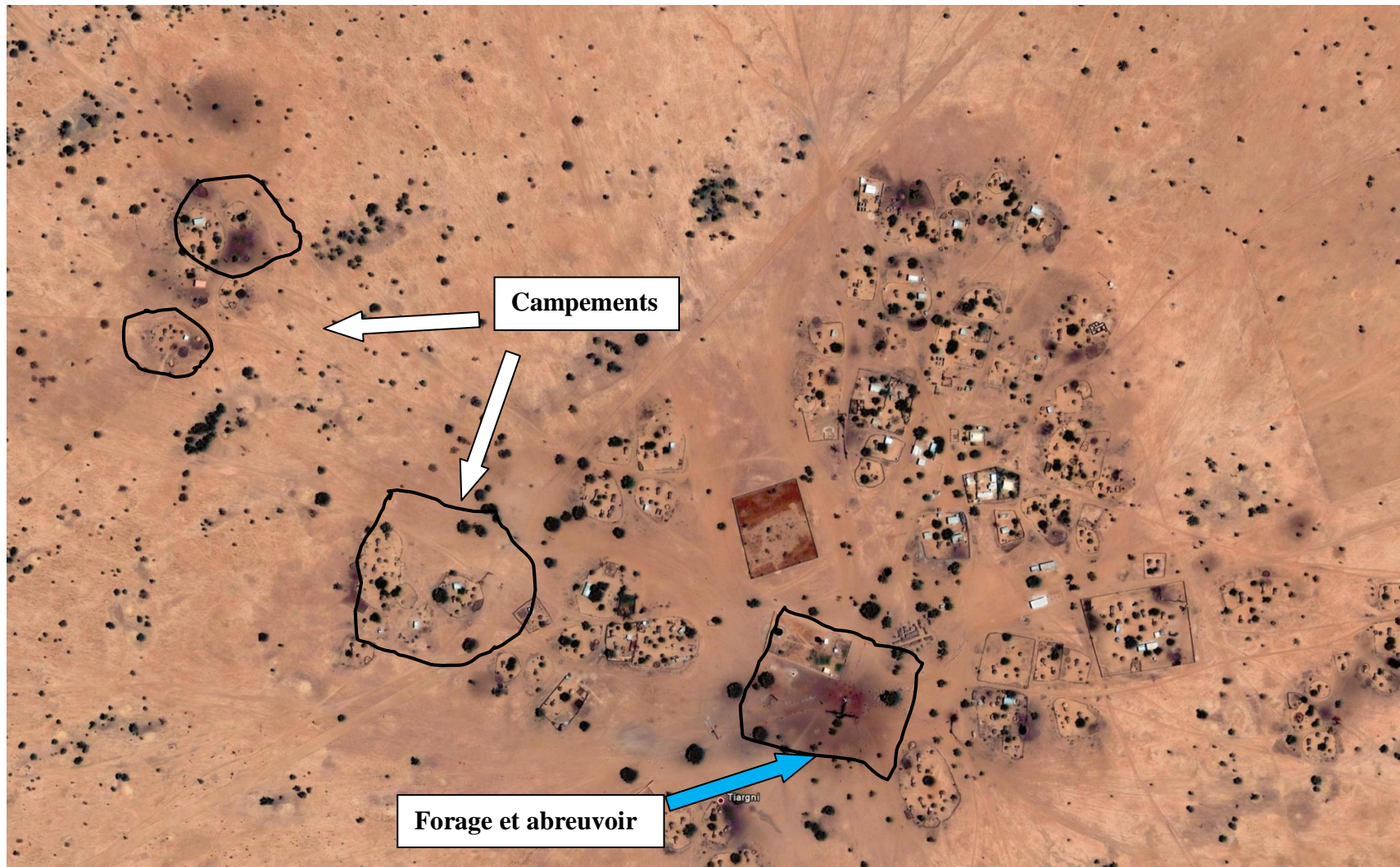
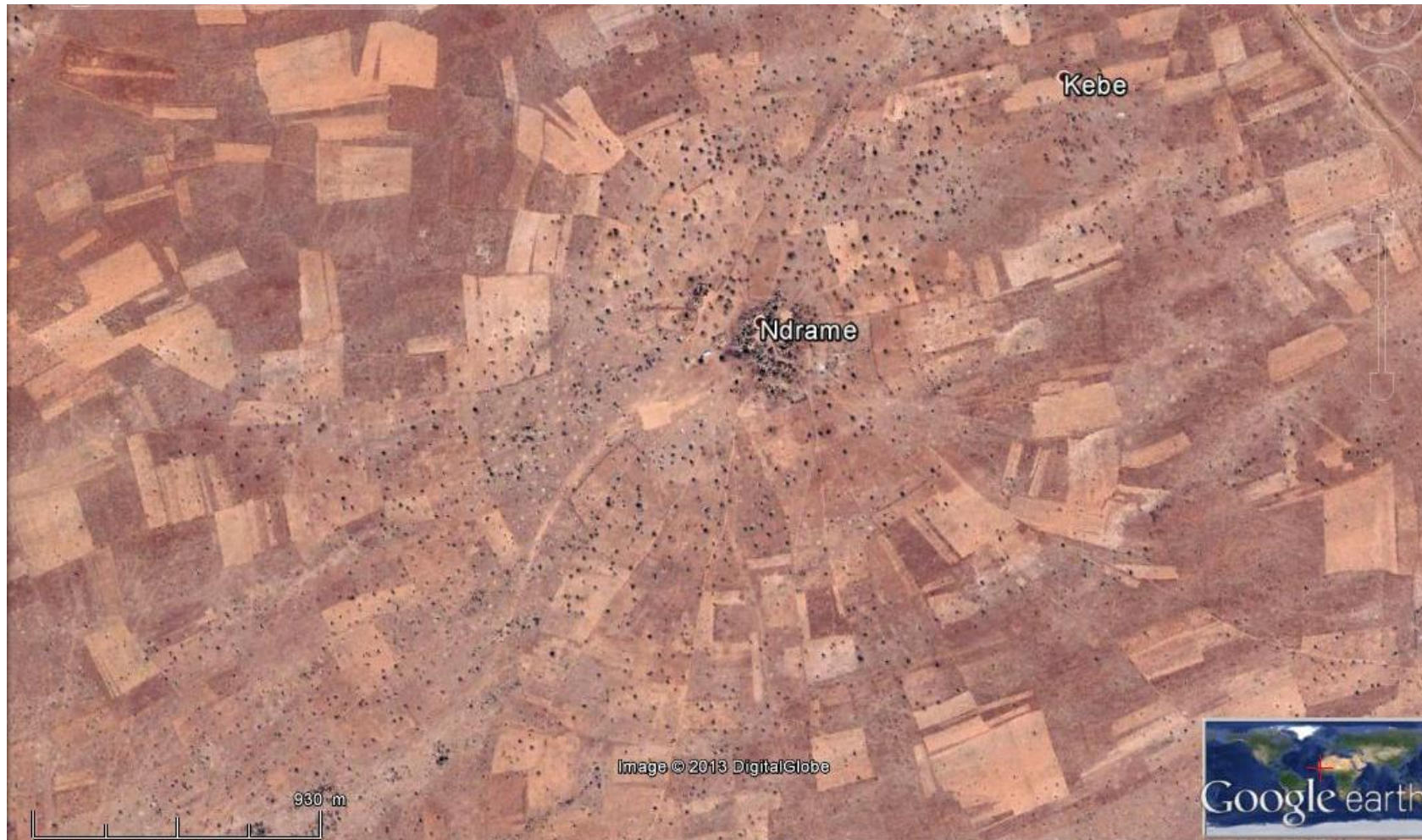


Figure 84. Thiargnie chef lieu de la communauté rurale du même nom dans le Ferlo sud, un village d'agropasteurs peuls (Source : Google Earth, 2009)



**Figure 85.** Ndramé, village wolof entre le Ferlo et le Bassin arachidier. *Le terroir est bien marqué par les pratiques agricoles avec un parcellaire bien organisé autour du village. Les arbres (semis de points) sont présents autour du village mais presque absents dans les champs.* (Source : Google Earth, 16/01/2004)

### **3.5. Thiargnie chef-lieu de la communauté rurale du même nom dans le Ferlo sud, un village d'agropasteurs Peuls (Figure 84)**

Le village de Thiargnie dans la communauté rurale du même nom, est situé dans l'extrême sud du Ferlo. Sur la carte d'occupation, le paysage se présente sous une physionomie steppique. Il est dominé par une couverture végétale très ouverte au sein de laquelle *Balanites aegyptiaca* et *Acacia adansonii* sont les espèces les plus représentées (Fig. 84).

Au niveau de l'exploitation des ressources naturelles, le village jouit d'une longue tradition d'agropastoralisme. Tous les éleveurs rencontrés pratiquent au moins l'agriculture pluviale et l'élevage. L'organisation de l'habitat montre un village centre autour duquel des campements forment des satellites. Le forage polarise plusieurs villages de la communauté rurale.

### **3.6. NDRAMÉ un village wolof entre le Ferlo et le Bassin arachidier. (Fig. 85)**

NDRAMÉ se situe dans le vieux pays wolof entre le Ferlo et le Bassin arachidier. Il se situe aussi dans le couloir de passage pour les troupeaux à destination de Touba, ville très demandeuse en produits animaliers en raison des nombreuses manifestations religieuses, notamment le grand Magal qui commémore le retour d'exil du fondateur du mouridisme Cheikh Ahmadou Bamba. Cette cérémonie annuelle peut rassembler jusqu'à deux millions de personnes et favorise une grande ponction sur le cheptel.

Le système d'exploitation agricole est dominé par l'agriculture extensive pluviale. L'appauvrissement des terres autour du village a encouragé l'extension des surfaces agricoles. L'empreinte sur le terroir de cette prédominance de l'agriculture est bien marquée. L'élevage est très faiblement représenté. Les villageois ne gardent qu'un très petit nombre de bêtes (surtout des ovins). Le village se singularise parmi les autres localités visitées dans le Sénégal intérieur par la faiblesse de la couverture ligneuse. Les arbres, très disséminés à l'intérieur du village, sont presque absents dans les champs, ce qui semble confirmer l'assertion des Peuls concernant les relations entre le Wolof et l'arbre.

L'étude de l'occupation du sol et de son utilisation à travers les focus sur ces villages et campements montre une prédominance des formations végétales très ouvertes dont la cartographie a fait état. Les dynamiques des pratiques à cette échelle du village ou du campement, participent à la structuration globale des paysages. En effet, ce contexte local se

particularise par une micro-hétérogénéité des paysages. Ainsi, autour des villages et campements Peuls, le poids des activités agropastorales n'a pas encore fini d'imprimer sa marque au niveau du terroir qui est dans un processus de changement. Alors que les villages Wolofs aux longues traditions d'exploitations agraires présentent une physionomie de paysage très évolué où l'extension sans cesse des superficies cultivées continue d'avoir un impact sur la couverture végétale ligneuse.

Cette situation qui prévaut actuellement dans le Ferlo et qui vient d'être décrite est à replacer dans un contexte temporel des quarante dernières années (Chapitre suivant) pour voir comment globalement ces terroirs ont évolué. Une démarche qui permettra par ailleurs de fixer le cadre du débat sur la dégradation des écosystèmes et de la vulnérabilité des sociétés qui y évoluent dans la troisième partie de ce mémoire.

## **Chapitre 8 : Cartographie par télédétection des changements dans l'occupation du sol**

---

La dernière étape du traitement des images est la réalisation des cartes des changements dans l'occupation du sol. Plusieurs techniques existent pour dresser des cartes de changements : les techniques de comparaison de plusieurs indices (Hubert-Moy, 2004 ; Le Hegarat-Masclé *et al.* 2006) ou de canaux déjà corrigés (Teng *et al.* 2007). La méthode utilisée ici, repose sur la cartographie diachronique (Pahari & Murai, 1999 ; Ochoa-Gaona *et Gonzales-Espinoza*, 2000 ; Rabarimanana *et al.* 2003 ; Chowdhury, 2006 ; Siddiqui *et al.* 2005 ; Fraser *et al.* 2005 ; Andrieu, 2008). Les cartes d'occupation du sol établies à plusieurs dates sont ensuite croisées pour identifier les changements intervenus. Dans ce qui suit, nous repartirons en arrière en présentant d'abord l'occupation du sol en 1973 et 1999, par comparaison avec l'état actuel de cette occupation du sol présentée dans le chapitre précédent, pour en déduire cartographiquement les principaux changements intervenus.

### **1. Analyse de l'occupation du sol au cours des quarante dernières années : l'occupation du sol en 1973, l'occupation du sol en 1999**

Après l'analyse de la situation de l'occupation et de l'utilisation du sol en 2010, il s'agit maintenant de montrer comment cette situation se présentait en 1973, au début de la période de sécheresse, en 1999, à la fin de cette même période, avant de nous focaliser sur les principales dynamiques observées des années 1970 jusqu'à nos jours, où on a vu (chapitre 5) une certaine reprise des précipitations. Cette reprise se traduit-elle par un « reverdissement » du Ferlo ?

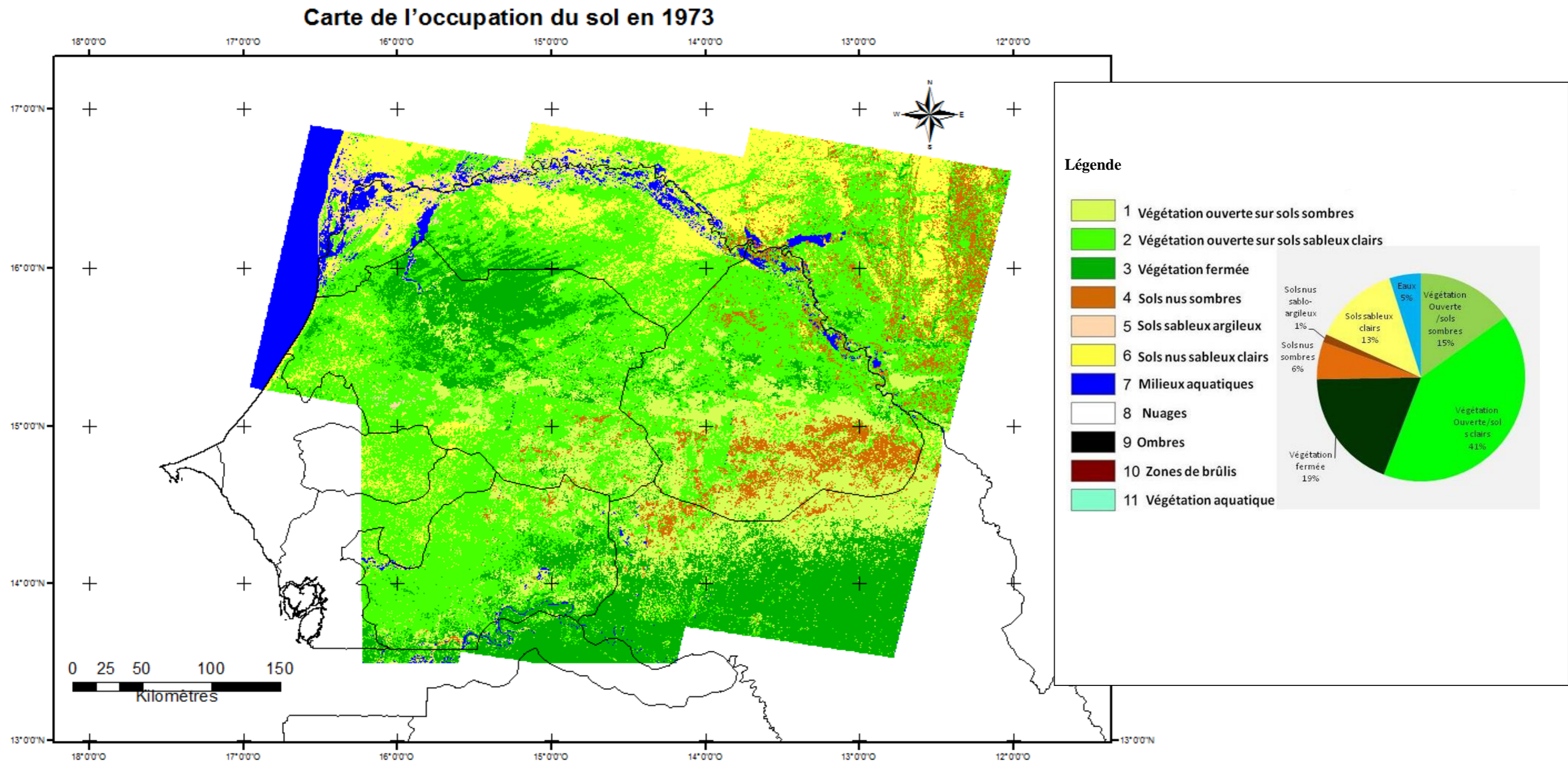


Figure 86. Occupation du sol dans le Ferlo et le nord du bassin arachidier en 1973 (Réalisation, Fall 2014)

### Carte de l'occupation du sol en 1999

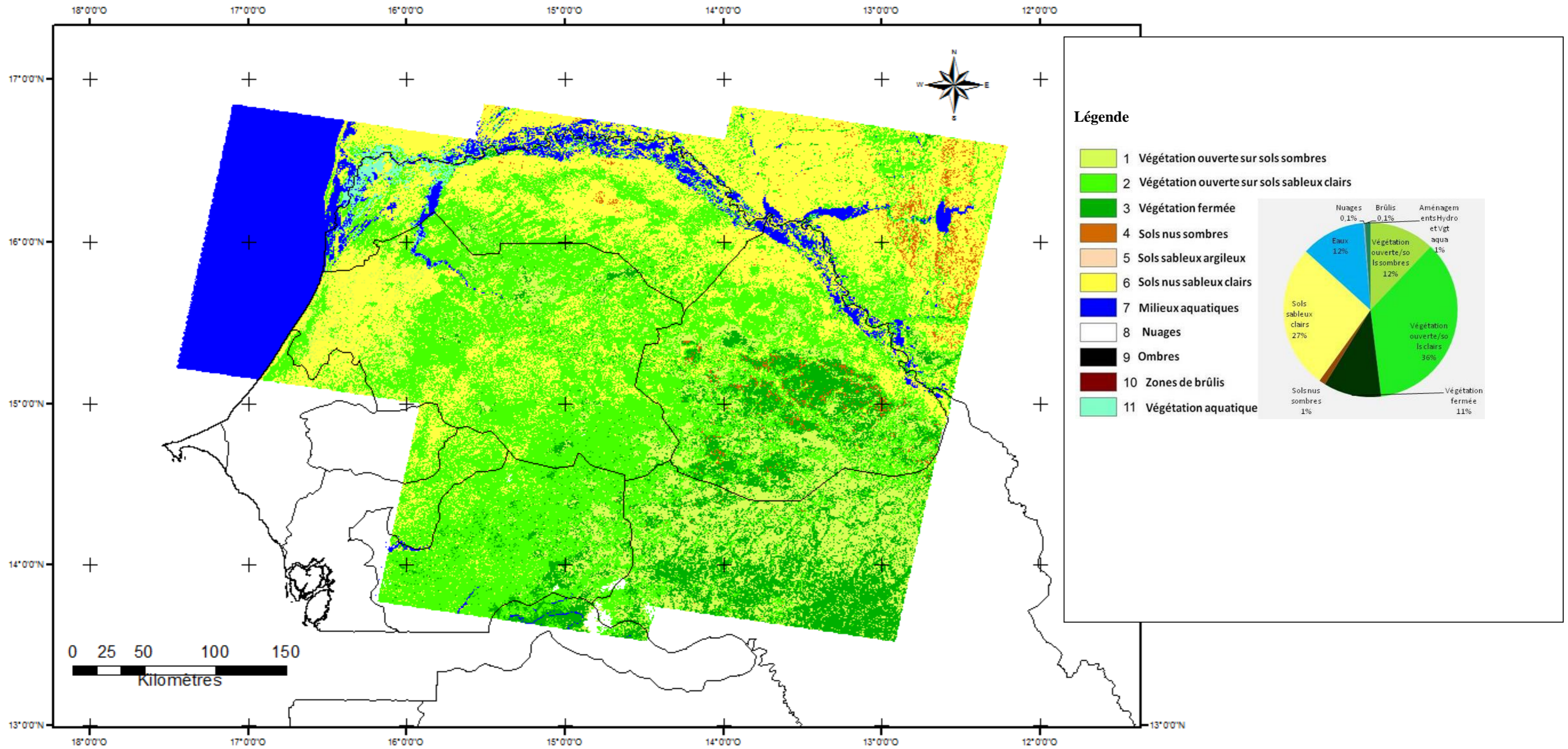


Figure 87. Occupation du sol dans le Ferlo et le nord du bassin arachidier en 1999 (Réalisation, Fall 2014)

### **1.1. Carte de l'occupation du sol en 1973**

Les résultats de la carte d'occupation des sols de 1973<sup>56</sup> (Fig. 86) permettent de se rendre compte de l'état du Sahel au moment où la 1<sup>ère</sup> grande sécheresse intervient. La situation écologique favorable de la période qui a précédé reste prégnante, même si les premières années de la décennie 1970 étaient déjà peu favorables pour la pluviométrie. On note ainsi la forte présence d'une végétation « fermée » dans le Ferlo central et les différentes classes de végétation occupent 75 % de la surface de la mosaïque d'images traitée pour l'année 1973 (Fig. 86). On peut formuler l'hypothèse que cette prépondérance est liée aux conséquences de la pluviosité favorable au cours des deux décennies précédentes. Il faut toutefois aussi prendre en compte que nous sommes en présence d'un espace rural beaucoup moins peuplé qu'il ne l'est aujourd'hui. Les formations végétales très ouvertes sur sols sableux clairs sont les plus représentées avec 41 % de la superficie de la zone d'étude ; elles dominent dans le Ferlo oriental. La végétation fermée représente 19 % de l'ensemble des surfaces, alors que la végétation ouverte sur sols sombres n'était que de 15 %. Les 25 % restants se distribuent entre les autres milieux : eau 5 %, sols nus sableux clairs 13 %, sols nus sablo-argileux 1 %, sols nus sombres 6 %. Le long de la vallée du fleuve Sénégal, on note la faiblesse des superficies cultivées à cette période.

Dans le bassin arachidier, la végétation fermée est bien représentée mais ce sont surtout les formations ouvertes sur sols sableux clairs qui dominent. Cette domination des classes de végétation ouverte sur sols clairs est sans doute le fait du développement déjà très important à cette époque de la culture arachidière très demandeuse en terre. Nous avons montré précédemment à travers l'historique de sa mise en culture comment des secteurs forestiers entiers dans la zone soudanienne ont été complètement défrichés pour les besoins de l'exploitation arachidière.

Cette importance du signal de la végétation montre par ailleurs une certaine disponibilité de la ressource fourragère fondement de la pratique de l'élevage transhumant dans cette partie du Sénégal.

---

<sup>56</sup> Rappelons que les images traitées sont datées de la fin de la saison des pluies en l'absence d'images de qualité prises au mois d'octobre ou de novembre comme c'est le cas sur le reste de la série. Les conséquences écologiques de cette année qui fut particulièrement sèche sont donc atténuées sur cette carte.

### **1.2. Carte de l'occupation du sol en 1999 entre le Ferlo et le Bassin arachidier**

Le contexte de 1999 est bien différent de celui de 1973. En effet, entre les deux périodes, la zone, à l'instar de toute la région sahélienne de l'Ouest africain, a connu une forte péjoration de la pluviosité ainsi qu'un accroissement démographique important des populations rurales, phénomènes qui ont un impact lisible dans l'évolution de l'occupation du sol.

La carte d'occupation de sols de 1999 (Fig. 87) est dominée par les formations végétales ouvertes sur sols sableux clairs mais avec une baisse en superficie de celle-ci par rapport à 1973, car passant de 41 % de la surface totale à 36 % seulement. L'un des enseignements majeurs qui ressortent de cette cartographie des états de surface est la baisse de la superficie des différentes classes de végétation (elle passe de 75 % en 1973 à 59 %) symbolisée par la disparition dans le Ferlo de la végétation fermée. Dans le nord et l'ouest du Ferlo, on peut aussi noter un fort recul des superficies couvertes de végétation, de plus en plus supplantées par les surfaces de sols nus sableux clairs qui occupent désormais 27% de la surface cartographiée en 1999 alors qu'elles n'étaient que de 13 % en 1973.

L'ouverture de la végétation concerne aussi la région du Bassin arachidier qui perd une bonne partie de ses superficies de végétation fermée du fait de l'extension des surfaces agricoles. Les reliques de cette végétation fermée ne sont visibles que dans le Sénégal oriental où le front agricole n'a pas encore atteint de nouvelles terres. Sur le secteur de la vallée du fleuve, des espaces entiers sont mis en culture (aménagements hydro-agricoles). Devant les conséquences de la péjoration de la pluviosité sur les sociétés humaines, les pouvoirs publics ont entrepris des politiques d'aménagement visant l'autosuffisance alimentaire. Cette stratégie incite les populations à s'émanciper de l'agriculture pluviale et de ses rendements aléatoires et à se tourner vers les exploitations irriguées. La disponibilité des terres arables le long de la vallée du fleuve (240 000 ha) et les fortes potentialités hydro-agricoles de celle-ci sont des leviers qui peuvent sortir les populations de l'insécurité alimentaire. Comme évoqué plus haut, le Sénégal à l'instar des autres Etats sahéliens, est très dépendant de l'extérieur pour nourrir sa population. Aujourd'hui, plus de 80 % du riz consommé au Sénégal résulte de l'importation.

## **2. Les cartes des changements d'occupation du sol**

La carte des changements doit montrer les principales dynamiques intervenues sur l'occupation des sols entre les différentes dates retenues. Le préalable à la réalisation de ces analyses diachroniques est de veiller à ce que la nomenclature retenue soit applicable aux

différentes images. L'étape suivante consistera au recodage des classes qui va permettre de croiser les trois cartes d'occupation du sol par addition des images (Pahari & Murai, 1999 ; Moreau, 2004 ; Fraser *et al.* 2005 ; Masoud & Koike, 2005; Chowdhury, 2006 ; Nagendra *et al.* 2006 ; Andrieu, 2008), avant un nouveau classement suivant la nomenclature retenue. Nous avons ainsi identifié 15 classes (Tableau 14 ci-dessous) ne tenant compte que des changements représentés.

**Tableau 14 : Liste des classes identifiées et retenues**

<b>Liste des classes identifiées et retenues</b>	
<b>1</b>	Stabilité végétation ouverte sur sols clairs
<b>2</b>	Progression végétation ouverte sur sols clairs
<b>3</b>	Progression végétation fermée
<b>4</b>	Régression végétation ouverte sur sols sombres
<b>5</b>	Régression végétation ouverte sur sols clairs
<b>6</b>	Régression végétation fermée
<b>7</b>	Milieus aquatiques
<b>8</b>	Brûlis et zones incendiées (2010)
<b>9</b>	Progression végétation aquatique
<b>10</b>	Progression végétation ouverte sur sols sombres
<b>11</b>	Stabilité végétation ouverte sur sols sombres
<b>12</b>	Stabilité végétation fermée
<b>13</b>	Sols sombres
<b>14</b>	Sols argilo-sableux
<b>15</b>	Sols sableux clairs

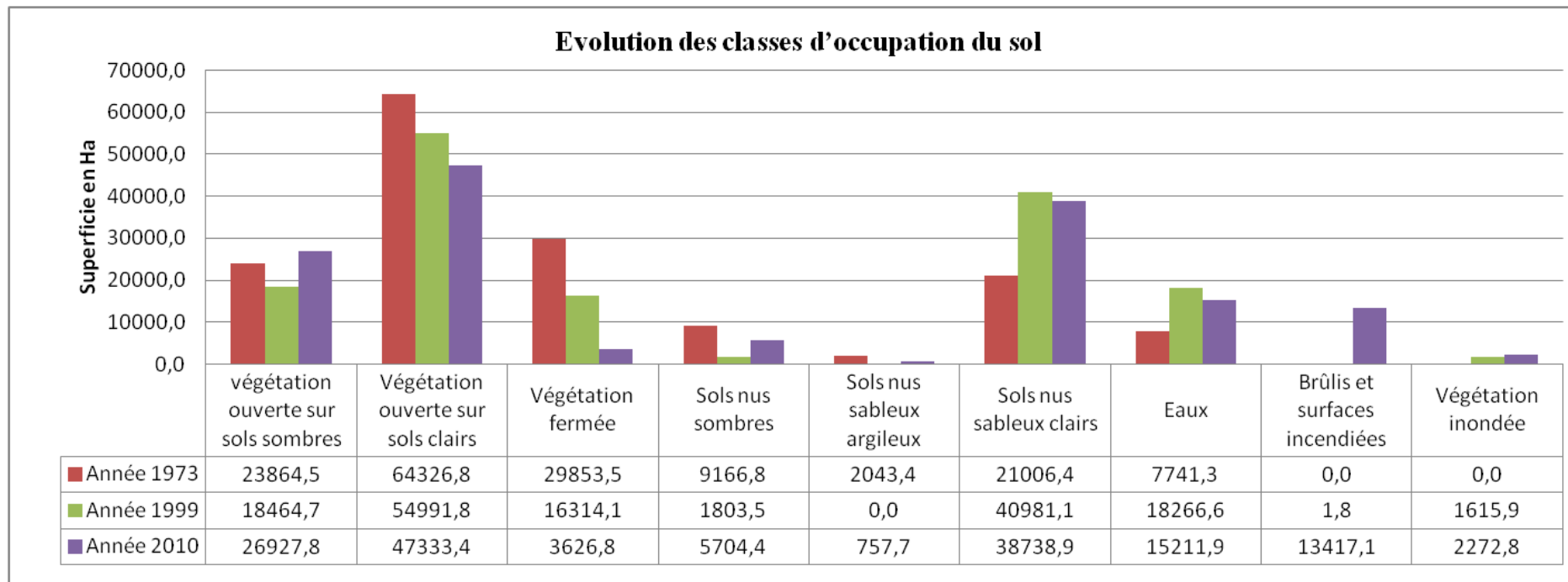
Dans le contexte sahélien, il n'est pas nécessaire d'établir une nomenclature trop détaillée avec un nombre pléthorique de classes. L'objectif, à cette échelle, est de cerner les grandes évolutions du paysage au cours des quarante dernières années. Par ailleurs, le passage de MSS à TM ou ETM+ a entraîné une perte d'information en fonction de la réduction du nombre de pixels.

L'évolution des principaux états d'occupation du sol des années 1970 à aujourd'hui (Fig. 88) montre des changements que la carte nous permet ensuite de localiser, l'ampleur de ces changements n'ayant pas été la même partout. Les évolutions ont été plus particulièrement

significatives dans 3 classes d'occupation du sol, à savoir la végétation ouverte sur sols sableux clairs, la végétation fermée et les feux. Ces derniers sont devenus au cours de cette dernière décennie, une question majeure dans la disponibilité de la ressource fourragère dans l'espace et dans le temps (Sarr, 2008 ; Ruster, 2009). L'importance spatiale de ces zones incendiées en 2010 amène à s'interroger sur leur impact sur les résultats globaux de ces changements. Une solution aurait consisté à ne pas tenir compte de ces parties incendiées dans les calculs. Nous avons finalement choisi de les maintenir pour bien mettre l'accent sur le phénomène et son ampleur.

### **2.1. Localisation et quantification des différents changements intervenus entre 1973 et 2010**

Au cours des quatre décennies, des changements majeurs se sont opérés dans les différentes classes d'occupation des sols. Ces changements sont de plusieurs ordres et une certaine corrélation apparaît avec les résultats de l'étude climatique axée sur la variabilité de la pluviosité. En effet, l'évolution de l'occupation du sol la plus marquée a eu lieu entre l'image de 1973 et celle de 1999, période marquée par une succession d'années sèches, voire très sèches avec les conséquences que l'on connaît sur les milieux et les sociétés. Au cours de la dernière décennie étudiée (1999 à 2010), à la faveur de l'amélioration constatée sur les quantités de pluies précipitées annuellement (Herrmann *et al.* 2005 ; Nicholson, 2005 ; Anyamba & Tucker 2005), des évolutions positives peuvent être notées pour certaines classes de végétation. La situation qui est analogue aux tendances observées dans d'autres régions du Sahel ouest africain (Eklund & Olsonn, 2003 ; Anyamba & Tucker 2005). Pour résumer (Fig. 88), si la première période (1973-1999) est caractérisée par une forte régression et une ouverture de la végétation, la dernière période (1999 – 2010) montre une stabilité, voire une progression des surfaces en végétation. Toutefois, l'emprise spatiale des feux en 2010 atténuée grandement cette reconquête.



**Figure 88. Evolution des classes d'occupation du sol (en hectare)**

Dans le détail, les principaux changements intervenus se différencient suivant la classe concernée, dans leur localisation (voir cartes, Fig. 89 et 90) comme dans leur quantification :

- **Végétation fermée**

La végétation fermée – qui concerne, rappelons-le, à l'époque des images, les formations à couvert ligneux dense - a régressé de façon spectaculaire entre 1973 et 1999. Elle disparaît complètement du Ferlo malgré sa présence significative en 1973. Le Sénégal oriental a aussi perdu de grandes superficies de formations végétales denses, disparition non compensée par les quelques progressions. La conjugaison des facteurs naturels (conséquences des deux grandes sécheresses) et anthropiques (pressions effectuées sur la ressource par les agropasteurs et avancée du front agricole) a eu des impacts négatifs sur ce type de formation végétale. Seules de faibles superficies sont restées stables : entre Kaffrine et Tambacounda, survivent quelques reliques de cette végétation qui semble inéluctablement condamnée par l'avancée du front agricole et de la pression des anthroposystèmes.

- **Végétation ouverte sur sols clairs**

La classe de la végétation ouverte sur sols clairs est restée stable entre 1973 et 2010 dans le sud-est de la zone d'étude, peu concernée par les activités agricoles. Cette région reste encore un important couloir de transhumance du Ferlo en direction du Sénégal oriental. Elle a, en revanche, fortement progressé entre 1973 et 1999, surtout dans le Bassin arachidier. Pour la région du Ferlo, c'est plutôt au cours de la dernière décennie (1999-2010) que la progression a été importante.

En revanche, en lien avec la mise en culture de surfaces de plus en plus importantes, la végétation ouverte sur sols clairs a régressé, notamment entre 1973 et 1999 dans les secteurs du Ferlo nord et central, dans la région de Matam et dans l'ouest du Bassin arachidier.

**Végétation ouverte sur sols sombres**

Stable dans le Ferlo ouest et central et surtout le bassin arachidier, la végétation ouverte sur sols sombres a faiblement régressé entre 1973 et aujourd'hui, essentiellement dans la partie méridionale de la zone d'étude, dans trois secteurs, le Sénégal oriental, l'ouest du bassin arachidier et la région de Matam. Entre 1999 et 2010, elle a en revanche progressé dans divers secteurs.

**Végétation irriguée**

Les milieux irrigués progressent dans la vallée du fleuve Sénégal. Cette progression est le fruit de la mise en place depuis les années 1970 de la politique de mise en valeur des terres de la vallée avec le développement de l'irrigation.

### Carte des changements de l'occupation du sol entre 1973 et 1999

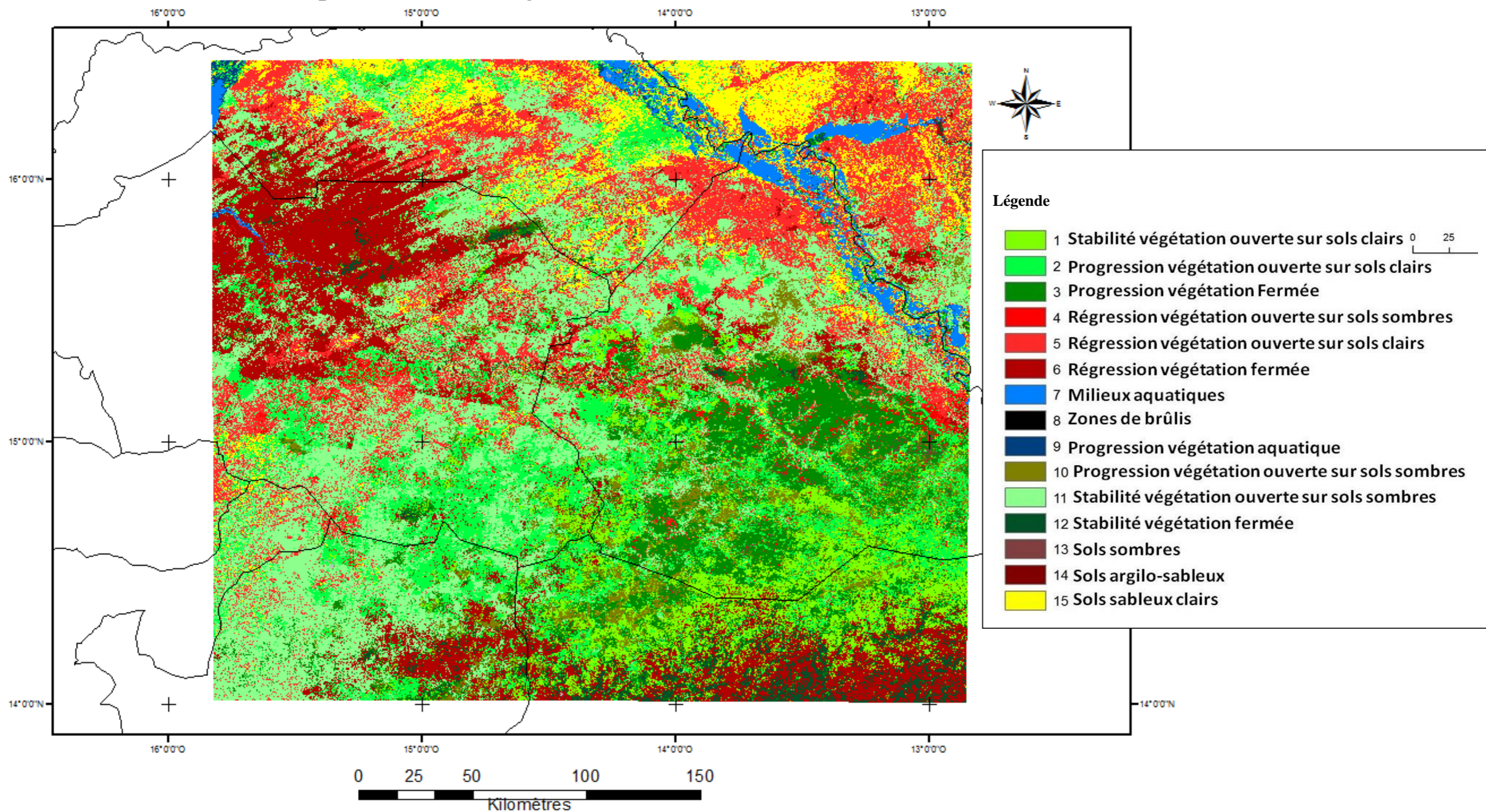


Figure 89. Carte des changements de l'occupation du sol entre 1973 et 1999 (Réalisation, Fall 2014)

### Carte des changements de l'occupation du sol entre 1999 et 2010

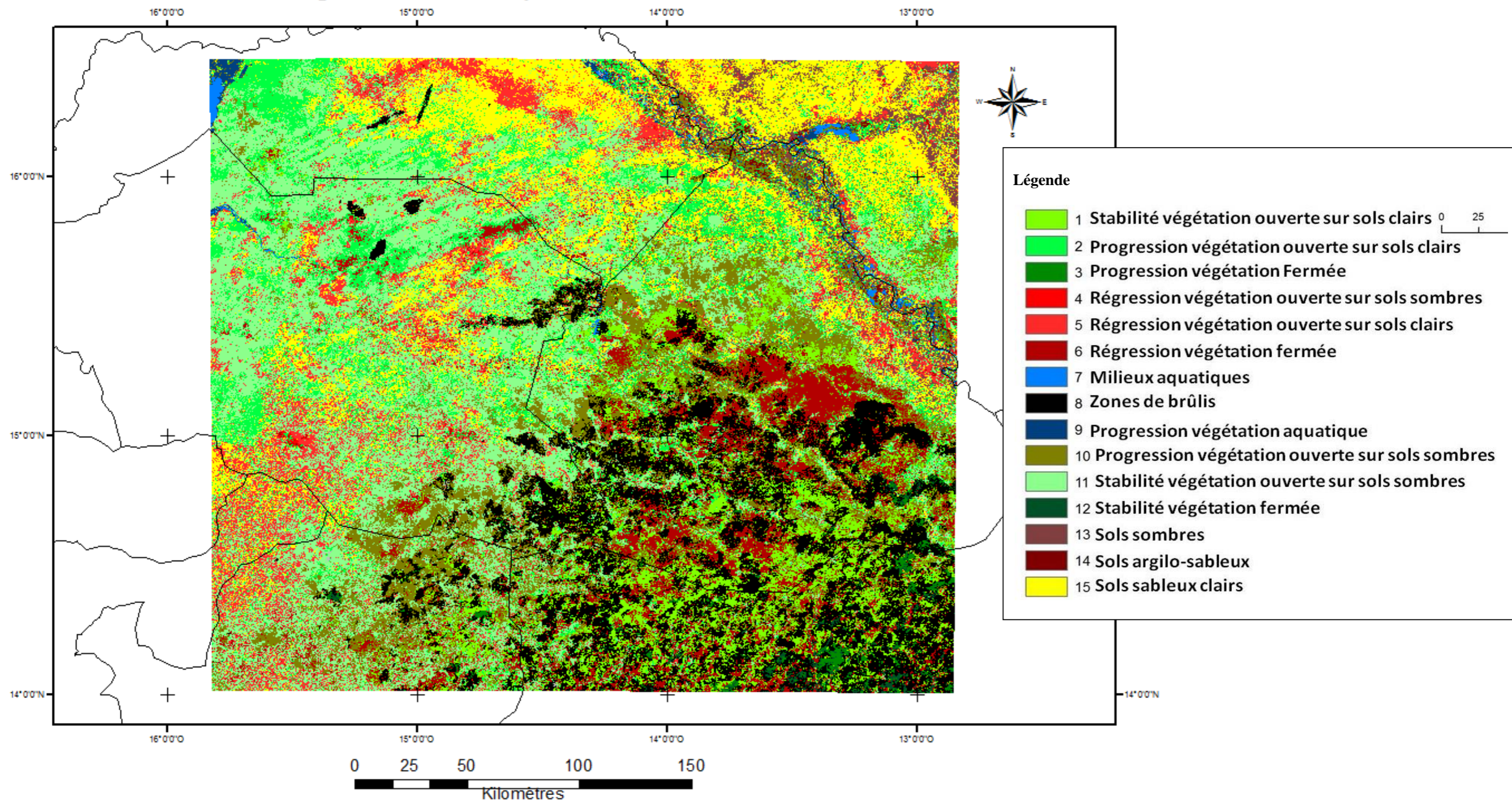


Figure 90. Carte des changements de l'occupation du sol entre 1999 et 2010 (Réalisation, Fall 2014)

**Tableau 15 : Tableau de synthèse**

<b>CLASSES</b>	<b>Surfaces (km<sup>2</sup>) 1973-1999</b>	<b>Proportion (%)</b>	<b>Surfaces (km<sup>2</sup>) 1999-2010</b>	<b>Proportion (%)</b>
<b>Stabilité végétation sur sols clairs</b>	5690,75	6,61	5958,20	6,92
<b>Progression végétation s/ sols clairs</b>	11560,99	13,42	9364,56	10,87
<b>Progression végétation fermée</b>	7419,46	8,61	533,22	0,62
<b>Régression végétation s/sols sombres</b>	1327,26	1,54	218,30	0,25
<b>Régression végétation sur sols clairs</b>	13012,87	15,11	7482,72	8,69
<b>Régression végétation fermée</b>	11916,73	13,84	6165,10	7,16
<b>Eau</b>	1617,92	1,88	371,47	0,43
<b>Brûlis</b>	1,08	0,00	10105,09	11,73
<b>Progression Milieux irrigués</b>	266,21	0,31	442,77	0,51
<b>Progression végétation sols sombres</b>	3599,54	4,18	9039,95	10,50
<b>Stabilité végétation sur sols sombres</b>	21599,94	25,08	21699,84	25,20
<b>Stabilité végétation fermée</b>	1869,92	2,17	325,40	0,38
<b>Sols nus sombres</b>	243,59	0,28	1760,13	2,04
<b>Sols nus argilo-sableux</b>	0,00	0,00	313,0416	0,36
<b>Sols nus sableux clairs</b>	5996,75	6,96	12340,48	14,33
<b>TOTAL</b>	86123,00	100,00	86120,29	100,00

## CONCLUSION DE LA DEUXIEME PARTIE

Cette étude de télédétection a permis de bien mettre en exergue les changements intervenus dans cette partie du Sahel: une végétation qui s'est ouverte et a régressé dans la période 1973-1999, surtout dans le Ferlo, et qui a repris depuis 1999, mais de façon modérée et quelque peu masquée par l'ampleur des superficies incendiées en 2010. Il apparaît en effet que lors de la dernière décennie (1999-2010) les superficies (cumulées) de progression et de stabilité des formations végétales ont été supérieures (Fig. 90) aux classes de reculs contrairement aux décennies entre 1973 et 1999 où les surfaces de régression enregistrées dépassaient celles concernant les progressions. Les cartes font, par ailleurs bien apparaître la localisation des différents changements : plus que les calculs globaux de superficies, elles permettent d'élaborer un certain nombre d'hypothèses sur les dynamiques des écosystèmes affectés par la récurrence des années sèches et des systèmes ruraux (défrichements agricoles, pression accrue sur la ressource fourragère) susceptibles de les expliquer, ce qui fera l'objet de la 3<sup>e</sup> partie. Ces résultats posent en effet la question de savoir si les changements intervenus correspondent ou non à une dégradation de la végétation et du milieu. La dégradation d'un milieu (chapitre 3) est souvent définie comme une régression du couvert végétal (Diouf & Lambin, 2001 ; Amogu, 2009 ; Martínez *et al.* 2011). Mais toute régression de ce couvert végétal ne peut être assimilée à une dégradation, à moins de renoncer à toute tentative de mise en valeur agricole par des défrichements et à toute utilisation de la ressource fourragère par les sociétés pastorales. Pour qu'il y ait dégradation, il faut que cette régression s'accompagne d'une diminution de la productivité biologique des milieux écologiques (Reining, 1978; Mabutt, 1986). La question de la renouvelabilité des ressources fournies par le milieu est donc essentielle pour trancher la question que nous posons en troisième partie.

Les dynamiques d'évolution régressive de la ressource végétale plus accentuées entre 1973 et 1999 sont sans doute à mettre en relation avec la longueur de la série d'années sèches et aux épisodes paroxystiques intervenus au cours de cette période. Depuis 1999, les hivernages sont de plus en plus pluvieux, sans que les quantités observées entre 1950 et 1969, deux décennies très humides, soient atteintes. Par ailleurs, les sociétés rurales de par leurs pratiques, sont au cœur de ces processus de changements. En effet, la dimension anthropique est forte dans les dynamiques observées. Le développement de l'agriculture, dans un contexte de croissance démographique (Guengant *et al.* 2002) ont fait progresser significativement les fronts agricoles (Nord du bassin arachidier en direction du Ferlo et le front est vers le Sénégal

oriental et les terres neuves). Ceci entraîne des phénomènes nouveaux de concurrence pour l'espace : les Peuls de Barkédji, par exemple, bien que majoritaires dans la communauté rurale, sont ainsi de plus en plus confrontés à l'extension rapide des champs d'arachides des colonies *Mourides*. Au niveau de la vallée du Fleuve, les surfaces irriguées presque absentes en 1973 ont presque doublé entre 1999 et 2010. Une autre question à résoudre dans la 3<sup>e</sup> partie est de savoir si le contexte d'amélioration des conditions de la pluviosité n'a pas débouché avant tout sur une exacerbation de la compétition vers les ressources naturelles et plus particulièrement la ressource fourragère convoitée dans cet espace où dominaient l'élevage et le pastoralisme.

Dans la 3<sup>e</sup> partie, nous allons tenter de répondre à toutes ces questions en caractérisant l'évolution de la ressource végétale, à travers les tendances que manifeste le principal indice de végétation, le NDVI. L'analyse d'un ensemble de relevés floristiques effectués dans différents contextes ruraux (notamment surfaces utilisées comme pâturage pour le bétail) permettra d'étudier de façon plus fine l'état actuel de cette ressource. Cette démarche sera complétée par la mise en évidence, dans les enquêtes, des principales perceptions que les populations rurales ont de ces évolutions et de ce que cela implique pour elles de tentatives pour s'adapter à ces changements socio-environnementaux dans un contexte de grande vulnérabilité.



## **Troisième partie : Le Ferlo, un agroécosystème en voie de dégradation ?**

---

Dans la deuxième partie, les principaux changements biophysiques intervenus au cours de ces cinquante dernières années entre le Ferlo et le bassin arachidier ont été caractérisés à travers les résultats de l'étude de la pluviométrie et la cartographie de l'évolution de l'occupation du sol par le couvert végétal. Si les conditions de la pluviosité se sont améliorées durant ces dix à quinze dernières années, cela n'a pas suffi pour compenser les effets de la longue période sèche des années précédente, la couverture végétale, principale ressource sur laquelle s'appuie une population de plus en plus nombreuse, a reculé par endroits et est devenue moins dense par rapport aux décennies 1950 à 1970. Dans cette troisième partie, nous allons à la lumière de ces observations, nous interroger sur les causes et la signification de ces changements d'ordre biophysique dans le Ferlo et sur ses marges sud vers le Bassin arachidier. A la question posée- le Ferlo est-il un agroécosystème en voie de dégradation ? -, on tentera de répondre en plusieurs étapes. Dans le chapitre 9, il sera fait l'étude des fluctuations, au cours de ces trois dernières décennies, de l'activité chlorophyllienne à travers un indice de végétation, le NDVI) pour mieux mesurer la ressource végétale et son évolution. Ensuite, à partir des relevés botaniques effectués dans différents endroits correspondant à des pâturages (jachères longues, champs après récolte, pâturages naturels, ect.), nous analyserons la composition floristique de la végétation, envisagée comme la ressource sur laquelle les sociétés rurales structurent leurs activités (agropastoralisme) mais aussi comme une indicatrice des principaux changements socioenvironnementaux que la zone a connus (Chapitre 10). Replacés dans le double contexte des fluctuations de la pluviosité et des profondes transformations des espaces ruraux du Sénégal intérieur, nous en déduisons, dans le chapitre 11, la dynamique des paysages ruraux sahéliens dans le Ferlo à deux échelles. En effet, si à l'échelle régionale (macro), les paysages semblent présenter une certaine « homogénéité » et ne changent que graduellement en fonction du gradient de la pluviosité (continuum régional où la géographie de la végétation se modifie de façon variable suivant les espèces végétales en réponse à la variabilité de la pluviosité), le passage à l'échelle locale (micro) révèle une grande hétérogénéité des situations et des paysages. L'évolution des pratiques locales paysannes (qui dépend aussi de la pluviosité, mais également de l'évolution sociale, politique et économique de la région en général et du Sénégal en particulier) pèse, à cette échelle, d'un poids considérable dans la dynamique des paysages et les réponses des sociétés rurales apparaissent bien différenciées. Cette différenciation sera éclairée par l'étude

de la perception que les sociétés rurales se font des changements socioenvironnementaux et sur les évolutions des pratiques et stratégies agricoles et pastorales dans le Ferlo et sur ses marges avec le bassin arachidier (Chapitre 12).

## Chapitre 9 : La réponse du NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Une première réponse à la question sur la dégradation ou non de l'espace du Ferlo est à rechercher dans la capacité qu'a pu avoir la végétation sahélienne de se reconstituer après la longue période de sécheresse qui court de la fin des années 1960 à la fin des années 1990. Ceci peut être approché en étudiant la tendance d'évolution des indices de végétation calculés à partir des images de télédétection sur la période qui va du cœur de la période de sécheresse jusqu'à la période plus humide actuelle. Il existe aujourd'hui beaucoup d'indices (Tableau 16) (Bariou *et al*, 1985; Girard & Girard, 1999; Jensen, 2000; Caloz & Collet, 2001) développés pour l'analyse des données de végétation dans le cadre de la télédétection spatiale. Parmi ceux-ci, le NDVI, indice de végétation normalisé fondé sur la différence de comportement spectral entre la végétation en activité chlorophyllienne et la végétation qui cesse, espèce après espèce, cette activité au cours de la saison sèche. Le NDVI (acronyme anglais : *Normalized Difference Vegetation Index*) (Rouse *et al*, 1974 ; Tucker, 1979) est devenu l'indice le plus fréquemment utilisé dans la description du comportement spectral de la couverture végétale (Fig. 91), dans la mesure où il est une donnée facilement accessible, plusieurs satellites fournissant des séries permettant de suivre son évolution dans le temps et dans l'espace. Dans sa forme la plus courante, il se calcule à partir de deux bandes spectrales, le rouge R (VIS) et l'infrarouge IR (NIR) selon la formule suivante:

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{VIS})}{(\text{NIR} + \text{VIS})}$$

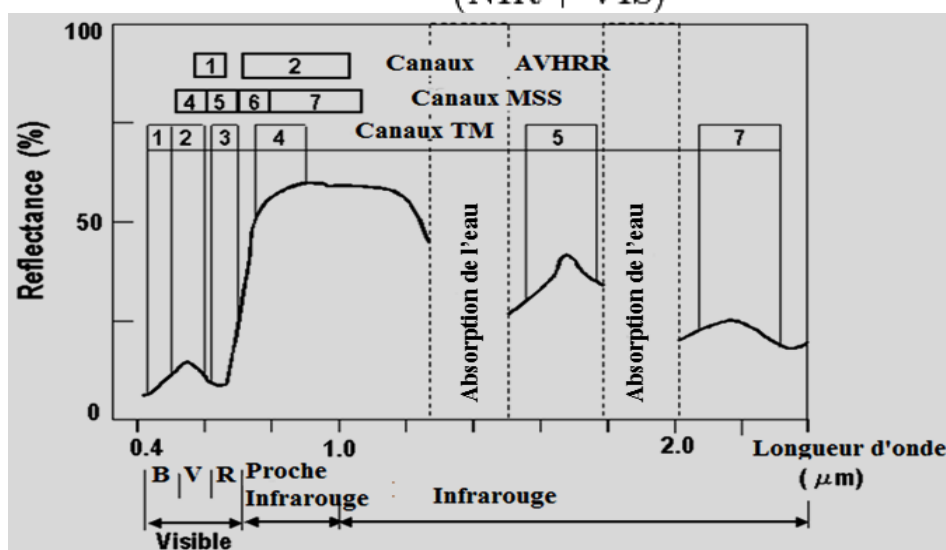


Figure 91. Les valeurs de réflectance de végétation mesurées avec trois radiomètres qui seront utilisés dans ce mémoire (Source : Rock *et al*, 1993)

**Tableau 16 : Les différents Indices de végétation utilisés en télédétection (Girard & Girard, 1999)**

Dénomination	Formule	Caractéristiques	Auteurs
<b>Différence</b>	$R - pIR$	forte sensibilité aux variations atmosphériques	Monget 1980
<b>Rapport</b>	$RVI = pIR/R$ ou d'autres canaux Indice pigmentaire $XS1/XS2$	saturation aux forts indices, sensibilité à la contribution spectrale des sols et aux effets atmosphériques	Knipling 1970, Viollier et al. 1985
<b>Indice de végétation normalisé</b>	$NDVI = (NIR - VIS)/(NIR + VIS)$	sensibilité aux effets atmosphériques, gamme de variation plus faible, que le précédent, mais sensibilité aux variations angulaires de la visée, selon la position vis à vis du soleil "hot spot"	Rouse et al. 1974, Tucker 1979
<b>Indice de végétation transformé</b>	$TVI = \ddot{O} (NDVI + 0,5)$	essai d'élimination des valeurs négatives, stabilisation de la variance	Deering et al. 1975
<b>Indice de végétation perpendiculaire</b>	$PVI = a1(NIR) - a2(VIS) + \text{constante}$	diminution de la contribution spectrale des sols, mais sensibilité à diverses caractéristiques des sols	Richardson & Wiegand 1977
<b>Chapeau à corne "tassel cap"</b>	formule générale $a1(V) + a2(R) + a3(pIR) + a4(pIR)$	transformation orthogonale des 4 canaux pour réduire la sensibilité à la contribution spectrale des sols, sans pouvoir l'éliminer complètement	Kauth & Thomas 1976
<b>issu du précédent : Indice de verdure</b>	$GR4 = -b1(V) - b2(R) + b3(pIR) + b4(pIR)$ pour canaux MSS		Jackson 1983
<b>indice de végétation normalisé corrigé des effets atmosphériques</b>	$ARVI = (pIR - RB)/(pIR + RB)$ avec $RB = R - g(B - R)$ B et R réflectances dans le bleu et le rouge, en fonction du type d'aérosols	Diminue l'effet des aérosols contenus dans l'atmosphère sur le NDVI mais sensible à la contribution spectrale des sols	Kaufman & Tanre (1992)

La justification principale de l'utilisation du NDVI pour l'étude de la végétation est qu'il permet de résumer dans une seule variable la densité et la phénologie de la végétation. En effet, cette dernière *absorbe l'énergie lumineuse dans les longueurs d'onde du rouge pour la photosynthèse, et réfléchit par contre fortement cette énergie reçue dans le proche*

infrarouge (Fig. 91) (Gausman, 1985 ; Bartholomé, 1989 ; Janodet & Blasco 1993). « *Les spécialistes de la végétation s'intéressent essentiellement à deux ou trois bandes spectrales dont sont équipés les principaux capteurs satellitaires. La bande visible rouge (VIS), dans les longueurs d'onde de 0,6 à 0,7 um environ, est intéressante car elle inclut les longueurs d'onde du rayonnement photosynthétiquement actif : elle correspond à la zone de forte absorption par les pigments photosynthétiques des plantes. Dans la bande proche infrarouge (PIR), de 0,7 à 1 um environ, on observe un minimum d'absorption des radiations par les végétaux, mais un maximum de réflexion (...) Un végétal en bon état sanitaire présente de fortes diminutions de sa réflectance autour de 1,45 um et de 1,9 um. Au contraire, un stress hydrique provoque une atténuation de ces bandes d'absorption.* » (Janodet & Blasco, 1993).

Comme les enseignements de télédétection nous le rappellent : « *Les valeurs du NDVI sont comprises entre -1 et +1, les valeurs négatives correspondant aux surfaces autres que les couverts végétaux (les milieux aquatiques, les nuages, pour lesquels la réflectance dans le rouge est supérieure à celle du proche infrarouge). Pour les sols nus, les valeurs de la réflectance étant à peu près du même ordre de grandeur dans le rouge et le proche infrarouge, le NDVI présente alors des valeurs proches de 0. Les formations végétales quant à elles, ont des valeurs de NDVI positives, généralement comprises entre 0,1 et 0,7 - les valeurs les plus élevées correspondant aux couverts les plus denses et les plus actifs* » (cours en ligne, Université Paris 1<sup>57</sup>).

Par cette propriété, le NDVI se prête à une analyse saisonnière en différenciant la végétation en fonction de son activité. L'indice conserve une valeur constante quelque soit l'éclairement global mais est évidemment sensible à la turbidité de l'atmosphère (les nuages, la poussière, la brume, la vapeur d'eau et d'autres aérosols) qui diminue sa valeur (Slater and Jackson, 1982; Jackson *et al*, 1983; Crippen, 1988). Selon Holben & Justice (1981), « *la normalisation par la somme des deux bandes permet de réduire ces effets d'éclairement* ». L'interprétation du NDVI peut aussi être délicate lorsque la végétation est trop réduite : il est ainsi insensible au très faible niveau de la couverture végétale (1 % est le recouvrement minimal détectable par le radiomètre AVHRR de NOAA).

Son utilisation dans *la cartographie de l'activité de la végétation en zone intertropicale a connu un essor considérable depuis les années 1960* (Küchler, 1967 ;

---

<sup>57</sup> <http://e-cours.univ-paris1.fr/modules/uved/envcal/html/vegetation/indices/qques-indices/indices-simples.html>

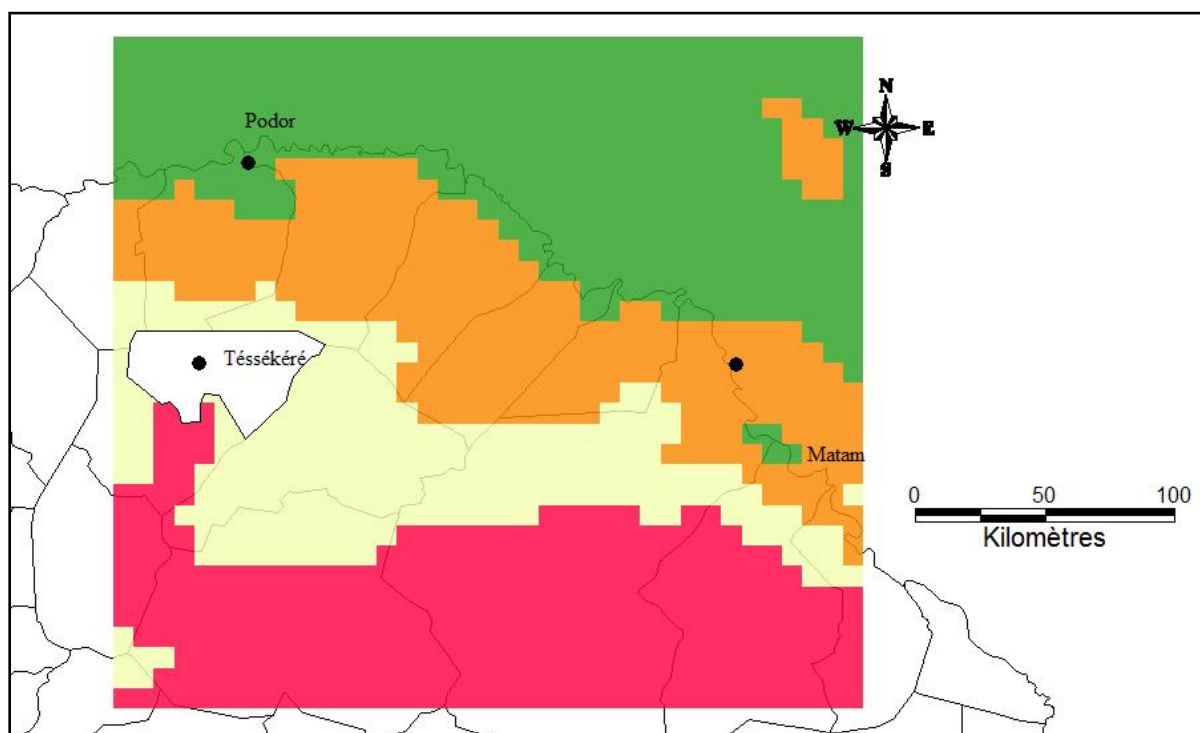
Bartholomé, 1989, Janodet & Blasco, 1993). Aujourd'hui encore, les indices de végétation sont très utilisés pour la modélisation des rythmes biologiques des couverts végétaux à différents stades phénologiques et à différentes échelles spatiales et temporelles, mais elle s'est diversifiée en employant divers indices (Tableau 16, ci-dessus) corrigeant tel ou tel inconvénient du NDVI (Bartholomé, 1989; Pouchin *et al.* 2002; Bigot *et al.* 2005 ; Hermann *et al.* 2005 ; Martiny *et al.* 2005; Tucker *et al.* 2005; Andrieu, 2008 ; Djoufack-Manetsa, 2011), pour une meilleure estimation des rendements de la biomasse végétale (Bartholomé, 1989 ; Lambin *et al.*, 1994 ; Bucini & Lambin, 2002). Nous nous sommes cantonnés à son étude pour les raisons déjà évoquées et pour permettre de comparer les résultats que nous avons obtenus avec d'autres études effectuées à l'échelle de l'ensemble du Sahel.

### **1. Les données et traitements appliqués**

Les données utilisées sont celles produites par le satellite NOAA-AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) et fournies par la NASA *via* son portail GLCF<sup>58</sup>. Elles se présentent sous forme de synthèses du NDVI sur 15 jours. Ces images bimensuelles sont produites selon la technique des synthèses temporelles MVC (*Monthly Maximum Value Composite*), basée sur la recherche de la valeur maximale de NDVI sur chaque intervalle de 15 jours (Holben, 1986). Les cartes couvrent la surface continentale à l'échelle globale suivant une résolution de 8 km (Tucker *et al.*, 2005) adaptable à notre terrain d'étude. La série temporelle étudiée ici s'étend de juillet 1981 à décembre 2006.

---

<sup>58</sup> <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/gimms>



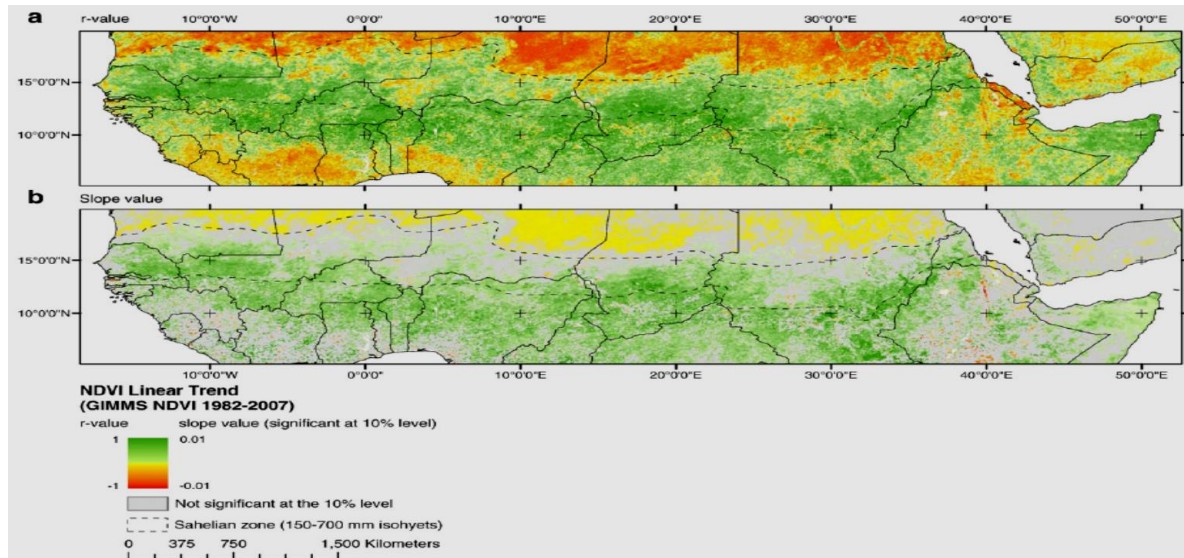
**Figure 92. Zone d'étude**

Entre le Ferlo et le Bassin arachidier sénégalais comme dans le reste de la zone sahélienne, la pratique des activités d'élevage reposent essentiellement sur la disponibilité de la ressource fourragère (herbacés et complémentaiement les branches et le feuillage des ligneux) dans les terres réservées au parcours du bétail, les parcelles cultivées après récolte, les jachères longues, etc. (Basset & Boutrais, 2000 ; Andrieu *et al*, 2011). Ainsi, la végétation qu'elle soit naturelle ou cultivée est potentiellement une ressource qui peut servir de pâturage pour le bétail et d'usages divers par les sociétés humaines (Andrieu *et al*, 2011). L'Analyse en Composantes Principales (ACP) qui sera appliquée à la série d'images de synthèses bimensuelles de NDVI permettra de mettre en évidence les structures permanentes de l'occupation du sol et leurs variations temporelles. Ainsi pourra-t-on bien distinguer les fluctuations saisonnières et interannuelles du NDVI (donc de la ressource végétale) en liaison avec les fluctuations de la pluviosité.

## **2. A l'échelle du Sahel, des travaux qui font état d'une tendance positive du NDVI entre les années 1980 et la période actuelle**

Le NDVI peut servir par ailleurs à montrer les dynamiques de la végétation en termes de régression ou de progression, ce qui s'accorde avec la question du reverdissement (*vs* la dégradation du Sahel par exemple). Le NDVI est ainsi un excellent indicateur pour étudier

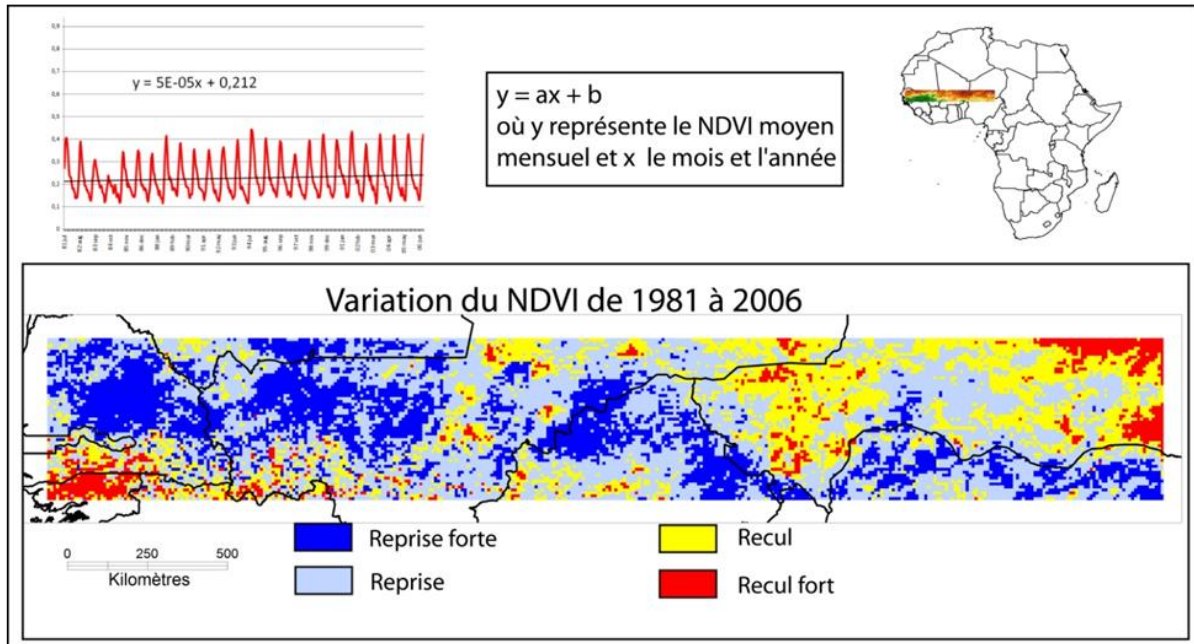
l'évolution de la ressource au cours des dernières décennies allant de 1982 à aujourd'hui, autrement dit, des années sèches jusqu'à la « reprise des précipitations » (Alexandre & Génin, 2012).



**Figure 93. Évolution de la tendance linéaire du NDVI en Afrique sahélienne entre 1982 et 2007 (Fensholt & Rasmussen, 2011)**

A l'échelle régionale (Fig. 93 et 94), plusieurs études (Anyamba & Tucker, 2005 ; Olsson *et al.* 2005; Heumann *et al.*, 2007 ; Prince *et al.* 2007 ; Hountondji, 2008 ; Sarr, 2008 ; Fensholt & Rasmussen, 2011 ; Souleye Yero, 2013) ont été déjà menées avec des données NDVI sur les questions relatives à la dynamique et à la disponibilité de la ressource fourragère, à la relation entre la pluviométrie et la dynamique de la végétation et à la thématique de la dégradation des écosystèmes ainsi que ses causes, son ampleur, sa localisation et ses conséquences au niveau des sociétés humaines. Ces études s'appuient, comme le montrent les Fig. 93 (Fensholt & Rasmussen, 2010) et 94 (Toulouse, 2010) sur le calcul de la droite de tendance du NDVI sur une période donnée. Les résultats de ces études récentes montrent globalement une dynamique positive depuis quelques années de la flore sahélienne (Nicholson *et al.* 1998 ; Eklund & Olsson, 2003 ; Olsson *et al.* 2005 ; Fensholt & Rasmussen, 2011), mais de façon inégale dans la région et avec quelques nuances (voir sur la fig. 93, qui souligne que la progression ou la régression de la végétation enregistrée par le NDVI n'est pas partout significative, loin s'en faut). Quoi qu'il en soit, ces études ont apporté des arguments sur la question controversée du « *reverdissement du Sahel* » après les phases critiques des grandes sécheresses connues par la région en 1973 et en 1984. Le constat semble aussi valable pour la région du Ferlo en lien avec la tendance positive notée dans les précipitations depuis la fin des années 1990 (Sarr, 2008 ; chap. 5). Il est important de noter

que ces cartes font aussi apparaître, de façon apparemment paradoxale puisqu'indépendante de la tendance des hauteurs annuelles des pluies, des zones où l'on note plutôt un recul du NDVI notamment dans le Sud-Ouest du Niger, le nord de la Guinée Bissau ou le sud du Sénégal.



**Figure 94. Tendence de la variation temporelle du NDVI entre 1981 et 2006 (Source : Benoit Toulouse, 2010)**

En somme, ces études montrent une forte hétérogénéité spatiale (Fig. 94) dans la dynamique du couvert végétal et le « retour de la pluie » n'est visiblement pas le seul paramètre pouvant expliquer les changements observés. Il y a une dimension anthroposystémique très forte qui mérite d'être prise en compte (Olsson *et al.* 2005) sur cette question. Si on considère la région du Sud-Ouest du Niger, l'augmentation des superficies en culture, la pression sur les ressources pastorales et l'accroissement démographique peuvent sans doute être des facteurs explicatifs du recul du couvert végétal (Fig. 94). Cette dynamique des anthroposystèmes peut déboucher sur des indices graves de dégradation du milieu, notamment du fait de changements dans le fonctionnement hydrologique des régions concernées, débouchant sur des phénomènes d'érosion des sols (Bouzou Moussa *et al.*, 2009 ; Descroix *et al.*, 2009 ; San Emeterio *et al.*, 2013).

### **3. Analyse du rythme saisonnier du NDVI dans le Sénégal intérieur**

Une première lecture des synthèses des moyennes des quinzaines entre 1981 et 2006 (Fig. 95), permet de mettre en exergue les rythmes de fluctuation saisonnière de l'activité de la flore. Les valeurs de NDVI fortes sont très dépendantes de la pluviosité (Hielkema, *et al*, 1986 ; Malo & Nicholson, 1990 ; Lotsch *et al*, 2003 ; Zhang *et al*, 2005 ; Camberlin *et al*, 2006) concentrée en saison des pluies dans le Sahel et responsable de la croissance des plantes. Les valeurs les plus élevées concernent logiquement le mois d'août où les totaux pluviométriques sont les plus importants. Durant l'hivernage (mois de juillet, août et septembre), les valeurs du NDVI montent progressivement à partir des mois de juin (au sud) et juillet (au nord), en fonction du gradient des pluies pour atteindre un maximum dans la deuxième quinzaine du mois d'août. A partir de septembre, les valeurs commencent à baisser avec la fin de la saison des pluies. Suivant les années, cette baisse peut être plus tardive (fin de l'hivernage tardive) ou précoce.

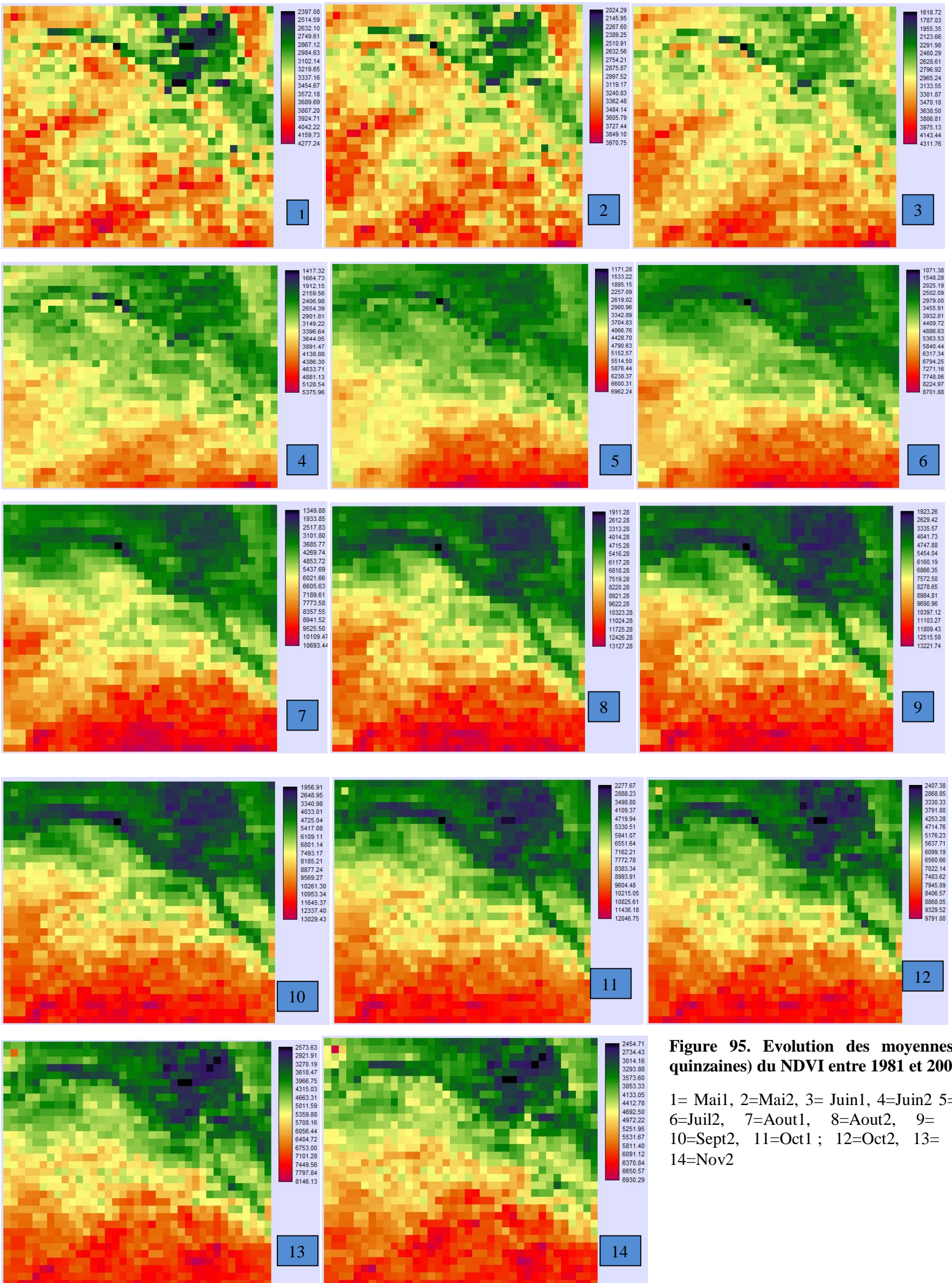
#### **3.1. Évolution moyenne 1982-2006 des valeurs du NDVI en saison sèche**

En saison sèche (octobre à juin) (Fig. 95 : 1, 2, 3, 4, 11, 12, 13, 14) le NDVI est marqué par des valeurs particulièrement faibles dans la région du Ferlo, sur la vallée du fleuve Sénégal ainsi que dans le nord du bassin arachidier correspondant aux zones de cultures sous pluies. La végétation en activité est circonscrite dans l'extrême sud de l'image qui est le domaine de la savane arborée où il y a encore une certaine activité chlorophyllienne notamment avec le couvert ligneux. La faiblesse du couvert végétal du Ferlo à cette saison est liée à la prépondérance des espèces annuelles dans les steppes herbacées. Durant la saison sèche, cette végétation, qui a été pâturée par le bétail, disparaît presque totalement et il ne reste plus qu'un voile de paille dans un paysage végétal piqueté de quelques *Acacia radianna* ou des *Balanites aegyptiaca*. Ceci se traduit par de faibles valeurs du NDVI au cours de cette période.

#### **3.2. Évolution moyenne des valeurs du NDVI en saison humide**

Durant la saison humide (juillet, août et septembre) (Fig. 95 : 5, 6, 7, 8, 9, 10), l'activité végétale reprend en suivant l'évolution spatio-temporelle de la pluie en fonction du gradient sud – nord. Vers la fin du mois d'août et le début du mois de septembre (Fig. 95 : 8, 9), les valeurs du NDVI sont très fortes dans toutes les régions. Toutefois, l'activité de la végétation reste plus forte dans le Bassin arachidier (sud de la zone d'étude). Les valeurs assez importantes du NDVI dans le Ferlo montrent l'apparition des espèces herbacées annuelles qui forment alors un tapis végétal très dense en saison des pluies.

Cette analyse au pas de temps mensuel rappelle ainsi la forte variabilité du NDVI dans ce bioclimat tropical à saisons alternées, et par conséquent, les contrastes saisonniers dans les paysages végétaux et la ressource disponible pour les activités pastorales notamment.



**Figure 95. Evolution des moyennes (des quinzaines) du NDVI entre 1981 et 2006.**

1= Mai1, 2=Mai2, 3= Juin1, 4=Juin2 5=Juil1, 6=Juil2, 7=Aout1, 8=Aout2, 9= sept1, 10=Sept2, 11=Oct1 ; 12=Oct2, 13= Nov1, 14=Nov2

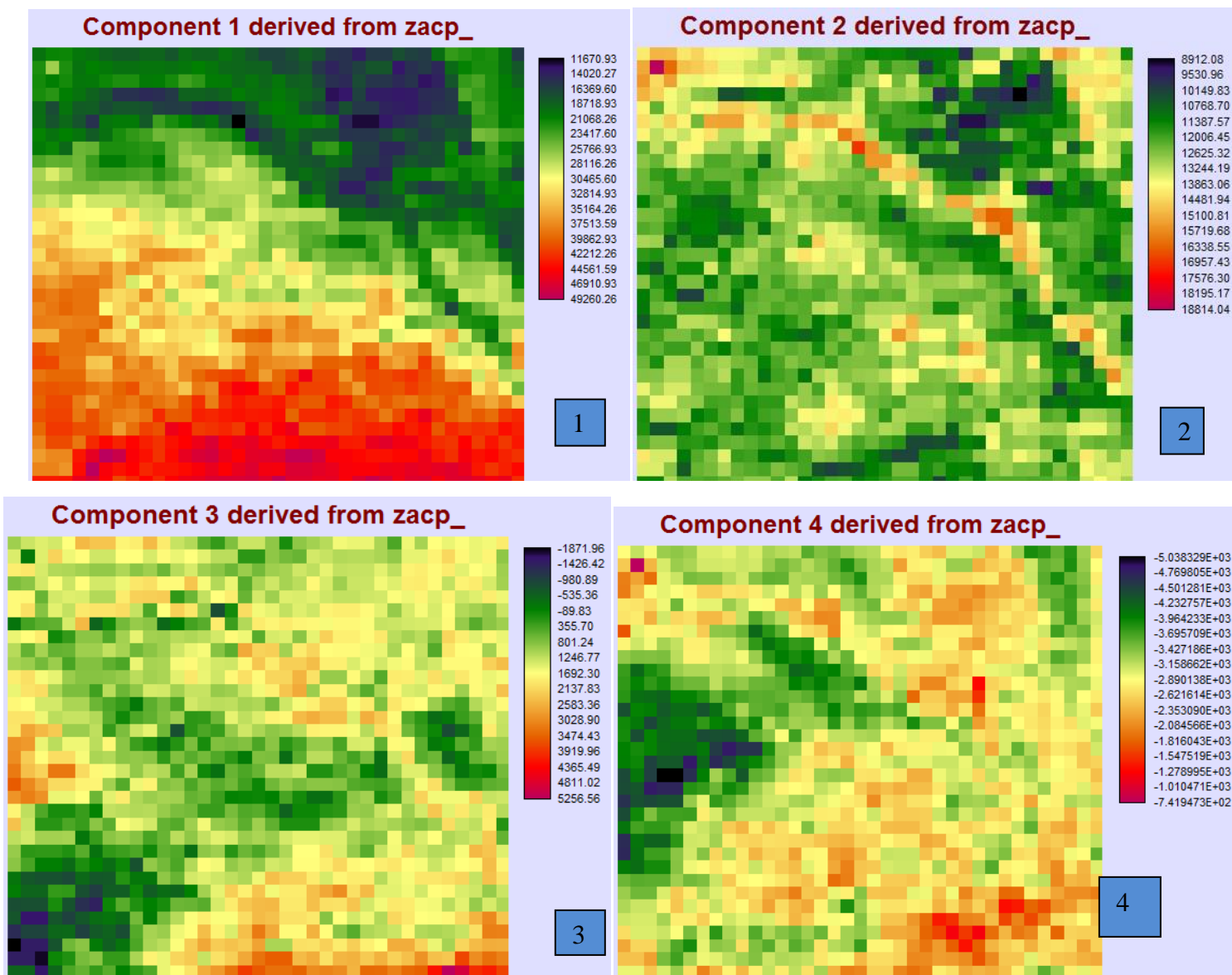


Figure 96. Résultats de l'analyse en composantes principales : 1, 2, 3, 4 les quatre premiers facteurs

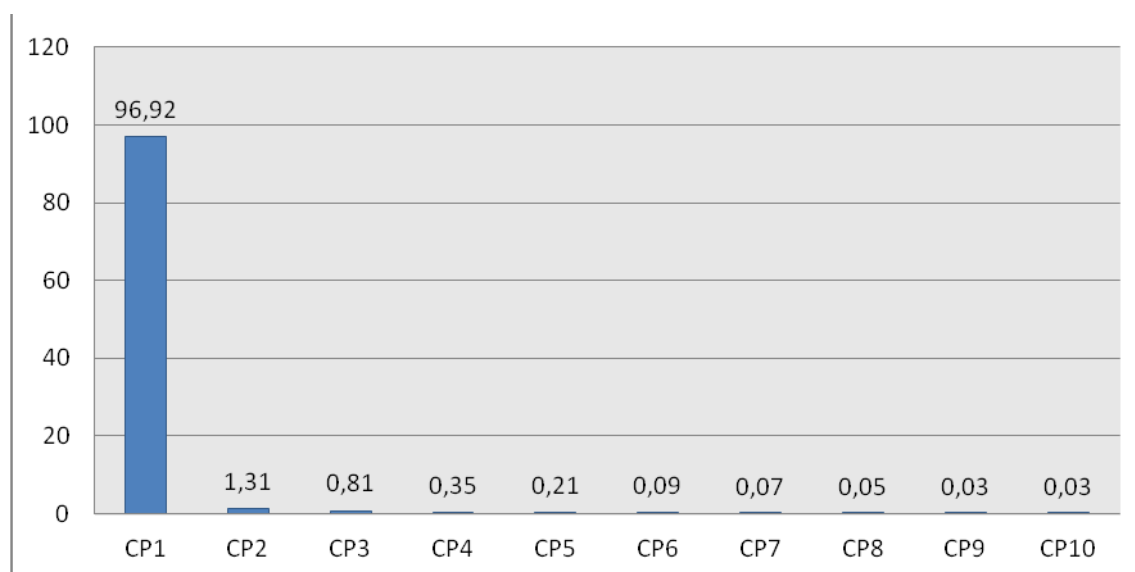


Figure 97. Pourcentage d'inertie des axes factoriels Axes 1 à 4 = 99,39 %

## **4. Évolution du NDVI entre 1982 et 2006 et cartographie de la dynamique du couvert végétal**

### **4.1. ACP sur les valeurs du NDVI (1982-2006)**

Les résultats de l'analyse en composantes principales (ACP) différencient les pixels en fonction des valeurs prises par le NDVI au cours de la série temporelle de 1982 à 2006. La distribution spatiale du NDVI apparaît très différenciée. La plupart des études récentes faites dans les régions sahéliennes (Sarr, 2008 ; Andrieu *et al.*, 2011 ; Alexandre *et al.*, 2013) montrent une concentration de l'information sur les trois ou quatre premiers facteurs de l'ACP. Nos résultats n'ont pas échappé à cette « règle » car les quatre premiers facteurs ont plus de 99% d'inertie cumulés (Fig. 97). Ainsi seuls ces quatre facteurs seront pris en compte dans la partie qui suit.

L'axe 1 restitue, sans surprise, le gradient sud-nord du NDVI d'abondance des pluies et de durée de l'hivernage, facteur régional d'organisation du couvert végétal qui pèse d'un poids écrasant puisqu'il représente près de 97 % de la variance totale (Fig. 96-1). Il met en opposition nette le comportement phénologique des savanes boisées du sud du Ferlo et du nord du Bassin arachidier dans le domaine soudano-sahélien et celui des steppes à dominante d'herbacées annuelles, plus au nord en domaine sahélien. Entre les deux sous-ensembles bioclimatiques, la transition s'opère de façon très progressive. Ainsi l'axe 1 décrit bien l'organisation spatiale de la couverture végétale correspondant au gradient de la pluviosité, laquelle reste stable par-delà les changements socioenvironnementaux intervenus au cours des dernières décennies.

Les axes suivants permettent de montrer des particularités à l'échelle infrarégionale. L'axe 2 avec un pourcentage d'inertie de 1,3 % (Fig. 96-2) permet de mettre en exergue la région de la vallée du Fleuve Sénégal, dans laquelle le NDVI varie faiblement au cours de l'année en raison de la présence d'eau en permanence pour les végétaux. La vallée du Fleuve est ainsi opposée à tous les autres secteurs (Ferlo et nord du Bassin arachidier) caractérisés par des NDVI forts pendant la saison des pluies. Cette spécificité s'est accrue ces dernières décennies en raison de l'extension des surfaces irriguées qui ont permis une intensification des activités agricoles, le long de la vallée alluviale entre Matam et Richard-Toll dans les régions de Saint-Louis et de Matam.

L'axe 3 (Fig. 96-3) avec 0,8 % d'inertie met en évidence la partie sud-est de la zone d'étude (correspondant au Sénégal oriental) qui, de par sa position géographique a une saison des pluies plus longue que le reste de la zone d'étude et donc un NDVI élevé en hivernage. L'axe 4 (Fig. 96-4) avec un pourcentage de variance beaucoup plus faible (0,35 % d'inertie) distingue le sud-est et le nord-est de la vallée du fleuve, domaine d'agriculture irriguée.

#### **4.2. Cartographie des paysages fondée sur la phénologie de la végétation**

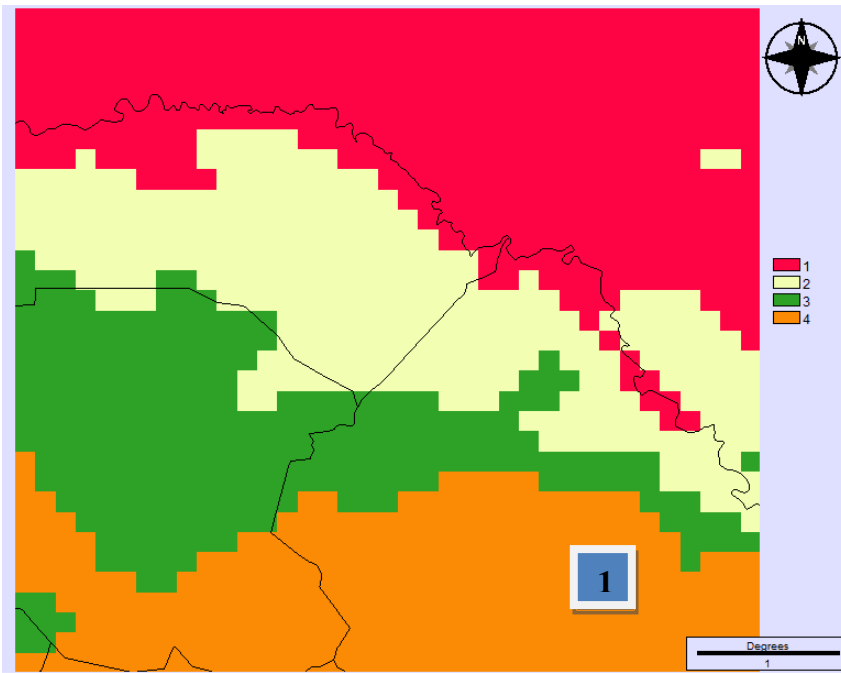
Une reclassification des pixels par l'algorithme des nuées dynamiques (Kmeans) en fonction de leur comportement vis-à-vis des quatre premières composantes principales (Fig. 98-1) permet de cartographier les différentes unités du paysage végétal suivant la phénologie de la végétation évoquée ci-dessus. L'organisation de ces unités paysagères s'effectue selon le gradient pluviométrique croissant du sud au nord (pixels bien discriminés par l'axe 1 de l'ACP).

Si l'on en revient à la végétation envisagée comme ressource, il est intéressant de voir comment chacune des unités cartographiées s'est comportée au cours de la période 1982-2006 en examinant le profil d'évolution du NDVI (Fig. 98-2) qui donne une clé de la variabilité de la ressource (notamment fourragère) disponible. Un examen des différentes classes sur deux années particulières à savoir 1984 (sécheresse) et 2005 (bonne année pluviométrique) (Fig. 98-3 et 98-4) révèle ainsi une évolution du NDVI très dépendante des apports pluviométriques.

##### **4.2.1. Analyse du NDVI moyen des unités phénologiques du paysage en 1984 (Figure 98-3)**

La classe 1 qui correspond aux régions les plus septentrionales montre des valeurs de NDVI particulièrement faibles sur toute l'année 1984, année de péjoration particulièrement sévère de la pluviosité en Mauritanie et au nord du Sénégal. La situation de part et d'autre de la vallée du Fleuve Sénégal (classe 2) montre aussi une activité plutôt faible de la végétation mais la baisse est ici atténuée par le maintien de l'humidité dans le fond alluvial. Le Ferlo et le Nord du Bassin arachidier (classes 3 et 4) montrent aussi une baisse rapide du NDVI en pleine saison des pluies, dès le mois d'août, habituellement celui où le NDVI est le plus élevé.

Ce raccourcissement de l'hivernage marqué par une baisse précoce du NDVI a eu des conséquences sur la disponibilité des ressources fourragères constituées essentiellement par les espèces herbacées annuelles (dépendantes des apports pluviométriques) et les résidus de

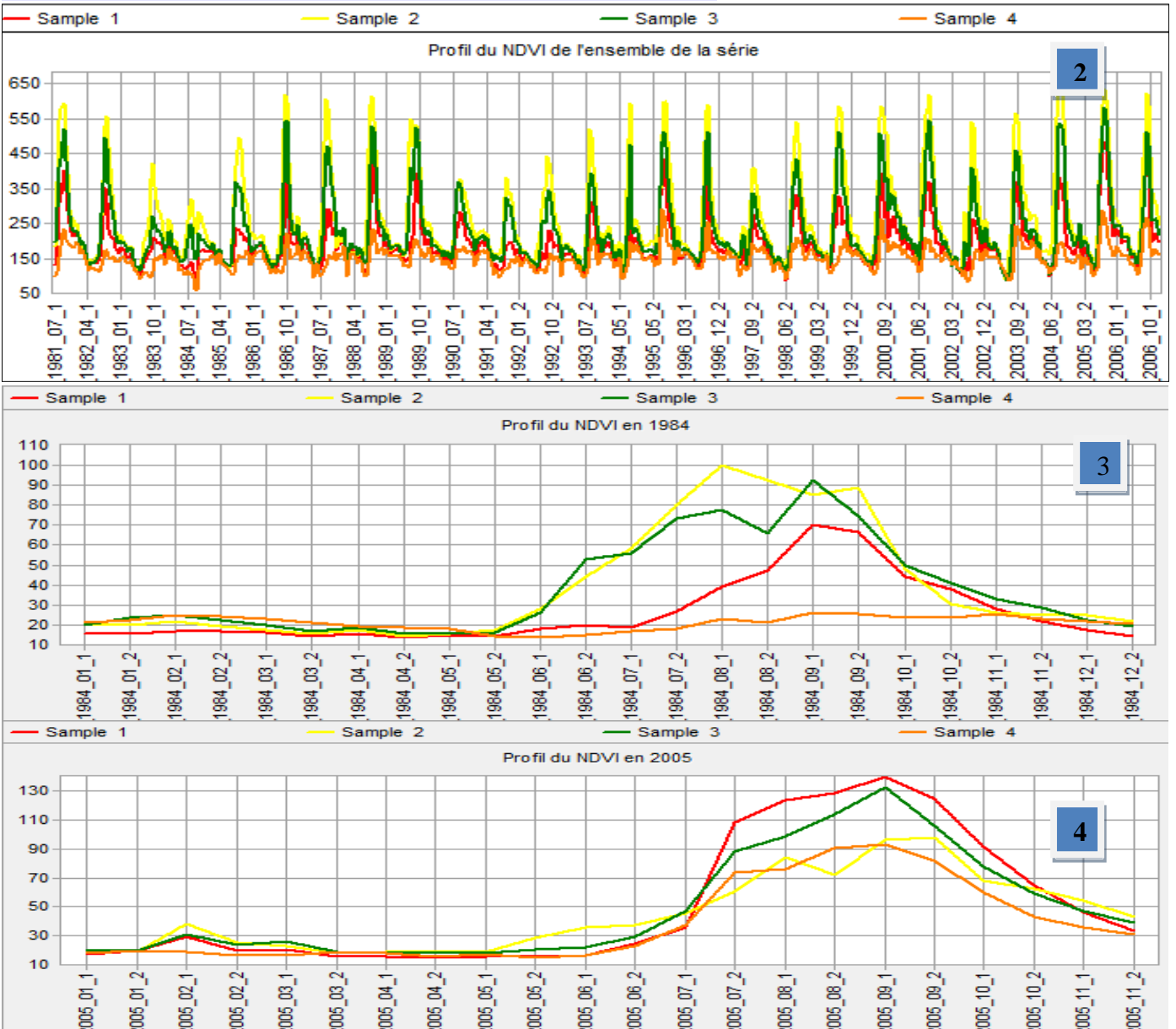


**Figure 98. 1- Classification (par la méthode des Nuées dynamiques) en 4 classes en fonction des valeurs obtenues sur les 4 premières composantes principales**

**2- Profil du NDVI sur toute la série temporelle**

**3- Profil du NDVI en 1984**

**4- Profil du NDVI en 2005**



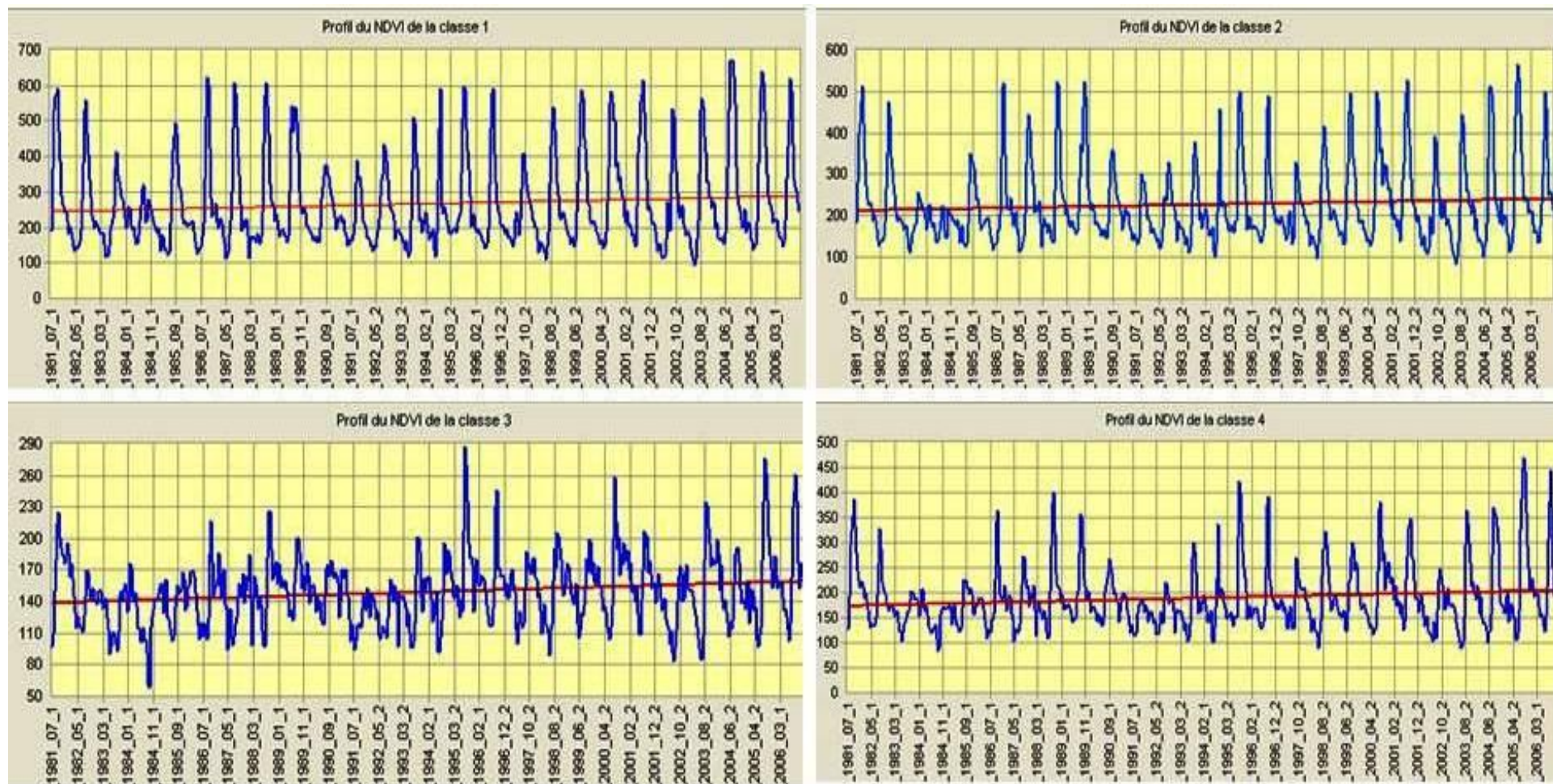


Figure 99. Tendances d'évolution du NDVI pour chaque classe sur l'ensemble de la série.

culture, mais elle n'a certainement pas eu la même signification au nord de la zone d'étude et au sud.

#### **4.2.2. Analyse du NDVI moyen des unités phénologiques du paysage en 2005 (Figure 98-4)**

En 2005 (Fig. 98-4), année où la pluviométrie a été bien meilleure (chap. 5), le comportement spectral de la végétation, mesuré avec le NDVI, montre une activité beaucoup plus forte de la végétation dans le Ferlo – signe que, cette année-là, le développement du tapis des herbacées annuelles a été normal - et dans la vallée du Fleuve Sénégal où le poids de l'agriculture irriguée joue beaucoup. La reprise semble moins nette dans le Bassin arachidier et l'on peut formuler l'hypothèse que l'accroissement de la pression agricole et la concurrence induite pour la ressource pastorale peut expliquer cette situation.

#### ***4-2-3- Tendence du NDVI moyen des unités phénologiques du paysage entre 1981 et 2006 (Fig. 99)***

En calculant la droite de tendance du NDVI moyenné sur l'ensemble des pixels de chacune des unités phénologiques du paysage végétal, les résultats esquissés avec l'étude de deux années de pluviosité contrastée (1984 et 2005) une généralisation devient possible. Les enseignements majeurs de cette analyse du NDVI entre 1981 et 2006 (fig. 99) montrent :

- une reprise de l'activité chlorophyllienne de la végétation dans le Ferlo depuis le début des années 1990 coïncidant avec l'amélioration de la pluviosité (hivernages à pluviosité plus abondantes et allongés par rapport à la période sèche,
- la variabilité interannuelle de la ressource végétale disponible s'est atténuée depuis la fin des années 2000,
- Certaines différences dans l'ampleur de cette reprise apparaissent entre les différentes classes : plus forte dans le cœur du Ferlo, moins spectaculaire là où l'avancée de l'agriculture et des défrichements atténue la reprise de la végétation ; on pourra aussi s'interroger sur l'impact des feux sur ces tendances du NDVI (Chap.12).

Il en découle certaines hypothèses sur le poids de l'évolution de l'occupation de l'espace dans cette partie du Sénégal. Ainsi que de l'importance de la région sud-est qui devient le dernier refuge des pasteurs en provenance du Ferlo en saison sèche, en dépit des

améliorations notées dans la pluviosité et de la reprise de la végétation. Cependant cet accueil devient de plus en plus problématique à cause de l'avancée du front agricole en direction des terres neuves du Sénégal oriental.

Le rôle joué par la poussée de l'agriculture irriguée dans la vallée du Fleuve Sénégal doit aussi être examiné. Au niveau de la vallée du fleuve, l'essor de la culture irriguée est surtout lié aux choix politiques des gouvernants tendant vers une autosuffisance alimentaire depuis que l'agriculture pluviale est en crise avec les différentes phases de sécheresses des années 1970 à aujourd'hui. Cette situation ne manque pas de poser aujourd'hui des problèmes à la poursuite des activités de transhumance des pasteurs. Historiquement, les terres du Walo (la vallée inondée) et du Diéri (terres exondées) ont accueilli les éleveurs et leurs troupeaux en provenance du sud (le Ferlo) qui y trouvaient à la fois des pâturages et des zones de repli. Le développement de l'irrigation sur des superficies très importantes devient maintenant une barrière infranchissable pour la circulation des pasteurs et de leurs bétails qui sont de plus en plus expulsés vers le sud à cause des conflits récurrents avec les agriculteurs.

Dans le Ferlo, l'hypothèse que l'élevage est, en quelque sorte, victime de l'amélioration des conditions écologiques peut être formulée. Une situation paradoxale causée par le développement des zones de cultures (cas de la communauté rurale de Barkédji dans le Ferlo central). Ce secteur peine jusqu'à présent à avoir son « territoire » (Ninot *et al*, 2012). Ainsi la transhumance classique a dû opérer un tournant historique avec un redéploiement des troupeaux vers le sud-est en direction du Sénégal oriental et des terres neuves. Un changement qui se manifeste aussi sur les distances à parcourir qui deviennent de plus en plus importantes et les changements d'itinéraires (Diop *et al*, 2012). Objet principal de cette transhumance, la ressource végétale se présente à travers différents faciès entre les Ferlo, principale zone de départ et le Bassin arachidier une des principales zones d'accueil. Dans le chapitre suivant, nous allons déterminer l'état global de cette ressource et sa composition interne dans l'optique de mettre en évidence comment les changements observés se sont-ils répercutés sur la végétation.



## **Chapitre 10 : Analyse de la composition floristique de la végétation envisagée comme ressource et comme indicatrice des changements socioenvironnementaux**

---

Que peut-on attendre de l'étude de la flore dans un milieu sahélien ? La ressource que constitue la végétation, dans sa diversité floristique, a toujours été une condition fondamentale à la survie et au développement des systèmes socioécologiques (Alexandre & Génin, 2012) dans le contexte sahélien où la saison humide, malgré sa durée relativement courte, rythme la vie. Étudier cette ressource revient à s'interroger sur ses particularités comme aussi sur l'incidence des pratiques des sociétés rurales sur celle-ci. En effet, si au niveau mondial l'exploitation des ressources végétales a beaucoup évolué durant le dernier siècle à cause de la « *combinaison de la forte croissance démographique de l'humanité, des progrès techniques de l'agriculture et de la mondialisation des échanges* » (Alexandre & Génin, 2012), à l'échelle du Sahel et particulièrement du Ferlo, l'évolution des caractéristiques bio-physiques de l'environnement, marquée par les fortes fluctuations de la pluviosité au cours de ces dernières décennies, fluctuations ayant des conséquences importantes sur le potentiel biologique de la région joue toujours un rôle déterminant. Dans les chapitres précédents, à travers la télédétection, nous avons approché l'évolution globale de l'occupation du sol et de la biomasse végétale. Nous allons aborder maintenant la végétation de façon plus qualitative, à travers l'exploitation des relevés de végétation, effectués à proximité des villages et de campements rencontrés lors de nos deux missions de terrain. Les modifications se lisent à travers la composition floristique et la chorologie des espèces rencontrées dans la région. On verra ainsi si la translation des isohyètes vers le sud, ou leur remontée vers le nord, se traduit par une limitation ou une extension de l'aire de répartition de certaines espèces (Poupon & Bille, 1974; Poupon, 1980; Toutain *et al.*, 1983 ; Sharman, 1987) et si elle élimine ou favorise d'autres espèces en retour.

«*La présence d'une espèce dans un milieu déterminé est l'expression de sa tolérance ou de sa sensibilité à l'action des différents facteurs de ce milieu* » (Salen-Picard, 1986). Cette citation de Salen-Picard reprend le paradigme classique de la composition floristique, reflet botanique du milieu (Alexandre & Génin, 2012). Elle n'est, cependant, qu'en partie juste, car elle ne précise pas que cette situation est aussi la résultante de l'histoire des flores particulièrement dans ce contexte sahélien où plusieurs espèces ligneuses (comme *Azadirachta indica*, *Mangifera indica*, *Tamarindus indica*, *Eucalyptus camaludensis*, *Prosopis juliflora*, ...) et herbacées (*Arachis hypogaea*, ...) ont été introduites au cours des

siècles derniers. Elle ne montre pas non plus que la concurrence entre les espèces et le poids des pratiques et usages des sociétés qui les exploitent comme ressource sont des facteurs déterminants dans la dynamique de cette végétation. Il faut souligner d'autre part, que la réciproque de cette assertion n'est pas pertinente, l'absence d'une espèce dans un lieu donné ne permettant pas d'en déduire qu'elle ne tolère pas le milieu, sauf si on la voit disparaître progressivement le long d'un gradient, comme entre Tèssékéré (Ferlo nord, sahélien) et Kaffrine (Saloum, soudanien), où, en suivant le gradient croissant de la pluviosité (nord-sud), la fréquence de la Capparacée *Boscia senegalensis* diminue progressivement jusqu'à être absente (du moins dans nos relevés) dans la partie sud de notre zone d'étude.

Dans le contexte du Sahel, l'étude floristique de la ressource végétale, vue au travers du double prisme des pratiques anthroposystémiques et de l'évolution des conditions du milieu, permet de comprendre la complexité des dynamiques physiques et sociétales internes et contribue « à mieux saisir la vulnérabilité ou la résilience des agroécosystèmes » (Alexandre & Génin, 2012), car la flore reste, par ailleurs, l'une des principales indicatrices des différents changements intervenus au cours de ces dernières décennies.

## **1. Constitution d'un échantillon de relevés floristiques**

### **1.1. La collecte des données au cours de deux missions de terrain (2010, 2012)**

La récolte des données floristico-écologiques sur la zone d'étude a été effectuée à travers deux missions de terrain qui ont permis d'étudier la végétation selon deux bandes d'orientation différente (Fig. 100). Lors de la première mission (octobre, novembre et décembre 2010), axée sur l'évaluation de la ressource fourragère dans le Ferlo, il a été choisi d'étudier, suivant une orientation ouest-est, un ensemble de villages et de campements échelonnés entre Dahra à l'ouest du Ferlo et la région de Matam dans la vallée du fleuve Sénégal, traversant la commune rurale de Tèssékéré, au cœur de la zone des Six Forages et la vallée fossile du Ferlo.

Dans le cadre de la deuxième mission (octobre et novembre 2012), nous avons défini notre échantillon suivant une bande nord-sud. La logique répondait cette fois-ci à la volonté de suivre le gradient phytoclimatique, donc la variation des paysages suivant le gradient de la pluviosité décroissant du sud au nord. En effet, nous sommes dans un milieu où la ressource hydrique tient une importance fondamentale dans toute activité biologique ou économique. L'évolution spatio-temporelle de la pluviosité influence profondément les systèmes socioécologiques. La transhumance exploitant la ressource fourragère, suit ce gradient

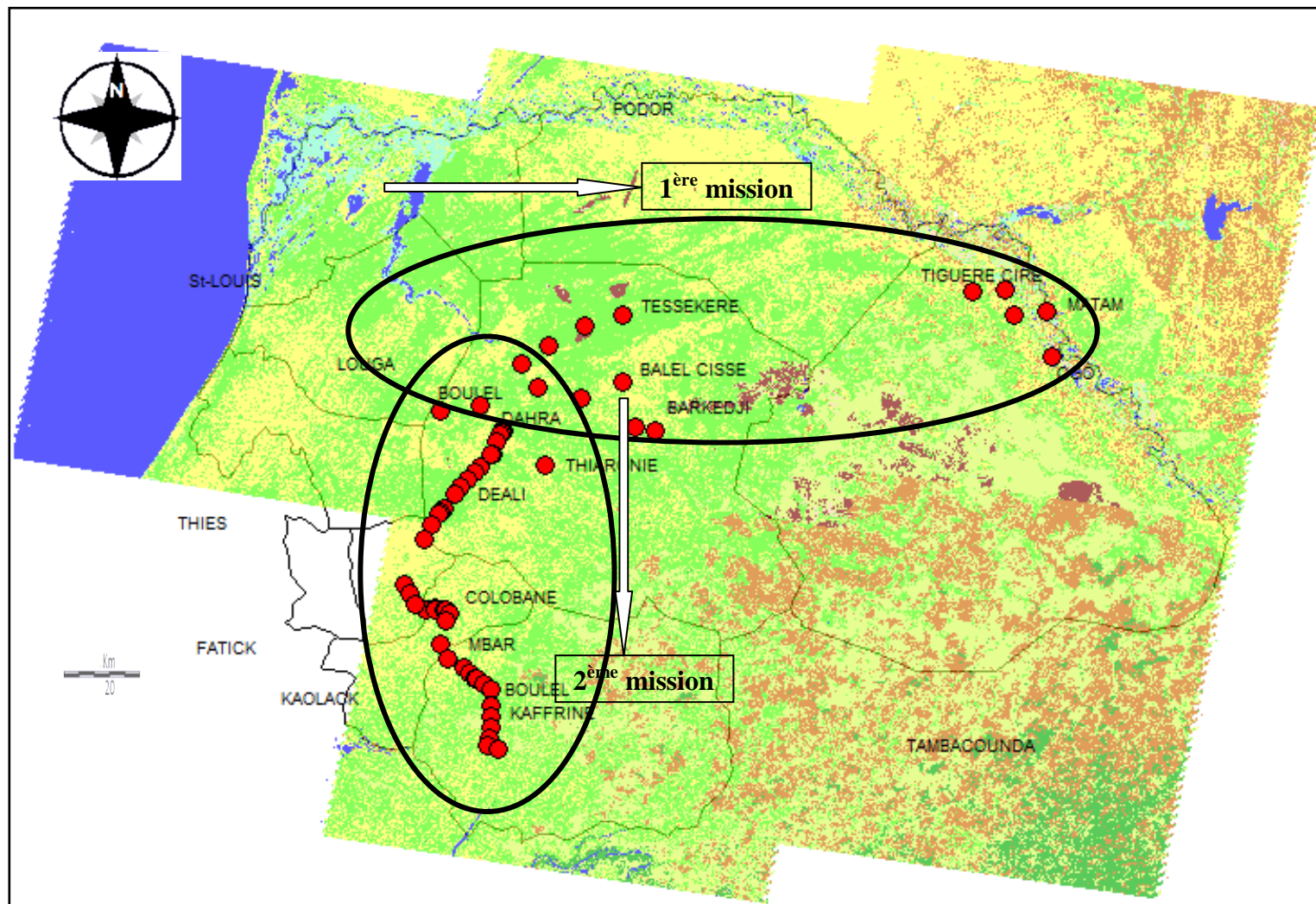
bioclimatique en saison sèche (déplacement en direction du sud et du sud-est respectivement vers le bassin arachidier et le Sénégal oriental) comme en saison humide (retour dans le Ferlo). Compte tenu de l'objectif de couplage entre les relevés botaniques et des enquêtes auprès des communautés rurales, l'échantillonnage n'a été, ni aléatoire, ni systématique. Si le hasard a guidé le choix des principaux villages et campements permanents, leur accessibilité a été prise en compte, ce qui en soi constitue un biais.

### **1.2. Des relevés floristiques s'inscrivant dans le schéma global de variation du paysage végétal entre le Ferlo et le Bassin arachidier**

Si l'on considère l'ensemble des relevés des deux missions de terrain, il se dessine une double ellipse partant du village de Téssékéré au Nord du Sénégal dans la Région de Louga. Elle traverse les régions de Matam, de Diourbel, de Kaolack et de Kaffrine. Du point de vue physique, la double ellipse intéresse les deux domaines bioclimatiques sahélien et soudanien. Entre deux relevés, nous avons donc enquêté dans les villages et campements tout au long de cette bande entre Téssékéré et Kaffrine. Ces enquêtes ont été l'occasion de recueillir des informations importantes sur les lieux fréquentés par les troupeaux du village à différentes périodes de l'année, les pratiques agricoles, la disponibilité des ressources (eau et fourrages), la perception sur l'évolution de la ressource fourragère et des activités de transhumance entre autres. Sur l'ensemble du transect, nous avons visité 67 villages et campements (Tableau 17).

Il faut rappeler ici que le découpage bioclimatique (voir chap. 11) initialement en trois zones (sahélienne, soudanienne et guinéenne) s'est affiné progressivement avec l'introduction de domaines intermédiaires comme le suggérait Trochain (1940) : sahélo-soudanien, soudano-sahélien, soudano-guinéen, ... En tout état de cause, « *ce découpage correspond avant tout à des types de paysages* » (Alexandre, 2008) où le déterminisme écologique de la croissance et du développement de la végétation reste intrinsèquement lié à la disponibilité de l'eau, donc essentiellement à la pluie, secondairement au réseau hydrographique, aux nappes phréatiques ou atteintes par les forages. La forte variabilité spatio-temporelle de la pluie conditionne l'importance de la végétation par conséquent de la ressource fourragère d'une année à l'autre. Par ailleurs, les différentes unités de sol et de végétation sont profondément liées à la topographie et à la pédologie de la zone où nous avons une alternance de sols sableux (surtout au niveau des versants dunaires) dans le Ferlo central, des sols ferrugineux dans le bassin arachidier et des secteurs de sols squelettiques et gravillonnaires dans le sud-est du Ferlo. Les

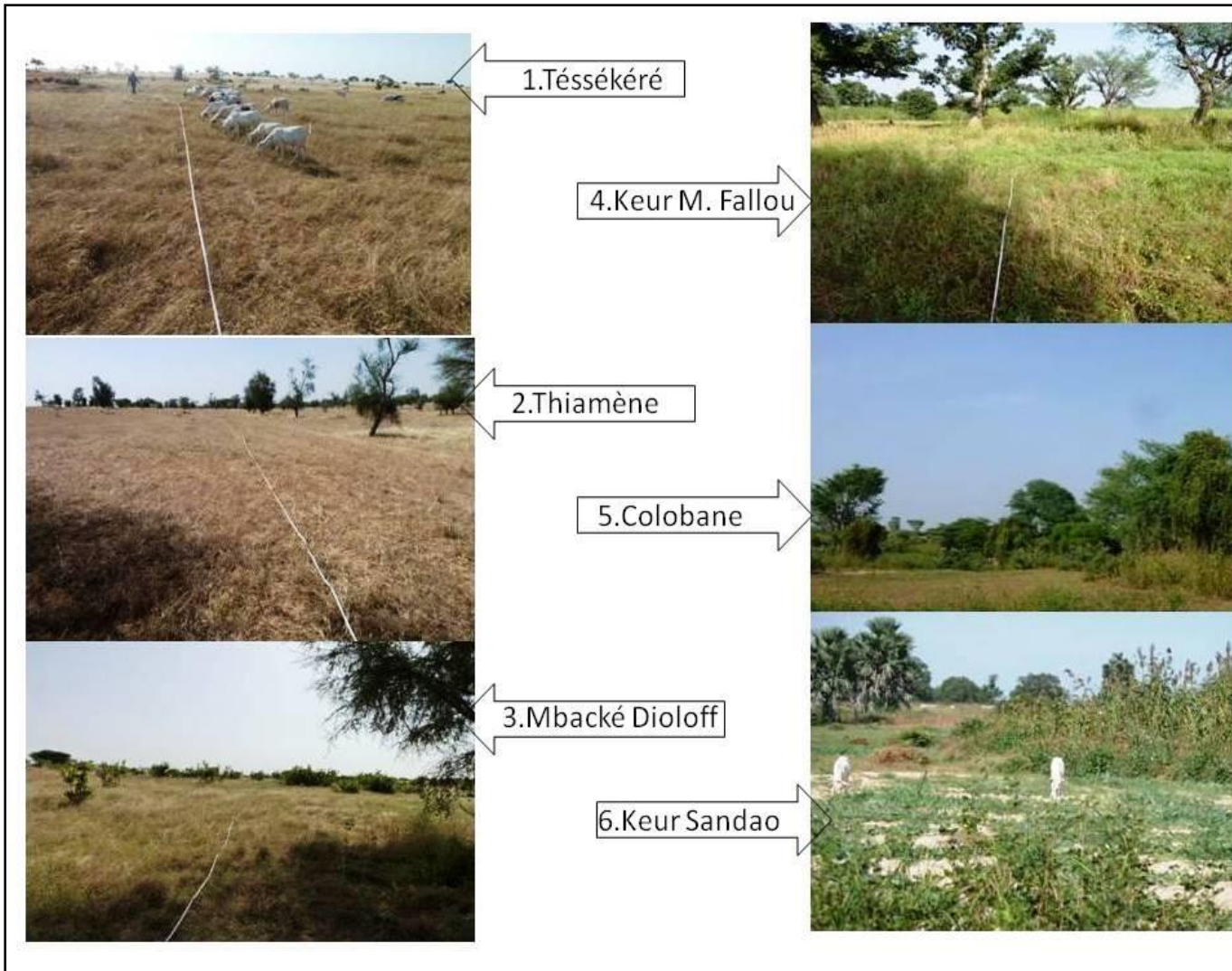
sols argileux quant à eux, sont localisés dans les zones dépressionnaires (quelques secteurs inondables de la vallée fossile du Ferlo, les mares etc.) et sur la vallée du fleuve.



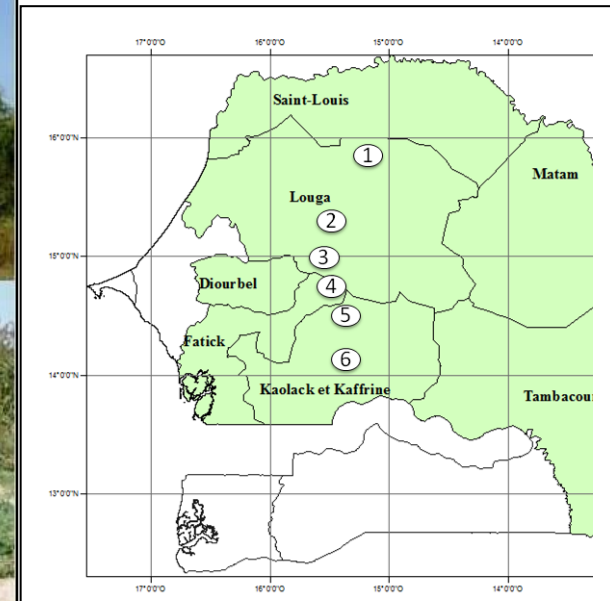
**Figure 100.** La localisation des relevés et quelques villages enquêtés lors des deux missions de terrain entre le Ferlo et le bassin arachidier.

<b>IDEN</b>	<b>Villages</b>	<b>Localisation</b>	<b>IDEN</b>	<b>Villages</b>	<b>Localisation</b>	<b>IDEN</b>	<b>Villages</b>	<b>Localisation</b>
<b>BA</b>	Barkedji	Ferlo	<b>NU</b>	Ndouli	Ferlo	<b>DU</b>	Darou	B. Arachidier
<b>BC</b>	Balel Cissé	Ferlo	<b>SG</b>	Sagata	Ferlo	<b>DV</b>	Dianveli Alassane	B. Arachidier
<b>BK</b>	Bakoure Campement	Ferlo	<b>KA</b>	Kadd	Ferlo	<b>GL</b>	Gniby Lambaye	B. Arachidier
<b>BO</b>	Boulal	Ferlo	<b>KB</b>	Kadd Baloji	Ferlo	<b>GN</b>	Gniby	B. Arachidier
<b>DD</b>	Dendielli	Ferlo	<b>KMM</b>	Keur Matar Mbaye	Ferlo	<b>GR</b>	Grinel	B. Arachidier
<b>DE</b>	Deali	Ferlo	<b>DR</b>	Dahra	Ferlo	<b>GV</b>	Grinel Village	B. Arachidier
<b>DK</b>	Deka	Ferlo	<b>BM</b>	Bountou Mbar	B. Arachidier	<b>BL</b>	Boulel	B. Arachidier
<b>DM</b>	Dendielli Massa	Ferlo	<b>CL</b>	Colobane	B. Arachidier	<b>BP</b>	Boul Peul	B. Arachidier
<b>DO</b>	Doundodji	Ferlo	<b>DI</b>	Diolotene	B. Arachidier	<b>SR</b>	Sorokogné	B. Arachidier
<b>DP</b>	Doundodji Parba	Ferlo	<b>DL</b>	Doli	B. Arachidier	<b>KC</b>	Keur Aliou Cissé	B. Arachidier
<b>LO</b>	Loumbel	Ferlo	<b>DS</b>	Darou sagor	B. Arachidier	<b>KN</b>	Keur Sandao	B. Arachidier
<b>MD</b>	Mbacke dioloff	Ferlo	<b>KM</b>	Keur Mandiaye	B. Arachidier	<b>KFN</b>	Kaffrine	B. Arachidier
<b>ND</b>	Ndimène	Ferlo	<b>KS</b>	Keur sambabane	B. Arachidier	<b>K6</b>	Kilomètre 6	B. Arachidier
<b>NR</b>	Ndramé	Ferlo	<b>LM</b>	Loumbeul	B. Arachidier	<b>TP</b>	Tip	B. Arachidier
<b>OG</b>	Ogo	Ferlo	<b>LY</b>	Leyenne	B. Arachidier	<b>TM</b>	Tiom	B. Arachidier
<b>SD</b>	Some Dande	Ferlo	<b>MB</b>	Mbar	B. Arachidier	<b>DG</b>	Diouni Guel	B. Arachidier
<b>TA</b>	Tiamène	Ferlo	<b>NA</b>	Naoni	B. Arachidier	<b>TO</b>	Torodo	B. Arachidier
<b>TB</b>	Touba Boustane	Ferlo	<b>NO</b>	Ndourenne	B. Arachidier	<b>DH</b>	Diarhao	B. Arachidier
<b>TC</b>	Tiguéré Ciré	V. fleuve	<b>NY</b>	Ndiayenne	B. Arachidier	<b>CP</b>	Campement	B. Arachidier
<b>TH</b>	Thiargny	Ferlo	<b>PN</b>	Panal	B. Arachidier	<b>KD</b>	Kodiolel	B. Arachidier
<b>TK</b>	Tessékéré	Ferlo	<b>TI</b>	Tioumbo	B. Arachidier	<b>KF</b>	Keur Medina Fallou	B. Arachidier

**Tableau 17 : L'ensemble des villages et campements visités durant les deux missions de terrain**



**Figure 101.** Planche : La variation paysagère entre le Ferlo et le Bassin arachidier (Photographies : Fall, 2010 et 2012)



Du nord au sud de la zone où ont été effectués les relevés (fig. 101), la variation paysagère apparaît nettement entre la zone sahélienne représentée par les villages du Ferlo (Téssékéré, Thiamène et Mbacké Dioloff) et la zone soudano-sahélienne représentée par les villages du bassin arachidier (Keur Médina Fallou, Colobane et Keur Sandao). La transition phytoclimatique est bien marquée à partir de Keur Médina Fallou (climat soudano-sahélien) où de nouvelles espèces ligneuses (*Parkia biglobosa*, *Aphania senegalensis*, *Sesbania pachycarpa*, *Borassus flabellifer*) qui ont leur optimum dans la zone soudano-sahélienne (Arbonnier, 2002) font leur apparition. Ce changement paysager est aussi et peut-être avant tout la conséquence d'un mode d'utilisation des terres différent de celui de la partie nord où le pastoralisme reste l'activité dominante. Ici les pâturages sont circonscrits dans les jachères. Les champs d'arachides, souvent accompagnés de mil (*Pennisetum glaucum*) et sorgho (*Sorghum bicolor*) sur une faible proportion des champs, dominant tout le finage du bassin arachidier.

## 2. Protocole de relevé floristique et écologique

### 2.1. Mode de relevé

#### **Fiche synthétique de relevé floristique :**

Localisation du site (coordonnées géographiques GPS)

Relevé floristique : liste des espèces établie le long d'une bande de 50 x 5 m

Relevé structural le long de la ligne sans épaisseur de 50 m correspondant au centre la bande

- Ligneux hauts (supérieur à 1m80)
  - o Recensement des individus
  - o Marques de l'utilisation des arbres (émondage, broutages, coupes)
- Herbacées et ligneux bas
  - o Taux de recouvrement
  - o Espèces dominantes
  - o Structure horizontale
  - o Marques d'abrouissement
  - o Espèces cultivées
- Autres descripteurs du transect
  - o Topographie du site
  - o Proximité village, campement, point d'eau, etc.
  - o Utilisation du sol (champs, jachères, etc.)
  - o Présence ou non de foyers feux (éteints ou actifs)
  - o Types de sol

Le relevé à proprement parler, est un segment de 50 mètres dans lequel toutes les espèces (herbacées et ligneuses) présentes sont notées. La prise en compte de l'ensemble des espèces présentes tout au long des deux bandes d'étude, doit permettre d'établir à partir de l'exploitation des données de végétation et en les croisant avec ce que nous connaissons de la qualité fourragère des espèces (Boudet, 1985), l'état de la ressource indispensable à la poursuite des activités pastorales. Un autre objectif plus spécifique à la seconde mission consiste à faire ressortir la transition phytoclimatique suivant le gradient nord - sud, entre le domaine sahélien et le domaine soudano-sahélien. Une des justifications de la prise en compte à la fois de la flore ligneuse comme la flore herbacée dans les relevés est qu'elles sont toutes potentiellement utilisées comme ressources fourragères.

Au niveau de la relation entre la flore et le contexte biophysique, l'intérêt de retenir la végétation ligneuse est qu'elle apporte, « à l'échelle régionale, une quantité importante d'informations, et apparait en effet comme la meilleure intégratrice de la relation climat-végétation en ce qu'elle produit moins de « bruit » que la flore herbacée dont la composition est beaucoup plus sensible aux micro-variations du milieu, en particulier de nature édaphique » (Alexandre, 1994, Andrieu, 2008).

## **2.2. Les descripteurs écologiques des relevés de végétation**

Le choix des descripteurs écologiques (Tableau 18) a été réalisé sur la base du *Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu* (Emberger & Godron, 1968), ouvrage pratique classique de la phyto-écologie. D'une façon générale, il existe un nombre infini de descripteurs qui peuvent influencer les dynamiques des milieux écologiques. Notre choix s'est porté sur cinq catégories d'information lors de la récolte des données : la **pluviosité**, la **physionomie** de la végétation, la **typologie des sols**, les **actions anthropiques** et la **situation géographique**. Le premier descripteur écologique retenu est donc la **pluviosité** qui est le facteur fondamental dans la croissance de la végétation dans la zone sahélienne (Trochain, 1940 ; Aubréville, 1950 ; Boudet, 1977 ; White, 1986). A partir des précipitations moyennes annuelles obtenues entre les stations du Ferlo et celles du Bassin arachidier, nous avons fait un échantillonnage en classe d'amplitude de 100 mm. La série peut être scindée en deux zones climatiques en tenant compte des observations de Sagna et de Leroux (2000) : La zone sahélienne (entre 300 et 500 mm) et la zone soudano-sahélienne (500 et 700 mm). Cette

division en deux grandes zones permet de restituer le gradient pluviométrique et son incidence sur la distribution des espèces le long de la bande d'étude.

**Tableau 18 : Les descripteurs retenus**

Pluviosité (mm/an) (PL)	Physionomie (PH)	Typologie des sols (SO)
PL1 300 à 400 mm	PH1 Steppe arbustive	SO1 Sols sableux
PL2 400 à 500 mm	PH2 Steppe arborée	SO2 Sols ferrugineux
PL3 500 à 600 mm	PH3 Savane arbustive	SO3 Sols hydromorphes
PL4 600 à 700 mm	PH4 Savane arborée	
	PH5 Champs cultivés	
Pratiques agropastorales (PR)		
PR1 Agriculture avec pâturage après récolte (champs cultivés, jachères de 1e ou 2e année)		
PR2 Pâturage avant remise en culture (jachère longue)		
PR3 Pâturage villageois		
PR4 Pâturage pour troupeaux transhumants		
PR5 Abords des points d'eau		
Distance au village (DT)		
DT1 Proximité village fixe (inférieur ou égal à 5 km)		
DT2 Proximité campement permanent (inférieur ou égal à 5 km)		
DT3 Eloigné des villages fixes et campements permanents (supérieur à 5 km)		

Retenir la physionomie de la végétation comme descripteur peut être problématique dans la mesure où celle-ci est intimement liée à des facteurs à la fois biophysiques et anthropiques (Andrieu, 2008). A l'inverse, elle peut être révélatrice. En effet, la transition climatique et le fonctionnement même des anthroposystèmes sont les deux éléments qui gouvernent la dynamique des paysages. Les cinq catégories retenues sont les suivantes : **steppe arbustive, steppe arborée, savane arbustive, savane arborée, champs cultivés.**

La nature du substrat et du type de sols est également retenue comme descripteur dans la mesure où les conditions édaphiques influencent la flore. Des exemples nous sont donnés à travers le développement d'une Poacée *Cenchrus biflorus* qui peut se révéler souvent comme un indicateur de la pauvreté des sols ou le voisinage des points d'eau qui marque l'apparition d'espèces spécifiques comme la Nyctaginacée *Boerhaavia diffusa*, en raison des sols hydromorphes. Comme l'a montré Alexandre (1996) pour le climat méditerranéen, c'est une variable qui mérite une attention particulière dans la mesure où elle peut « compenser ou exagérer le facteur climatique ». Ce qui valait pour le bioclimat méditerranéen (compensation ou exagération édaphique de la sécheresse) vaut également pour le bioclimat sahélien. Ceci étant, le contexte pédologique peu diversifié de la zone d'étude ne nous a permis de discriminer que trois types de sols : **les sols sableux** (plutôt localisés dans le Ferlo), **les sols**

**ferrugineux tropicaux** (surtout dans le Bassin arachidier) et **les sols hydromorphes** (dans les cuvettes et vallées inondables).

La question des pratiques agropastorales est un descripteur qui porte sur l'usage de la ressource agricole et pastorale par les villageois. Elle résulte des enquêtes et des observations faites *in situ*. Les différents parcours du bétail ont été identifiés et classés suivant leur utilisation par les éleveurs locaux ou transhumants. Ils sont complétés par ceux au voisinage des points d'eau qui sont utilisés à la fois par les pasteurs transhumants et par les villages et campements environnants. Les principaux états de ce descripteur sont : **agriculture avec pâturage après récolte** (champs cultivés, jachères de 1<sup>e</sup> ou 2<sup>e</sup> année), **pâturage avant remise en culture** (jachère longue), **pâturage villageois**, **pâturage pour troupeaux transhumants**, **abords des points d'eau**.

Le dernier descripteur est la distance au village ou au campement. Il est obtenu par le calcul de la distance entre chaque relevé et le village ou campement le plus proche. Le résultat obtenu permet de voir **la proximité** (< 5km) ou **l'éloignement** (> 5km) d'un relevé par rapport à un village fixe ou un campement permanent. Ce seuillage kilométrique est guidé par le constat que la majeure partie des déplacements se font à pieds ou à dos d'âne. Ce qui nous a amené à considérer que les espaces situés sur un rayon de 5 km autour des villages ou campements relèvent de la proximité et ceux situés au-delà de 5 km, de l'éloignement.

### **3. Analyse générale de l'ensemble des relevés**

Les deux campagnes de récolte de données floristiques et écologiques ont ainsi permis de réaliser 140 relevés de végétation entre le nord du Sénégal (Téssékéré) et le centre (Sud Kaffrine). L'ensemble des données floristiques a été entré dans un tableau de contingence (où les effectifs des espèces dans les relevés ont été estimés par les taux de recouvrement) qui a servi pour les analyses statistiques et fréquentielles. Au total, nous avons rencontré et identifié 93 espèces (classées dans l'annexe 1 avec des indications biologiques et les principales utilisations qui en sont faites par les anthroposystèmes). Parmi celles-ci, 56 sont des herbacées et 37 des ligneuses. L'identification a été facilitée par la prise en compte des savoirs locaux, car les villageois et les pasteurs qui nous accompagnaient nous ont souvent fourni les noms vernaculaires des plantes et arbres (ce qui facilite amplement leur identification !) et les différentes utilisations qui en sont faites. Nous avons eu par ailleurs recours à deux manuels de référence pour la Flore du Sénégal et, plus globalement, pour l'Afrique de l'Ouest: *La flore*

du Sénégal de Berhaut (1967) et *Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'ouest* d'Arbonnier (2002).

### **3.1. Diversité floristique des pâturages à travers les relevés de végétation**

Du point de vue quantitatif, la diversité floristique spécifique (nombre d'espèces présentes) au niveau de chaque relevé peut constituer une indicatrice intéressante de l'état de la biodiversité végétale et partant, de la ressource fourragère pastorale à l'échelle locale dans la mesure où celle-ci (cette diversité) détermine la productivité des pâturages. Elle s'obtient par la prise en compte de l'ensemble des espèces rencontrées dans les relevés. Selon la méthode définie par Daget & Poissonet (1991), l'échelle suivante permet de déterminer cette diversité (Tableau ci-dessous). Ainsi une flore est dite :

- « *très pauvre, lorsqu'il y a moins de 10 espèces / relevé* » ;
- « *pauvre, lorsqu'il y a de 11 à 20 espèces* » ;
- « *moyenne, lorsqu'il y a de 21 à 30 espèces* » ;
- « *assez riche, lorsqu'il y a de 31 à 40 espèces* » ;
- « *riche, lorsqu'il y a de 41 à 50 espèces* » ;
- « *très riche, lorsqu'il y a plus de 51 espèces* ». (Daget & Poissonet, 1991)

Appliquée à l'ensemble des relevés effectués entre Téssékéré (Ferlo) et Kaffrine (Bassin arachidier), la méthode a permis de montrer globalement que 59 % de ceux-ci présentent une flore pauvre, 18 % très pauvre et 23 % ont une richesse moyenne (Tableau 19). Du Ferlo au Bassin arachidier, en considérant tous les relevés, la biodiversité végétale est donc limitée en termes de nombre d'espèces. Cependant, la réalité paraît plus complexe localement à cause du poids important des déterminants anthropiques et édaphiques qui induisent une certaine variabilité dans la composition de la couverture végétale (Fig. 102). En effet, si les relevés faits dans le Ferlo sont caractérisés par leur pauvreté botanique à une exception près située près de Loumbel, ceux de l'espace de transition en direction du bassin arachidier ont plus d'espèces avec une diversité moyenne. Dans le bassin arachidier, le nombre important de stations pauvres est lié avant tout à la longue tradition d'exploitation agricole avec des champs qui dominent l'étendue des paysages. Les relevés qui présentent une diversité spécifique moyenne sont avant tout des terroirs de jachères où la mise en repos de la terre favorise le développement de nombreuses espèces. Dans tous les cas, l'importance de la richesse biologique doit être nuancée dans ce contexte sahélien où c'est plutôt la densité du couvert qui reste déterminante dans la disponibilité de la ressource fourragère. Par ailleurs, elle donne une idée sur la variation et la typologie paysagères (voir chapitre suivant) entre le

nord et le sud (suivant le gradient de la pluviosité) qui apparaissent ainsi plus complexes qu'on ne les aurait pensées.

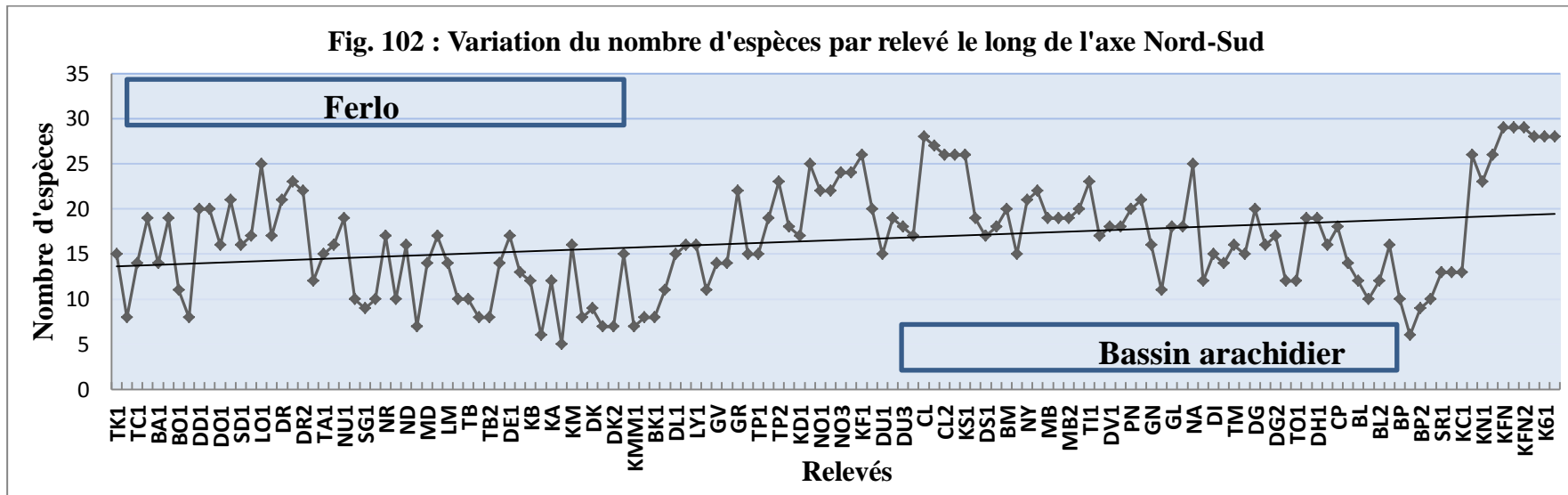


Figure 102. Variation du nombre d'espèces par relevé le long de l'axe nord-sud

Tableau 19 : Tableau de détermination de la richesse spécifique des relevés de végétation

<i>Indices</i>	<i>Détermination</i>	<i>Nombre de relevés</i>	<i>Pourcentage %</i>
0-10	<i>Très pauvre</i>	25	18
011-020	<i>Pauvre</i>	83	59
21-30	<i>Moyenne</i>	32	23
31-40	<i>Assez riche</i>	0	0
41-50	<i>Riche</i>	0	0
Plus de 51	<i>Très riche</i>	0	0

### 3.2. Quelques exemples de relevés

Avant de passer à la présentation des différentes techniques (statistiques multivariées et analyses fréquentielles) de traitement des données floristiques récoltées lors des deux missions de terrains, quelques relevés peuvent être pris en exemple, pour donner une idée des faciès floristiques rencontrés. Le premier exemple étudié est constitué des relevés faits à Téssékéré, le second présente les relevés effectués à Loumbeul (village Wolof du Ferlo central) et le dernier cas sera celui de Panal, un village du Bassin arachidier.

#### 3.2.1. Les relevés de Téssékéré, une communauté rurale au nord du Ferlo



**Figure 103. Premier relevé effectué dans la communauté rurale de Téssékéré à proximité du campement de Wouro Samba (Fall, 2010).**

Le premier relevé de Téssékéré (fig. 103) a été effectué à proximité du campement de Wouro Samba sur un site qui sert de pâturage pour le bétail local et pour les troupeaux en provenance du nord, de Widou (Communauté rurale située au nord-ouest de Téssékéré) ou de la vallée du Fleuve. Il se situe à une dizaine de kilomètres de Téssékéré village. Les sols sont sableux et pauvres (impropres à être cultivés). La topographie est plane. Le site montre des traces de foyers de feux de brousse très récents, un phénomène que nous avons déjà étudié à travers la cartographie par télédétection de l'occupation du sol et que nous développerons à travers la

question des perceptions que les agropasteurs ont des principaux changements intervenus dans les milieux et sur la ressource fourragère pastorale. La végétation se présente sous la forme d'une steppe herbacée (Photos 1, 2, 3 et 4) pauvre en espèces. Le taux de couverture de la strate ligneuse (ligneux hauts et bas) (Photos 1, 2, 3 et 4) est très faible, voire nulle par endroits, comme d'ailleurs dans toute cette région nord du Ferlo. Les espèces présentes sont *Balanites aegyptiaca*, *Ziziphus mauritiana*, *Acacia raddiana*, *Sclerocarya birrea*, *Calotropis procera* et *Boscia senegalensis* ((Photos 1, 2, 3 et 4, fig. 104). Cette dernière se développe de plus en plus. Le tapis herbacé, reposant lui aussi sur un faible nombre d'espèces, est assez important et permet de générer une quantité notable de biomasse pour le bétail. Il constitue aussi la ressource sur laquelle reposent en partie les activités de transhumance du bétail. Les espèces relevées sont *Eragrostis tremula*, *Digitaria gayana*, *Zornia glochidiata*, *Schoenfeldia gracilis*, *Alyscarpus ovalifolius*, *Cenchrus biflorus*, *Aristida mutabilis*, *Digitaria ciliaris* et *Cassia obtusifolia*.



**Figure 104. Jeune touffe de *Boscia senegalensis* à Wouro Samba (Communauté rurale de Téssékéré) Source : A. Fall, 2010**

*Boscia senegalensis* est un « arbuste persistant de la famille des Capparacées qui peut atteindre 1,5 m de haut. Les feuilles alternes, ovales ou elliptiques (long : 90-140 mm, large : 20-40 mm), sont coriaces, à la base arrondie, à l'apex obtus et au pétiole pubescent (long : 1-3 mm). Les fleurs aux sépales elliptiques sont groupées en racèmes subterminaux corymbiformes. Capsules sphériques (diam : 10-15 mm) » ([http://www.plantes-botanique.org/espece\\_boscia\\_senegalensis](http://www.plantes-botanique.org/espece_boscia_senegalensis)) S'il est surtout consommé en période de grande disette, en revanche, il est très présent dans la pharmacologie traditionnelle où ses feuilles, racines, écorces et fruits servent à guérir beaucoup d'infections.

### 3.2.2. Relevés de Loumbeul

Quatre relevés ont été effectués dans les environs du village de Loumbeul dans différents endroits qui correspondent à des pâturages ou à des champs déjà récoltés.



**Figure 105. Premier relevé effectué à Loumbeul (Fall, 2010).**

Le relevé pris en exemple dans les photos 5, 6, 7 et 8 (Fig. 105) correspond à un site de pâturage pur qui se présente sous les contours d'une steppe herbacée. La strate ligneuse est presque inexistante dans les zones de parcours et dans les champs. Le site est proche du village de Loumbeul (distant de 1 km seulement). Le système pédologique est dominé par des sols sableux pauvres, correspondant à une topographie de dunes. Le début du relevé linéaire se trouve dans la dépression et la fin en haut de la dune. Globalement le site présente une diversité moyenne en espèces végétales. En effet, 22 plantes herbacées annuelles ou vivaces sont présentes entre le début et la fin du transect. Parmi celles-ci, *Cenchrus biflorus* et *Zornia glochidiata* ont des taux de recouvrement les plus importants avec respectivement 44 % et 74 %. Le poids important de la Poacée *Cenchrus biflorus* (Fig. 106) témoigne de cette pauvreté du substrat pédologique dominé ici par des sols sableux pauvres.



Photo : *Cenchrus biflorus* ou Cram-cram est une poacée annuelle très rudérale, caractéristique de la zone sahélienne. Son développement important peut être un indicateur de la pauvreté des sols et de surpâturage. A cause de ses épines coriaces qui s'accrochent aux vêtements, blessant ainsi hommes et bêtes, et qui font souvent passer la plante pour une adventice nuisible alors qu'il est très utilisé comme pâturage.

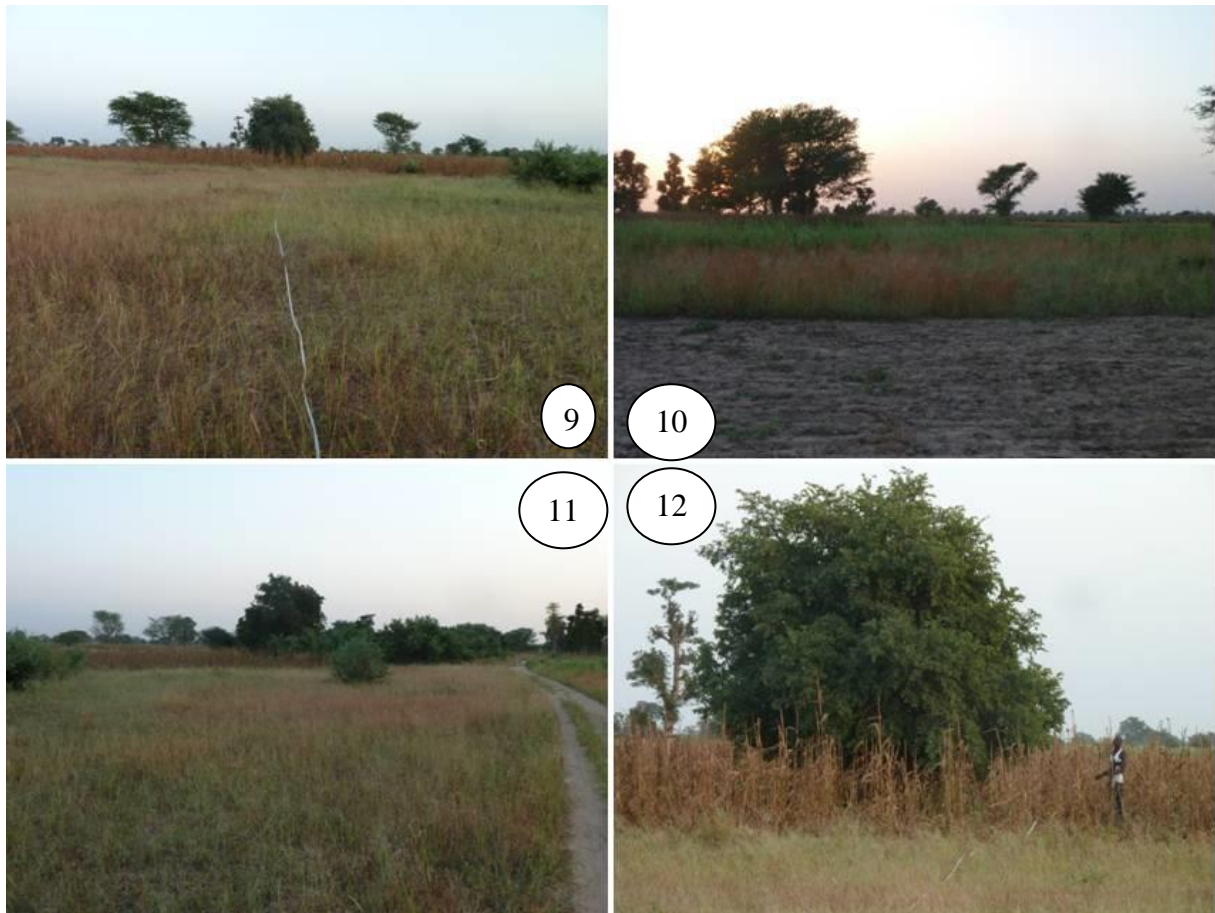
Source image:

<http://www.tagant.org>

**Figure 106. *Cenchrus biflorus* ou Cram-cram**

Les espèces cultivées sont pourtant au nombre de deux : *Arachis hypogaea* (Arachide) et *Vigna sinensis* (Niébé). La strate ligneuse est très réduite et pauvre en espèces. Seules *Acacia raddiana*, *Balanites aegyptiaca*, et *Combretum glutinosum* ont été recensées dans ce relevé.

### **3-2-3- Les relevés dans la communauté rurale de Panal dans le Bassin arachidier.**



**Figure 107. Relevés à Panal dans le Bassin arachidier (Fall, 2012)**

Deux relevés ont été effectués à Panal (Photos 9, 10, 11 et 12, fig. 107). Le premier dans un champ de mil (*Pennisetum glaucum*) déjà récolté et livré aux animaux du village et l'autre sur une zone de pâturage qu'exploitent les éleveurs locaux mais aussi les pasteurs transhumants en provenance du Ferlo.

Le 1<sup>er</sup> relevé, présenté ici, est situé à 4 km du village sur un site où le contexte pédologique reste dominé par des sols sableux riches. La strate ligneuse est relativement importante et les taux de recouvrement tournent autour de 35 à 40 % avec une présence remarquable d'*Acacia albida* dans les champs. Contrairement à Loumbeul où la couverture ligneuse était très faible, voire nulle dans certains endroits, ici, elle est assez diversifiée et se traduit par une savane arborée avec des espèces comme *Acacia albida*, *Balanites aegyptiaca*, *Tamarindus indica*, *Guiera senegalensis*, *Lannea acida*, *Acacia ataxacantha*, *Acacia seyal*, *Stercula setigera*.

Dans le champ déjà récolté, qui sert alors comme pâturage, on trouve encore quelques *Pennisetum glaucum*. Le tapis herbacé est représenté par des adventices comme *Mitracarpus scaber*, *Citrullus lanatus*, *Corchorus tridens*, *Eragrostis tremula*, et *Ctenium elegans*.

Entre le nord et le sud de la bande d'exploration de la flore, ces trois relevés décrivent des situations locales qui mettent en évidence le rôle joué par le climat, mais on y voit aussi le poids des pratiques rurales dans la composition floristique et d'une façon plus générale dans la structuration de la végétation.

### **3.3. Arbre et herbe entre le Ferlo et le Bassin arachidier**

Entre le Ferlo et le Bassin arachidier, la couverture ligneuse (arbres et arbustes) constitue une ressource importante pour l'alimentation des hommes et du bétail. La plupart des ligneux que nous avons relevés donnent des fruits et des feuilles qui sont comestibles. Au sein du socioécosystème pastoral sahélien ou du socioécosystème agro-pastoral sahélo-soudanien, l'arbre a, d'un point de vue général, une fonction très importante. Toutes ses parties constituantes (des racines aux feuilles) peuvent servir. Sur l'ensemble des espèces ligneuses rencontrées lors des deux missions, les Mimosacées sont les plus représentées (Annexe 1), suivies des Combrétacées. Le reste est constitué par des Anacardiées (*Anacardium occidentale*, *Lannea acida*, *Sclerocarya birrea*), des Balanitacées (*Balanites aegyptiaca*), des Annonacées (*Annona senegalensis*) et des Bombacacées (*Bombax costatum*). Au niveau du Bassin arachidier, *Acacia albida* - le *Kadd* des Wolofs - est souvent planté dans les champs en raison de ses vertus humifères, de ses fruits très nourrissants pour le bétail surtout en saison sèche lorsque l'herbe devient rare (Lapeyronie & Le Floch, 1995 ; Le Houérou, 1980). Sa phénologie particulière lui confère une grande importance. En effet, il est l'un des rares ligneux de la zone sahélo-soudanienne qui assure sa feuillaison en saison sèche au moment où la majorité des ligneux a perdu leurs feuilles.

Dans le nord du Ferlo, la pression forte sur le couvert végétal, et sur la ressource ligneuse en particulier, se traduit par la colonisation rapide des terroirs par *Boscia senegalensis* et *Balanites aegyptiaca*. Ceux-ci donnent par ailleurs des fruits comestibles et peuvent aussi servir pour le fourrage. De fait, la plupart des individus recensés (Photo ci-dessous) portent des stigmates de broutage, d'émondage ou d'utilisation domestique. Plus au sud, en direction du bassin arachidier, la densité de ligneux augmente avec le gradient croissant de la pluviosité. Dans les zones agricoles, les populations de ligneux sont moins présentes.



**Figure 108. Des *Balanites aegyptiaca* émondés par des éleveurs à Matam (Fall, 2010)**

*Des traces d'émondage sur des Balanites aegyptiaca. Même si la pratique est interdite par la loi, certains pasteurs y ont recours lorsque le tapis herbacé se raréfie.*

La couverture herbacée est dominée par des espèces graminéennes (Poacées) dont notamment *Schoenfeldia gracilis*, *Cenchrus biflorus*, *Digitaria gayana*, *Aristida mutabilis* et légumineuses (Fabacées) comme *Zornia glochidiata* ou *Alysicarpus ovalifolius*. Ces herbacées annuelles constituent la base de la ressource fourragère renouvelable. Elles se développent dans les terroirs de parcours du bétail, dans les jachères où elles côtoient *Guiera senegalensis*, et des plantes adventices dans les champs sous culture (*Borreria radiata*, *Crotalaria retusa*).

Parmi ces espèces, *Zornia glochidiata* est l'espèce la plus recherchée par les agropasteurs qui la considèrent comme le meilleur pâturage à cause de son excellente valeur fourragère (Trochain, 1940 ; Naegele, 1977 ; Boudet, 1983, 1987). Ce tapis herbacé est très dépendant des apports de la pluviométrie (qui détermine chaque année sa hauteur et sa disponibilité ou son insuffisance) mais aussi des activités humaines. Cependant *Zornia glochidiata* est vulnérable aux feux dont la fréquence s'est accrue ces dernières années.

## **4. Analyse des données floristiques : approche par la statistique multivariée et par le calcul d'information**

### **4.1. Les techniques employées**

La quantité importante d'information à traiter nous a amené à recourir aux méthodes d'analyse multivariable, les mieux à même de dégager les principales oppositions et de hiérarchiser l'information. Leur utilisation en géographie ou en écologie est devenue classique et permet d'une part de traiter des données qualitatives ou quantitatives spatialisées (Sanders, 1989) et d'autre part de montrer les variations floristiques ainsi que la structure horizontale de la végétation aussi bien sur de longs transects botaniques (Alexandre & Génin, 2012) que sur un ensemble de relevés ponctuellement distribués (leur utilisation est ainsi fréquente en phytosociologie). On soulignera aussi l'intérêt de coupler ces méthodes qui restent très exploratoires et qui permettent de dégager de grandes tendances avec les calculs développés par Michel Godron (analyse de la fréquence des espèces dans les communautés, Godron, 1966, Godron & Daget, 1982) s'appuyant sur le calcul des probabilités d'apparition ou de disparition des espèces. Génin (1997) montre notamment que ce ne sont pas les mêmes espèces qui sont mises en exergue dans les deux cas.

#### **4.1.1. Les analyses multivariées**

L'analyse factorielle des correspondances (AFC) est une méthode factorielle de statistique descriptive multidimensionnelle (Benzecri, 1980 ; Sanders, 1990 Legendre & Legendre, 1998) qui permet d'analyser des tableaux de contingence croisant deux variables qualitatives. Son utilisation pour l'étude des données de nature floristique est très courante selon Alexandre & Génin (2012) qui citent les travaux à l'époque novateurs de Dagnelie (1960), Roux & Roux (1967) ou Romane (1972). Cette application statistique est intéressante dans la mesure où elle permet de mettre en exergue les éléments de ressemblance ou de divergence entre les différents profils floristiques d'une série de données botaniques. Son utilisation sur des séries de données botaniques spatialisées sur une échelle régionale est assez récente (Lecompte, 1986 ; Alexandre, 1994 ; Génin, 1995 ; Alexandre *et al.* 2002 ; Andrieu, 2002 et 2008). A cette échelle, l'AFC fait ressortir les « ruptures » ou les « transitions spatiales », permettant d'induire les facteurs qui participent et qui organisent la répartition de la végétation (Andrieu, 2008), ce qui justifie son intérêt. Le procédé se base sur l'analyse de tableaux croisés ou des tableaux de contingence regroupant des variables qualitatives. Complémentairement, l'analyse canonique des correspondances (ACC ou AFCVI) (Ter Braak, 1987) permet de relier ou d'expliquer les relations entre une distribution d'espèces et

des variables écologiques explicatives en rapport avec les résultats de l'AFC. Pour ce croisement de deux tableaux, nous avons privilégié la voie ouverte par Godron avec les analyses de la fréquence des espèces s'appuyant sur la théorie de l'information.

#### **4.1.2. Analyses de la fréquence des espèces dans les communautés : une approche probabiliste s'appuyant sur la théorie de l'information**

Manière de rendre plus rigoureuses les analyses développées en phyto-écologie, l'analyse de la fréquence des espèces dans les communautés végétales en s'appuyant sur la théorie de l'information a été développée par Godron au sein de l'ancien CEPE (Centre d'Etudes Phyto-Ecologiques de Montpellier (Godron, 1966, 1967, 1968, 1971 et 1982 ; Daget & Godron, 1982). Son utilisation ici permet de corroborer les résultats des analyses multivariées notamment dans la confrontation entre la distribution de la flore avec les variables de description des différents milieux.

Cette technique reprend la notion d'entropie en mesurant l'écart d'information entre une équirépartition des espèces dans l'ensemble des relevés et la distribution réellement observée sur le terrain. Comme le rappelle Alexandre (1996) « *l'entropie [relative] à une expérience mesure le degré d'indétermination de celle-ci. L'indétermination d'un évènement porte sur deux variables : le nombre total d'éventualités de cet évènement et la probabilité de chacune. L'entropie est d'autant plus forte que ces éventualités sont plus nombreuses et que leurs probabilités sont peu différentes* ». La théorie de l'information montre que la connaissance d'un évènement à faible probabilité est toujours riche en information. Pour une espèce donnée, la quantité d'information recueillie dans sa distribution est la différence entre l'entropie du système avant l'expérience (*a priori*) et celle après l'expérience (*a posteriori*). Le résultat s'exprime en shannons<sup>59</sup> (en abrégé : sha). On peut ainsi obtenir une *cascade d'informations* :

« *Puisque l'information s'acquiert en levant une indétermination, il est logique de regarder si elle peut être acquise progressivement en levant successivement des indéterminations emboîtées. En particulier, il est intéressant de voir la part d'indétermination qui est levée quand on observe le début et la fin de l'espèce, puis son nombre de groupes, puis les types de groupes et leur position, ce qui permet, finalement, de connaître la position de toutes les présences.* » (Andrieu & Godron, 2008)

Dans ce travail, on explorera surtout :

---

<sup>59</sup> Du nom du principal concepteur de la théorie de l'information appliquée à divers domaines, Claude Elwood Shannon (1916 – 2001)

- la distribution des espèces et les informations mutuelles entre espèces ou les groupes de fortes liaisons,
- les analyses des liaisons entre les espèces et les descripteurs écologiques, etc.

## 5. Étude de la distribution régionale de la flore à partir de l'analyse factorielle des correspondances

### 5.1. Indicateurs généraux de l'analyse

	F1	F2	F3	F4	F5
Valeur propre	0,79	0,73	0,68	0,6	0,56
Pourcentage d'inertie (%)	7,61	6,96	6,49	5,71	5,35
% cumulé	7,61	14,57	21,07	26,77	32,12

**Tableau 20 : AFC flore complète Ferlo - Valeurs propres et pourcentages d'inertie pour les premiers facteurs**

#### 5.1.1. Les valeurs propres

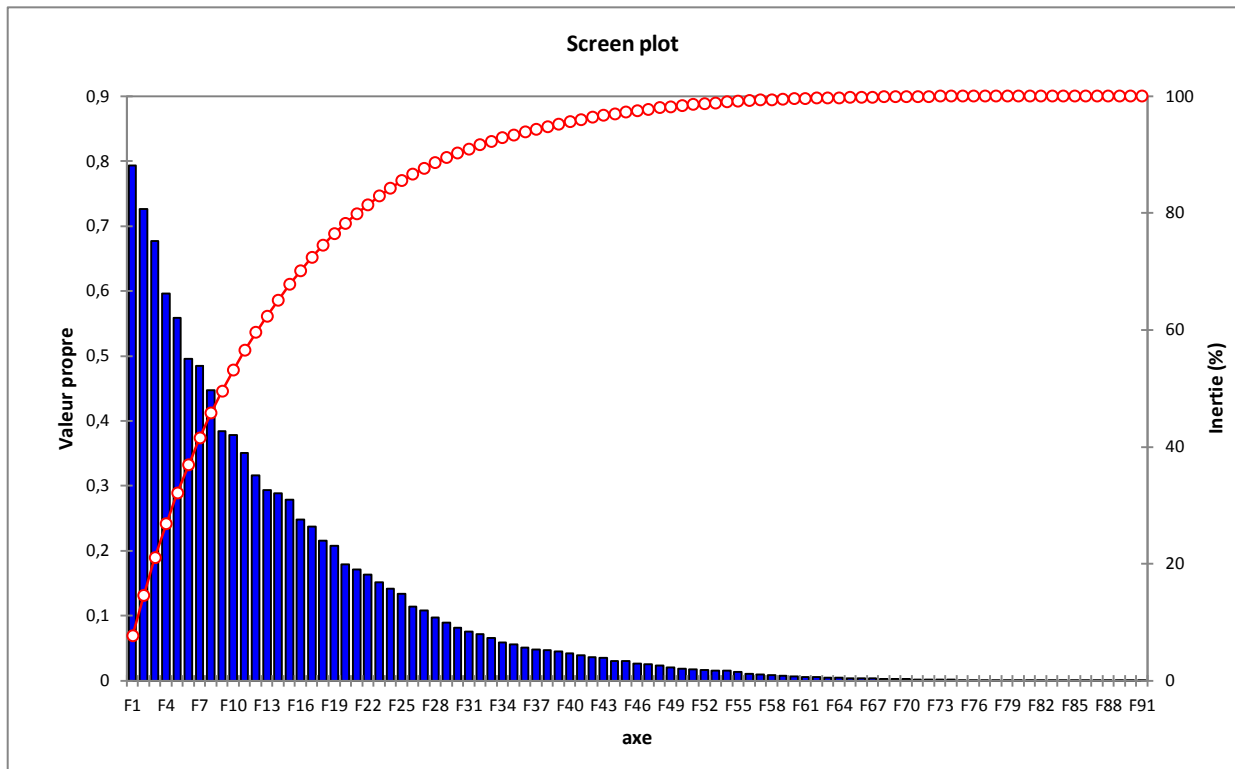
Les valeurs propres, inférieures à 1, ce qui témoigne d'une faible distinction entre les points-ligne (les relevés) d'une part et entre les points-colonne d'autre part. Au niveau du premier facteur principal, nous avons une valeur de 0,79, peu éloignée des valeurs obtenues pour les facteurs suivants (F2 et F3), de valeur propre respectivement à 0,73 et 0,68. Si l'on envisage l'analyse dans l'espace, cela montre que le nuage de points sera faiblement différencié y compris par les premiers axes factoriels. Ce résultat est assez habituel pour des tableaux floristiques, dans lesquels l'information est extrêmement dispersée.

#### 5.1.2. Les pourcentages d'inertie :

Le résultat obtenu pour les valeurs propres va de pair avec les pourcentages d'inertie dont les valeurs sont très proches sur les trois premiers facteurs principaux : 7,61 pour F1 ; 6,96 pour F2 et 6,49 pour F3. Ces trois premiers facteurs expriment un peu plus de 20 % de la variance totale du nuage de points (Fig. ci-dessous), ce qui peut apparaître faible mais n'est pas à négliger. Ainsi nous n'allons considérer que les cinq premiers facteurs qui résument l'essentiel de l'information issue des analyses. Comme cela a déjà été souligné à propos des valeurs propres, les pourcentages d'inertie plutôt faibles attachés aux premiers facteurs principaux sont dus principalement à la dispersion de l'information dans les tableaux floristiques, même si ici la présence ou l'absence des espèces sont pondérées par leur taux de

recouvrement global sur le relevé. Andrieu (2008) a montré que ces pourcentages d'inertie restent faibles même lorsque l'on concentre l'information sur les espèces dont la fréquence d'apparition est supérieure à 3. Nous avons donc préféré travailler avec l'ensemble de la flore rencontrée. La diminution régulière des valeurs propres et des pourcentages d'inertie semble en tout cas indiquer qu'aucun facteur régional fort ne s'impose vraiment aux autres

**Figure 109. AFC Flore complète Ferlo - Histogramme des valeurs propres et pourcentages d'inertie cumulés.**



## 5.2. Analyse des premiers plans factoriels

### 5.2.1. Premier plan factoriel

La projection de l'ensemble des relevés sur le premier plan factoriel est représentée sur la Fig. 110, celle des espèces sur la Fig. 111. En dépit de la faiblesse des valeurs propres et des pourcentages d'inertie, le nuage de points apparaît bien structuré.

Si l'on considère d'abord la représentation des individus (les relevés) afin de discerner une organisation géographique (Fig. 110), on s'aperçoit que l'opposition est nette sur l'axe 1 entre les relevés situés dans le Ferlo (à la gauche de l'axe et autour de l'origine) et ceux qui marquent l'entrée dans le bassin arachidier lesquels s'égrènent de façon irrégulière à la droite

de l'axe factoriel. La représentation des coordonnées sur le premier axe des relevés ordonnés du nord au sud (Fig. 112) montre que, du côté des coordonnées positives, apparaissent les relevés effectués dans les villages de Boulel (**BL3**) Sorokogne (**SR, SR1**), Keur Aliou Cissé (**KC, KC1**), Kaffrine (**KFN, KFN1, KFN2**), Kilomètre 6 (**K6, K61, K62**), Torodo (**TO, TO1**), Panal (**PN**) Dianvelli Alassane (**DV1**), Diarhao (**DH**), Diouni Guel (**DG**) et Boul Peul (**BP BP1 BP2**). Les relevés les plus septentrionaux dans le Ferlo sont tous, à l'inverse, du côté des valeurs négatives. La différenciation régionale est donc nette entre les relevés du Ferlo et ceux du Bassin arachidier. Le premier axe peut être interprété comme l'axe représentant la réponse de la flore au gradient pluviométrique décroissant du sud au nord, avec l'élimination des espèces les plus exigeantes du point de vue hydrique (Fig. 111). La projection des espèces sur le premier plan factoriel (Fig. 111) confirme cette distribution de la flore suivant le gradient de la pluviosité. En effet, on remarque aussi une opposition assez nette sur le premier plan factoriel entre les espèces dominantes dans le Ferlo (pour l'essentiel des herbacées annuelles) et celles liées à une plus forte pluviométrie et présentes dans le bassin arachidier (les ligneux *Xeroderris stuhlmannii*, *Bombax costatum*, *Anacardium occidentale*, *Borassus flabellifer*, *Dichrostachys cinerea*, *Cordyla pinnata*, *Sclerocarya birrea*, *Sesbania pachycarpa* et les herbacées *Diheteropogon hagerupii*, *Schizachyrium exile*).

Le second axe oppose entre eux des relevés effectués dans le sud de la bande d'étude: les relevés faits à Sorokogne (**SR**), à Keur Sandao (**KN**), à Keur Aliou Cissé (**KC**) et à Kaffrine (**KFN**) sont du côté des coordonnées positives, alors que ceux effectués à Torodo (**TO**), à Boulel (**BL**), à Panal (**PN**), à Kilomètre six (**k6**) et à Boul Peul (**BP**) sont du côté des coordonnées négatives. Si l'on s'en réfère à la représentation des espèces par rapport au 2<sup>e</sup> axe factoriel, cela correspond à l'opposition entre la flore rencontrée dans les jachères et celle qui se rencontre dans les champs cultivés.

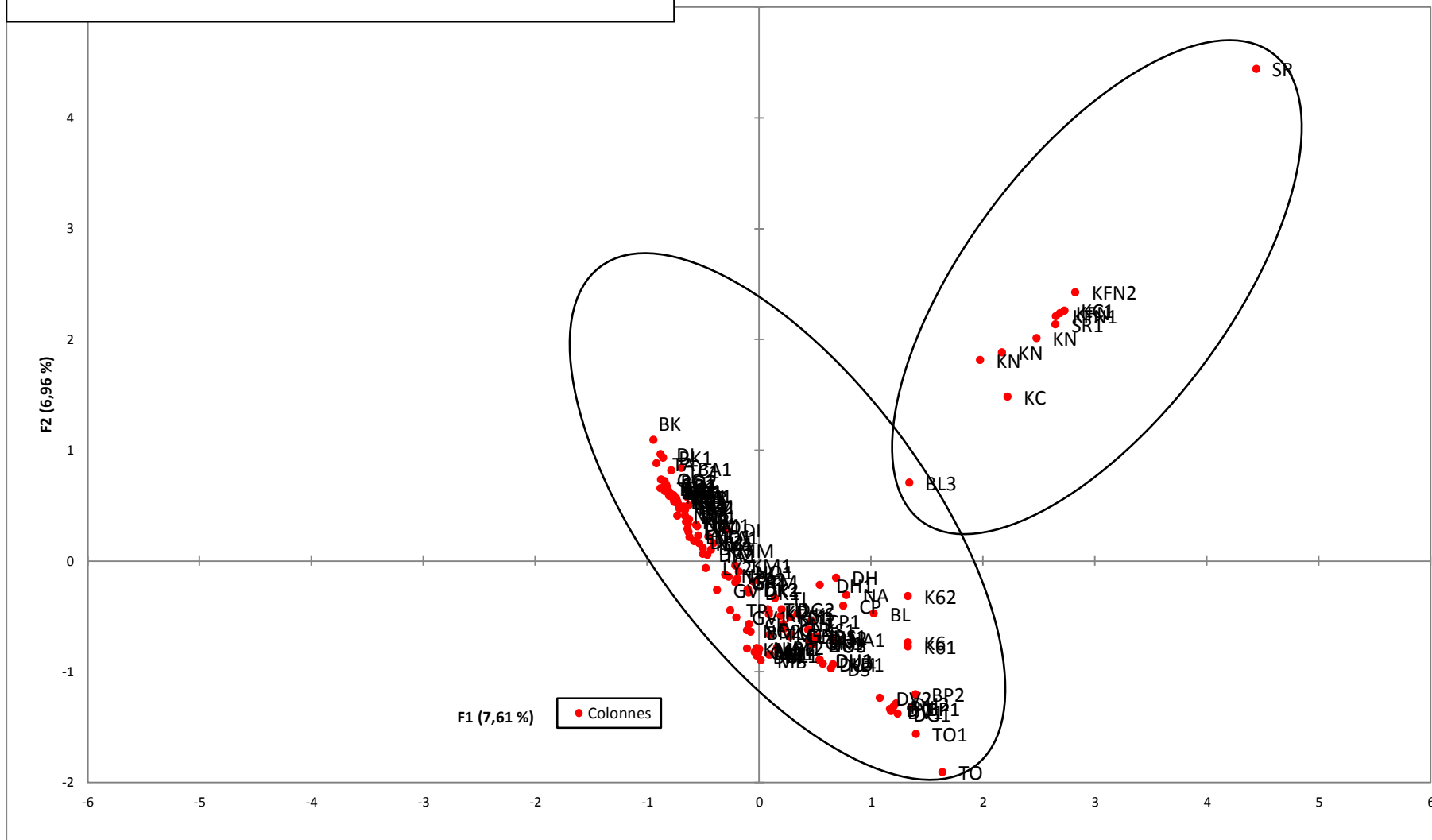
### 5.2.2. Analyse du deuxième plan factoriel

La projection sur le second plan factoriel des relevés (Fig. 113) et des espèces (Fig. 114) apporte quelques éléments complémentaires sur l'axe 3, qui montrent une opposition qui n'est pas nette entre les relevés du Ferlo nord (centré autour de l'origine et dans les valeurs négatives de l'axe 3) et ceux au nord du Bassin arachidier en passant par l'espace de transition (dans les valeurs positives de l'axe 3). Cet axe 3 peut être interprété comme le poids des activités anthropique en ce qu'il fait ressortir les différents anthroposystèmes (pastoral et agraire).

La représentation des espèces dans le second plan factoriel (Fig. 114) fait ressortir cette opposition entre le Ferlo, espace de transhumance où les espèces annuelles, ressource sur laquelle s'appuie en partie l'activité de la transhumance, sont bien discriminées dans les valeurs négatives de l'axe 3 ; et le nord du Bassin arachidier où le poids des activités agricoles est bien représenté par les espèces (situées sur les valeurs positives de l'axe 3) cultivées telles que l'arachide (**ARACH**), le mil (**PEGL**), le sorgho (**SOBI**), le Niébé (**VISI**), l'hibiscus (**HISA**) et des adventices accompagnatrices *Borreria radiata* (**BORA**), *Crotalaria retusa* (**CRRE**) et *Momordica balsamina* (**MOBA**).

**Figure 110. Représentation de l'ensemble des relevés sur le premier plan factoriel**

Graphique symétrique  
(axes F1 et F2 : 14,57 %)



**Figure 111. Représentation de l'ensemble des espèces sur le premier plan factoriel**

**Graphique symétrique**  
(axes F1 et F2 : 14,57 %)

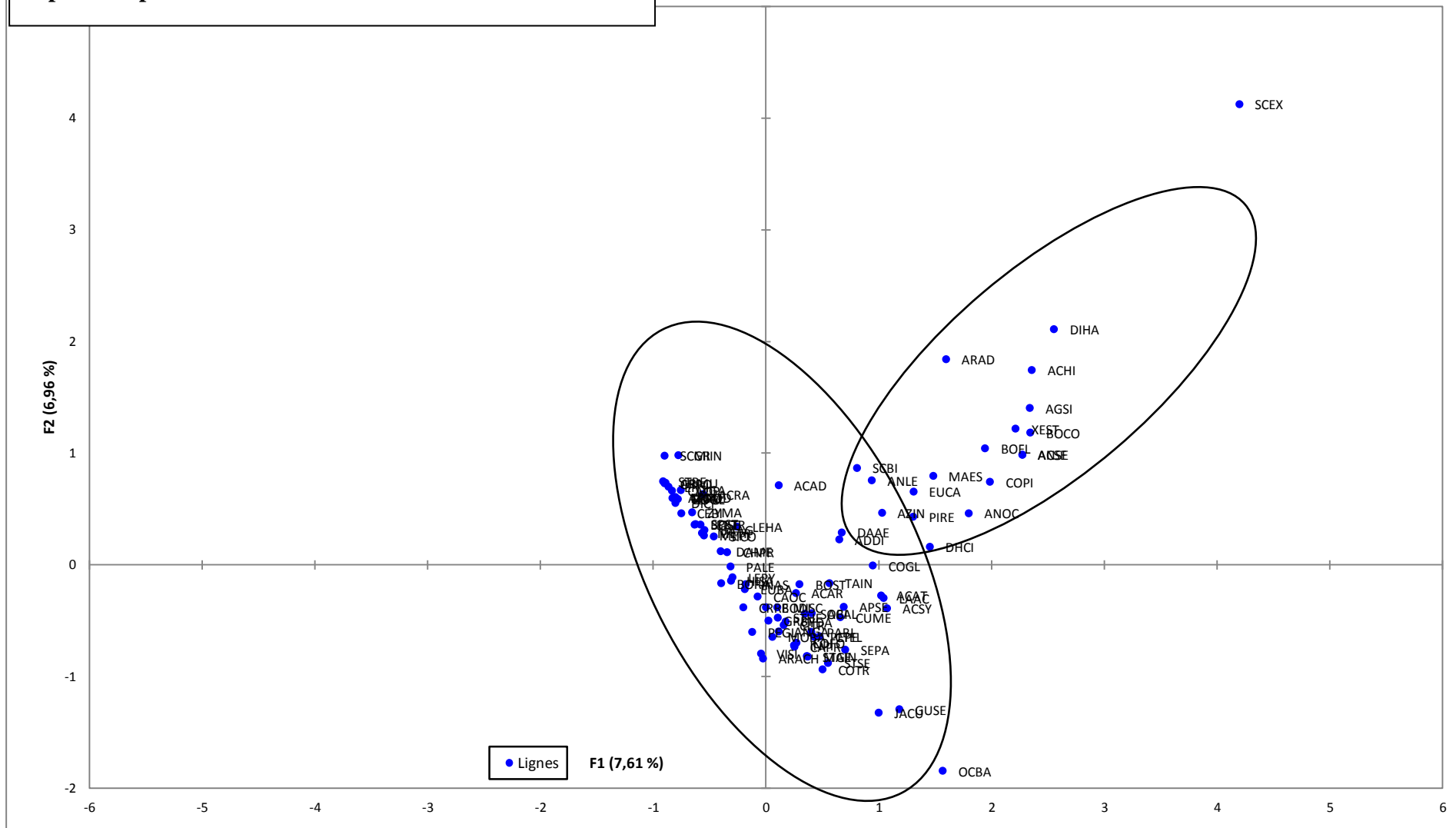


Figure 112. Coordonnées de l'axe 1 le long du transect

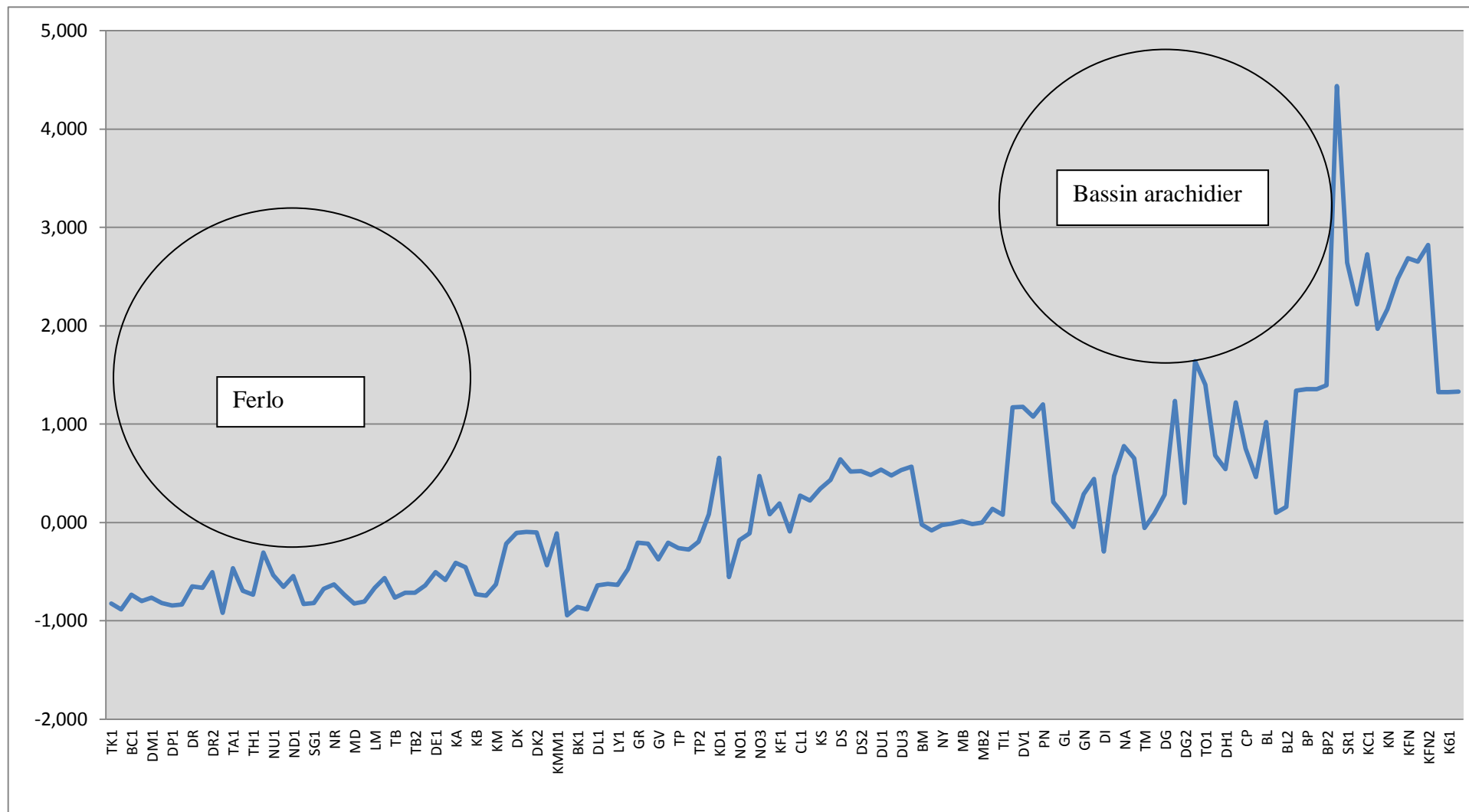


Figure 113. Représentation de l'ensemble des relevés sur le second plan factoriel

Graphique symétrique des colonnes  
(axes F1 et F3 : 14,10 %)

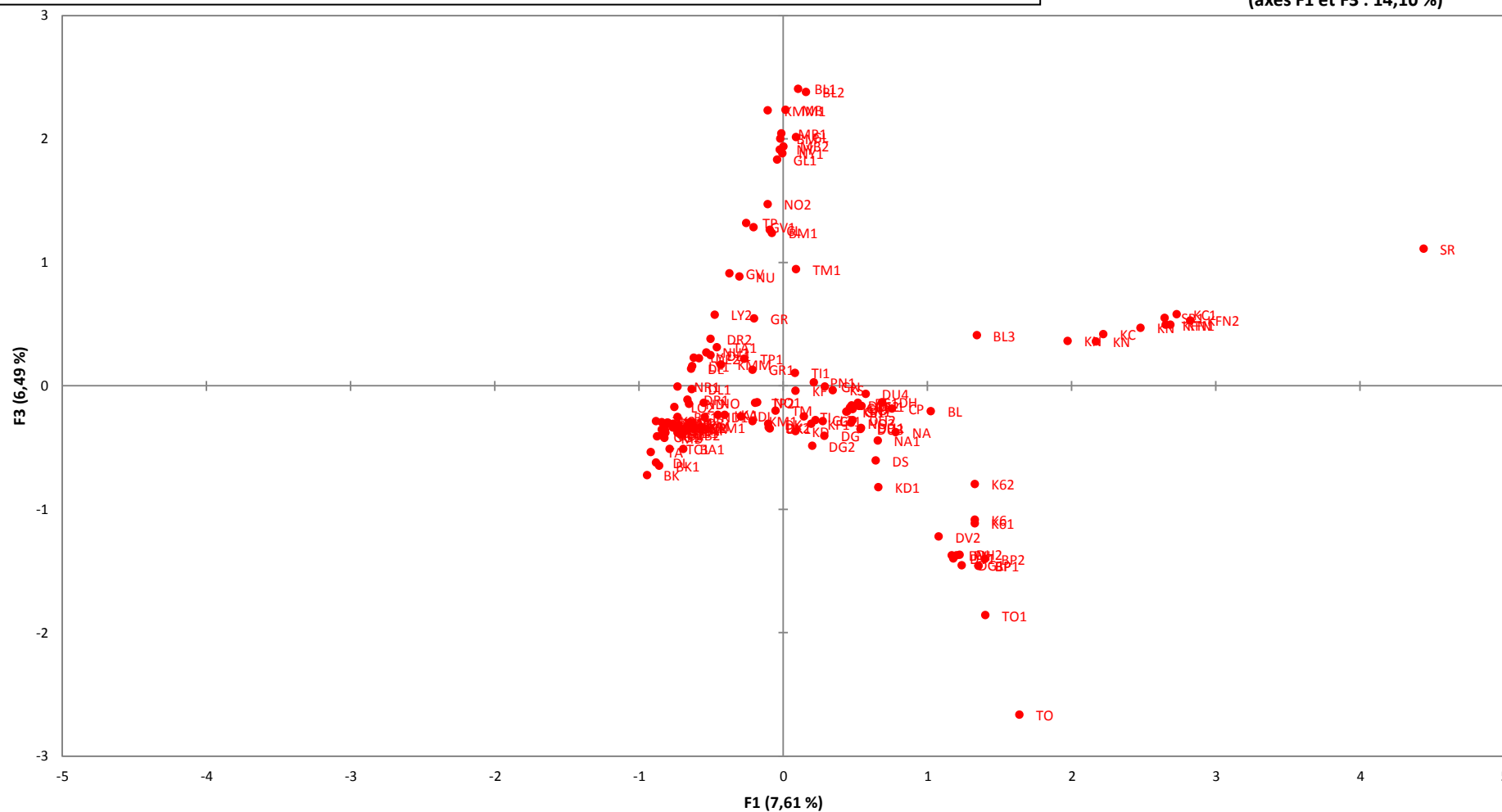
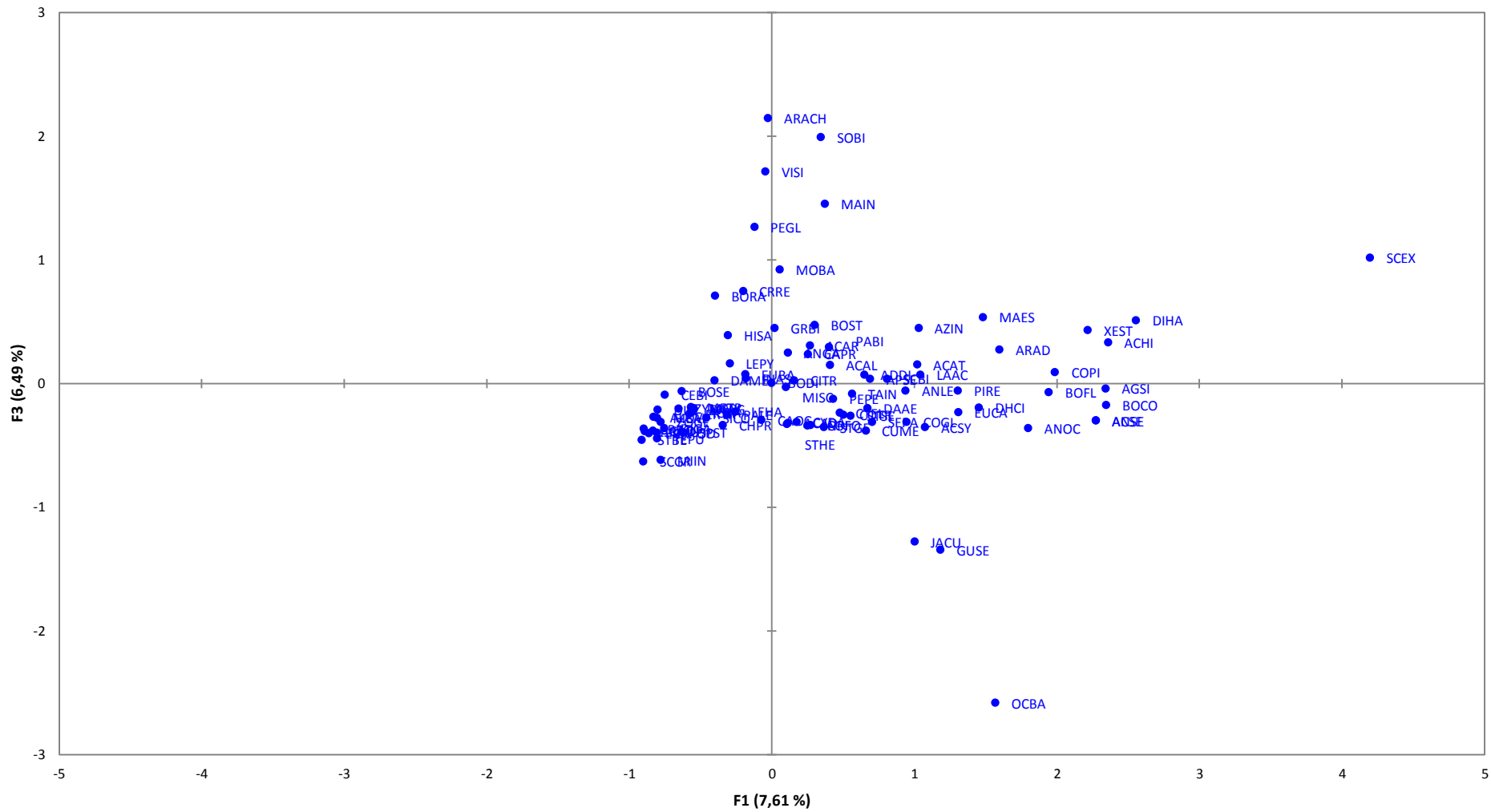


Figure 114. Représentation de l'ensemble des espèces sur le second plan factoriel

Graphique symétrique des lignes  
(axes F1 et F3 : 14,10 %)



Du côté de la contribution des espèces sur les premiers axes factoriels, il ressort que les espèces herbacées annuelles ont le poids le plus important dans l'analyse, ce qui signifie qu'elles sont les mieux représentées, notamment celles qui ont de forts taux de recouvrement. Une Fabacée, *Zornia glochidiata* (**ZOGL**) est le symbole de cette prédominance des herbacées annuelles avec une présence remarquée dans de nombreux relevés du Ferlo. Elle constitue l'espèce la plus recherchée par les transhumants, bon pâturage complété par une Rubiacée *Mitracarpus scaber* (**MISC**) et une Poacée avec *Eragrostis tremula* (**ERTR**). A l'opposé sur le premier axe factoriel, *Arachis hypogaea* (**ARACH**) – l'arachide - dans les relevés de la vallée du Saloum et du Bassin arachidier tel qu'il est bien ressorti dans les différents plans factoriels. Ce poids fort s'explique, puisqu'il s'agit d'une des principales plantes cultivées dans cette partie du Sénégal. Dans les champs déjà récoltés ou au point de l'être, des Rubiacées comme *Borreria radiata* (**BORA**) et *Mitracarpus scaber* (**MISC**), se développent avec une certaine rapidité. Et dans les jachères (Photo ci-dessous), une Combrétacée *Guiera senegalensis* (**GUSE**) est omniprésente, le plus souvent accompagnée par un tapis végétal dominé par une Césalpiniacée *Cassia occidentalis* (**CAOC**).



**Figure 115. Photo : A Colobane, une jeune jachère colonisée par *Cassia occidentalis* et *Guiera senegalensis* Source : Fall, 2012**

Les espèces ligneuses sont en faible nombre sur la partie sahélienne de la bande d'étude et contribuent beaucoup moins à l'analyse, entre Tèssékéré et Colobane où les Zygophyllacées comme *Balanites aegyptiaca* (**BAAE**) et les mimosacées avec *Acacia*

*raddiana* (**ACRA**) sont les espèces ligneuses les plus représentées. Cette prépondérance est due à leur aptitude à se développer dans ce type de milieu très particulier et à supporter les conditions physico-climatiques difficiles. Sur les bords des points d'eau (Vallée fossile, bassin de rétention, mares et cuvettes inondables), les Rubiacées *Mitragyna inermis* (**MIIN**), les Combretacées *Anogeissus leiocarpus* (**ANLE**) et les Mimosacées *Acacia adansonii* (**ACAD**) amènent un peu de diversité dans la composition de la couverture ligneuse.

Mettre en évidence la distribution de la composition floristique en lien avec la structure des paysages (voir chapitre 11) en rapport avec la variation zonale de la pluviométrie a aussi été l'un des objectifs qui ont guidé la réalisation des relevés. Le gradient pluviométrique croissant du Nord au Sud, par rapport aux résultats du premier axe, se traduit par un continuum floristique. Sur les deuxième et troisième axes factoriels, les pratiques agricoles et pastorales contribuent aussi à la discrimination des espèces et au façonnement des paysages.

À ce niveau de l'analyse, nous pouvons définir grossièrement deux grandes unités « floristico-paysagères » qui, telles qu'elles ressortent sur l'AFC, correspondent à des cortèges floristiques qui s'interpénètrent. Il s'agit des steppes arbustives à arborées du Ferlo où dominant les activités de transhumance du bétail et des savanes arbustives à arborées du Bassin arachidier, zone de cultures. Entre les deux ensembles, la transition floristique n'est pas brusque mais s'opère de façon douce et graduelle.

### **5.3. Première partie de la bande d'étude entre Téssékéré et Colobane : La disparition de la savane et la prédominance des steppes arbustives et arborées**

Les résultats de l'axe 1 sur le premier plan factoriel montrent une opposition entre les relevés effectués dans le cœur du Bassin Arachidier (notamment à Boulel (**BL**) à Boul Peul (**BP**) à Sorokogne (**SR**) à Keur Aliou Cissé (**KC**) à Keur Sandao (**KN**) et à Kaffrine (**KFN**) et ceux réalisés entre Téssékéré (**TK**) et Colobane (**CL**) qui constituent près de 70 % de l'ensemble. Ces relevés sur la partie nord de la bande d'étude, sont caractérisés par leur faible contribution sur le premier axe factoriel (Fig. 112). C'est une zone de prédilection des activités de transhumance du bétail où dominant les formations herbacées annuelles qui constituent l'essentiel des ressources de pâturages. En effet, selon Gerber *et al* (2012) « *le pastoralisme apparaît comme la principale activité de valorisation durable d'une végétation naturelle fragile et irrégulière* ». Il n'est pas étonnant de voir qu'une seule espèce ressort sur cette partie comme contribuant fortement à cette partie de l'axe 1. Il s'agit d'une Fabacée

*Zornia glochidiata* (ZOGL) (fig. 116), caractéristique des sols à horizon superficiel sableux comme les sols sableux<sup>60</sup> des cordons dunaires. Elle se développe principalement entre la zone sahélienne et soudanienne, là où la pluviométrie annuelle est comprise entre 400 et 900 mm. Elle est fréquente dans les jachères et dans les zones de pâturage. C'est une espèce particulièrement recherchée par les éleveurs et les pasteurs pour ses qualités nutritives pour le bétail. Trochain (1940) le décrivait comme « [l'une] des meilleures plantes fourragères des pays tropicaux, devenant d'ailleurs vivace à la suite du broutage, et qui mériterait d'être cultivée »



*Zornia glochidiata* ou Herbe mouton (nom français) est une plante herbacée annuelle à tiges érigées atteignant 45 à 60 cm de long à feuilles alternes, bifoliolées, « à fleurs bisexuées, papilionacées et à fruits constitués d'une gousse articulée atteignant 2 cm de long, couverte de soies étalées, contenant 2 à 5 graines. Commune dans les zones sablonneuses où la pluviométrie annuelle atteint au moins 300 mm pendant la saison des pluies. *Zornia glochidiata* constitue un élément important des savanes herbeuses sahéliennes et soudano-sahéliennes où elle est considérée comme une bonne plante fourragère ». Autour des points d'eau au nord du Sénégal, elle peut former un tapis de végétation relativement dense pendant la saison des pluies. (Diouf, 2004, in Les légumineuses, Prota, [http://database.prota.org/PROTAhtml/Zornia%20glochidiata\\_Fr.htm](http://database.prota.org/PROTAhtml/Zornia%20glochidiata_Fr.htm)

Figure 116. Photo: *Zornia glochidiata* (Fall, 2010)

<sup>60</sup> <http://malherbologie.cirad.fr/Adventrop/especes/z/zorgl/zorgl.html>



**Dahra :** Pâturage à *Zornia glochidiata*. Le tapis herbacé est déjà complètement brouté par le bétail à cette période de l'année (novembre 2012) montrant la pression qui s'exerce sur la ressource fourragère et sur un sol qui ne peut se reconstituer. La diminution de la productivité végétale des différents parcours est un indice de dégradation.



**Doli :** Pâturage à *Schoenfeldia gracilis* sur une topographie dunaire où la densité des ligneux (*Acacia raddiana*, *Balanites aegyptiaca*, ...) est assez importante. La quantité de fourrage disponible en novembre reste importante.



**Tessékéré :** Pâturage à *Zornia glochidiata* et *Schoenfeldia gracilis*). Le tapis herbacé est encore dense, quoique brouté par le bétail. La couverture ligneuse est très faible.



**Sagatta Djoloff :** Pâturage à *Schoenfeldia gracilis*). Peu de ligneux (*Acacia raddiana* et *Balanites aegyptiaca*, principalement), mais tapis herbacé assez dense.

**Figure 117. Physionomie de quelques relevés du Ferlo (Photos : Fall, 2010)**

## La place de *Zornia glochidiata* dans les anthroposystèmes pastoraux – Extraits d'entretiens

« Nous ne faisons pas du pâturage aérien, on n'utilise que des herbacées. On a une espèce qui s'appelle Ndengue (*Zornia glochidiata*) qui est très appréciée [par le bétail] et nourrissante. On retrouve cette espèce uniquement vers le nord. » Entretien avec un éleveur transhumant, Ali Sow, Dahra, 23/10/2010

« Le Khaakhame (*Cenchrus biflorus*), le Ndengue (*Zornia glochidiata*), c'est un mélange d'herbes mais s'il y avait à faire un choix ce serait le Ndengue. Quand le Ndengue finit, il y a d'autres types d'herbes [...] Les animaux n'ont pas le choix. Ça donne plus de lait (quand les animaux mangent du Ndengue)». Entretien avec un pasteur, Samba N. Ka, Thiargny, 27/10/2010

*Zornia glochidiata* est souvent accompagnée par des Poacées (*Ctenium elegans* (CTEL), *Digitaria gayana* (DIGA), *Cenchrus biflorus* (CEBI), *Alysicarpus ovalifolius* (ALOV), *Eragrostis tremula*) et des Rubiacées (*Mitracarpus scaber* (MISC) et *Borreria radiata* (BORA)). La distribution de ses espèces est conditionnée par l'abondance des quantités de pluies précipitées et de la nature du substrat pédologique. Sur les versants dunaires aux sols sableux pauvres (ou en voie d'appauvrissement), dans les systèmes d'exploitation extensifs marqués par la dégradation, les Poacées *Cenchrus biflorus* (CEBI) (le « cram-cram ») et *Tragus berteronianus* (STBE) se développent jusqu'à occuper de vastes superficies. On les retrouve aussi dans des champs en voie d'abandon car devenus improductifs après des décennies de culture (souvent monoculture du mil).

Dans les relevés faits dans le Ferlo central où les villages wolofs sont devenus plus nombreux, les espèces cultivées ont un poids relativement important. L'agriculture y reste une agriculture vivrière d'autosubsistance. Les espèces cultivées sont principalement le mil (*Pennisetum glaucum*) ou le niébé (*Vigna sinensis*). L'arachide (*Arachis hypogaea*) est faiblement représentée car les exigences en eau de la plante n'étant plus couvertes et les sols étant trop pauvres pour elle. La pauvreté de ces populations rurales ne facilite pas l'accès aux techniques qui permettraient de cultiver d'autres céréales comme le riz pourtant base alimentaire de la majorité des populations.

Les espèces ligneuses présentes dans le Ferlo sont de bonnes caractéristiques du climat sahélien. Globalement, le couvert ligneux est faible et les arbres restent peu nombreux, souvent épineux et au feuillage caduque. Deux espèces sont particulièrement bien

représentées dans le premier axe factoriel : *Balanites aegyptiaca* et *Acacia raddiana*. Disséminées, elles traduisent la faiblesse de ce couvert arboré, supplanté – est-ce un effet des sécheresses répétées ?- par une strate de buissons et d'arbustes où dominent les bosquets de *Boscia senegalensis* (**BOSE**), le *Ndiandame* des wolofs, une Capparacée très résistante à la sécheresse et bien adaptée à ce contexte climatique particulier.



**Figure 118. Wouro Samba, (communauté rurale de Téssékéré) : buissons jeunes de *Boscia senegalensis***

La Capparacée *Boscia senegalensis* montre sa vigueur d'implantation dans un lieu où les ligneux hauts disparaissent, en raison des usages ruraux qui les atteignent. Ici, une forte dégradation atteint *Acacia raddiana* (coupes, dépérissements etc.). **(Photo FALL, 2010)**

*Boscia senegalensis*, surtout dans la partie septentrionale de la bande d'étude (de Téssékéré à Dahra), marque de son empreinte le paysage, alors que plus au sud, on entre dans l'aire de prédilection d'*Acacia raddiana*, comme l'avait décrit Trochain (1940) qui avait, à partir de relevés faits dans la zone (à une dizaine de km au sud de Dahra) dressé le tableau d'une savane arborée à dominance de *Balanites aegyptiaca* et de *Acacia raddiana*. A partir de nos observations faites *in situ* et des principaux résultats de l'AFC, nous pouvons déterminer une évolution négative de cette savane, qui évolue aujourd'hui vers des formations steppiques plus éparées et moins diversifiées du point de vue biologique.



**Figure 119. Paysage de steppe au sud de Dahra, 03/11/2012**

Tapis herbacé dominé par *Zornia glochidiata* et très abrouiti. Bosquets de *Boscia senegalensis* en formation. Les autres ligneux sont très peu nombreux : quelques *Balanites aegyptiaca*.

Photo : FALL, 2012

Comme dans le nord du Ferlo, la steppe arbustive est de plus en plus colonisée par les bosquets de *Boscia senegalensis* qui disputent l'espace aux derniers représentants de ce qui était naguère une savane arborée. Le surpâturage, les pratiques agricoles extensives et la récurrence des années sèches ont par endroit eu des conséquences négatives sur ce couvert végétal. La disparition progressive de *Balanites aegyptiaca* et d'*Acacia raddiana* constitue ainsi une indicatrice de cette dégradation des ressources naturelles.

#### **5.4. Le domaine bioclimatique soudano-sahélien : alternance entre savanes arborées et espaces agricoles.**

Dans la partie sud de la zone d'étude, les relevés effectués dans le bassin arachidier (Boulel (**BL3, BL**) Sorokogne (**SR, SR1**) Keur Aliou Cissé (**KC, KC1**), Keur Sandao (**KN, KN1**), Kaffrine (**KFN, KFN1, KFN2**), Kilomètre six (**K6, K61, K62**), Torodo (**TO, TO1**), Panal (**PN**), Dianvelli (**DV1**), Diarhao (**DH**), Diouni Guel (**DG**) Boul Peul (**BP BP1 BP2**), sont caractérisés par leur poids relativement important sur les coordonnées du premier axe, ce qui n'est pas très étonnant puisque les espèces ont été pondérées par leur taux de recouvrement et que celui-ci est globalement beaucoup plus fort. La rupture avec la partie nord sahélienne et pastorale apparaît avec le basculement vers un anthroposystème wolof très agraire où l'essentiel des activités repose sur l'exploitation agricole des sols. C'est le domaine de prédilection de la culture de l'arachide. Cette activité étant possible grâce à une pluviométrie annuelle plus abondante par rapport au Ferlo. L'espèce la plus représentée est, sans surprise, l'arachide (*Arachis hypogaea*), base de l'économie locale. La majeure partie des relevés de ce secteur a été effectuée sur des champs déjà récoltés, transformés à cette époque

en zones de pâture pour le bétail qui consomme les fanes d'arachides ou autres résidus des cultures.



**Figure 120. Dianvelli Alassane dans le Bassin arachidier. Champ d'arachides après récolte. Arachide mise en meule (Fall, 2012).**

Comme évoqué plus haut, c'est à la faveur de la colonisation que l'arachide a fait son apparition dans le milieu tropical africain et s'y est bien acclimaté. Son importance socioéconomique se lit à travers les diverses utilisations que les sociétés humaines en font. La récolte effectuée, les fanes d'arachides sont ainsi utilisées comme ressource fourragère. La graine d'arachide est l'un des produits agricoles les plus consommés au Sénégal. Il entre dans la préparation de plusieurs plats. En effet, elle est surtout cultivée pour ses graines mais aujourd'hui la morosité du marché international de l'arachide a eu un impact négatif sur la commercialisation des récoltes qui ne cessent de baisser. En revanche, ses résidus (feuilles et plantes et résidus après trituration) constituent d'excellents pâturages et compléments alimentaires pour le bétail. Sidibé (2005) a montré que même la pratique de l'élevage en milieu urbain, très répandu au Sénégal par ailleurs, repose exclusivement sur la disponibilité de cette ressource fourragère. Le résidu des triturations est aussi utilisé par les pasteurs pour engraisser le bétail ou comme complément alimentaire pendant la période de soudure.

## La place de l'arachide (*Arachis hypogaea*) dans le système pastoral sahélo-soudanien–

### Extraits d'entretiens

« Le fourrage qu'on a ici est pauvre en nutriments ; en période de saison sèche les éleveurs vont acheter des compléments alimentaires pour que les bovins ne maigrissent pas. Ce sont les tourteaux d'arachides. [...] Il y en a qui achètent les tourteaux, ici, il y en a qui vont ailleurs [...] mais cette année a été une année excédentaire en terme de pluie. On n'aura pas besoin d'aller ailleurs car la quantité d'arachide qui est cultivée ici nous suffit à cause de la bonne saison. » Entretien avec Kelly Sadio Ka, Président de la communauté rurale de Boulal, le 25/10/2010

Dans le bassin arachidier où les systèmes d'exploitation agricoles associent l'agriculture et l'élevage, ce fourrage fondé sur l'arachide sert avant tout à nourrir les bêtes d'attelage. En effet, contrairement au Ferlo, les paysans du bassin arachidier ont une longue tradition d'utilisation des bovins et des chevaux dans les champs et dans le transport des produits agricoles ou autres (bois, fourrage, etc.).

D'autres plantes cultivées apparaissent dans les relevés, comme le Niébé (*Vigna sinensis*), le Sorgho (*Sorghum bicolor* **SOBI**) et le Mil (*Pennisetum glaucum* **PEGL**). Ce sont des espèces qui dominent surtout dans les villages où l'agriculture vivrière est très importante comme à Ndiayenne (**NY**), Tip (**TP**), Tiom (**TM**) (dans le bassin arachidier). Elles constituent la base alimentaire des paysans de cette partie du Sénégal. Leur association avec l'arachide dans les champs, est une forme de sécurisation alimentaire. L'essentiel de la production est destinée à la consommation des familles alors que l'arachide, commercialisé après les récoltes, permet aux paysans d'avoir des revenus monétaires qui peuvent servir à augmenter la taille des troupeaux, à moderniser l'outil de production, à diversifier les ressources alimentaires (achat de riz par exemple) entre autres. Par ailleurs, elles fournissent également un pâturage apprécié par le bétail. Les villageois, après la récolte des gousses de niébé, ramassent les fanes qu'ils mettent au séchage pour servir de ressource fourragère consommée par les bêtes pendant la saison sèche (Photo ci-dessous). Dans certains villages, comme Dianvelli Alassane (**DV**) et Darou (**DU**), le manioc (*Manihot esculenta* **MAES**), l'un des tubercules les plus consommés en Afrique de l'ouest, est aussi associé aux cultures vivrières, quoique sur des portions de terres encore modestes.



**Figure 121. Photos : Communauté rurale de Ogo (Matam), les résidus de Niébé sont ramassés, fagotés et mis en séchage sur les toits des maisons. Pendant la saison sèche, lorsque l'herbe aura complètement disparu, les animaux pourront le consommer (Fall , 2010).**

Associées à ces espèces cultivées sur les relevés, les espèces herbacées annuelles les mieux représentées dans cette partie sud de la zone d'étude sont des Poacées *Ctenium elegans* (**CTEL**), *Diheteropogon hagerupii* (**DIHA**), *Schoenfeldia gracilis* (**SCGR**) et des Rubiacées *Borreria raddiata* (**BORA**). Parmi celles-ci, *Diheteropogon hagerupii* reste l'une des espèces qui contribuent le plus sur l'axe 1 du premier plan factoriel alors que *Borreria raddiata* se trouve dans les valeurs négatives de l'axe 1. Elles constituent un fourrage brouté pendant l'hivernage et le début de la saison sèche par le bétail. Certaines (*Borreria radiata*) sont aussi des adventices apparaissant le plus souvent au milieu des cultures. Plus au sud encore, une Fabacée, *Sesbania pachycarpa*, plante sous-ligneuse, signale le changement de domaine bioclimatique. Sur le premier plan factoriel, elle est bien discriminée dans les valeurs positives de l'axe 1. L'espèce ne se développe que dans les lieux relativement humides et bien arrosés où la plviométrie dépasse 700 mm par an. Une dernière espèce sahélo-soudanienne, *Schizachyrium exile*, une poacée très rudérale n'a été rencontré que dans les derniers relevés dans le sud du bassin arachidier (Sorokogne (**SR, SR1**), Keur Aliou Cissé (**KC, KC1**) Keur Sandao (**KN**), Kaffrine (**KFN1, KFN2**), Kilomètre six (**K6, K61, K62**) alors qu'elle est absente sur les relevés effectués dans le Ferlo. C'est l'espèce qui contribue la plus dans les deux axes du premier plan factoriel.

Les espèces ligneuses sont mieux représentées dans cette partie méridionale de la zone d'étude et sont pour la majeure partie indicatrice aussi de cette transition bioclimatique. Sur le premier plan factoriel, ces ligneux sont bien en opposition par rapport à ceux rencontrés dans

le Ferlo par leur position dans les valeurs positives de l'axe 1. Une dichotomie qui est liée essentiellement à leurs besoins hydriques beaucoup plus importants que celles rencontrées au nord et dominées par les Zygothylacées et les Mimosacées. Contrairement au Ferlo, caractérisé comme nous l'avons montré, par une pauvreté en espèces ligneuses, ici, les arbres sont au cœur de la végétation, dans la mesure où ils sont essentiels dans le système rural. Les champs sont agrémentés d'espèces comme des Mimosacées comme *Faidherbia albida*, des Bombacacées avec *Adansonia digitata* ou des Combrétacées représentées par *Combretum glutinosum* pour leur pouvoir de fertilisant des sols ou les ressources alimentaires qu'elles fournissent. Une situation qui ressort bien dans l'analyse factorielle où les relevés effectués dans des zones de culture montrent une présence remarquable de ces espèces citées au-dessus. Les Mimosacées avec *Acacia ataxacantha*, *Parkia biglobosa* et les Anacardiées avec *Lannea acida*, à travers les résultats de l'AFC, mettent en exergue un paysage de savane arborée qui contraste avec les zones de culture où certains ligneux sont bien représentés. Il s'agit principalement de *Sclerocarya birrea* de la famille des Anacardiées, des Bombacacées avec *Bombax costatum*, des Arécacées avec *Borassus flabellifer*, des Césalpiniacées représentées par *Cordyla pinnata*, des papilionacées avec *Xeroderris stuhlmannii* et des Sterculiacées *Stercula setigera*.

A l'instar des autres arbres, ils participent aussi à la fourniture de fourrage aérien pour le bétail. Les paysans aussi en font divers usages – alimentaires, bois de chauffage, charpentes, usages médicinaux entre autres. Ce qui justifie par ailleurs, leur maintien dans les champs.

Dans les jachères, *Guiera senegalensis* est accompagné par quelques Poacées comme *Pennisetum pedicellatum* et par des ligneux à l'état arbustif comme *Combretum glutinosum* et *Piliostigma reticulatum*. Ces jachères sont de véritables réserves fourragères et sont notamment utilisées par le bétail qui reste au village. Comme l'a montré Diop (1991) elles jouent un rôle important dans les systèmes de production agrosylvopastorales au Sénégal. Pendant la saison des pluies, le bétail est amené dans les jachères où la ressource est abondante. Durant la saison sèche, les éleveurs transhumants venant du Ferlo peuvent accéder à ces pâturages.

D'autres ligneux, des Sapindacées avec *Aphania senegalensis*, des Anacardiées *Mangifera indica* et *Anarcadium occidentale* et des Arécacées avec *Borassus flabellifer*, peu nombreux sur les relevés, offrent des fruits qui sont consommés ou commercialisés par les villageois avec parfois un supplément de revenus qui peut être conséquent.

L'étude de l'organisation et de la composition de la végétation entre le Ferlo et le nord du Bassin arachidier est bien mise en exergue par l'AFC. Mais ce type d'analyse ne permet pas de mesurer les relations que les espèces entretiennent entre elles et le lien entre les espèces et les facteurs écologiques ou anthropiques.

## **6. Distribution spatiale de la flore : une analyse phyto-écologique**

Les résultats présentés ci-dessous portent sur l'organisation spatiale de la flore telle qu'elle ressort des calculs sur l'information que les espèces s'apportent mutuellement et sur celles qu'elles apportent relativement aux variables écologiques susceptibles d'expliquer cette organisation.

### **6.1. Les communautés végétales approchées par l'analyse de la fréquence des espèces dans les relevés**

Du nord au sud de la bande d'étude, nous avons observé 93 espèces sur 140 segments de relevés. Ces espèces de par leur organisation et leur fréquence dans les différents relevés, peuvent avoir des « *liaisons mutuelles* » mesurables *via* les applications de la théorie de l'information développées par Michel Godron depuis 1966 (*op. cit.*) plus précisément avec l'algorithme de l'archipel (Andrieu & Godron, 2008) :

*« Les liaisons entre espèces peuvent être résumées par l'algorithme de l'archipel qui identifie les groupes d'espèces fortement liées et les ordonne par ordre de liaison maximale décroissante. Cet algorithme est différent des classifications hiérarchiques en particulier parce qu'il a pour fondement une probabilité exacte - et non pas un indice de similitude choisi parmi la dizaine d'indices couramment utilisés »* (Andrieu & Godron, 2008).

Le principe de cette méthode peut être assimilé à la recherche des groupes d'espèces qui structurent les communautés végétales. Les espèces ayant les plus fortes liaisons (car partageant les mêmes exigences écologiques) sont placées en haut d'un graphique. Dans l'étape suivante, on cherche l'espèce qui a la plus forte liaison avec l'une des deux déjà calculées. Ce résultat est placé en dessous du premier. Ainsi on a un groupe d'espèces qui est constitué. Le reste des groupes est obtenu par calcul des liaisons entre les espèces qui n'apparaissent pas dans le premier groupe constitué.

Comme le soulignent Andrieu & Godron (2008) « *Cet algorithme respecte la multiplicité des agrégations naturelles entre les espèces et il permet donc à une espèce d'être présente dans plusieurs groupes. Certains groupes peuvent ainsi être des pics inclus en*

totalité dans une île, ou seulement partiellement dans une île, qui se développe alors en une presqu'île. D'autres groupes sont liés à plusieurs îles et sont alors l'équivalent d'un isthme ».

L'application de cette méthode de calcul nous a permis de mettre en exergue 20 groupes d'espèces avec de fortes liaisons (tableau 21) entre elles. Ce qui met en évidence des communautés végétales identifiables et relativement distinctes. Certains groupes montrent des profils de zones de pâturage (5, 6, 7, 9, 10, 12, 17, 18), un seul fédère les espèces cultivées (16). Une seconde lecture de ces dissemblances entre les principaux groupes d'espèces fait ressortir la micro-hétérogénéité locale qui caractérise une zone d'étude très uniforme à l'échelle régionale (macro-homogénéité). Dans les lignes qui vont suivre, nous allons, après avoir montré les vingt groupes issus de l'analyse, en présenter les plus significatifs en termes d'informations qu'ils peuvent fournir.

**Tableau 21 : Les informations mutuelles entre espèces : les groupes de fortes liaisons**

<b>Groupe végétal 1</b>	
6 Acacia senegal	-----*
	100
6 Annona senegalensis	-----*
	92
7 Bombax costatum	-----*
	53
7 Acanthospermum hispidum	-----*
<b>Groupe végétal 2</b>	
23 Acacia adansonii	-----*
	97
1 Mitragyna inermis	-----*
	89
15 Anogeissus leiocarpus	-----*
	36
30 Schoenfeldia gracilis	-----*
<b>Groupe végétal 3</b>	
9 Agave sisalana	-----*
	90
11 Borassus flabellifer	-----*
	79
14 Anacardium occidentale	-----*
	61
7 Eucalyptus camaldulensis	-----*
	61
28 Dichrostachys cinerea	-----*
<b>Groupe végétal 4</b>	
59 Acacia ataxacantha	-----*
	86
60 Lannea acida	-----*
	53
24 Acacia seyal	-----*
	48
14 Stercula setigera	-----*
	37
11 Ocimum basilicum	-----*
<b>Groupe végétal 5</b>	
46 Combretum glutinosum	-----*
	83
28 Cucumis melo	-----*
	67
2 Achyrantes argentea	-----*
	66
12 Dactyloctenium aegyptium	-----*

**Groupe végétal 6**

21	<i>Cordyla pinnata</i>	-----*
		82
17	<i>Xeroderris stuhlmannii</i>	-----*
		70
23	<i>Diheteropogon hagerupii</i>	-----*
		60
31	<i>Piliiostigma reticulata</i>	-----*
		47
23	<i>Sclerocarya birrea</i>	-----*
		37
30	<i>Adansonia digitata</i>	-----*
		34
18	<i>Schizachyrium exile</i>	-----*

**Groupe végétal 7**

11	<i>Boerhaavia diffusa</i>	-----*
		78
5	<i>Cynodon dactylon</i>	-----*
		46
20	<i>Corchorus tridens</i>	-----*
		41
6	<i>Striga hermonteca</i>	-----*
		37
19	<i>Panicum letum</i>	-----*
		35
22	<i>Ctenium elegans</i>	-----*

**Groupe végétal 8**

32	<i>Calotropis procera</i>	-----*
		78
35	<i>Parkia biglobosa</i>	-----*
		66
49	<i>Aphania senegalensis</i>	-----*
		34
8	<i>Andropogon gayanus</i>	-----*
		34
9	<i>Leptadenia pyrotechnica</i>	-----*

**Groupe végétal 9**

8	<i>Sida cordifolia</i>	-----*
		76
17	<i>Spermacoce stadychea</i>	-----*
		35
16	<i>Cassia obtusifolia</i>	-----*

**Groupe végétal 10**

54	<i>Acacia raddiana</i>	-----*
		68
2	<i>Eragrostis cilianensis</i>	-----*
		56
103	<i>Balanites aegyptiaca</i>	-----*
		55
3	<i>Crotalaria podocarpa</i>	-----*
		55
67	<i>Merremia tridens</i>	-----*
		54
16	<i>Chloris prieurii</i>	-----*
		47
12	<i>Tephrosia pupurea</i>	-----*
		46
11	<i>Aristida mutabilis</i>	-----*
		42
36	<i>Cenchrus biflorus</i>	-----*
		37
30	<i>Leptadenia hastata</i>	-----*
		31
5	<i>Tragus berteronianus</i>	-----*
		28
8	<i>Euphorbia balsamifera</i>	-----*
		24
1	<i>Crianthema portulacastrum</i>	-----*

<b>Groupe végétal 11</b>		
20	Boreria stadychea	-----*
		53
2	Manihot esculenta	-----*
		35
26	Citrilus lanatus	-----*
<b>Groupe végétal 12</b>		
23	Commelina forskalei	-----*
		53
1	Indigofera pillosa	-----*
		53
2	Striga gesnerioides	-----*
		43
3	Jatropha curcas	-----*
		29
78	Guiera senegalensis	-----*
<b>Groupe végétal 13</b>		
60	Acacia albida	-----*
		51
64	Tamarindus indica	-----*
		24
89	Cassia occidentalis	-----*
<b>Groupe végétal 14</b>		
34	Digitaria ciliaris	-----*
		51
6	Zizphus mauritania	-----*
<b>Groupe végétal 15</b>		
2	Grewia bicolor	-----*
		51
82	Mitracarpus scaber	-----*
		49
8	Azadirachta indica	-----*
		34
4	Aristida adscensionis	-----*
<b>Groupe végétal 16</b>		
69	Pennisetum glaucum	-----*
		51
29	Vigna sinensis	-----*
		40
15	Momordica balsamina	-----*
		37
49	Arachis hypogaea	-----*
		26
4	Sorghum bicolor	-----*
<b>Groupe végétal 17</b>		
36	Alyscarpus ovalifolius	-----*
		49
87	Eragrostis tremula	-----*
		46
39	Digitaria gayana	-----*
		46
68	Zornia glochidiata	-----*
<b>Groupe végétal 18</b>		
7	Crotalaria retusa	-----*
		49
30	Hibiscus sabdarrifa	-----*
		48
5	Datura metel	-----*
		42
22	Boscia senegalensis	-----*
		34
44	Borreria radiata	-----*
<b>Groupe végétal 19</b>		
9	Indigofera astragalina	-----*
		48
4	Merremia aegyptiaca	-----*
<b>Groupe végétal 20</b>		

3	<i>Mangifera indica</i>	-----*	
			32
39	<i>Sesbania pachycarpa</i>	-----*	
			25
58	<i>ennisetum pedicellatum</i>	-----*	

### 6.1.1. Le groupe végétal 1

Groupe végétal 1			
6	<i>Acacia senegal</i>	-----*	
			100
6	<i>Annona senegalensis</i>	-----*	
			92
7	<i>Bombax costatum</i>	-----*	
			53
7	<i>Acanthospermum hispidum</i>	-----*	

Le premier groupe de fortes liaisons ci-dessus rassemble des espèces présentes dans les relevés effectués au nord du bassin arachidier en zone soudano-sahélienne. Les trois premières espèces qui composent le groupe sont des ligneux très présents dans la partie sud de la bande d'étude. La dernière est une plante annuelle, rudérale très caractéristique de la zone tropicale dont la dispersion est assurée par le bétail. Les liaisons entre les espèces de ce groupe sont les plus importantes (100 sha entre *Acacia senegal* et *Annona senegalensis*).

### 6.1.2. Le groupe végétal 10

Groupe végétal 10			
54	<i>Acacia raddiana</i>	-----*	
			68
2	<i>Eragrostis cilianensis</i>	-----*	
			56
103	<i>Balanites aegyptiaca</i>	-----*	
			55
3	<i>Crotalaria podocarpa</i>	-----*	
			55
67	<i>Merremia tridens</i>	-----*	
			54
16	<i>Chloris prieurii</i>	-----*	
			47
12	<i>Tephrosia pupurea</i>	-----*	
			46
11	<i>Aristida mutabilis</i>	-----*	
			42
36	<i>Cenchrus biflorus</i>	-----*	
			37
30	<i>Leptadenia hastata</i>	-----*	
			31
5	<i>Tragus berteronianus</i>	-----*	
			28
8	<i>Euphorbia balsamifera</i>	-----*	
			24
1	<i>Crianthema portulacastrum</i>	-----*	

Le groupe 10 est le celui qui rassemble les espèces sahéliennes dominantes dans la partie nord de la bande d'étude entre Tèssékéré et Thiargnye. Il comprend en particulier les deux ligneux très caractéristiques du Sahel: *Acacia raddiana* et *Balanites aegyptiaca*. Il

correspond par ailleurs, à un faciès de pâturage dans la mesure où l'essentiel des espèces qui composent ce groupe sont des herbacées annuelles pour la plupart sciaphiles et appréciées par le bétail. C'est le même cas aussi pour les groupes 7 et 9.

Par ailleurs c'est le groupe (10) qui renferme le plus d'espèces (au nombre de 13).

### 6.1.3. Le groupe végétal 17

Groupe végétal 17	
36 <i>Alyscarpus ovalifolius</i>	-----*
	49
87 <i>Eragrostis tremula</i>	-----*
	46
39 <i>Digitaria gayana</i>	-----*
	46
68 <i>Zornia glochidiata</i>	-----*

Le groupe 17 est, à l'instar du groupe précédent, un ensemble d'espèces représentant le faciès de « l'excellent » pâturage dans la mesure où on y retrouve les principales plantes recherchées par les agropasteurs pour l'alimentation du bétail. Il s'agit principalement de *Zornia glochidiata* et de *Digitaria gayana*. Elles forment avec celles du groupe précédent, les steppes herbeuses et parfois arbustives qui caractérisent les pâturages dans le Ferlo nord et central.

### 6.1.4. Le groupe végétal 16

Groupe végétal 16	
69 <i>Pennisetum glaucum</i>	-----*
	51
29 <i>Vigna sinensis</i>	-----*
	40
15 <i>Momordica balsamina</i>	-----*
49 <i>Arachis hypogaea</i>	-----*
	26
4 <i>Sorghum bicolor</i>	-----*

C'est le groupe des espèces cultivées, associées aux espèces apparaissant dans les champs agricoles ou à proximité comme *Momordica balsamina* qui pousse généralement dans les haies qui entourent les champs. Ainsi, dans les villages du Ferlo central, le mil (*Pennisetum glaucum*) est le plus souvent associé à au niébé (*Vigna sinensis*), deux plantes qui constituent la base de l'alimentation locale qui repose sur les systèmes d'agriculture vivrière. Dans le Bassin arachidier, puisque les conditions pluviométriques le permettent, *Arachis hypogaea* principale spéculatation locale, est accompagné de *Sorghum bicolor*, une plante céréalière destinée à la consommation locale. Par ailleurs les résidus d'*Arachis hypogaea* et de *Vigna sinensis* constituent d'excellents fourrages pour le bétail d'où leur commercialisation.

### 6.1.5. Le groupe végétal 6

Groupe végétal 6	
21 <i>Cordyla pinnata</i>	-----*
	82
17 <i>Xeroderris stuhlmannii</i>	-----*
	70
23 <i>Diheteropogon hagerupii</i>	-----*
	60
31 <i>Piliostigma reticulata</i>	-----*
	47
23 <i>Sclerocarya birrea</i>	-----*
	37
30 <i>Adansonia digitata</i>	-----*
	34
18 <i>Schizachyrium exile</i>	-----*

Ce groupe fait ressortir l'apparition en commun dans plusieurs relevés de la partie sud de la bande d'exploration de la végétation correspondant à la zone soudano-sahélienne d'espèces herbacées (*Diheteropogon hagerupii*, *Schizachyrium exile*) et ligneuses (*Cordyla pinnata*, *Piliostigma reticulata*, *Sclerocarya birrea*, *Xeroderris stuhlmannii*). Elles constituent à l'exception de *Xeroderris stuhlmannii* de bons pâturages et servent aussi à l'alimentation (*Adansonia digitata*) des villageois.

L'organisation de la flore en « communautés » relativement différenciées du point de vue de la composition et qui suivent par ailleurs, le gradient nord sud de la pluviosité, est donc bien restituée par l'analyse fréquentielle. La distribution des espèces (Tableau 22) par rapport au gradient nord-sud, se fait suivant le modèle des « groupes imbriqués en écailles » (Godron, 1966). Les « groupes » se chevauchent jusqu'aux limites de leur optimum écologique. Leur dépendance aux apports annuels de la pluviométrie assure leur disparition ou apparition suivant le gradient climatique. Parmi les espèces sahéliennes, si *Boscia senegalensis* et *Ziziphus mauritiana* semblent se confiner dans la partie nord de l'axe en revanche, *Balanites aegyptiaca* et *Acacia raddiana*, prolongent leur aire de répartition jusqu'aux limites sud du secteur soudano-sahélien. L'apparition de *Guiera senegalensis*, une espèce qui se développe rapidement dans des terroirs de jachères, marque l'entrée au niveau de Bassin arachidier. En prolongeant vers le sud dans le domaine soudanien, *Sesbania pachycarpa*, *Lannea acida*, *Dichrostachys cinerea*, *Xeroderris stuhlmannii* (etc.) marquent leur empreinte spatiale. Cette disposition de la flore suivant le gradient de la pluviosité ainsi établie montre par ailleurs l'hétérogénéité qui prévaut dans cette organisation.

**Tableau 22 : Distribution le long du transect des espèces ligneuses et sous-ligneuses**

Espèces	1-Nord	134 - Sud
<i>Balanites aegyptiaca</i>	-----	-----
<i>Acacia raddiana</i>	-----	-----
<i>Acacia senegal</i>	-----	-----
<i>Anogeissus leiocarpus</i>	-----	-----
<i>Boscia senegalensis</i>	-----	-----
<i>Calotropis procera</i>	-----	-----
<i>Combretum glutinosum</i>	-----	-----
<i>Sclerocarya birrea</i>	-----	-----
<i>Zyzyphus mauritania</i>	-----	-----
<i>Acacia adansonii</i>	-----	-----
<i>Acacia seyal</i>	-----	-----
<i>Euphorbia balsamifera</i>	-----	-----
<i>Leptadenia pyrotechnica</i>	-----	-----
<i>Mitragyna inermis</i>	-----	-----
<i>Piliostigma reticulata</i>	-----	-----
<i>Acacia albida</i>	-----	-----
<i>Acacia ataxacantha</i>	-----	-----
<i>Adansonia digitata</i>	-----	-----
<i>Aphania senegalensis</i>	-----	-----
<i>Guiera senegalensis</i>	-----	-----
<i>Jatropha curcas</i>	-----	-----
<i>Parkia biglobosa</i>	-----	-----
<i>Borassus flabellifer</i>	-----	-----
<i>Lannea acida</i>	-----	-----
<i>Mangifera indica</i>	-----	-----
<i>Sesbania pachycarpa</i>	-----	-----
<i>Sterculia setigera</i>	-----	-----
<i>Tamarindus indica</i>	-----	-----
<i>Agave sisalana</i>	-----	-----
<i>Anacardium occidentale</i>	-----	-----
<i>Annona senegalensis</i>	-----	-----
<i>Bombax costatum</i>	-----	-----
<i>Cordyla pinnata</i>	-----	-----
<i>Dichrostachys cinerea</i>	-----	-----
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	-----	-----
<i>Grewia bicolor</i>	-----	-----
<i>Xeroderris stuhlmannii</i>	-----	-----

Ainsi, entre le nord et le sud de la bande d'exploration floristique, les espèces qui servent comme pâturage, qu'elles soient ligneuses ou herbacées, sont bien discriminées au sein d'ensembles situés dans le Ferlo. A l'opposé, dans les anthroposystèmes agraires du sud, les groupes mis en évidence montrent des faciès de jachères (groupe 12) ou de zones de cultures (groupe 16) avec des compositions floristiques assez spécifiques à chaque ensemble.

## **6.2. Les informations mutuelles espèces-descripteurs écologiques**

La distribution des espèces le long de l'axe nord-sud des relevés montre que celles-ci ont des liens mutuels avec des variables écologiques (une certaine co-occurrence entre espèces et états des descripteurs) tels que la pluviosité, la physionomie du paysage ou le type de sol dans lequel elles poussent. La pertinence ou la significativité d'une telle information entre une espèce  $x$  et une variable  $y$  est liée à l'improbabilité de déceler cette co-occurrence *a priori*. Ce raisonnement est aussi valable pour déterminer les absences des espèces. En fonction des seuils de significativité des co-occurrences ou des co-absences qui sont de 0,5 ; 0,1 et 0,01, on peut alors déterminer la présence ou l'absence significative, peu significative ou hautement significative d'une espèce donnée. L'information que nous apporte cette « relation » entre les espèces et les états des variables descriptifs a été calculée et présentée sous forme de profils indicés (Godron, 1966, 1968). A travers les résultats des différents profils issus de ces analyses fréquentielles, le descripteur physionomie de la végétation apparaît comme le principal facteur avec 2,12 sha. Un résultat qui peut surprendre dans un contexte sahélien où le facteur de la pluviosité a toujours été retenu comme principal déterminant de la distribution des espèces et de la structuration des paysages par beaucoup de chercheurs (Chevalier, 1900 ; Trochain, 1940 ; Aubreville, 1950 ; Boudet, 1977 ; Penning de Vries & Djitèye 1991 ; Hountondji, 2008). Il est à noter que la même méthode a été appliquée par Andrieu (2008) dans le littoral ouest africain entre le Saloum au Sénégal et le Rio Geba en Guinée Bissau. Dans cette bande littorale la pluviosité est ressortie comme le facteur le plus important dans la structuration des paysages. L'utilisation du sol est la deuxième variable apportant le plus d'information avec 1,95 sha. S'en suivent la distance au village avec 1,33 sha, la pluviosité n'apparaît qu'en 4<sup>e</sup> position avec 1,29 sha et les types de sols avec 1,05 sha. Les aspects humains liés à l'organisation spatiale des anthroposystèmes, aux pratiques et aux usages ruraux décrivent donc de manière plus fine que les aspects écologiques la variation de la flore. Il faut cependant nuancer en rappelant que facteurs humains et bio-physiques ne sont pas indépendants : le choix de privilégier les activités pastorales ou les activités agricoles dépend bien malgré tout de la pluviosité. Il n'en reste pas moins que ces résultats sont un bon reflet de l'anthropisation de la végétation dans notre région d'étude.

- **Le descripteur 2 Physionomie de la végétation offre 2,12 sha (pour 5 classes)**
- **Le descripteur 4 Utilisation du sol offre 1,95 sha (pour 5 classes)**
- **Le descripteur 5 Distance aux villages et campements offre 1,33 sha (pour 3 classes)**
- **Le descripteur 1 Pluviosité offre 1,29 sha (pour 4 classes)**
- **Le descripteur 3 Type de sols offre 1,05 sha (pour 3 classes)**

### **6.2.1. Le descripteur physionomique ou le facteur paysager (Tableau 23)**

C'est le premier descripteur qui apparait dans les résultats de l'analyse avec 2,12 sha. Son importance s'explique par le fait que les informations qu'il renferme sont de nature autant climatique qu'anthropique. La variation régionale de la végétation est, de fait bien décrite par les différents états du descripteur. Ainsi 21 relevés présentent une physionomie de savane herbeuse ou arbustive, 17 sont des steppes arborées, 41 relèvent de la savane arbustive, 20 sont de la savane arborée et 41 présentent une physionomie de zone agricole (champs cultivés). Ce résultat très intéressant nous renseigne que du point de vue floristique, la végétation dans cette partie du Sénégal n'a pas beaucoup « évolué » malgré les grandes sécheresses qui s'y sont succédé mais est très sensible au poids des activités agricoles et pastorales qui finalement reste un facteur important déterminant la physionomie paysagère.

**Tableau 23 : Les résultats de l'analyse des profils d'ensemble avec le descripteur physionomie de la végétation**

**Le descripteur "2 Physionomie de la végétation" offre 2,12 sha (pour 5 classes)**

**Equitabilité de l'échantillon : 95 %**

**Codes : PH1 PH2 PH4 PH5 PH6 Total**

**Profil d'ensemble : 21 17 41 20 41 140**

Ainsi entre le Ferlo central, domaine des steppes herbacées et arbustives qui forment les paysages de pâturage et la zone de transition vers le bassin arachidier domaine de prédilection des activités agricoles et de la savane arborée, la transition floristique et paysagère est avant tout rythmée par l'action anthropique.

### 6.2.2. Le descripteur utilisation du sol (tableau 24)

Le rôle des sociétés dans l'exploitation des ressources naturelles est un élément majeur dans la dynamique des agroécosystèmes. Les liaisons entre relevés et les états du descripteur font état d'une prépondérance des *pâturages pour troupeaux transhumants* et de *l'agriculture avec pâturage après récolte* qui caractérisent respectivement 37 % et 34 % des relevés. Les pâturages des jachères longues, souvent utilisés par les éleveurs sédentaires et dans certains cas par les transhumants occupe 15 % des relevés. Les *pâturages villageois* avec 14 % des relevés montrent que le système d'exploitation des ressources pastorales est dominé par les sociétés d'éleveurs transhumants. Le poids très faible de l'exploitation de la végétation aux abords des points d'eau montre qu'ils ne sont pas des zones privilégiées pour pâturer. En effet, la densité des troupeaux autour des forages et des mares, a des conséquences sur la disponibilité de la ressource fourragère pastorale dans l'espace aux alentours. Ainsi, ces milieux sont réduits à leur utilité première qui est de fournir l'eau aux animaux.

**Tableau 24 : Résultats de l'analyse des profils d'ensemble avec le descripteur Utilisation du sol**

Le descripteur "4 Utilisation du sol" offre 1,95 sha (pour 5 classes)						
Equitabilité de l'échantillon : 88 %						
Codes : PR1 PR2 PR3 PR4 PR5 Total						
Profil d'ensemble : 42 22 20 51 5 140						

### 6.2.3. Le descripteur distance aux villages ou campements fixes (Tableau 25)

La *proximité avec les villages fixes* (DT1) concerne près de 50 % des relevés. Les relevés effectués dans les milieux *éloignés des villages fixes et campements permanents* sont au nombre de 59 sur un total de 140. Alors que les relevés faits dans des terroirs proches des campements permanents sont peu nombreux, 15 seulement. Leur nombre relativement faible résulte du fait que plusieurs campements fixes évoluent rapidement en villages. Ce qui incite à nuancer les résultats. La proximité permet de déterminer le poids des pratiques et usages qui participent à la structuration de la ressource végétale. Ce sont des pâturages qui sont généralement réservés aux troupeaux du village ou du campement fixe et peuvent parfois sous certaines conditions être ouverts aux transhumants.

### Tableau 25 : Les résultats de l'analyse des profils d'ensemble avec le descripteur distance aux villages ou campements fixes

Le descripteur "5 Distance aux villages et campements " offre 1,33 sha (pour 3 classes)

Equitabilité de l'échantillon : 87 %

Codes : DT1 DT2 DT3 Total

Profil d'ensemble : 66 15 59 140

#### 6.2.4. Le descripteur de la pluviosité (Tableau 26)

*A priori* on aurait été tenté de penser qu'il aurait le poids le plus important dans les analyses des profils d'ensemble à cause du rôle du facteur hydrique dans la dynamique des socioécosystèmes. Les profils des relevés vis-à-vis des états du descripteur montrent une domination (50 %) des relevés effectués dans les zones concernées par les moyennes pluviométriques de 500 à 600 mm/an. Ils sont suivis par ceux réalisés dans les isohyètes 400 à 500 mm/an au nombre de 43 sur 140 relevés. Alors que les trois derniers relevés (PL1 entre 300 et 400 mm) concernent la zone de Téssékéré.

#### Tableau 26 : Le descripteur de la pluviosité

Le descripteur "1 Pluviosité" offre 1,29 sha (pour 4 classes)

Equitabilité de l'échantillon : 67 %

Codes : PL1 PL2 PL3 PL4 Total

Profil d'ensemble : 3 43 84 10 140

Au-delà du comportement des relevés vis-à-vis du descripteur de la pluviosité, nous avons effectué une analyse supplémentaire cette fois-ci centrée autour des relations entre les principales espèces rencontrées et identifiées et ce descripteur de la pluviosité (Tableau 27). Dans l'ensemble, 55 espèces ont des liaisons significatives avec au moins un état du descripteur. Un résultat qui, par ailleurs, montre une macro-hétérogénéité liée à la distribution de la pluviosité qui s'oppose à une micro-hétérogénéité, établie avec les groupes floristiques présentés plus haut et issus de l'algorithme de l'archipel.

**Tableau 27 : Liaisons entre espèces et descripteur de la pluviosité**

Le descripteur 1 Pluviosité offre 1.29 Sha (pour 4 classes)									
Codes :		PL1	PL2	PL3	PL4				
Profil d'ensemble :		3	43	84	10	140			
Fr. esp. I. M.									
23	0.18	0	85	58	548	<i>Acacia adansonii</i>			
		.	.	--	+++				
60	0.36	0	0	15	14	<i>Acacia albida</i>			
		.	---	+++	.				
59	0.39	0	0	138	237	<i>Acacia ataxacantha</i>			
		.	---	+++	+++				
54	0.42	173	205	28	233	<i>Acacia raddiana</i>			
		.	+++	---	+++				
6	0.18	0	0	0	999	<i>Acacia senegal</i>			
		.	.	--	+++				
24	0.15	0	0	125	35	<i>Acacia seyal</i>			
		.	---	+	++				
7	0.07	0	0	95	60	<i>Acanthospermum hispidum</i>			
		.	.	.	++				
30	0.09	0	54	106	28	<i>Adansonia digitata</i>			
		.	-	.	++				
9	0.30	0	0	0	999	<i>Agave sisalana</i>			
		.	-	---	+++				
36	0.39	389	262	19	0	<i>Alyscarpus ovalifolius</i>			
		+	+++	---	-				
14	0.24	0	0	6	90	<i>Anacardium occidentale</i>			
		.	--	-	+++				
8	0.04	0	0	167	0	<i>Andropogon gayanus</i>			
		.	-	+	.				

6	0.18	0	0	0	999	<b><i>Annona senegalensis</i></b>
		.	.	--	+++	

15	0.23	0	43	44	84	<b><i>Anogeissus leiocarpus</i></b>
		.	.	--	+++	
49	0.24	0	13	129	257	<b><i>Aphania senegalensis</i></b>
		.	---	++	+++	
49	0.08	95	66	126	29	<b><i>Arachis hypogaea</i></b>
		.	-	++	.	
4	0.05	0	244	0	35	<i>Aristida adscensionis</i>
		.	.	-	.	
11	0.13	848	237	15	0	<b><i>Aristida mutabilis</i></b>
		+	++	---	.	
8	0.07	0	0	104	525	<i>Azadirachta indica</i>
		.	-	.	+	
103	0.22	136	126	97	0	<b><i>Balanites aegyptiaca</i></b>
		.	+++	.	---	
7	0.22	0	0	0	999	<b><i>Bombax costatum</i></b>
		.	.	--	+++	
11	0.27	0	0	3	999	<b><i>Borassus flabellifer</i></b>
		.	-	--	+++	
20	0.06	233	49	133	0	<i>Boreria stadychea</i>
		.	.	+	.	
44	0.08	0	133	98	0	<i>Borreria radiata</i>
		.	+	.	-	
22	0.09	424	163	68	0	<i>Boscia senegalensis</i>
		.	+	-	.	
32	0.16	146	1	156	0	<b><i>Calotropis procera</i></b>
		.	---	+++	.	
89	0.09	0	84	112	94	<b><i>Cassia occidentalis</i></b>

							-	-	++	.
16	0.07	292	183	63	0	<i>Cassia obtusifolia</i>				
							.	+	-	.
36	0.13	389	163	69	0	<i>Cenchrus biflorus</i>				
							+	++	--	-
26	0.07	179	5	135	0	<i>Citrilus lanatus</i>				
							.	-	++	.
46	0.18	101	42	105	304	<i>Combretum glutinosum</i>				
							.	---	.	+++
23	0.07	0	42	145	0	<i>Commelina forskalei</i>				
							.	-	++	.
20	0.09	0	16	158	0	<i>Corchorus tridens</i>				
							.	--	+++	.
21	0.27	0	0	87	667	<i>Cordyla pinnata</i>				
							.	---	.	+++
3	0.04	0	326	0	0	<i>Crotalaria podocarpa</i>				
							.	+	.	.
22	0.13	0	0	167	0	<i>Ctenium elegans</i>				
							.	---	+++	.
28	0.08	0	105	77	30	<i>Cucumis melo</i>				
							.	.	-	++
28	0.27	0	0	107	50	<i>Dichrostachys cinerea</i>				
							.	---	.	+++
34	0.23	275	23	39	0	<i>Digitaria ciliaris</i>				
							.	+++	---	.
39	0.19	359	192	51	36	<i>Digitaria gayana</i>				
							+	+++	---	.
23	0.23	0	28	8	609	<i>Diheteropogon hagerupii</i>				
							.	--	.	+++

87	0.16	107	127	98	0	<i>Eragrostis tremula</i>	. ++ . ---
7	0.17	0	47	0	999	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	. . -- +++
78	0.51	0	04	143	179	<i>Guiera senegalensis</i>	. --- +++ ++
30	0.06	156	76	122	0	<i>Hibiscus sabdarrifa</i>	. . + .
60	0.40	0	0	139	233	<i>Lansea acida</i>	. --- +++ +++
30	0.18	156	184	33	28	<i>Leptadenia hastata</i>	. +++ --- ++
4	0.05	0	326	0	0	<i>Merremia aegyptiaca</i>	. ++ - .
13	0.04	0	175	77	0	<i>Merremia pinata</i>	. + . .
67	0.11	7	92	117	0	<i>Merremia tridens</i>	. . ++ --
82	0.17	57	79	124	0	<i>Mitracarpus scaber</i>	. - +++ ---
15	0.06	311	22	133	93	<i>Momordica balsamina</i>	. - . .
11	0.06	0	0	167	0	<i>Ocimum basilicum</i>	. - ++ .
19	0.06	246	171	7	0	<i>Panicum letum</i>	. + - .
35	0.13	0	19	148	8	<i>Parkia biglobosa</i>	. --- +++ .
69	0.16	68	66	13	0	<i>Pennisetum glaucum</i>	

										. -- +++ ---
58	0.29	0	22	155	0	<i>Pennisetum pedicellatum</i>				
										. --- +++ --
31	0.25	0	11	108	452	<i>Piliostigma reticulata</i>				
										. --- . +++
18	0.28	0	0	74	778	<i>Schizachyrium exile</i>				
										. --- . +++
30	0.16	311	163	39	28	<i>Schoenfeldia gracilis</i>				
										. ++ --- ++
23	0.09	203	42	101	304	<i>Sclerocarya birrea</i>				
										. - . ++
39	0.25	0	0	167	0	<i>Sesbania pachycarpa</i>				
										. --- +++ -
8	0.04	0	203	62	0	<i>Sida cordifolia</i>				
										. + . .
4	0.05	0	0	83	70	<i>Sorghum bicolor</i>				
										. . . +
17	0.07	0	211	59	0	<i>Spermacoce stadychea</i>				
										. ++ - .
14	0.08	0	0	167	0	<i>Stercula setigera</i>				
										. -- +++ .
64	0.24	0	25	13	197	<i>Tamarindus indica</i>				
										. --- +++ ++
5	0.04	0	26	33	0	<i>Tragus berteronianus</i>				
										. + . .
17	0.17	0	0	98	576	<i>Xeroderris stuhlmannii</i>				
										. -- . +++
68	0.39	206	196	54	41	<i>Zornia glochidiata</i>				
										. +++ --- -

+++ Liaison positive très significative	- - - Liaison négative très significative
++ Liaison positive significative	- - Liaison négative significative
+ Liaison positive peu significative	- Liaison négative peu significative

- 28 espèces ont des liaisons significatives avec la pluviométrie allant de 600 à 700 mm. Il s'agit de *Acacia adansonii*, *Acacia ataxacantha*, *Acacia raddiana*, *Acacia senegal*, *Acacia seyal*, *Acanthospermum hispidum*, *Adansonia digitata*, *Agave sisalana*, *Anacardium occidentale*, *Annona senegalensis*, *Anogeissus leiocarpus*, *Aphania senegalensis*, *Bombax costatum*, *Borassus flabellifer*, *Combretum glutinosum*, *Cordyla pinnata*, *Cucumis melo*, *Dichrostachys cinerea*, *Diheteropogon hagerupii*, *Eucalyptus camaldulensis*, *Guiera senegalensis*, *Lannea acida*, *Piliostigma reticulata*, *Schizachyrium exile*, *Schoenfeldia gracilis*, *Sclerocarya birrea*, *Tamarindus indica*, *Xeroderris stuhlmannii*,
- 21 espèces se retrouvent dans la pluviosité allant de 500 à 600 mm : *Acacia albida*, *Acacia ataxacantha*, *Aphania senegalensis*, *Arachis hypogaea*, *Calotropis procera*, *Cassia occidentalis*, *Citrilus lanatus*, *Commelina forskalei*, *Corchorus tridens*, *Ctenium elegans*, *Guiera senegalensis*, *Lannea acida*, *Merremia tridens*, *Mitracarpus scaber*, *Ocimum basilicum*, *Parkia biglobosa*, *Pennisetum glaucum*, *Pennisetum pedicellatum*, *Sesbania pachycarpa*, *Stercula setigera*, *Tamarindus indica*.
- 13 espèces sont liées à la pluviosité entre 400 et 500 mm. Il s'agit de : *Acacia raddiana*, *Alyscarpus ovalifolius*, *Aristida mutabilis*, *Balanites aegyptiaca*, *Cenchrus biflorus*, *Digitaria ciliaris*, *Digitaria gayana*, *Eragrostis tremula*, *Leptadenia Hastata*, *Merremia aegyptiaca*, *Schoenfeldia gracilis*, *Spermacoce stadychea*, *Zornia glochidiata*.
- 4 espèces ont des relations peu significatives avec la pluviométrie allant de 300 à 400 mm : *Alyscarpus ovalifolius*, *Aristida mutabilis*, *Cenchrus biflorus*, *Digitaria gayana*.
- Le reste est constitué d'espèces (culturales ou adventices ubiquistes) qui ont peu (ou pas) de liaisons avec les états du descripteur de la pluviosité. Il s'agit de : *Andropogon gayanus*, *Aristida adscensionis*, *Azadirachta indica*, *Borreria stadychea*, *Borreria radiata*, *Boscia senegalensis*, *Cassia obtusifolia*, *Crotalaria podocarpa*, *Hibiscus sabdarrifa*, *Merremia pinata*, *Momordica balsamina*, *Panicum letum*, *Sida cordifolia*, *Sorghum bicolor*, *Tragus berteronianus*.

Il ressort de cette analyse que l'organisation de la végétation, dont on a vu qu'elle était fortement dépendante de la mise en valeur du territoire par les sociétés rurales, est aussi liée à la pluviosité dans la mesure où l'augmentation du nombre d'espèces par site entre le nord et le sud de la bande d'étude, suit mécaniquement le gradient croissant nord-sud de la pluviosité selon une distribution en écailles chevauchantes (Godron, 1966) (Tableau 22). Les différentes classes de pluviosité isolent des espèces sahéliennes et soudano-sahélienne. Dans la première cohorte d'espèces (PL1) qui correspond à la pluviométrie allant de 600 à 700 mm, le résultat est marqué par « l'intrusion » d'une Mimosacée *Acacia raddiana* dans le domaine soudano-sahélien. En effet, son aire de répartition s'étend de plus en plus vers le sud comme nous l'avons montré plus haut. Les espèces qui sont liées à la pluviométrie comprise entre 500 et 600 mm sont celles qui caractérisent les paysages au nord du Bassin arachidier dans la zone de contact avec le Ferlo. Entre 300 et 400 mm, les principales espèces rencontrées sont des plantes annuelles (à l'exception d'une Zygophyllacée *Balanites aegyptiaca* et d'une Mimosacée *Acacia raddiana*) très dépendantes de la pluie et constituant la base des pâturages. Un autre aspect de l'importance de ces résultats montre des espèces qui ne sont liées (significativement) à aucun des états du descripteur et qui sont généralement des plantes ubiquistes que nous retrouvons un peu partout à l'exception de *Sorghum bicolor*. Une ubiquité qui peut être traduite par une espèce ligneuse de la famille des Méliacées *Azadirachta indica* introduite au Sénégal en 1944 et qui est aujourd'hui présente partout sur le territoire national.

Entre le Ferlo nord et le Bassin arachidier, la composition de la végétation qui sert ici comme ressource pastorale est fortement influencée par les conditions bioclimatiques mais aussi et surtout par les pratiques relevant des systèmes socioécologiques. D'un point de vue global, nous avons deux grands ensembles floristiques et paysagers qui suivent le gradient de la pluviosité. D'une part, le Ferlo jusqu'à sa limite sud avec le bassin arachidier, caractérisé par des formations steppiques très dégradées par endroits et à la diversité biologique très faible et d'autre part, la partie sud correspondant à l'espace de transition jusqu'au Bassin arachidier domaine de la savane arborée que le développement agricole a fait reculer au cours de ces dernières décennies. Si ce découpage bioclimatique est plus restitué par les ligneux qui sont plus sensibles aux relations entre climat et végétation (Alexandre, 1994), ces derniers portent aussi les stigmates qui indiquent cette dégradation du couvert végétal. Ainsi, l'aire de répartition d'*Acacia raddiana* et de *Balanites aegyptiaca* est en train de s'étendre vers le sud du Ferlo en direction du bassin arachidier. Alors que dans le nord, une espèce de la famille des Capparacées, *Boscia senegalensis* colonise de plus en plus les terroirs de pâturage. Au

niveau local, des modifications importantes sont induites sur la composition de la flore herbacée et subligneuse par les pratiques des agriculteurs et des éleveurs qui continuent de renforcer l'hétérogénéité paysagère à cette échelle. Ainsi, dans le Bassin arachidier, la multiplication des jachères et des champs abandonnés permet le développement sur des superficies importantes d'une Combretacée, *Guiera senegalensis*. Mettre en évidence un tel contexte de changement biophysique doit aussi permettre de comprendre la dynamique paysagère dans cette partie du Sénégal. Par ailleurs, elle sera l'occasion de rediscuter les découpages bioclimatiques classiques qui n'ont pas pris en compte les dynamiques d'évolution qui continuent de marquer les territoires plongés depuis des décennies au cœur de changements multiformes.



## **Chapitre 11 : Dynamique des paysages ruraux dans le Sénégal intérieur entre le Ferlo et le Bassin arachidier**

---

Les résultats du chapitre précédent montrent finalement une adéquation imparfaite de la configuration actuelle des paysages avec les découpages classiques déjà évoqués dans les chapitres 1, 5, 9. Cette organisation phytoclimatique à l'échelle macro-régionale mérite d'être confrontée à la dynamique actuelle de l'occupation du sol dans le Sénégal intérieur telle qu'elle a été caractérisée dans la deuxième partie. La dynamique des paysages ruraux apparaît comme la synthèse. En effet, le recours à une méthode consistant en un couplage de la cartographie à partir des images satellitaires et de l'étude des données floristiques de terrain à partir des relevés de végétation a permis de restituer de manière assez objective, les dynamiques intervenues dans l'organisation de ces paysages végétaux marquée par une forte hétérogénéité à l'échelle locale (microhétérogénéité).

### **1. Pour une relecture de l'organisation des paysages végétaux sahéliens en relation avec le gradient climatique**

#### **1.1. Retour sur le découpage en domaines bioclimatiques dans le cadre du modèle zonal**

Le découpage en régions bioclimatiques de l'Afrique de l'Ouest fût au départ l'œuvre de la science coloniale. Il correspondait avant tout à une conception de l'organisation au niveau régional, des paysages et des systèmes de production (agricole et pastorale principalement) fondée exclusivement sur la distribution de la pluviosité reconnue comme le principal facteur structurant les milieux écologiques et les activités rurales. Ces chercheurs (Chevalier, 1900 ; Stebbing, 1935 ; Trochain, 1940, 1957; Aubréville, 1950) et ceux qui les ont suivis (Lavenu, 1985 ; White, 1986 ; Blasco & Aizpuru, 1992 ; Arbonnier, 2002), ont établi ou confirmé des catégorisations bioclimatiques régionales sur le modèle de leur homogénéité à l'échelle régionale (macrohomogénéité) : la zone sahélienne, la zone soudanienne et la zone guinéenne (Chevalier, 1900). Issu des travaux de Chevalier (1900) qui en a posé les premiers jalons au début du siècle dernier, ce découpage a été repris et complété par Trochain (1940) et Aubréville (1950) qui précisent ce découpage zonal avec l'apparition des domaines connexes (chapitres 1 et 5) et reconnaissent toutefois la difficulté de préciser leurs limites sur le terrain. White (1986) décrira la bande sahélienne dans son ensemble comme une vaste zone de transition régionale où la végétation ligneuse très pauvre est composée pour l'essentiel par des acacias et le tapis herbacé par des poacées et légumineuses ubiquistes.

Cette approche par zonation bioclimatique (Dansereau, 1957, Mueller-Dombois, 1984) a été facilitée aussi par une « *coïncidence supposée* » au niveau spatial entre les paysages décrits et les classes pluviométriques correspondantes (Alexandre, 2008). Une telle organisation des paysages végétaux n'a pas vraiment été depuis lors, remise en question bien qu'elle ne correspondait qu'à une certaine conception de la « réalité » élaborée au début du siècle dernier, alors que le contexte biophysique n'est pas resté figé. En effet, les dynamiques socio-environnementales à l'échelle micro-régionale, ont beaucoup fait évoluer les choses depuis le milieu du XX<sup>e</sup> siècle et leur empreinte dans l'espace montrent que la situation qui prévaut aujourd'hui n'est plus comparable à celle qui existait lors de ce découpage. Car le paysage est avant tout ici, le résultat de l'expression actuelle des usages que les populations développent sur les écosystèmes qui leur fournissent une partie des ressources dont elles ont besoin.

Les travaux récents sur la question se sont développés à partir d'approches fondées sur la modélisation de l'activité photosynthétique de la végétation en mesurant le NDVI (Chapitre 9) avant de la corrélérer avec les données climatiques pour finalement dresser des cartes bioclimatiques à l'échelle régionale ou continentale (Ramankutty, 2004 ; Kaptue *et al*, 2010). Là aussi, demeure une incertitude dans la mesure où la question des pratiques anthropiques n'est pas toujours prise en compte alors que ses incidences sur l'organisation de la couverture végétale sont importantes. Dans une recherche consacrée à la végétation du Ferlo, Poupon et Cornet (1977) ont montré en conclusion que les pratiques sociales doivent fondamentalement être intégrées dans de telles études.

Aujourd'hui, l'intérêt scientifique d'une telle réflexion sur un découpage trop rigide dont la perfection n'apparaît que sur les cartes de végétation (Alexandre, 2008) est lié à l'action de ces dynamiques socio-environnementales et spatiales qui se mettent en place dans des régions marquées par des changements à caractères multiples. Ainsi, si à l'échelle macro-régionale, les paysages végétaux (très faiblement anthropisés) semblent suivre de façon homogène le gradient de la pluviosité, à l'échelle des sites (micro-régionale), la réalité est tout autre. Une lecture multi-scalaire à travers une logique faisant appel, au-delà de la biogéographie, à l'écologie du paysage (Forman et Godron, 1986 ; Burel & Baudry, 1999) permet de faire ressortir des spécificités locales (s'établissant en des mosaïques hétérogènes) et régionales qui remettent en question l'homogénéisation des paysages en région sahélienne et particulièrement dans le Ferlo sénégalais. Cette approche paysagère est intéressante dans la mesure où elle « *se fonde sur le constat de l'hétérogénéité des espaces et des milieux, et légitime même son rôle organisateur. Elle pose le principe que les activités humaines sont le*

*principal facteur d'évolution des paysages au niveau planétaire. Elle entend prendre explicitement en compte l'espace et le temps* » (Burel & Baudry, 1999). En effet, l'espace sahélien est un cadre spatial où les activités anthropiques ont, comme on l'a vu une forte emprise sur les écosystèmes et se sont adaptées aux différents changements intervenus dans les milieux avec un arsenal de stratégies. Au niveau local, nous sommes face à une projection des structures sociétales sur des terroirs en perpétuelle mutation, renforçant ainsi l'hétérogénéité des paysages entre le Ferlo et le Bassin arachidier.

Dans le chapitre précédent, l'organisation de la flore à l'échelle du Ferlo a été bien mise en évidence. En effet, nous sommes en présence d'une variation floristique régionale qui suit le gradient bioclimatique. Une situation qui montre que cette organisation répond bien au modèle du *continuum* floristique bien que localement, les pratiques anthropiques font intervenir des modifications importantes ayant des incidences sur les contours des paysages.

L'analyse de ces communautés végétales par l'approche des « *gradient analyses* » (Whittaker, 1967) permet ainsi de faire « *une étude de la végétation telle qu'elle s'ordonne le long des gradients écologiques* » (Alexandre & Génin, 2012). Une perspective intéressante dans le cadre du contexte biophysique actuel du Ferlo où nous pouvons mettre l'accent sur les changements progressifs ou brusques (physique, social, politique, etc.) et leurs implications sur l'organisation de la couverture végétale. Whittaker (1967) part du postulat que « *les variations environnementales sont ordonnées dans l'espace et leur organisation gouverne la structure et le fonctionnement des systèmes écologiques correspondants, que ce soient des populations, des communautés ou des écosystèmes* » (McDonnell & Pickett, 1990) pour distinguer deux types de gradients :

- les gradients simples basés sur les variations d'un seul paramètre environnemental (assimilable ici au gradient de la pluviosité croissant ici entre le Ferlo et le Bassin arachidier) et
- les gradients complexes fondés sur plusieurs facteurs (Pratiques et usages sociétaux, conditions édaphiques, gradient climatique, etc) qui peuvent avoir ensemble des interactions (Whittaker, 1967; McDonnell *et al.* 1993).

Ces gradients complexes correspondent bien à la dynamique écosystémique et paysagère que nous avons aujourd'hui dans la zone sahélienne, particulièrement dans le Ferlo sénégalais. En effet, malgré son importance manifeste, le facteur climatique ne suffit pas comme seul critère valable dans la distribution et l'organisation de la flore. Le rôle des systèmes socioécologiques ainsi que des variables écologiques est également fondamental. En effet, les aménagements agricoles ou forestiers (champs, parcs, réserves pastorales et forêts classées) se

succèdent entre le Ferlo et le Bassin arachidier de façon discontinue assimilable à ces mosaïques paysagères. L'anthroposystème pastoral du nord, suivant le gradient nord-sud laisse la place aux anthroposystèmes agraires du Saloum ou plus encore au sud (en Casamance) au système socioécologique Diola essentiellement fondé sur la riziculture. Cette succession d'usages du sol suivant le gradient nord-sud se traduit aussi dans l'organisation paysagère avec des transitions qui ne sont jamais nettes, car les types s'interpénètrent, voire se combinent dans les zones de transition.

### **1.2. Une transition paysagère et floristique dans un cadre où la macro-homogénéité paysagère est en rapport avec le gradient de la pluviosité**

Entre le Ferlo et le Bassin arachidier suivant le gradient croissant nord-sud de la pluviosité, il n'y a pas véritablement de rupture nette dans le *continuum* de la végétation, mais plutôt une certaine variation qui s'établit de façon progressive (Chapitre 10). Une telle organisation de la couverture floristique montre la complexité d'une segmentation, même par référence aux paysages végétaux même si certaines espèces ligneuses pour la plupart ont tendance à disparaître le long du gradient nord-sud en laissant la place à d'autres espèces plus méridionales. Si on considère toute cette partie du Sénégal allant du Ferlo au Bassin arachidier, cette situation peut résulter de la quasi-absence de variations morphologiques et des conditions édaphiques (Trochain, 1940, Poupon & Cornet, 1977). Dans un tel contexte, définir des limites aux régions phytoclimatiques devient une tâche hasardeuse. En effet, si les régions bioclimatiques peuvent sembler des évidences sur les cartes, elles s'échappent toujours lorsque nous tentons de les circonscrire concrètement sur le terrain. Alexandre (2008) estime ainsi que « *la reconnaissance de domaines intermédiaires sahélo-soudanien ou soudano-sahélien ne supprime pas la difficulté et risque même d'augmenter les risques d'ambiguïté* ».

Ainsi devrions-nous remettre en question ces découpages fondés exclusivement à partir du déterminisme climatique qui veut figer les paysages dans la mesure où la géographie des climats ne correspond pas forcément à la géographie de la végétation (Alexandre, 2008) et surtout dans une région qui a connu de nombreux changements au cours de ces dernières décennies. Le Sahel, une des régions du monde qui a connu de fortes perturbations climatiques au cours de ces cinquante dernières années, marquées notamment par les sécheresses sévères de 1973 et de 1984 et les fluctuations interannuelles de la pluviosité (Chapitre 5). Les raisons des fluctuations de la dynamique atmosphérique (connue sous le nom de la mousson ouest-africaine) responsable des conditions de la pluviosité reste encore mal connues et font l'objet actuellement d'importantes recherches scientifiques dans le cadre

du programme international AMMA (Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine). Mal connue aussi la réponse que la couverture végétale sahélienne a répondu dans sa physionomie et dans sa répartition à ces perturbations de la pluviosité (Guillemyn *et al.* 1993) qui semblent avoir peu d'influence sur l'évolution à long terme d'un écosystème végétal bien résilient aux conditions du milieu. Selon Poupon & Cornet (1977), « *malgré ses conséquences immédiates (disparition d'espèces herbacées, forte mortalité des ligneux), la sécheresse de 1970 à 1973 n'a pas produit de bouleversement floristique majeur* » dans le Ferlo. Pour la végétation de la bande littorale de l'Afrique de l'Ouest, Andrieu (2008) concluait de la même façon.

En considérant toute la région étudiée, comme vu au chapitre précédent, nous pouvons noter avec cette disposition du gradient de la pluviosité en rapport avec les conditions édaphiques, une certaine organisation de la flore. Dans la partie nord correspondant au Ferlo, à la fin de la saison des pluies, la couverture végétale se présente sous la physionomie d'une steppe herbeuse que les sociétés humaines entretiennent avec les pâturages. Ce tapis herbacé est essentiellement composé d'espèces annuelles et est parsemé le plus souvent d'arbustes (*Boscia senegalensis*) et d'arbres (*Balanites aegyptiaca*, *Acacia raddiana*, *Combretum glutinosum*). En allant vers le sud en direction du Bassin arachidier, le changement dans la couverture floristique s'opère peu à peu. Cette transition floristique, mais ayant une traduction paysagère, montre une disparition le long du gradient nord-sud des espèces en fonction de leur *optimum climatique* (Alexandre & Génin, 2008) comme *Balanites aegyptiaca*, *Boscia senegalensis*, et l'apparition d'autres comme *Parkia biglobosa*, *Xeroderris stuhlmannii*, *Cordyla pinnata*, *Stercula setigera*, *Borassus flabelifer*, *Sclerocarya birrea*, *Bombax costatum*, *Lannea acida*, *Acacia ataxacantha* (Fig. 123 à 128). Ainsi avons-nous une structure spatiale régionale marquée par cette *macro-homogénéité* avec une matrice (au sens de l'écologie du paysage, Forman & Godron, 1985) en changement graduel en fonction du gradient de pluviosité. Dans ce *continuum* régional, la géographie de la végétation se modifie de façon variable suivant les espèces végétales en réponse à la variabilité de la pluviosité. Celle-ci rend difficile l'établissement d'une correspondance simple entre le climat et la végétation (Alexandre, 2008).

A l'échelle des sites qui, pour nous est la dimension spatiale la plus pertinente pour une telle étude, la réalité est encore plus complexe à cause de la conjonction de plusieurs facteurs dont les répercussions sur l'organisation des paysages sont encore déterminantes.

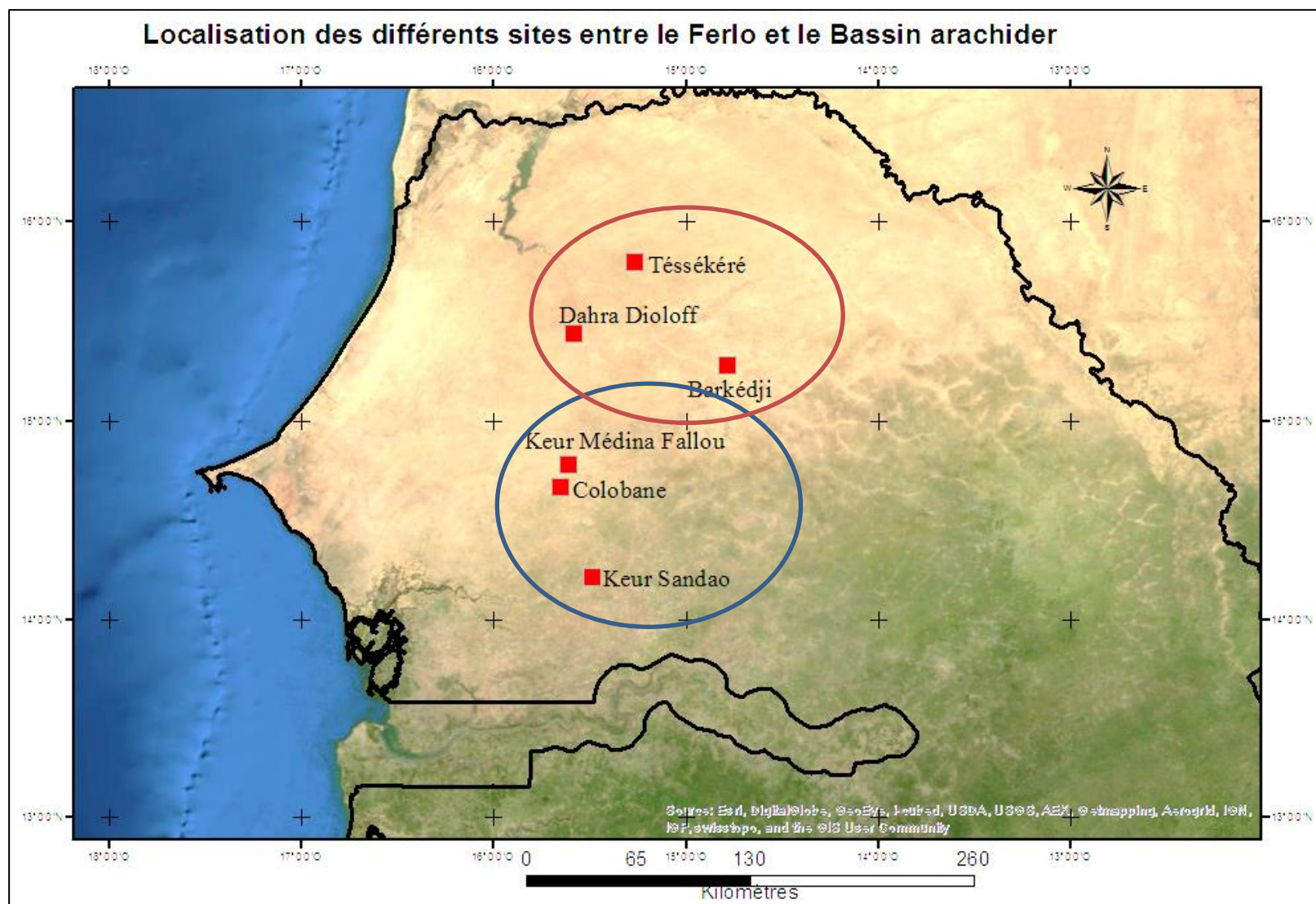
## **2. La micro-hétérogénéité paysagère locale induite par la diversité des pratiques et des usages ruraux, modulée par un contexte de changements socio-environnementaux.**

### **2.1. Du Ferlo au Bassin arachidier : changements et recompositions de l'espace rural du Sénégal intérieur**

Le Ferlo se particularise des autres régions sahéliennes pas seulement de par son environnement et par ses paysages mais aussi et surtout par les politiques d'hydraulique pastorale menées depuis la période coloniale qui ont entraîné des formes d'occupation et d'utilisation de l'espace très originales. Ces premières interventions ont consisté en la mise en place de forages pastoraux par les autorités coloniales françaises, politique poursuivie par les gouvernants après les indépendances en 1960. De tels aménagements ont eu des conséquences sur la mobilité pastorale, principale exploitant des ressources fourragères. Les grands aménagements hydro-agricoles entrepris au niveau de la vallée du fleuve au nord du Ferlo ont aussi provoqué des bouleversements sur les parcours traditionnels du bétail par un mitage progressif des espaces naguère parcourus par le bétail, renforçant ainsi la marginalisation de l'activité d'élevage et la vulnérabilité de l'anthroposystème pastoral peul (Diouf *et al.* 2002). Selon Touré (1992) : « *l'ensemble de la vallée du fleuve Sénégal, la logique des aménagements a conduit à l'éviction progressive du pastoralisme, provoquant ainsi l'exclusion d'une partie du bétail de la zone. Un processus similaire est observé dans la périphérie sud du Ferlo, dans la zone de transition agro-pastorale* ». Cette mise en valeur agricole et l'installation des forages avaient pour ambition de circonscrire l'aire de l'activité pastorale dans le Ferlo central.

Vers le sud, la colonisation *Mouride* et dans une moindre mesure sérère, ont atteint des communautés rurales comme Barkédji ou Thiargnie. Si elle a commencé au milieu du XX<sup>e</sup> siècle, c'est récemment qu'elle s'est intensifiée. En effet, Roberty (1952) s'inquiétait déjà au début de cette colonisation agricole Wolof à travers la monoculture arachidière et de ses probables conséquences écologiques dans le sud du Ferlo, disant alors que « *l'arachide grignote déjà les marges sud du Ferlo. Sous réserve de n'être pas une monoculture, d'être, par exemple, établie sur d'anciens parcs à bétail, au sol enrichi et tassé, en alternances régulières dont il appartient aux agronomes de préciser les détails, elle ne risque pas de désertifier ce pays comme elle l'a fait du Cayor.* » Plus au sud, la pression accrue sur les terres du bassin arachidier après celles du Cayor, a fini par appauvrir celles-ci et dégrader le couvert arboré. La mise sous culture arachidière s'est accompagnée d'un déboisement très massif (Ozer, 2004). A l'intérieur du Ferlo, l'extensivité des exploitations agricoles Wolofs s'est manifestée par un changement écosystémique et leurs redéploiements vers les terres

jusque-là dévolues à l'activité de la transhumance. Ce qui localement exacerbe les tensions et les compétitions pour l'accès aux principales ressources. La réponse des villages et campements peuls se lit à travers les stratégies qu'ils mettent en place et qui sont tournées résolument vers un système alliant ainsi l'agriculture à l'élevage, ceci pour deux raisons principalement. En effet, dans le cadre de la politique de réforme foncière entreprise par le gouvernement sénégalais, l'objectif principal formulé est la mise en place d'un foncier rural. C'est là qu'il faut comprendre la stratégie d'anticipation des Peuls dans leur choix de se mettre à l'agriculture. La deuxième raison est une volonté de faire face à la colonisation, *mouride* principalement, surtout pour des Peuls qui ont bien retenu la leçon de Khelcom (qui sera développé dans les lignes qui suivent) dans la zone de transition entre le Ferlo et le Bassin arachidier. Un cas qui illustre l'ambiguïté des politiques agricoles et leurs conséquences sur des milieux écologiques qui portent encore les stigmates des différentes phases de sécheresses intervenues durant ces dernières décennies. L'ampleur de l'empreinte anthropique sur l'organisation de la couverture végétale entre le Ferlo et le Bassin arachidier, en dépit de l'amélioration des conditions de la pluviosité, reste encore très forte. La série de planches ci-dessous permet de mettre en évidence ces interactions entre les systèmes sociaux et écologiques, l'intensité de celles-ci est le moteur de l'hétérogénéité des paysages. En effet, l'importance et l'intensité des interventions anthropiques sont capitales dans la détermination de l'état de la couverture végétale. La mise en culture de façon répétée, si elle est bénéfique aux populations, reste qu'elle soit particulièrement défavorable à l'écosystème.



**Figure 122. Localisation des différents sites étudiés dans ce chapitre**



**Figure 123. Planche 1 : Quatre sites de pâturages à Téssékéré et à Wourou samba (Communauté rurale de Téssékéré)**

La couverture végétale se présente sous une physionomie de steppe herbeuse. A travers cette série de photos, est mise en évidence, une monotonie des paysages dans le nord du Ferlo due en partie à l'absence d'exploitations agricoles. Ici, la couverture ligneuse est très faible et le tapis herbacé reste encore tributaire des apports annuels de la pluviométrie. Il constitue par ailleurs, la ressource sur laquelle l'élevage se fonde pour son développement. Cette faiblesse de la couverture ligneuse est aussi un des éléments qui maintiennent la pratique de l'élevage dans la vulnérabilité du fait de son incapacité à fournir une ressource fourragère de qualité pendant la saison sèche.

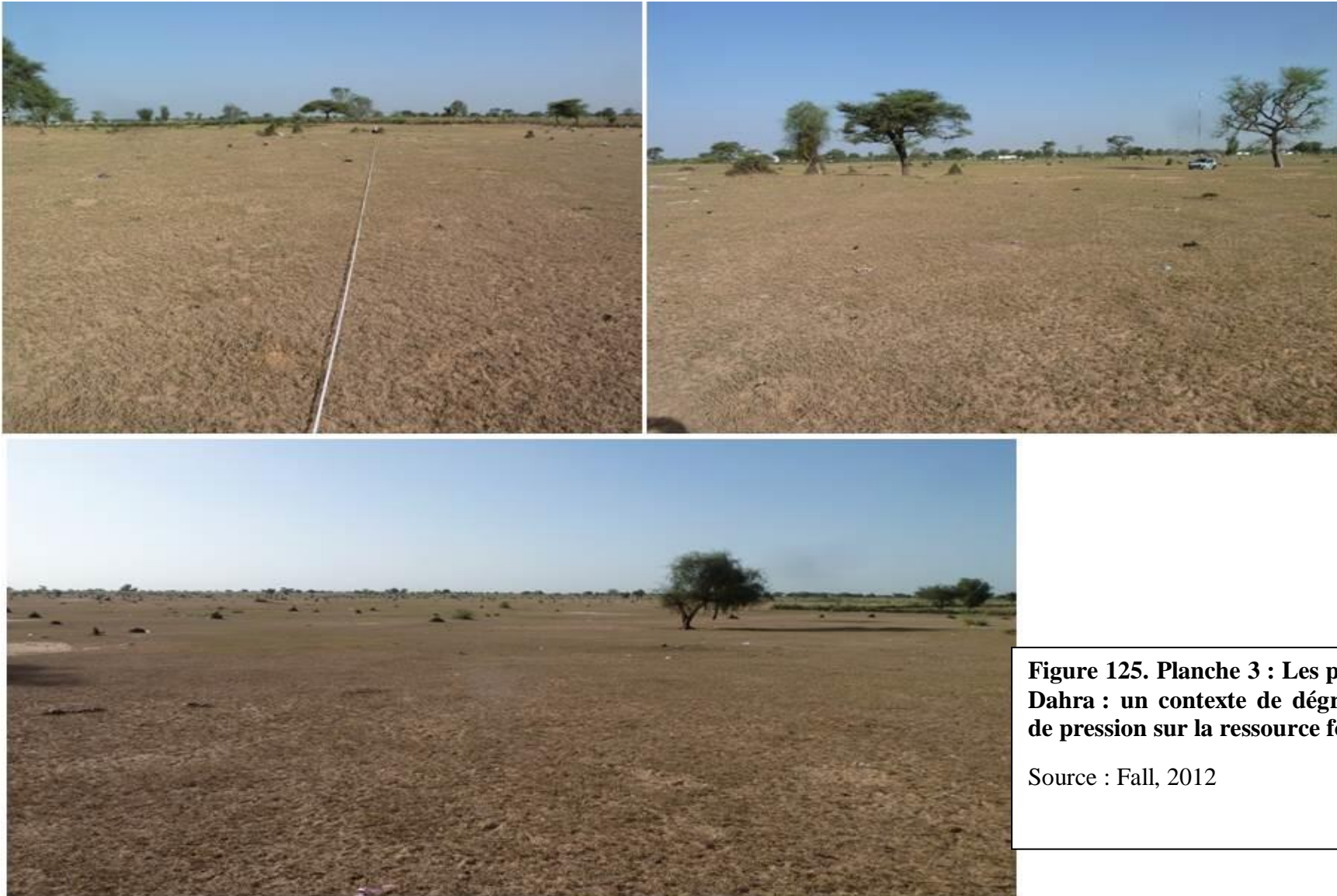
Source : FALL, 2010



Source : Fall, 2010

**Figure 124. Planche 2 : Barkédji, des pâturages au cœur de la vallée fossile**

Le cas de Barkédji mérite un regard particulier. En effet, chef-lieu de la communauté rurale du même nom, elle se trouve au cœur de la zone sylvopastorale. Sa situation dans la vallée fossile lui confère des atouts au point de vue écologique au sein de cet ensemble sahélien, et où l'eau et l'herbe sont les éléments fondamentaux qui structurent la vie agropastorale. Pendant l'hivernage, la communauté rurale est entourée par de grandes mares capables d'assurer une rétention des eaux jusqu'au mois de décembre ou janvier. Le tapis herbacé est ici dominé par des poacées et des légumineuses annuelles. Le couvert arboré même s'il est moins diversifié reste assez dense (par rapport aux autres sites du Ferlo) au voisinage des vallées inondées et au sein des villages, se présentant par endroits sous les traits d'une savane arborée. Trochain (1940) rappelle qu'elle constitue les vestiges d'un boisement préhistorique qui s'étendait au nord jusqu'aux confins du secteur sahélo-saharien. Les espèces présentes sont : *Acacia adansonii*, *Acacia raddiana*, *Anogeissus leiocarpus*, *Balanites aegyptiaca*, *Combretum glutinosum*, *Mitragyna inermis*, *Piliostigma reticulata*.



**Figure 125. Planche 3 : Les pâturages à Dahra : un contexte de dégradation et de pression sur la ressource fourragère**  
Source : Fall, 2012

Le contexte de dégradation qui prévaut actuellement à Dahra est intensifié par l'augmentation de la taille du cheptel et de l'accroissement démographique important dans cette ville du Ferlo qui est aussi un des carrefours commerciaux les plus importants du Sénégal intérieur avec son Louma hebdomadaire (samedi) lieu de rencontre et d'échanges des éleveurs du Ferlo et même de la sous-région (présence d'éleveurs maliens et mauritaniens). Ce processus de dégradation du couvert ligneux et herbacé n'est pas récent. En effet, Poupon & Cornet (1977) faisaient déjà remarquer, dans ce secteur du Sénégal, ce « *caractère très dégradé de [la] végétation, tant pour la strate herbacée que pour la strate ligneuse* ». Sur les images de la planche (3), le tapis herbacé très discontinu, est complètement brouté alors que nous ne sommes qu'en début de saison sèche. Les plages de sables stériles qui apparaissent montrent l'intensité et l'ancienneté de ce processus de dégradation. Les espèces ligneuses présentes sont *Acacia raddiana*, *Balanites aegyptiaca*, *Boscia senegalensis*, *Combretum glutinosum*.

Au cours de ces cinquante dernières années, plusieurs études ont été consacrées à l'exploration de la végétation du Ferlo particulièrement celle de la zone de Dahra. Raynal (1964) constatait « *la disparition progressive des annuelles post-culturelles et un accroissement important des grandes graminées annuelles ainsi qu'une extension importante des arbres, notamment Acacia seyal* ». Cette situation assez favorable que Raynal a décrite se dégrade rapidement avec la péjoration des conditions de la pluviosité qui va intensifier l'utilisation des pâturages. Les observations de Poupon & Cornet (1975 à 1977) dressent un premier bilan de ce processus de dégradation en montrant que « *la végétation herbacée des zones dunaires (Dahra-Nord) a peu évolué depuis l'étude de Raynal (1964), la strate arbustive, par contre, s'est dégradée. Dans la zone sur sol plus argileux (Dahra-Sud), les grandes Andropogonées qui pour Raynal (1964) caractérisaient ces formations, ont quasiment disparu, remplacées par des formations très appauvries floristiquement à Zornia glochidiata et Eragrostis tremula* ». Pour Valenza (1976), la disparition de ces espèces (Andropogonées) est antérieure à la sécheresse de 1973. Ce qui montre que l'action anthropique par la mise en pâturage est fondamentale dans l'évolution des paysages végétaux.



**Figure 126. Planche 4 : les sites de jachères exploitées comme pâturage à Keur Médina Fallou Source : Fall, 2012**



**Figure 127. Planche 5 : Les sites de pâturages à Colobane. Source : Fall, 2012**

**Fig. 126, 127, 128 (Planche 4, 5 et 6): Des paysages végétaux de savanes au cœur du Bassin arachidier, anthroposystème agraire wolof.**

La transition floristique et paysagère apparaissant entre le Ferlo et le Bassin arachidier à la faveur du gradient bioclimatique (augmentation des apports pluviométriques annuels) et du rôle de l'anthroposystème agraire wolof, se traduit sur la couverture végétale qui se décline ici, sous les formes d'une savane arbustive ou arborée en alternance avec des espaces agricoles suivant les localités villageoises. Cette nouvelle organisation dans la couverture végétale est aussi marquée par l'apparition de nouvelles espèces, ligneuses pour l'essentiel (Chapitre 10) dont leur optimum écologique les place dans un contexte soudano-sahélien où les apports annuels de précipitation sont plus importants.

Suivant ainsi les usages agricoles en cours dans ces sociétés villageoises historiquement ancrées dans l'exploitation de la terre, le paysage apparaît sous divers faciès bien hétérogènes d'un site à l'autre. Il porte par ailleurs les stigmates des décennies de monoculture arachidière qui ont particulièrement appauvri la terre. En effet, dans les zones de cultures, si la strate ligneuse est très faible, des espèces comme *Acacia albida*, *Adansonia digitata* et *Bombax costatum* sont toutefois bien protégées par les villageois pour les ressources alimentaires qu'ils en tirent et les vertus qu'ils leurs prêtent. Dans les jachères de première et deuxième année, *Guiera senegalensis* et *Cassia occidentalis* se développent rapidement permettant ainsi le retour d'une savane buissonnante et arbustive différente de la savane d'origine et marquée par l'emprise des activités anthropiques qui exclue toute reconstitution complète de l'écosystème.

Des réserves sylvopastorales et des forêts classées qui étaient aménagées naguère, avaient permis de préserver une partie de la savane arborée du Saloum de l'extension rapide des superficies agricoles. Il en sera autrement lorsque les autorités ont décidé en 1991 de déclasser une partie de la forêt de Mbégué (figure 129) au profit de la communauté *Mouride* pour sa mise en valeur agricole, une décision paradoxale dans un contexte de péjoration de la pluviosité, de rareté de la ressource fourragère et de multiplication des conflits pour accéder à celle-ci.



**Figure 128. Paysages de Champs et de pâturage à Keur Sandao. Source : Fall, 2012**

## **2.2. L'expérience de Khelcom ou l'ambiguïté des politiques agricoles et leurs conséquences environnementales dans un contexte de péjoration de la pluviosité.**

En 1991, l'Etat du Sénégal a décidé de déclasser une partie de la forêt classée de Mbégué (plus connue sous le nom de Khelcom Diaaga) (Figure 129) au profit du Khalife Général de la communauté *mouride* pour sa mise en valeur agricole par l'agriculture. La superficie alors octroyée au Khalife couvrait 51 712 ha et concernait la partie nord et ouest de la forêt, au motif, selon les autorités compétentes, que, durement frappée par la péjoration climatique, elle ne répondait plus aux besoins sylvopastoraux des Peuls qui commençaient déjà à la désertifier (Direction de l'agriculture, 1991). Dans les faits, ce déclassement s'est fait au prix d'un changement dans les itinéraires d'accès à la ressource végétale.

L'Etat venait ainsi de poser avec ce déclassement, un nouveau jalon important dans la logique de colonisation agraire de la communauté *mouride*, partie du Baol au centre du Sénégal. En effet, comme le soulignait Diop (1980), cette entreprise de colonisation fut « *amorcée au début du siècle à partir des premiers foyers de regroupement mourides, dans la région de Touba et de Diourbel, [et] un vaste mouvement de conquête pionnière, dirigé par les marabouts, se développa vers l'intérieur des terres en suivant, en direction de l'Est, la pénétration des voies de communication, gagnant ainsi, à la colonisation agricole, toute la partie centrale du pays. (...) Dans cet effort de colonisation, le daara [colonie de Talibés travaillant sous la direction d'un Dieuwrigne ou représentant du Khalife] a servi de structure de défrichement et de support de la conquête pionnière* ».

L'appel du Khalife général des *Mourides* au mois de mai 1991 pour les opérations de défrichement en vue de la mise en culture des terres a fait affluer des milliers de talibés en quête du salut divin. Cette situation se traduisit « *immédiatement par la destruction rapide et radicale de la forêt classée. Celle-ci fut effectuée grâce à la venue de milliers de fidèles Mourides qui, en trois week-ends de mai 1991, ont coupé plus de 5 millions d'arbres sur 278 km<sup>2</sup>, expulsé 6000 pasteurs et leurs 100 000 animaux* (Schoonmaker-Freudenberger, 1991, cité par Chouquer, 2010). Pour le gouvernement sénégalais, un tel projet se justifiait par le grand bond en avant du pays vers une agriculture mieux intégrée au marché et la nécessité de rompre avec la dépendance de l'extérieur pour nourrir une population en constante augmentation et *in fine* « *développer des exploitations agricoles intégrées et de transformer le paysan en fermier* » (Direction de l'agriculture, 1991). Une démarche qui devait par ailleurs, permettre de résorber les conséquences des graves crises de sécheresse telle que la baisse de la production céréalière qui avait favorisé l'augmentation des importations de produits alimentaires tel que le riz.

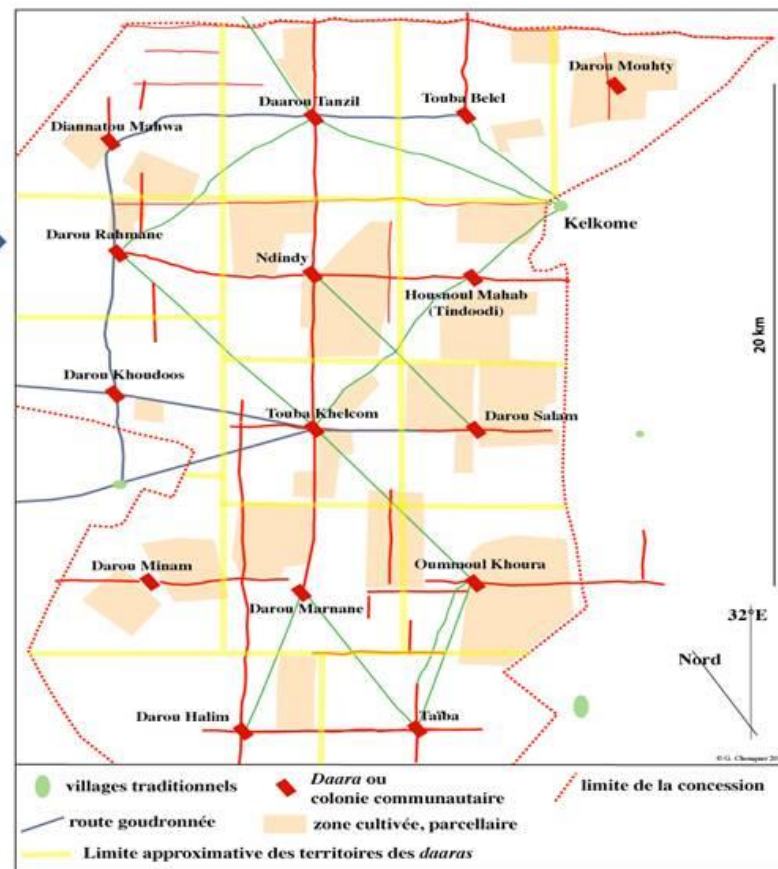
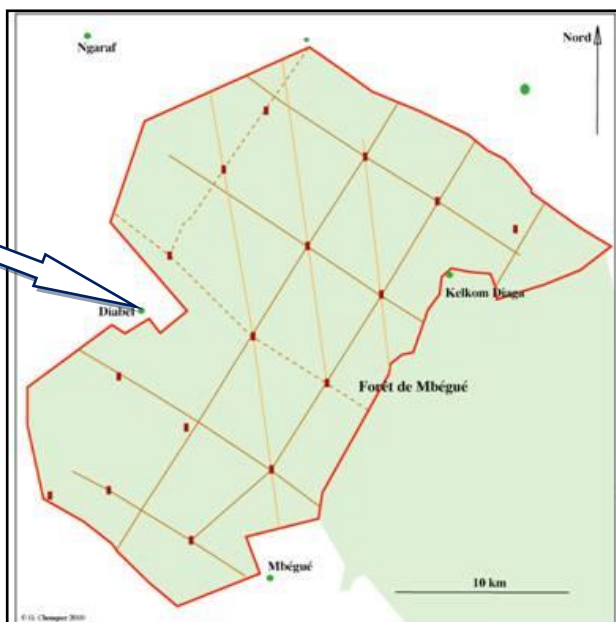
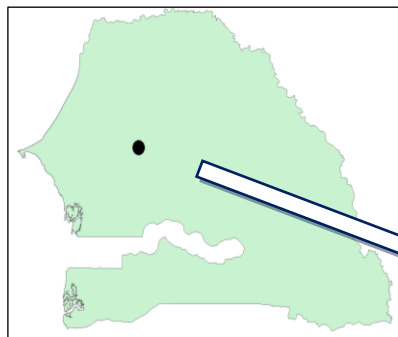


Figure 129. Localisation de Khelcom et organisation territoriale des différentes exploitations ou Daaras (D'après données de Chouquer, 2010)

Ces objectifs économiques et « écologiques » proclamés cachent mal le clientélisme politique qui a été la principale motivation dans ce déclassement d'une partie de la forêt classée de Mbégué dans un pays où le *Ndigueul* (consigne en wolof ; le terme est souvent utilisé par les marabouts pour donner des ordres à leurs talibés de voter pour tel candidat durant les élections) a toujours eu une importance capitale durant les échéances électorales. En effet, « *en décidant d'octroyer une bonne partie de cet espace au khalife général des Mourides, l'État voulait non seulement renforcer ses liens avec Touba (la capitale du mouridisme), mais aussi permettre une extension des superficies arachidières* » (Sidibé, 2005). L'agriculture pratiquée à Khelcom est autant dépendante de la pluie que celle pratiquée par les sociétés paysannes.

Une telle entreprise a exacerbé les relations entre les agriculteurs appartenant ici à la communauté *Mouride* et les pasteurs transhumants qui se retrouvent ainsi privés d'une partie de leur pâturage mais aussi doivent se redéployer vers le nord en direction de la réserve de Doli déjà exploitée par les éleveurs en provenance du nord (Ferlo) ou vers le sud-est pour tenter d'atteindre Tambacounda et les terres neuves. L'un des derniers bastions d'accueil des éleveurs en provenance du nord Ferlo est tombé ainsi, et ceux qui avaient élu domicile dans les campements à proximité de la désormais ex-réserve sylvo-pastorale sont partis sous la pression de l'installation des *Daaras* qui vont assurer l'exploitation agricole des terres.

**Figure 130. Front de colonisation agricole autour du *Daara* de Darou Salam (Image Google Earth du 13/03/2005)**



La mise en culture requiert un déboisement important bien visible sur cette image. La couverture végétale est quasi inexistante à cette période de l'année où les champs sont déjà récoltés. L'organisation et la taille des parcelles témoignent de l'intensité de cette exploitation.

**Figure 131. Le *daara* de Darou Minam (Image Google Earth du 13/03/2005)**



L'exploitation de Darou Minam présente une situation analogue à celle de Darou Salam. Le paysage très monotone ici, montre une grande pauvreté biologique. L'agriculture pratiquée ici est extensive et pluviale et très demandeuse en superficie. Soumise à une monoculture arachidière ou céréalière, la terre se dégrade rapidement.

Au niveau écologique, la mise en culture rapide des terres a nécessité un déboisement important (par dévitalisation le plus souvent, Fig. ci-dessus), parfois violent et sans précédent au Sénégal. Ces défrichements ont aussi affecté le potentiel de reconstitution d'une végétation qui avait pourtant bien résisté aux crises de la pluviosité. La strate ligneuse disparaît ainsi progressivement face à l'avancée inexorable des champs, constituant une rupture avec les pratiques paysannes locales où l'arbre a toujours eu sa place au milieu des cultures (Chapitre 10). Le poids de ce développement agricole sur la couverture végétale se traduit ainsi sur la physionomie paysagère avec la disparition de certaines espèces. Ces coupes massives ont par ailleurs, participé à rendre les sols très vulnérables (Fig. 130, 131 et 132) à l'action érosive du vent et de la pluie qui emportent toutes les substances organiques et les nutriments nécessaires à leur fertilité.

Le développement de l'agriculture extensive arachidière dans cette région naguère pâturée par les troupeaux du Ferlo et du Saloum, a également entraîné des tensions intercommunautaires et un surpâturage au nord et au nord-est notamment dans la communauté rurale de Barkédji où des colonies de *Mourides* agriculteurs commencent à s'installer.

**Figure 132. Le paysage autour du *Daara* de Darou Marnane (Image Google Earth du 13/03/2005)**



**Mis en culture après les autres *Daaras*, l'image montre l'intensité de la déforestation (grains blanchâtres) de Darou Marnane. Rien ne laisse entrevoir qu'il y avait une forêt classée ici.**

Récemment des tensions ont éclaté lorsque l'ancien président Abdoulaye Wade a voulu déclasser une partie de la réserve sylvo-pastorale de Doli en faveur du Khalife des *Mourides*. Devant l'hostilité des Peuls, celui-ci a préféré se rétracter. Partout, l'expression des pratiques anthropiques sur les écosystèmes continue à redessiner les contours des paysages.

Les résultats obtenus au sein du programme ANR ECLiS à travers quatre sites de la zone sahéenne choisis pour leur représentativité biophysique du Sahel, montrent des dynamiques d'occupation du sol et des recompositions spatiales très fortes et surtout contrastées. L'amélioration des conditions de la pluviosité notée au cours de cette dernière décennie n'a pas pour autant permis une réduction de la vulnérabilité des populations rurales qui continuent pour une large partie d'entre eux, à fonder leur existence sur l'exploitation des ressources végétales. En effet, l'accroissement démographique encore forte ainsi que le contexte de crise économique et politique dans lequel toute la sous-région sahéenne est plongée ont conduit les systèmes socioécologiques à la définition de jeux de stratégies d'adaptation sur des terroirs où les compétitions (entre agriculteurs et éleveurs par exemple) pour l'accès à la ressource sont de plus en plus exacerbées par l'arrivée de nouveaux

acteurs (Barkédji dans le Ferlo sénégalais). Cette pression sur la ressource agraire (avec le développement de l'agriculture extensive vivrière et l'abandon progressif des jachères) et végétale se traduit à travers des recompositions spatiales sur des territoires où elles contribuent à rendre les paysages très hétérogènes d'un site à l'autre. Un phénomène de mutations qui impose une nouvelle lecture dynamique des paysages végétaux sahéliens que les découpages classiques ne permettent pas de faire ressortir. Car ces agroécosystèmes sont caractérisés par un certain niveau d'anthropisation, un facteur global qui laisse finalement peu de temps aux écosystèmes et définit ainsi le type de paysage.

Pour le cas du Sénégal intérieur entre le Ferlo et le Bassin arachidier, les résultats issus des analyses statistiques effectuées sur les relevés de végétation présentés dans le chapitre précédent, montrent cette hétérogénéité dans l'organisation de la couverture végétale et par-delà, permettent de faire des typologies (Planches ci-dessous) sur les différents parcours de pâturages ou des paysages entendus dans le sens de « *portion d'espace hétérogène composé d'éléments qui interagissent dans l'espace* » (Alexandre & Génin, 2011). Cette variabilité spatio-temporelle de la couverture végétale est le résultat de la conjonction de déterminants physiques (gradient de pluviosité, types de sols) et anthropiques (exploitation agricole, pâturages, feux de brousse, etc.).

Le poids important des espèces herbacées surtout au nord de la zone d'étude (Fig. 123) correspondant à la communauté rurale de Téssékéré et celles aux alentours, témoigne donc de la prépondérance et de l'importance de cette ressource végétale pour la poursuite des activités de transhumance du bétail qui l'exploitent. Elles indiquent autant l'organisation et la répartition des peuplements végétaux que l'ensemble de la flore (espèces ligneuses et herbacées prises ensemble). Ainsi du nord au sud de la bande d'étude, les déterminants écologiques (pédologie, topographie) et les conditions climatiques particulières, notamment celles qui ont prévalu au cours des cinquante dernières années (avec, en point de mire, la succession des phases de péjoration de la pluviosité), combinés au poids des activités humaines avec l'élevage et l'agriculture au premier chef, ont une incidence sur la distribution des espèces et de la disponibilité de la ressource pastorale et permettent par ailleurs, de redessiner les contours de cette typologie paysagère des agroécosystèmes. En outre, la conjonction de ces deux paramètres (physique et anthropique) permet de montrer que ces milieux sont caractérisés par des changements constants.

Aujourd'hui, la pratique de l'élevage transhumant est intimement liée à la disponibilité spatio-temporelle de cette ressource fourragère. Dans la partie nord de la zone d'étude, correspondant au Ferlo, la productivité des pâturages pour des éleveurs de plus en plus nombreux, est faible malgré les améliorations des conditions de la pluviosité. En revanche, on assiste à une

dégradation de la ressource végétale ligneuse à cause du surpâturage et de la récurrence et la recrudescence des feux actuellement en cours (Sarr, 2008 ; Diallo *et al*, 2012).

Face à ce contexte multiforme de crise socio-environnementale, les éleveurs doivent définir des stratégies leur permettant d'arriver à une certaine résilience vis-à-vis de ces changements socio-environnementaux. Dans le chapitre suivant, nous allons faire état des perceptions que la société rurale développe sur les changements qui affectent l'espace biophysique, les ressources et sur l'évolution des stratégies et des pratiques agricoles et pastorales.



## **Chapitre 12 : Perception des changements socio-environnementaux et évolutions des pratiques et stratégies agricoles et pastorales au Ferlo et sur ses marges avec le bassin arachidier<sup>61</sup>**

---

Le travail de relevés sur la végétation utilisée comme la principale ressource fourragère et pastorale mais aussi comme indicatrice des changements socio-économiques et environnementaux qu'elle intègre à travers le paysage et la flore, a été couplé avec des enquêtes et entretiens réalisés au niveau des villages et campements le long de la bande d'étude.

Les objectifs qui ont guidé ces entretiens étaient de cerner les principales perceptions et représentations sur l'évolution des ressources et des milieux biophysiques en rapport avec la péjoration de la pluviosité (et ses conséquences sur les milieux) et sur les pratiques relevant de l'agriculture et de l'élevage itinérant. Par ailleurs, les changements socio-économiques et politiques connus par l'ensemble des pays du Sahel ne pouvaient être ignorés par ces entretiens. Il était toutefois plus difficile de les aborder frontalement, surtout lorsqu'il s'agissait d'aborder des sujets conflictuels comme la colonisation agricole Wolof ou *Mouride*. Ces changements interviennent donc plus ici dans notre grille de lecture des entretiens que dans les entretiens eux-mêmes.

### **1. Les enquêtes par entretiens semi-directifs**

La majeure partie de ces enquêtes (Tableau 28) a été faite auprès des éleveurs et agropasteurs du Ferlo. Dans le bassin arachidier, la durée relativement courte du séjour et les longues distances à parcourir sur le terrain n'ont pas permis de coupler systématiquement avec l'enquête avec chacun des villages où ont été effectués des relevés botaniques. Ainsi avons-nous privilégié les relevés sur la ressource fourragère nous contentant d'observations participatives sur les pratiques autour des villages. Si on replace le sujet sur les mutations majeures qui s'observent dans la pratique des activités agricoles et pastorales dans le Ferlo et ses marges sud, ce compromis peut se justifier. L'extension de notre champ d'étude vers le bassin arachidier devait simplement permettre de cerner la problématique et les représentations sur la disponibilité, l'accès et les variations de la ressource fourragère pour les transhumants en provenance du nord du Sénégal, entre la vallée du fleuve et le Ferlo. Elle a aussi permis de préciser l'état actuel du front agricole.

Par ailleurs, il a été aussi très difficile d'approcher les Peuls qui étaient en transhumance et que nous avons croisés sur notre chemin. Ceci est dû pour partie, à la méfiance de ces derniers à notre égard. Appartenant au groupe linguistique *wolof* et travaillant en collaboration avec un autre

---

<sup>61</sup> Les résultats présentés dans ce chapitre ont fait l'objet d'un livrable du programme ANR ECLIS, largement ci-dessous dans ce chapitre : Marega O., Fall A., Salem A., Mering C., 2013 : [http://eclis.get.obs-mip.fr/index.php/content/download/888/4918/file/5\\_7b\\_Marega\\_et\\_al\\_Paroles\\_%C3%A9leveurs\\_Ferlo\\_Prodig\\_2013.pdf](http://eclis.get.obs-mip.fr/index.php/content/download/888/4918/file/5_7b_Marega_et_al_Paroles_%C3%A9leveurs_Ferlo_Prodig_2013.pdf)

doctorant *soninké* (Oumar Marega), il n'a pas été partout facile d'entrer en contact avec les Peuls surtout au niveau de la vallée du Fleuve où la situation était plus tendue, car l'enquête est avant tout un moment d'expression des rapports sociaux. La fatigue inhérente à la conduite des troupeaux et l'inquiétude qui guide la recherche du bon pâturage peuvent aussi être des facteurs explicatifs de cette attitude des pasteurs qui n'ont confiance finalement que dans l'herbe et l'eau nourricières de leur patrimoine presque sacré que sont les troupeaux de bovins.

Le recours à la pratique d'entretiens avec les acteurs est une technique courante dans le cadre de la recherche en sciences humaines et sociales (Combessie, 2007). Le choix des villages et campements à enquêter a été défini en tenant compte de leur position géographique, de leurs caractéristiques environnementales et socio-économiques ainsi que de leur accessibilité, l'accès à certains villages étant difficile car non desservis par les voies de communication. Les pistes rurales sont souvent impraticables surtout pendant l'hivernage. La méthode utilisée dans le cadre de ce travail d'enquête est celle dite de l'entretien *semi-directif* qui est une technique d'entretien au cours de laquelle les échanges avec le sujet à enquêter ne sont ni entièrement ouverts, ni cadrés par un trop grand nombre de questions précises et orientées (Combessie, 2007). « *Ce genre de méthode se révèle utile lorsque l'objectif est de détecter des préoccupations inconnues de l'enquêteur au départ de l'analyse, d'éclairer le sens que les acteurs donnent à leurs pratiques, de mettre à jour leurs représentations sociales* » (Marega, Fall et al, 2013). Pour Andrieu (2008), « *les entretiens ouverts ou semi-dirigés permettent d'enregistrer de longues descriptions des pratiques par les villageois lesquelles peuvent permettre d'analyser les perceptions et les discours. Cependant, elles sont encore rarement employées, parce que leur exploitation est plus délicate que celle des entretiens par questionnaire.* » Combinée avec des observations participatives, cette méthode permet d'échanger avec les divers acteurs sur la manière dont ils perçoivent l'évolution de leurs conditions de vie, de la pratique de leurs activités agricoles et pastorales ainsi que des ressources naturelles sans pour autant orienter leurs réponses. Par ailleurs, elle permet de comprendre les principales représentations que ces sociétés développent vis-à-vis d'un environnement souvent hostile marqué par des successions de crises d'ordre climatique. La principale limite à cette méthode d'entretien, ressentie sur le terrain, est qu'elle prenait en compte une multitude de préoccupations en même temps. Ceci a induit quelquefois de très longues séances d'entretien pouvant avoir un impact sur le temps de travail de nos interlocuteurs qui nous recevaient souvent aux moments coïncidant aux heures de travail habituel.

Plus que sur un questionnaire, le procédé s'appuie sur un guide d'entretien thématique qui est détaillé ci-dessous.

## **Guide d'entretien thématique:**

### **A- Description du village étudié**

- Historique
- Composition ethnique
- Activités principales

### **B- Ressources fourragères, ressources en eau**

- Typologie disponibilité des ressources naturelles
- Accessibilité
- Principaux problèmes

### **C- Gestion collective des ressources et pratiques agropastorales**

- Mode de gestion
- Cohabitation agriculteurs/éleveurs
- Règlement des problèmes et conflits

### **D- Evolution des ressources et des activités**

### **E- Stratégies d'adaptation et de gestion des risques**

Une fois au village ou dans le campement et face à la personne ressource à interviewer, la procédure d'enquête requiert que l'on aborde dans un premier temps des questions simples ouvertes et purement descriptives, en laissant libre choix à l'enquêté de développer sa réponse suivant sa propre perception. Ainsi au fur et à mesure de la progression des échanges, d'autres questions surgissent suivant la logique définie sur la grille des thèmes. Dans la mesure du possible, nous avons sollicité et parfois obtenu qu'un ou plusieurs villageois enquêtés fassent la visite guidée autour du village et de ses différents lieux « d'intérêts » : zones des champs cultivés et des jachères, zones de pâturages pour les troupeaux du village et pour les transhumants, les points d'eau, les espaces protégés etc. Dans certaines localités, généralement les plus importantes, telles que les centres des communautés rurales de Boulal, de Barkédji et de Thiargnie, le chef du village peut cumuler plusieurs fonctions : il est à la fois le chef du village, le président de la communauté rurale (PCR) et le président de l'association des éleveurs entre autres. Ce qui fait que localement ils sont incontournables sur certaines questions relatives à l'évolution des activités agropastorales et aux ressources naturelles et à leurs modes de gestion.

**Tableau 28 : Listes des personnes et groupes et personnes rencontrés lors des missions de terrain.**

Enquêté	Fonction	Lieu	Date
Elhadji BA	Eleveur	Dahra	23/10/2010
Oumar SOW	Eleveur	Dahra	23/10/2010
Ali FALL	Président ASC <sup>62</sup>	Dahra	23/10/2010
Racine Samba SOW	Directeur CRZ <sup>63</sup> DAHRA	Dahra, CRZ	24/10/2010
Kelli Sadio KA	PCR	Boulal	25/10/2010
Amadou KA	Chef de Village	Boulal	25/10/2010
Focus Groupe	Avec des Eleveurs	Marché Boulal	25/10/2010
Mor Fama LEYE	Gestionnaire Forage	Loumbel	26/10/2010
DIOP	Chef de Village	Loumbel	26/10/2010
Samba Ngoye KA	Chef de Village	Thiargnye	27/10/2010
Moussa ka	Villageois	Thiargnye	27/10/2010
Focus Groupe	Agropasteurs	Dendielli Namass	28/10/2010
Abdoulaye KA	Chef de Village	Dendielli Namass	28/10/2010
Ndiala KA	Chef de Village	Dendielli Guéli	28/10/2010
Hadramé SOW	PCR	Barkédji	04/11/2010
Gora BA	Eleveur	Doundodji	05/11/2010
Samba DIALLO	Eleveur	Doundodji	05/11/2010
Demba KA	Eleveur	Doundodji Parba	05/11/2010
Abdoulaye BA	Eleveur	Ngourou	05/11/2010
Aliou DIOP	Eleveur	Doundodji	05/11/2010
Djiby Aliou BA	Agropasteur	Some Dande	06/11/2010
Aliou BA	Agropasteur	Some Dande	06/11/2010
Ousmane SANGARE	Eleveur	Téssékéré	08/11/2010
Aziz NGOM	Eleveur	Téssékéré	08/11/2010
Samba BA	Agropasteur	Wouro Samba	09/11/2010
OGO	Agropasteur	Ogo	26/11/2010
Ba	Agriculteur	Diamel	27/11/2010
Daouda Sileye BA	Eleveur	Tiguéré Ciré	27/11/2010
Ndiaye	Agriculteur	Thiamène	31/10/2012
Ousmane	Agent d'élevage	Déali	01/11/2012
Moussa Ka	Eleveur	Touba Boustane	02/11/2012
Samba SOW	Agropasteur	Bakoure Campement	05/11/2012
Modou Gueye	Agriculteur	Darou Sagor	08/11/2012
Moustapha Sow	Agriculteur	Mbar	10/11/2012
Ousmane Gueye	Agriculteur	Gniby	12/11/2012
Samba SOW	Agropasteur	Boul Peul	14/11/2012

Hétérogène par rapport à l'ensemble, l'entretien réalisé avec le directeur du Centre de Recherche Zootechnique (CRZ) de Dahra a permis de cadrer l'état actuel de l'élevage au Sénégal au regard des différentes politiques menées par l'Etat au cours de ces dernières décennies. Ainsi les

<sup>62</sup> Association Sportive et Culturelle (ASC), type d'association très développé au Sénégal et qui permet de fédérer les jeunes des quartiers autour d'un projet à caractère sportif et culturel.

<sup>63</sup> Centre de Recherche Zootechnique (CRZ)

entretiens effectués avec ces personnes ressources, véritables acteurs locaux, sont très riches d'enseignements et sont différents d'avec ceux faits avec de simples paysans (éleveurs, agriculteurs, agropasteurs, etc.) dans le cadre d'un focus-groupe.

## 1. Méthode de traitement des données des enquêtes

Plusieurs méthodes existent pour analyser et traiter les données issues d'entretiens. Le choix a consisté à se laisser guider par les techniques de la lexicométrie. Ce choix se justifie par le souci d'objectivation de l'analyse des discours tenus par les acteurs et les habitants du terroir. Préalablement traduits en français par nous mêmes, le corpus des discours est soumis aux traitements statistiques à travers le logiciel Lexico développé par André Salem (1987) (Lebart & Salem, 1994). Cette entreprise de traduction du Wolof et du Peul vers le Français, opération somme toute délicate peut introduire des biais. Sur ce point, le programme de recherche APRECIADO<sup>64</sup>, est en train d'initier une opération originale à laquelle nous sommes associés. En effet, le protocole de traitement qui sera mis en place permettra de traiter directement les entretiens dans la langue d'origine (Wolof, Peul, Djerma, etc.) contournant ainsi ce biais.

### 1.1. Étapes du traitement

La mise en forme du corpus textométrique général suppose la mise en place, au fil des textes, des balises permettant de segmenter des parties ou fragments que l'on souhaitera comparer entre eux. La segmentation est un processus de partitionnement des entretiens recueillis subjectif mais nécessaire pour la comparaison des discours tenus sur les différents thèmes du guide d'entretien.

#### Encart 1 : Exemple de segmentation d'un entretien (Marega, Fall *et al.*, 2013)

```
<Entretien=5>, <Acteur=$Eleveur>, <Ethnie=$Peul>, <Localité=Boulal>, <Age=Vieux>, <Trad=Ababacar>
$ Je suis Amadou Ka, le chef de village de Ndougou, un village situé à 20 km d ici. Je
n'ai d'autres activités que la transhumance. C'est l'activité que je pratique depuis tout
petit. J'ai hérité cette activité de mon père.
$ Je peux aller jusqu' à Mbour, jusqu'au Sénégal oriental mais c'est en saison sèche. Je
calcule le temps pour arriver ici en début de la saison des pluies.
$ Actuellement je suis ici en cette période parce que la saison des pluies a été bonne
donc on peut commencer à partir vers le mois de janvier. A cette période je ne sais pas
où est ce que je dois aller mais je sais bien où est ce que je suis déjà passé.
```

#### Encart 2: Données métatextuelles (Marega, Fall *et al.*, 2013)

<sup>64</sup> Analyse et spatialisation des Perceptions et Représentations sociales des Changements environnementaux en Afrique de l'Ouest sahélo-soudanienne, un projet porté par le CRESC (Paris 13), PRODIG (Paris Diderot) et l'INALCO.

- **§acteur** : berger, éleveur, agropasteur, président de communauté rurale (PCR), directeur de Centre de Recherche Zootechnique (CRZ),
- **âge** : vieux (plus de 50 ans), actifs plus (entre 30 et 50 ans), jeunes (moins de 30ans);
- **localité** : les noms des villages dans lesquels les entretiens ont été menés;
- **§ethnie** : catégorie *socio-ethnique* ou *groupes linguistiques* (Peul, Wolof, Toucouleur, Sérère),

« L'objectif de ces regroupements est de faciliter la lecture et d'aider à l'interprétation des faits rassemblés. En nous appuyant sur les préoccupations qui ont servi à établir le plan d'enquête, nous avons intégré des données métatextuelles relatives à la situation de chaque interview : acteur, ethnie, localité, âge, traduction. On trouvera ci-dessus les différentes valeurs rencontrées au cours de l'enquête, pour chacune de ces variables. On trouvera, dans l'encart 1, un extrait du corpus présenté plus haut, balisé, cette fois, à l'aide de l'ensemble des jalons textuels que nous avons présentés plus haut. » (Marega, Fall et al, 2013)

### 1.2.Caractéristiques générales du corpus

Le corpus regroupe l'ensemble des entretiens effectués sur le terrain auprès des acteurs locaux ou des villageois (Tableau 28), soit plus d'une trentaine d'entretiens semi-directifs à partir de la grille d'enquête articulée autour des thèmes comme : village, activités agricoles, pastorales, usage et évolution des ressources pastorales, perception des changements, stratégies d'adaptation...

Les caractéristiques générales du corpus Ferlo sont les suivantes :

Nombre d'occurrences:	28812
Nombre de formes:	2889
Nombre d'hapax:	1473
Fréquence maximale:	914

Comme nous l'avons montré (Marega, Fall et al, 2013), « ces décomptes globaux se subdivisent selon les différentes variables retenues dans cette étude. Pour la variable **ethnie**, on note, par exemple la répartition suivante dans les différents entretiens recueillis » :

Ethnie	occurrences	formes	hapax	fréq. max	forme
Peul	23456	2472	1281	765	de
Sérère	1484	414	242	49	de
toucouleur	3031	656	370	101	il
Wolof	841	313	202	27	on

« Nous nous contenterons, dans cette première approche de noter la prépondérance des entretiens réalisés avec des personnes d'ethnie peul. Notons également les différences que l'on observe à propos de la forme la plus fréquente dans les différents entretiens : « **de** » pour les

*interviewés peuls et sérères (à l'instar de la plupart des textes français qui ont été soumis à l'analyse textométrique, jusqu'à présent) « il » pour les productions verbales toucouleurs, « on » pour celles des wolofs. » (Marega, Fall et al, 2013)*

### **1.3. Analyse statistique des discours selon les villages et campements**

Sur l'ensemble des entretiens recueillis et codés pour le traitement textuel, nous avons effectué une analyse factorielle des correspondances à travers un tableau *croisant les lieux d'enquête et le nombre d'occurrences des formes dont la fréquence dépassait cinq occurrences dans l'ensemble du corpus.* (Marega, Fall et al, 2013) Cette analyse a permis de faire une typologie sur l'ensemble des villages et campements permanents visités dans le Ferlo. En observant de plus près la répartition spatiale de ces villages, on note, malgré quelques écarts, une corrélation globale entre les proximités au plan géographique et celles sur le plan factoriel. Cette représentation sur le plan factoriel met en évidence les similitudes présentes dans les discours entre les villages et campements permanents qui sont voisins (moins de 10 km de distance). Ceci peut expliquer, par exemple, le rapprochement observé sur la Fig. 133 entre le village de Tésékéré (tess) et Wouro Samba (ouros) qui est un campement permanent rattaché à la communauté rurale de Tésékéré dont il est distant de 8 km. Les positions relatives sur les axes factoriels (Fig. 133) des localités de Dahra et de Barkédji, peuvent être lues comme des exceptions à cette règle. La raison est à chercher dans les profils des personnes rencontrées (Tableau 28) dans ces deux localités. En effet, à Dahra nos enquêtes ont été effectuées auprès de techniciens du Centre de Recherche Zootechnique (CRZ / Dahra). A Barkédji, nous avons rencontré une personne ressource en l'occurrence le président de la communauté rurale qui cumule plusieurs fonctions comme cela a déjà été signalé, ce qui lui confère un rôle d'acteur important dans la localité. Cette diversité de profils notée chez les différentes personnes enquêtées amène une certaine richesse dans le corpus général.

## **3. Analyse thématique du corpus**

### **3.1. Les ressources pastorales : Une préoccupation majeure pour les différents acteurs**

L'évolution de la ressource fourragère a déjà fait l'objet d'un traitement plus spécifique basé sur les synthèses NDVI et des séries de relevés botaniques (Chapitres 9, 10 et 11). Dans ce chapitre, nous n'y reviendrons que de façon sommaire, nous concentrant sur l'analyse des entretiens.

L'analyse des discours ainsi que des observations participatives faites *in situ* montrent que la pratique des activités agricoles et pastorales repose essentiellement sur la disponibilité dans le temps et dans l'espace des ressources naturelles. Cette préoccupation majeure des éleveurs transhumants et des agropasteurs se lit à travers les formes et les champs lexicaux qui caractérisent

leurs discours. L'analyse de ceux-ci nous a amené à discriminer des termes qui sont relatifs aux ressources naturelles pastorales et agricoles. Ces termes sont : *eau*, *herbe*, *fourrage*. Le rattachement de ces termes à un thème plus général se révèle relativement aisé, en dépit des

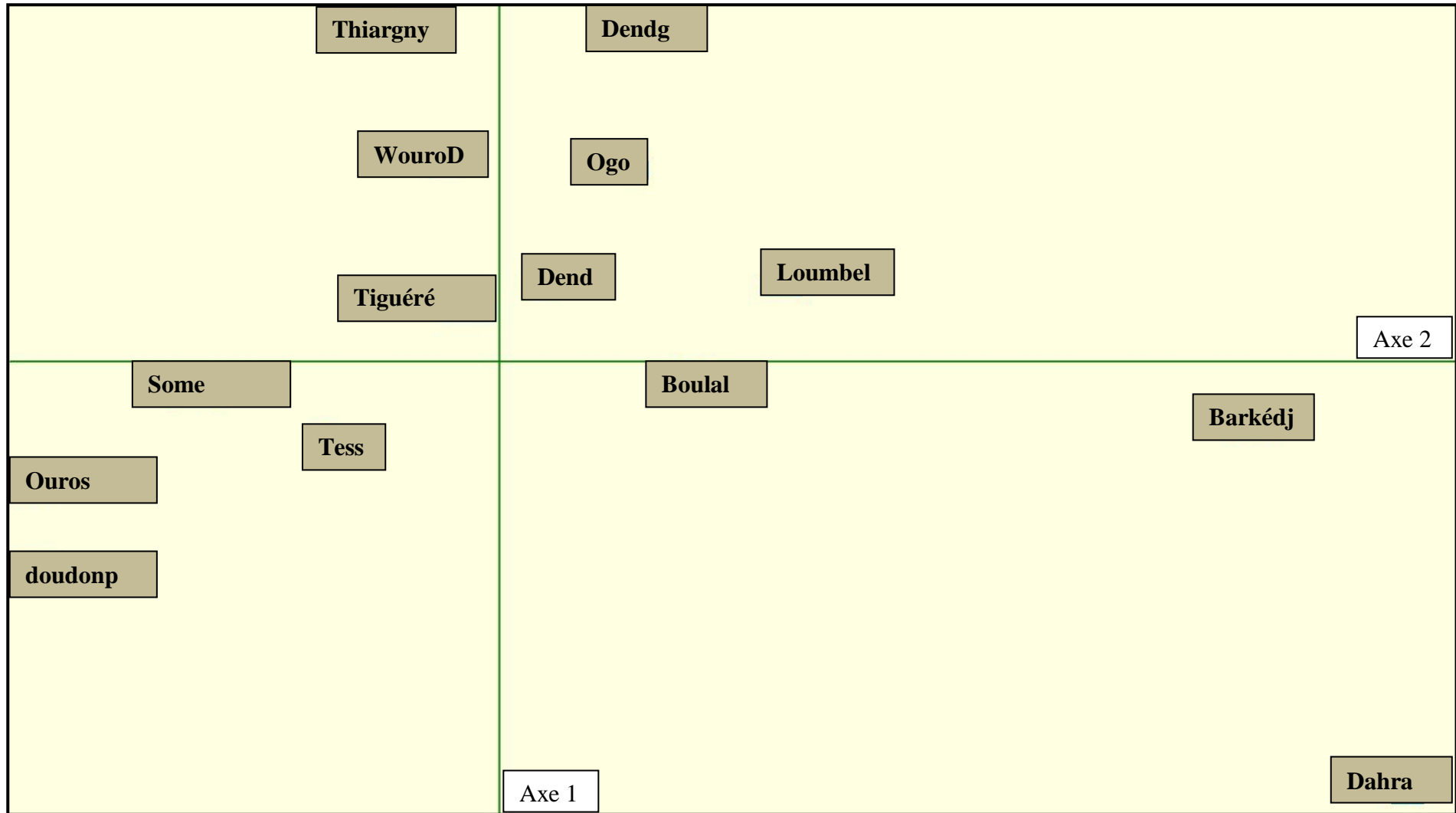


Figure 133. AFC sur les localités, plan des deux premiers facteurs (Tableau des 602 formes les plus fréquentes dans 14 localités du Ferlo) (Marega, Fall *et al*, 2013)

variations linguistiques locales induites par les différents groupes sociaux présents dans les villages (Wolofs, Peuls, principalement). Le terme *Herbe*, dans ce contexte d'utilisation signifie la plante fourragère qui est encore en pleine croissance et qui peut être consommée par les animaux. Celui de *fourrage* renvoie à la matière végétale qui commence à s'assécher avec le début de la saison sèche. Une analyse des spécificités portant sur l'usage de l'ensemble de ces termes nous permet de passer de l'étude d'une réalité globale, à celle des expressions locales des problèmes liés aux ressources pastorales et à leur accès dans le temps et dans l'espace. « *L'examen minutieux des principaux résultats suggère une autre hypothèse non prise en compte au départ de l'enquête. On ne peut exclure que la période de l'année durant laquelle s'est déroulé l'entretien ait eu une certaine influence sur les termes employés pour désigner les ressources végétales. La majeure partie des entretiens a été menée entre le mois d'octobre et de novembre 2010. L'année 2010 fut très pluvieuse, raison pour laquelle, lors de notre passage, les formations herbeuses annuelles qui constituent l'essentiel de la ressource fourragère étaient encore disponibles et en pleine croissance. L'herbe, encore présente à la fin de la saison des pluies (octobre) disparaît sous cette forme quelques semaines après (à partir de Novembre), les éleveurs y font alors, plus volontiers, référence sous le terme de fourrage* » (Marega, Fall *et al*, 2013).

La Figure 134 souligne que la question de l'eau occupe une grande place dans les entretiens menés dans la communauté rurale de Téssékéré par rapport aux autres localités. Quant au problème de l'herbe, il ne se pose que dans 3 villages du Ferlo sur une vingtaine de villages visités. En premier, dans le campement permanent de Wouro Samba qui venait de connaître un grand épisode de feux de brousse (fig. 140), ensuite respectivement dans les villages de Doundodji Parba, Some Dande, Balel cissé et Balel Salla où la pauvreté des sols favorise le développement d'une faible strate herbacée dominée par une Poacée, *Cenchrus biflorus* et des adventices telles que *Borreria stadychea*, *Merremia tridens*, qui, même s'ils sont consommés par le bétail, ne constituent pas un pâturage très recherché. Ainsi dans ces trois villages, le problème relatif à la disponibilité du fourrage et les inquiétudes des éleveurs par rapport à cette situation sont les éléments qui structurent le champ lexical dans les entretiens recueillis. Dans les villages au sud d'une ligne Dahra - Barkédji, c'est l'extension des surfaces cultivées à la faveur d'une amélioration des conditions pluviométriques dans le Sahel (Olson *et al*, 2005, Nicholson, 2005, Lebel *et al*, 2009) qui inquiète, en particulier dans le sud du Ferlo où, depuis quelques années, la poussée de l'agriculture modifie la composition et les conditions d'accès à la ressource fourragère.

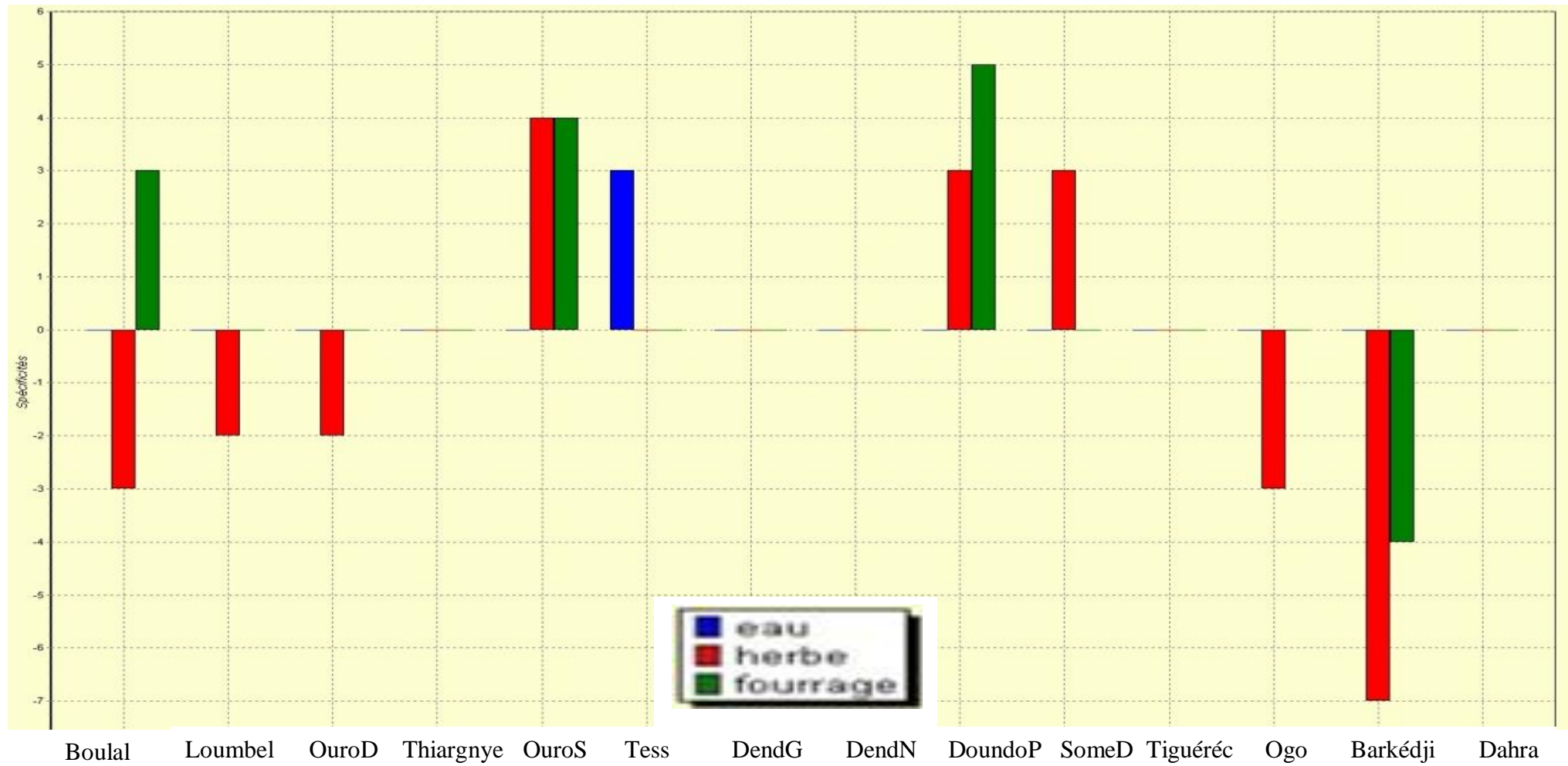


Figure 134. Spécificités pour les formes *eau*, *herbe*, *fourrage* pour chacune des localités. (Marega, Fall *et al*, 2013).

Ainsi à Barkédji ou à Dendielli Guéli, ce contexte de retour à la terre comme nouvelle stratégie d'exploitation des ressources suscite-t-il des tensions vives entre la communauté Peul majoritaire sur la communauté rurale et les autres groupes sociaux (Wolofs, Serers) souvent vus comme des « envahisseurs » :

*« C'est une petite (agriculture), bon [...] maintenant à part qu'il y a un envahissement terrible de la communauté « Mouride » dans la zone parce qu'il y a la disponibilité des terres, ces gens là ils pratiquent une agriculture importante.*

*Maintenant même les populations autochtones se livrent de plus en plus à l'agriculture, il y a également le foin qu'elles vendent ou qu'elles utilisent aussi dans l'alimentation des animaux.»*

Entretien avec Hadramé SOW, PCR de Barkédji, le 04/11/2010

*« Le seul problème ce sont les champs, en période d'hivernage. »*

*« Si ça pose problème parce qu'ici, on passe toute la nuit à garder les animaux. Quand les bovins partent la nuit, ils sont accompagnés par quelqu'un qui les surveille jusqu'au petit matin, le jour aussi c'est pareil, pour éviter qu'ils rentrent dans les champs car si ça arrive c'est un grand problème. »*

Entretien avec Ndiala Ka, Chef de village de Dendielly Guéli, le 28/10/2010.

*« Moi, la principale difficulté c'est que l'espace ici est exigü, il y a beaucoup de champs, quand on passe, il y a des moutons qui divaguent, qui vont dans les champs et ça pose d'énormes problèmes »*

*« Pour moi, le principal problème ici c'est la divagation dans les champs, ensuite il y a le manque de fourrage en deuxième position ».*

Entretien avec Demba Ka, éleveur transhumant à Doudodji, le 05/11/2010

Ce front agricole sur un terroir d'accueil pastoral pose par ailleurs d'autres problèmes liés aux mouvements et à l'accès aux couloirs de transhumance traditionnels en direction du Saloum (bassin arachidier) et du Sénégal oriental (Tambacounda, Koumpentoum). Pour Garba *et al.*, (2012), ces zones d'accueil doivent faire face aujourd'hui à « *un risque de concentration des animaux, avec pour conséquences des risques d'épizooties, des conflits avec les agriculteurs en place, du surpâturage et la dégradation de l'environnement* ». Toute la partie sud du Ferlo est inscrite dans ce contexte de changements où les stratégies les plus partagées sont le recours à l'agriculture associée ici à l'élevage. Chez les Peuls, la terre commence à changer de vocation. Longtemps parcourue pour l'alimentation du bétail qu'elle fournissait, aujourd'hui elle devient de plus en plus cultivée pour l'alimentation des hommes avant tout. La législation foncière favorable à l'agriculteur au détriment de l'éleveur est aussi une des raisons évoquées dans cette conversion des Peuls à

l'agropastoralisme, une stratégie qui leur permet par ailleurs de se préparer aux changements qui sont en train de se produire au niveau de cette législation foncière.

*« Nous payons des gens pour s'occuper du bétail, moi je paye des gens pour garder mon bétail. Moi j'ai un malien pour garder les miens, il y en a d'autres qui embauchent des bergers peuls. »*

Entretien avec Samba Ba, éleveur à Wouro Samba, le 09/11/2010.

*« Quand on a un nombre consistant on est obligé de payer quelqu'un, néanmoins j'ai n'ai pas aussi de ressources humaines pouvant garder des troupeaux. »*

Entretien avec Ndiala Ka, Chef de village de Dendielly Guéli, le 28/10/2010.

Une telle mutation est accompagnée par une réduction de la taille des troupeaux dont une partie est confiée aux services de bergers spécialisés dans la garde et la conduite du bétail. Là aussi faudrait-il signaler aussi le nombre assez important d'éleveurs sans troupeaux et qui sont obligés de monnayer leurs services en tant que bergers ou à tenter l'exode vers les centres urbains.

### **3.2.La disponibilité en eau : un enjeu fondamental pour les activités pastorales, notamment dans le nord du Ferlo.**

*« Actuellement on reste sur place car l'eau est disponible comme le fourrage, l'année est excellente il a beaucoup plu. A mon avis les gens ne partiront que tardivement »*

Entretien avec un agropasteur à Boulal, le 25/10/2010

*« Chaque vache, c'est à 50 ou 100 francs, quand tu viens, tu dis que j'ai tant de vaches, tant de moutons et on te dit combien tu dois payer. Quelque soit l'éleveur, l'accès à l'eau est payant ici. Que tu sois résident ou étranger. On ne fait pas la différence entre le résident et l'étranger ».*

Entretien avec Samba Ng. Ka, 27/10/2010 à Thiargnye

*« Dans les forages, il y a un comité de gestion. Ceux qui sont adhérents payent 5 francs la bassine d'eau et pour les non adhérents c'est 10 francs. Sinon on ne fait pas de différenciation. Dans tous les cas l'eau du forage est payante. Tout le monde peut être adhérent du comité de gestion ».*

Entretien avec Mor F. Lèye, 26/10/2010 à Loumbel

*« Souvent il y a des forages en panne et tu es obligé d'aller dans d'autres villages et souvent les distances entre les villages sont très longues ici. »*

Entretien avec A. Ka, à Téssékéré

L'analyse des discours réalisée dans cette partie du Sénégal montre que le problème de l'accès aux points d'eau pour les troupeaux acquiert une importance cruciale et se pose avec acuité. Pourtant le Ferlo traversé par une vallée fossile dont une partie est inondée pendant l'hivernage, est entouré par la vallée du fleuve Sénégal et le lac de Guiers, des bassins versants importants mais

dont la ressource est peu accessible pour le bétail à cause des aménagements hydro-agricoles (Sy, 2010).

Les ressources en eau accessibles aux éleveurs sont caractérisées par leur faiblesse en surface et la profondeur des nappes souterraines. L'exemple de la communauté rurale de Tèssékéré est très édifiant dans la mesure où le forage central qui polarise plusieurs villages et campements, tombe souvent en panne au grand dam des populations. Ainsi, si la question de l'eau se pose dans l'ensemble du Ferlo, ce sont les habitants de la zone de Tèssékéré et leurs voisins de ce nord du Ferlo qui en parlent plus que ceux au sud de la même région. L'accès à l'eau y constitue un enjeu capital surtout en saison sèche quand les mares et autres bassins de rétention d'eau sont à sec. Le recours aux systèmes permettant de transporter de l'eau dans les campements par les éleveurs qui en ont les moyens est ainsi très courant. En effet, les couloirs de transhumance peuvent être loin de points d'eau servant d'abreuvoir pour le bétail. Ce qui amène les pasteurs à mobiliser des charrettes (calèches) et parfois des voitures pour transporter le liquide précieux vers les points de pâturage ou vers les campements permanents (fig. 135). Selon Guibert (2008), *« les moyens de transport de l'eau conditionnent directement le nombre maximal d'animaux qu'il est possible de conserver durant la saison sèche. Le facteur limitant ne provient pas tant de la quantité des ressources fourragères disponibles, qui est la même pour tous sur ces parcours indivis, mais de la quantité d'eau accessible, compte tenu des moyens de transport dont on dispose. D'ailleurs, ce facteur semble expliquer le fait que certains éleveurs vendent une partie de leurs animaux en début de saison sèche. Le moyen de transport de l'eau doit être totalement sécurisé pour passer la période chaude »*. Cette stratégie d'accès à la ressource hydrique permet de faire des gains de temps pour le bétail qui n'est plus dans l'obligation de faire des distances importantes pour s'abreuver. Une réduction des distances et des parcours qui participe par ailleurs à améliorer la santé des animaux et permet de retenir les éleveurs sur place sur une durée plus importante. Comme énoncé plus haut, cette nouvelle démarche s'appuie sur des moyens de transports qui se modernisent de plus en plus pour les éleveurs (surtout les grands éleveurs) avec le recours à la voiture avec citerne.

Dans cette partie du Sénégal, la ressource hydrique provient des forages (mis en service que pendant la saison sèche), des mares et bassins de rétention d'eau (saison des pluies). Suivant la hauteur des pluies tombées, la disponibilité de l'eau dans les mares et lacs artificiels peut se prolonger parfois jusqu'au mois de décembre dans certains secteurs du Ferlo. Une aubaine pour l'élevage transhumant. L'année 2010 fut très pluvieuse, les observations que nous avons effectuées avec les éleveurs du Ferlo faisaient état d'une « bonne année de pluies ».



Une charrette-citerne pour apporter l'eau au bétail resté au village. Une pratique qui se généralise dans le Ferlo (Village de Dendielli) (A. FALL, 2010)



Troupeau d'ovins attendant près de l'abreuvoir du village où les charrettes apportent l'eau. (A. FALL, 2010)



Samba BA, abreuvent ses veaux à Wouro Samba à l'aide d'une charrette-citerne (A. FALL, 2010)



Forage de Tèssékéré. La collecte de l'eau mobilise les femmes (usages domestiques) et les hommes (Bétail) (A. FALL, 2010)

**Figure 135. Divers moyens de collecte et de transport de l'eau dans le Ferlo.**

Ce caractère saisonnier de la disponibilité en eau est aussi l'un des déterminants majeurs de la vulnérabilité du système d'élevage transhumant et partant de toute la société humaine qui dépend de celui-ci. En effet, les pasteurs se sont souvent installés en priorité au voisinage d'une mare pour pouvoir accéder à la ressource pour leur propre consommation et celle des animaux (Sy, 2009).

Au milieu de la saison sèche, lorsque les mares et autres points d'eau temporaires tarissent, les forages vont prendre le relais pour assurer l'alimentation des villageois et des troupeaux. Ce système des mares et autres points d'eau temporaires fait partie des éléments qui structurent l'activité de la transhumance grâce surtout à leur accès très facile et gratuit. Suivant leur taille et leur profondeur, les Peuls distinguent plusieurs types de mares (Sy, 2009) :

- La *fetere* : petite mare
- La *beel* : mare de taille moyenne
- La *wendu* : très vaste avec une capacité de rétention de 3 à 4 mois après l'hivernage
- La *lummbol* : Plus vaste que le *wendu* mais peu profonde.

La fréquentation des mares et bassins de rétention varie selon qu'on se trouve dans la partie septentrionale du Ferlo ou au sud dans la vallée fossile. La faiblesse très marquée des pluies à Téssékéré fait que les éleveurs se rabattent sur les mares dès les premières pluies. Plus au sud, ceux de Barkédji, et de Boulal par exemple peuvent continuer à accéder aux forages et puits nombreux dans ces communautés rurales où les stratégies fondées sur l'agropastoralisme se développent de plus en plus.

L'autre moyen pour accéder à la ressource hydrique est constitué par les forages<sup>65</sup> (Fig. 136 et 137) très nombreux dans cette partie du Sénégal. Les premiers qui furent installés dans le Ferlo étaient l'œuvre de l'administration coloniale (Grenier, 1960 ; Dupire, 1957). Mais les motivations de celles-ci étaient d'ordres militaire et politique. En effet, la construction des premiers forages devaient permettre aux colons de fixer les Peuls pour pouvoir les contrôler. « *L'administration coloniale a très vite compris l'importance des points d'eau dans le contrôle des territoires et a donc monnayé l'implantation de puits contre une paix avec les chefferies* » (Cesaro, 2009).

---

<sup>65</sup> Chapitres 1 et 2.

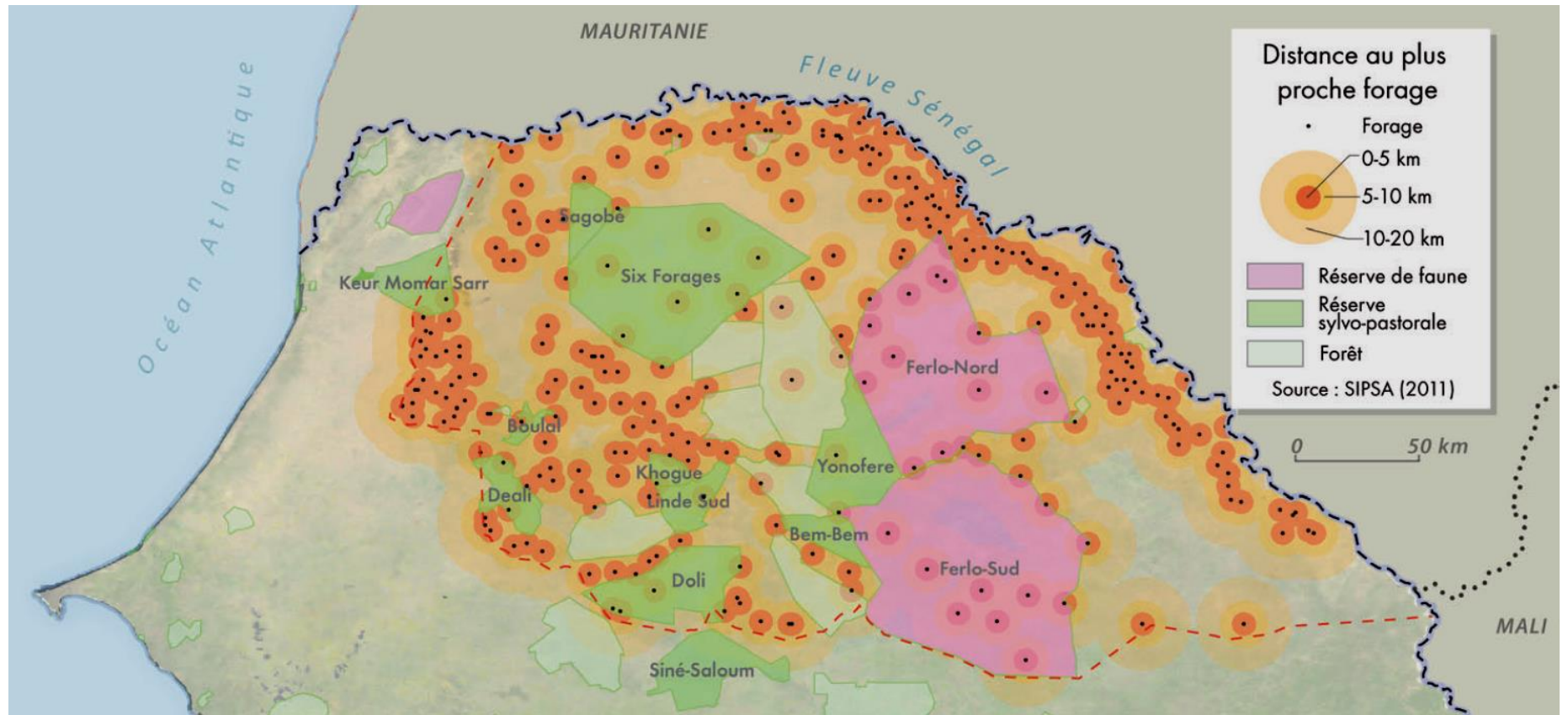
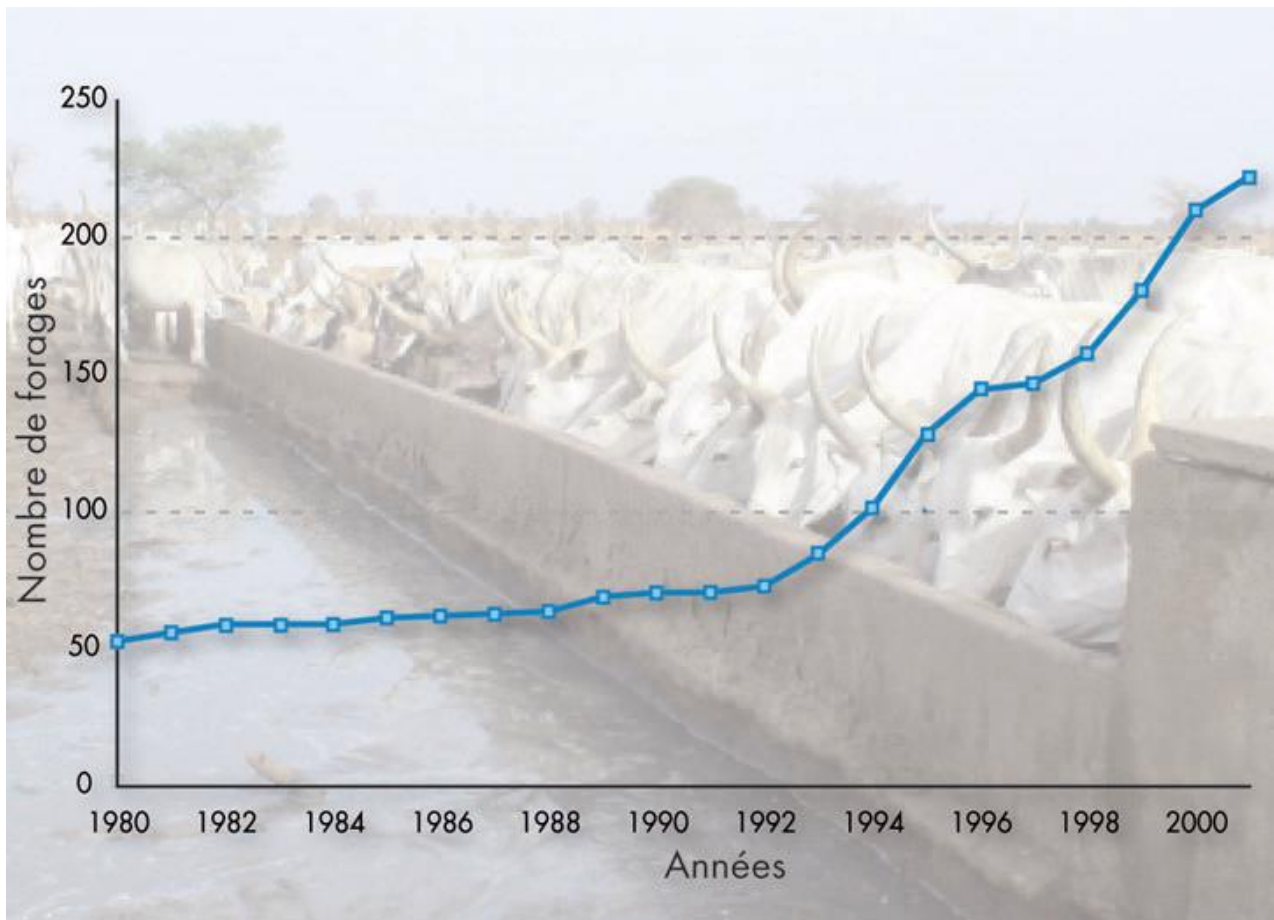


Figure 136. Desserte des forages dans le Ferlo en 2001 (Source : Touré *et al*, in FAO, 2012)

Au milieu du siècle dernier le Ferlo ne comptait qu'une dizaine de forages, en 2003 ils étaient plus de deux-cents (Diop A.T *et al*, 2003). Ces aménagements hydrauliques ont tous une incidence directe sur la pratique de l'élevage transhumant qui est de plus en plus supplanté par un « micro-nomadisme » qui s'effectue entre les campements permanents, les pâturages et les forages. Installés le plus souvent dans le village chef-lieu de la communauté rurale, ils ont pour vocation de rapprocher les éleveurs (Ancey *et al*, 2008, Sutter, 1987) davantage de la ressource mais avec des modes d'accès différents.



**Figure 137. Evolution du nombre de forages dans le Ferlo entre 1980 et 2000 (Touré *et al.*, in Diop *et al.*, 2012)**

Selon Ancey (2008) *la modification des parcours ne constitue pas l'unique changement car les populations sont passées d'une logique d'accès gratuit aux ressources à une autre caractérisée par le paiement de l'eau des forages* ». En effet l'accès à la ressource est conditionné par le paiement d'une taxe estimée par tête de bétail et par mois.

L'installation des usagers sur un périmètre moyen de 2 à 3 km autour des points d'eau permanents, crée une situation de double pression sur la ressource hydrique et sur les pâturages aux alentours. C'est vers la fin de la saison sèche (mois de mai et juin) que cette pression est la plus

forte. Les appareils d'exhaure sont sollicités parfois 24h/24 à cause des fortes chaleurs et du nombre impressionnant de transhumants. Ancy (2008) (Fig. 138) a montré pour quatre forages de la zone nord du Ferlo cette tendance saisonnière de l'exploitation des eaux. La faiblesse des pluies et la pression sur la ressource hydrique dans cette partie nord du Sénégal, font que certains forages restent ouverts même durant l'hivernage (Widou et Tatki).

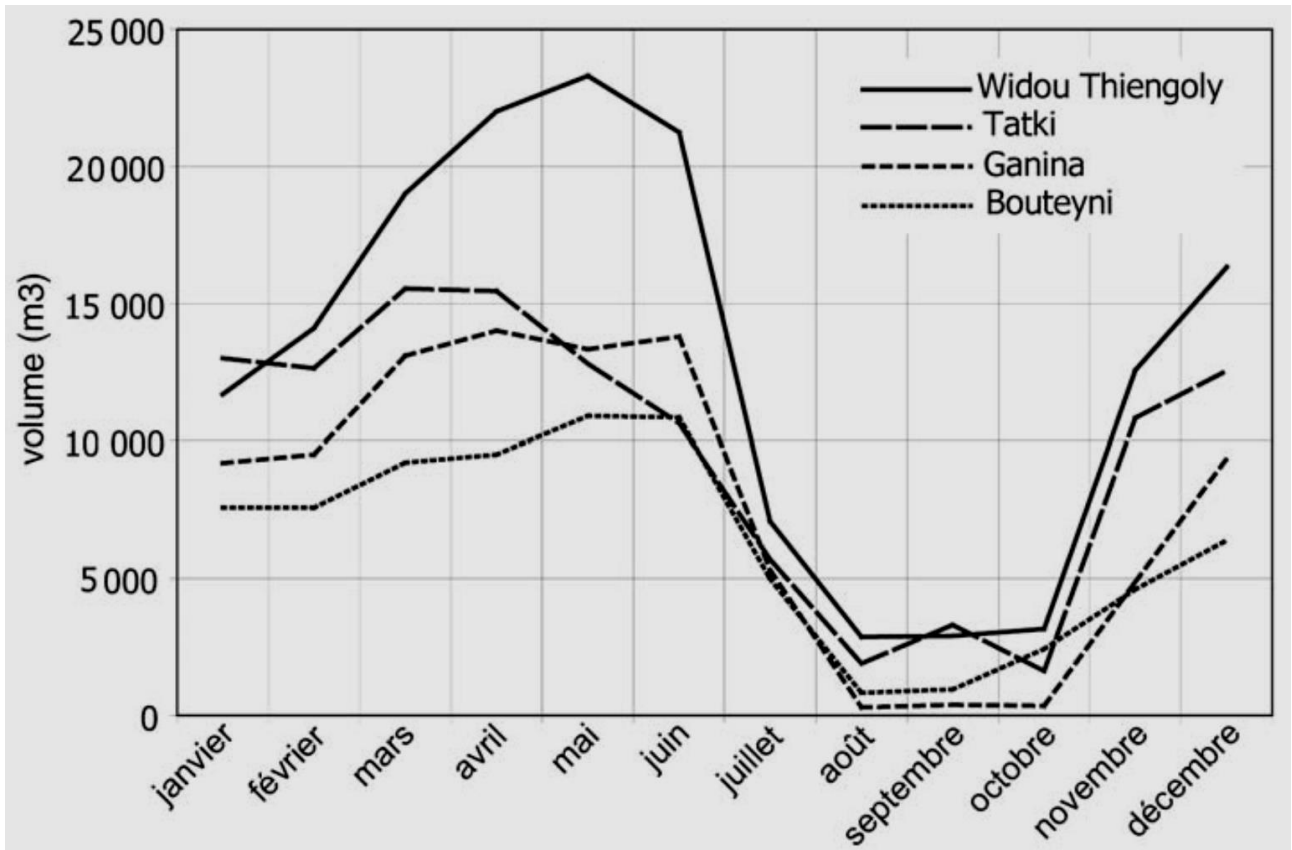


Figure 138. Les forages de la zone de Widou Thiengoly au nord du Ferlo : Les volumes moyens mensuels d'eau pompés pour la période 2000-2003 (Ancy, 2008)

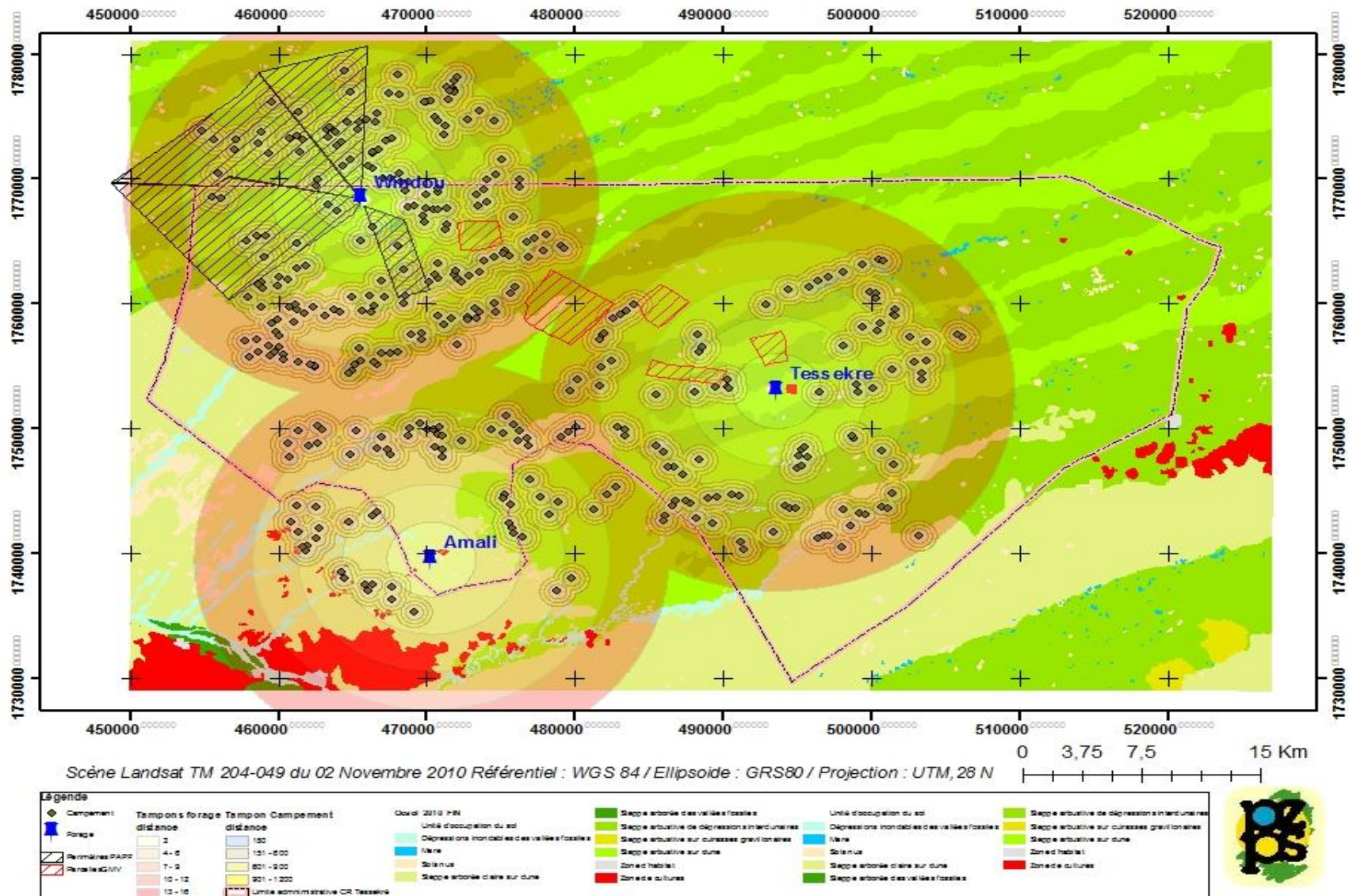


Figure 139. La communauté rurale de Tésékéré : les forages et leurs aires d'influence (Réalisation Touré, 2012)

La principale hantise des agropasteurs devant une telle situation de pression sur la ressource hydrique est une défaillance technique des moyens d'exhaure des forages. Les enquêtes effectuées à Téssékéré et à Wouro Samba montrent que les pasteurs considèrent les pannes du forage pendant la saison sèche comme principale source de leurs problèmes. La stratégie qui se met en place est un repli vers les forages des autres villages et communautés rurales, mais les distances à parcourir sont souvent très longues, entre 20 et 30 km (Fig. 139).

Sur un autre aspect, le problème de l'accès à l'eau se pose aussi pour les transhumants en direction du Bassin arachidier et du Sénégal oriental. En effet, « *à cause de l'hétérogénéité des ressources pastorales et de l'impossibilité de prévoir la productivité fourragère, les éleveurs doivent disposer de solutions de rechange pour les années déficitaires. Cela suppose qu'ils puissent négocier l'accès à l'eau au niveau des puits et des forages existants dans les zones de repli des animaux* » (Touré, 2009). Ainsi sortir du Ferlo pour les éleveurs transhumants, c'est aussi quitter un système d'exploitation des ressources fourragères et hydriques très différent de ceux qu'ils vont rencontrer. Ils doivent négocier leur accès aux forages et aux puits pour abreuver leur bétail. Les prix peuvent varier fortement d'un forage à l'autre.

Si l'eau est un problème pour les villages du Ferlo centre et nord, pour les villages du sud-est et ceux sur la vallée fossile ce n'est pas toujours le cas. En effet, la géologie locale avec le contexte de vallée, a façonné des mares qui retiennent l'eau sur une durée plus importante que celles du nord. La communauté rurale de Barkédji, située au cœur de la vallée fossile et déjà dotée de forages, est entourée par des mares très importantes. C'est l'une des raisons pour lesquelles, lors de nos entretiens sur le site, ce problème crucial pour les villages du nord n'a pas été soulevé ici. Plus vers le sud en direction du bassin arachidier, le changement d'anthroposystème avec la prépondérance des systèmes d'agriculture extensifs (parfois associé à l'élevage) fondés le plus souvent sur des cultures vivrières (mil, niébé, arachide, sorgho etc.) coïncide aussi avec un changement sur le discours relatif au problème de l'eau qui ne se pose pas véritablement pour l'élevage mais plutôt pour l'agriculture. Ainsi ce problème est rattaché à une « bonne » ou « mauvaise » année pluviométrique néfaste pour les cultures.

### **3.3. Les feux de brousse dans le Ferlo et leurs conséquences sur la disponibilité de la ressource fourragère pastorale**

Les feux de brousse sont l'une des problématiques majeures dans la gestion des ressources fourragères pastorales dans le Ferlo (fig. 140). Ils constituent un fléau chronique et une sérieuse menace pour le patrimoine forestier et sa diversité biologique. Leur intensité et leur fréquence *influencent fortement la dynamique des agroécosystèmes* (Garba *et al*, 2012). Ainsi contribuent-ils fortement au maintien de ce type d'écosystème particulier qu'est le milieu sahélien (Aubrèville, 1950 ; Dolidon, 2005). « *En outre ils entraînent parfois des dégâts considérables sur les établissements humains* » (CSE, 2011) dans le Ferlo. Pourtant dans d'autres régions du Sénégal (Sénégal oriental situé dans le domaine bioclimatique soudanien) les agropasteurs peuvent être à l'origine de feux dans un objectif de favoriser la régénérescence et de reconstituer les pâturages.

Dans le Ferlo, c'est tout à fait le contraire, « *les éleveurs ne tirent aucun avantage en déclenchant des feux de brousse dans la mesure où la végétation est composée à environ 90 % de graminées annuelles qui ne germeront de nouveau qu'au prochain hivernage* » (Andre & Müller, 2008). La topographie plane et la circulation des vents sont des facteurs qui facilitent la propagation rapide des flammes qui détruisent la ressource pastorale (fig. 140). Dans un tel milieu sahélien où la pression sur la ressource végétale pastorale se fait sentir de plus en plus, il reste évident que la mise à feu des pâturages constitue une menace sérieuse quant à leur équilibre, une perte de fourrage pour le bétail et participe à la vulnérabilité des systèmes socioécologiques (Sawadogo, 2011)

**Tableau 29 : Les évènements (majeurs ayant un impact sur les pratiques pastorales) enregistrés dans la communauté rurale de Téssékéré depuis la grande sécheresse de 1973 (D'après O. Touré 2009, complété après nos missions de 2010 et 2012)**

Années	Evènements importants
1973	La zone a connu la première grande sécheresse « <i>Hitanné Boni</i> »
1984	Deuxième grande sécheresse « <i>Hitanné Boni</i> »
1985	Sécheresse
1988	Feux de brousse
1991	Arrivée massive de transhumants en provenance du Waalo
1992	Afflux important de transhumants
1993	Panne prolongée du Forage
1996	Feux de brousse
2002	Pluies de contre saison <sup>66</sup> avec pertes importantes de bétail (petits ruminants)
2003	Manque de pâturages et départ précipité des transhumants vers le sud
2004	Feux de brousse
2005	Feux de brousse
2007	Feux de brousse
2008	Déficit de pâturage consécutif à l'arrivée de transhumants en provenance du Waalo (vallée du fleuve)
2010	Feux de brousse
2011	Feux de brousse

Sur tous les discours recueillis et analysés, les agropasteurs comme les acteurs institutionnels font part de leurs inquiétudes vis-à-vis des feux brousse<sup>67</sup> et de leurs ravages sur les écosystèmes déjà fragilisés par un contexte de sécheresse très marqué. (Encadré ci-dessus, en gras les évènements relatifs aux feux de brousse). « *C'est pourquoi la plupart des éleveurs vivent les grands feux comme une vraie catastrophe, voyant la base de l'alimentation de leur bétail partir en fumée, tout en sachant également que cela implique le départ vers des zones situées plus au sud [En l'occurrence le Bassin arachidier et le Sénégal oriental], souvent agricoles et soumises à un potentiel conflictuel de plus en plus grand en raison de la diminution presque annuelle des zones de replis naturelles* » (André et al, 2008).

<sup>66</sup> Cf Chapitre 1

<sup>67</sup> Les feux sont souvent associés à une calamité par les Peuls. La fragilité du milieu en est la principale explication. Se reporter aux chapitres 7 et 8 pour leur étude cartographique.



**Figure 140. Les traces de feux observés entre Tèssékéré et Wouro Samba le 08/11/2010 (Clichés, A. Fall, 2010)**

Les spécificités positives qui apparaissent sur les entretiens menés dans le Ferlo nord à Téssékéré (encadré ci-dessus) et à Wouro Samba, mettent en évidence la problématique que nous venons de décrire et auxquels les éleveurs de ces localités font systématiquement référence. Dans ces localités, le problème récurrent auquel les éleveurs se disent confrontés, est celui des feux de brousse. (Marega, Fall et al, 2013) Ces feux détruisent chaque année des milliers d'hectares de végétation. Les éleveurs traduisent cette vision catastrophiste dans leurs principaux discours relatifs aux feux comme en témoignent les entretiens menés dans la zone :

« Il y a 10 jours exactement que ce feu [voir planche 2] a été déclenché, c'est un transhumant qui a fait ce feu. La personne a été arrêtée par les services d'ordre mais c'était accidentel, le feu ça a détruit beaucoup de fourrage... J'ai perdu deux ânes dans le feu, nous avons un voisin ici qui a perdu pratiquement toute sa maison, il y a trois à quatre chambres qui sont parties et il ne reste rien »

Entretien avec un pasteur à Téssékéré

« La principale difficulté ici c'est d'abord les feux de brousse, ça brûle tout, nous n'avons plus d'herbe et maintenant si on n'a pas d'herbe c'est le problème du fourrage qui se pose, et si nous en avons souvent, c'est le problème d'eau qui se pose parce qu'on a qu'un seul forage ici ».

Entretien avec un pasteur à Téssékéré

« Ici il y a beaucoup de feux de brousse. Presque chaque année il y a des feux de brousse. En général ce sont les éleveurs qui fument par exemple et mettent le feu sans faire exprès. Il y a des transhumants qui passent qui allument le feu et oublient de l'éteindre en partant. Il y a 4 ans, en 2006-2007, le feu est arrivé jusqu'à l'entrée du village. Maintenant on a commencé à mettre des pare-feu ».

Entretien avec un pasteur à Thiargnye

La ressource fourragère produite annuellement étant faible par rapport aux troupeaux présents sur les terroirs, nous pouvons comprendre que les populations accordent une importance particulière à sa protection. Le tapis herbacé est composé essentiellement par des graminées annuelles et ne peut donner lieu à des repousses en cas de feux (Andre & Müller, 2008) qui se traduisent toujours par une perte d'une grande quantité de fourrage. Une telle situation conduit à « des déficits alimentaires pour le cheptel avec toutes les conséquences socioéconomiques » (Andre & Müller, 2008) que cela peut avoir sur les éleveurs. Les cartes d'occupation du sol (en 2010) ont permis de rendre compte de l'ampleur que ce phénomène pouvait prendre certaines années.

Il apparaît à la lecture des perceptions que le socioécosystème du Ferlo développe sur les changements socio-environnementaux et les évolutions dans ses pratiques et stratégies agricoles et pastorales, une situation qui reste en général précaire pour la poursuite des activités de transhumance. En effet, l'amélioration des conditions de la pluviosité et la disponibilité des terres dans une région longtemps marginalisée dans les choix politiques agricoles nationales ont créé de nouveaux enjeux et favorisé des dynamiques territoriales au sein desquelles, l'élevage traditionnel itinérant qui, historiquement fut le seul moyen de valorisation des ressources naturelles du Ferlo, tente de se faire une place face à l'arrivée de nouveaux acteurs et de l'extension spatiale de l'agriculture qui en résulte. Si dans la majorité des villages et campements, le problème de l'eau n'est plus une contrainte majeure à cause du rôle que jouent les forages pastoraux, par contre, les ressources fourragères disponibles annuellement sont de plus en plus insuffisantes pour une société pastorale qui connaît des mutations socioéconomiques importantes. Un autre facteur inhérent à l'exploitation des écosystèmes est la question des feux de brousse avec leurs effets dévastateurs sur le capital fourrager disponible annuellement. En effet, sa forte récurrence au cours de cette dernière décennie dans une région qui reste encore enclavée et mal desservie, a amené les pouvoirs publics à mettre en place un ensemble de programmes et de projets allant de la sensibilisation à la pénalisation (de l'acte) pour lutter efficacement contre ses méfaits sur la ressource fourragère.

L'intensité de ces changements socio-environnementaux et politiques impose la définition de ces stratégies permettant une résilience à ce contexte biophysique particulier. Ainsi la plupart des logiques mises en place actuellement par l'anthroposystème pastoral du Ferlo, sont résolument tournées vers un système agropastoraliste, associant ainsi l'élevage à l'agriculture fondée sur la culture de variétés à cycle court comme le mil ou le niébé dont les résidus serviront plus tard comme ressource fourragère.



## **CONCLUSION GENERALE**

---

La question de la spatialisation de la vulnérabilité des agroécosystèmes sahéliens dans un contexte de changements socio-environnementaux, objet principal de cette thèse, a été étudiée sous un jour nouveau. La démarche s'appuie sur une caractérisation cartographique des dynamiques d'un anthroposystème sahélien entre le Ferlo et le Bassin arachidier en rapport avec l'évolution des pratiques paysannes et pastorales, les fluctuations de la pluviosité entre les années 1950 à nos jours et du rôle joué par les politiques publiques dans les secteurs de l'agriculture, de l'élevage et de l'environnement.

Dans une première partie, l'état de l'environnement de la région étudiée a été dressé, les concepts en jeu (anthroposystème, désertification, dégradation, vulnérabilité, résilience, adaptation, ...) discutés et la méthode définie. Il ressort de cette première partie que le Ferlo a suscité un grand intérêt dans la recherche scientifique et dans les études menées par les organismes internationaux ou les organisations non gouvernementales. Ces études examinent les interactions entre les sociétés humaines et leur milieu d'existence dans le Sahel d'Afrique de l'Ouest, en rapport notamment avec les phases de sécheresse connues par la région entre les années 1970 à aujourd'hui. Cependant, ces études qu'elles soient très générales ou, à l'inverse, consacrées aux quelques sites sur lesquels un suivi environnemental a été mis en place, restent trop peu spatiales, ne permettant pas de faire ressortir les spécificités locales, bases de l'hétérogénéité des « milieux » sahéliens. Au départ, le tableau est assez simple : l'élevage et l'agriculture sont pratiqués partout où les conditions naturelles le permettent, ce qui se traduirait par une organisation spatiale calquée sur le gradient de la pluviosité. Cependant, des décennies de politiques agricoles définies avant ou après l'indépendance, d'évolution sociale, démographique, politique, de changements dans les usages et les pratiques paysannes ont imprimé des marqueurs et des logiques spatiales sur ce(s) territoire(s), faisant surgir ou disparaître des différenciations au sein de cet espace rural. A partir de l'étude critique des approches classiques, a été développée une démarche géographique permettant de saisir et de restituer objectivement mais aussi finement les dynamiques spatiales et l'organisation complexe des systèmes socioécologiques. Ainsi, notre étude s'inscrit-elle dans les approches renouvelées de l'étude des dynamiques des socioécosystèmes. Un autre intérêt de cette méthode est sa reproductibilité en géographie du risque socio-environnemental dans d'autres contextes.

Dans la deuxième partie, après avoir actualisé l'étude de la variation spatio-temporelle du climat du Sénégal intérieur, nous avons tenté de remonter le temps en partant de la mesure

des états de surface au début des années 1970, c'est-à-dire au début des grandes sécheresses, pour pouvoir ainsi mettre en relation, de façon objective, l'évolution de l'occupation du sol et celle des anthroposystèmes. En s'appuyant sur les données pluviométriques des stations du Ferlo datant des années 1950 à aujourd'hui, nous avons ainsi pu redessiner la courbe de la variabilité spatio-temporelle des précipitations. La télédétection a ensuite permis de mettre en exergue à travers trois dates (1973, 1999 et 2010) l'évolution et les changements de l'occupation du sol.

Dans la troisième partie, nous avons ensuite cherché à comprendre les variations spatiales de ces changements socio-environnementaux, à travers l'étude des fluctuations de l'activité chlorophyllienne à partir des indices de végétation (NDVI), puis de l'analyse des données collectées sur le terrain. Les données floristiques récoltées, ont servi à l'analyse d'une part, de la composition floristique de la végétation utilisée comme une ressource fondamentale par les villageois et les pasteurs (ressource alimentaire et fourragère, bois de chauffe, matériaux servant à construire maisons, cases et enclos du bétail...), d'autre part, de la structure des paysages végétaux qui éclaire l'analyse des images de télédétection. Ce terrain a, par ailleurs, permis de recueillir aussi les principales perceptions des paysans et éleveurs sur l'évolution des ressources naturelles et des pratiques et stratégies paysannes et pastorales dans un contexte socioéconomique encore difficile et où les pouvoirs publics, sous les injonctions de la Banque mondiale et du Fonds monétaire international, se désengagent de plus en plus permettant l'émergence de puissants acteurs privés aux intérêts parfois contradictoires avec la poursuite d'une agriculture paysanne ou d'activités pastorales traditionnelles mais elles-mêmes en pleine redistribution spatiale, notamment la transhumance du bétail.

La méthode mise en œuvre a permis de mettre en évidence les principaux changements biophysiques intervenus au cours de ces cinquante dernières années entre le Ferlo et le bassin arachidier. Il ressort de ce contexte biophysique, un constat, par ailleurs valable pour les autres parties du Sahel Ouest africain, montrant une certaine amélioration des conditions de la pluviosité durant cette dernière décennie. Cependant, si les volumes de pluies précipités annuellement ont augmenté, les conséquences sur les ressources (notamment végétales) exploitées par la société rurale sont modestes. En effet, la couverture végétale dense a sensiblement reculé, ce qui peut être mis en rapport avec la longue phase sèche, mais aussi avec les défrichements des paysans et la pression pastorale. La faiblesse des taux de recouvrement se conjugue avec la pauvreté biologique pour offrir des paysages hétérogènes

portant encore les marqueurs d'un changement écosystémique, accentué dans bien des cas par la récurrence de feux de brousse non contrôlés. Au nord du Ferlo, le tapis herbacé exploité par les éleveurs comme leur plus importante source de fourrage devient ainsi insuffisant pour des troupeaux de plus en plus nombreux. La durée saisonnière d'exploitation des pâturages est de plus en plus faible, amenant les pasteurs à recourir au pâturage aérien, au risque de se voir accusés de comportements assimilables à de la prédation sur les ligneux hauts ou à se lancer très tôt dans la transhumance. Les changements paysagers sont importants : ainsi avons-nous vu à Wouro Samba au nord de Téssékéré, que la forte pression sur la ressource ligneuse a favorisé le recul de la couverture arborée (ligneux hauts) et le développement sur des superficies importantes d'une Capparacée, *Boscia senegalensis*. Au nord et au sud de Dahra, où l'accroissement démographique, nourri par les migrations internes au Sénégal vers les petits centres urbains, a été fort, le bouleversement décrit est encore plus important au cours de ces dernières années : le développement rapide de cette ville, devenue le plus important marché de gros bétail du Sénégal, l'augmentation des superficies agricoles et l'abandon des jachères se sont matérialisés dans le paysage par le recul de la strate ligneuse et un appauvrissement des sols. Difficile ici de ne pas parler de dégradation du milieu, quoique le secteur apparaisse comme le moins déshérité du Ferlo. Dans le nord du Bassin arachidier correspondant à l'espace de transition avec le Ferlo, si le contexte biogéographique est plus favorable par rapport au Ferlo du fait de la répartition des pluies suivant le gradient nord-sud, on note des tensions en raison du développement de plus en plus important aujourd'hui de colonies d'agriculteurs en mal de terres, originaires pour la plupart de la région du Baol au nord. Le recul de la végétation ligneuse et herbacée est en conséquence net. Faut-il pour autant parler de dégradation écosystémique ou simplement d'une situation de compétition pour le contrôle des ressources du territoire ?

Ces dynamiques socioécosystémiques, en cours dans le Sénégal intérieur, se traduisent partout, sur les contours de paysages ruraux où l'hétérogénéité est toujours de mise. En effet, le paysage est partout le résultat de l'expression sur les écosystèmes des politiques définies par les gouvernements et des pratiques sociales et stratégies paysannes et pastorales. Cette situation renforce la difficulté d'une généralisation avec les autres sites de la région sahélienne où les spécificités de chacun rendent impossible toute tentative d'interprétation générale du paysage sahélien. En tout cas, le déterminisme bioclimatique (avec en première instance le facteur pluviosité) ne joue qu'un rôle secondaire dans cette organisation. D'un lieu à l'autre, au sein même du même domaine climatique, le paysage diffère. Le recours à

l'imagerie satellitaire à haute résolution a permis d'en discerner les nuances du point de vue spatial.

En dépit de l'amélioration constatée des conditions de la pluviosité au cours de cette dernière décennie, la société rurale du Ferlo (à l'instar du reste de la région sahélienne de l'Afrique de l'Ouest) reste toujours bien fragile face aux aléas du climat, ce qui peut apparaître comme un paradoxe. Cependant, sa longue expérience des crises de sécheresse, a permis de réduire sa vulnérabilité. Plus même qu'une adaptation, nous pensons à une forme de résilience face au retour possible d'un contexte biophysique difficile. Une résilience qui est due à la multiplication des stratégies et de l'intervention des pouvoirs publics par des aménagements visant à maintenir l'activité de l'élevage, en facilitant le plus souvent aux agropasteurs l'accès à la ressource hydrique *via* des forages ou bassins de rétention et à la ressource fourragère avec la création de réserves sylvopastorales exploitées exclusivement par l'élevage transhumant. L'anthroposystème pastoral du Ferlo est original dans le vaste ensemble sahélien, par l'empreinte des politiques avant et après l'indépendance avec la mise en place des aménagements hydrauliques dont les motivations furent le confinement de l'activité pastorale sur le terroir du Ferlo où les éleveurs n'auront plus besoin de faire de longues distances à la recherche incertaine de l'eau. Cependant, cette disponibilité de l'eau a entraîné une pression intense, voire la dégradation de la couverture végétale exploitée comme ressource sur les aires de polarisation des forages pastoraux, une situation ne permettant pas un séjour long sur le terroir des éleveurs et favorise ainsi leur recours à la transhumance longue en direction du bassin arachidier ou vers le Sénégal oriental.

Par ailleurs, l'accès à cette ressource végétale qui porte encore les stigmates des changements socio-environnementaux intervenus, est toujours un enjeu fondamental pour la société rurale pastorale du Ferlo. Ainsi, se pose ici la question de la renouvelabilité de cette ressource naturelle et de sa résilience devant un tel contexte biophysique. En effet, si cette couverture végétale a bien résisté avec le temps aux conditions de péjoration de la pluviosité dont les conséquences ne se sont pas traduites par des bouleversements importants sur celle-ci, par contre, il ressort de nos analyses que les changements sociodémographiques enregistrés dans la région, par leur rôle d'intensification des pratiques agropastorales (extension des surfaces agricoles par des défrichements, abandon des jachères, utilisation du bois, surpâturage, etc.) et de la pression sur les ressources naturelles qu'ils induisent, ont opéré des modifications importantes sur la structure et la composition floristique de la couverture

végétale comme c'est le cas dans le sud de Dahra et à Khelcom au niveau du Bassin arachidier.

Aujourd'hui, bien que l'élevage traditionnel concerne plus de deux millions de personnes, qu'il continue à fournir des ressources alimentaires (lait, viande, et produits) importantes et que les pouvoirs publics lui reconnaissent finalement un rôle fondamental au point de vue économique (bonne contribution sur le PIB, secteur porteur de croissance et réserve d'emplois) et socioculturel, l'avenir et la sécurisation de la transhumance classique se posent avec acuité devant la multiplication des aménagements hydro-agricoles sur la vallée du fleuve, l'extension des superficies cultivées, l'arrivée de puissants acteurs privés dans le sud du Ferlo et la multiplication des conflits avec les agriculteurs. Le recours à l'agropastoralisme est pour le moment une voie exploitée par les pasteurs du Ferlo où cette situation amène à de nouvelles recompositions spatiales témoignant avant tout de la volonté des éleveurs de territorialiser l'activité pastorale, faisant ainsi la démonstration de leur capacité à se remettre en question et à s'émanciper de cet immobilisme auquel certains veulent les renvoyer.



## BIBLIOGRAPHIE

---

- ADGER W. N., 2006, Vulnerability, *Global Environmental Change*, 16 (3) : 268-281.
- AHMED Y. J. & KASSAS M., 1987. *Desertification: Financial support for the biosphere*. Londres, Hodder & Stroughton / UNEP, 187 p.
- ALEXANDRE F., 1996. *Entre Midis méditerranéen et atlantique, une transition phytoclimatique du Languedoc à l'Aquitaine*, Paris, Travaux du Laboratoire de Géographie physique de l'Université Paris 7 - Denis-Diderot (24), 175 p.
- ALEXANDRE F., ANDRIEU J., GENIN A., SAN EMETERIO J. L., 2013. *Exploration de la strate de variation bioclimatique du soudanien au sahélien (Bénin – Niger)*. ANR ECLiS, Délivrable 6.3a, Vulnérabilité le long du gradient bioclimatique et de fertilité des sols, 46 p. [En ligne] URL : <http://eclis.get.obs-mip.fr>
- ALEXANDRE F., ANDRIEU J., GENIN A., SAN EMETERIO J.L., 2010. Vulnérabilité et résilience des ressources pastorales en fonction des fluctuations de la mousson et des transformations des sociétés rurales : tentative d'étude régionale le long du gradient bioclimatique soudano-sahélien, *Atelier AMMA (Analyses Multidisciplinaires de la Mousson Africaine)-France* (Toulouse, novembre 2010), résumé dans AMMA Publications : [En ligne] URL : <http://biblio.amma-international.org/>
- ALEXANDRE F., COHEN M., GENIN A., LECOMPTE M., 2002. Essai phytogéographique dans les Alpes occidentales, entre Rhône et Pô, *L'Espace géographique*, 31 (2) : 153-162.
- ALEXANDRE F., GENIN A., LECOMPTE M., 1998. Seuils biologiques et limites climatiques en Méditerranée occidentale. *Géocarrefour : Revue de Géographie de Lyon*, 73 (1) : 33-43.
- ALEXANDRE F. & GENIN A., 2012. *Géographie de la végétation. Modèles spatiaux, perspectives, concepts et outils*. Paris, Armand Colin (Coll. U - Géographie), 2012, 302 p.
- ALEXANDRE F. & GÉNIN A. (éds.) 2008. *Continu et discontinu dans l'espace géographique*. Actes du colloque de Tours (novembre 2002), Tours : Presses de l'Université François Rabelais, 442 p.
- ALEXANDRE F., GENIN A., GODRON M. & LECOMPTE M., 1998. Distribution des plantes et organisation de la végétation, *L'Espace géographique*, 27 (3) : 228-238.
- ALFÖLDI T.T., 1996. *Introduction aux images numériques et aux techniques d'analyse numérique. Note technique 78-1 (version numérique : 1996)*. Ottawa, Centre Canadien de Télédétection, Ressources Naturelles du Canada, 14 p. [En ligne] URL : [http://www.mcourses.net/cours/pdf/info/INTRODUCTION\\_AUX\\_IMAGES\\_NUMERIQUES\\_ET\\_AUX\\_TECHNIQUES\\_D\\_ANALYSE\\_NUMERIQUE.pdf](http://www.mcourses.net/cours/pdf/info/INTRODUCTION_AUX_IMAGES_NUMERIQUES_ET_AUX_TECHNIQUES_D_ANALYSE_NUMERIQUE.pdf)

ALVERGNE C., 2007. Quelles politiques territoriales pour inscrire l'Afrique dans la mondialisation ?, *Les Cahiers d'Outre-mer* [En ligne], 238 | Avril-Juin 2007, URL : <http://com.revues.org/index2374.html>

AMMA-FRANCE, 2001. *French White Book on African Monsoon and its various Components*. Toulouse, AMMA, 82 p. [En ligne] URL : [http://www.amma-catch.org/publication/reference\\_doc/whitebook.pdf](http://www.amma-catch.org/publication/reference_doc/whitebook.pdf)

AMOGU O., 2009. *La dégradation des espaces sahéliens et ses conséquences sur l'alluvionnement du fleuve Niger : méthodes expérimentales et modélisation*. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, 440 p.

AMRAM O., 1996. *Régionalisation du bilan hydrique à l'aide de mesures satellitaires pour l'étude du fonctionnement des écosystèmes d'Afrique de l'Ouest*. Thèse de 3ème cycle de l'Université Paul Sabatier Toulouse (CESR / CESBIO), 221 p.

ANCEY V. & MONAS G., 2005. Le pastoralisme au Sénégal, entre politique moderne et gestion des risques par les pasteurs, *Tiers-monde*, 46 (184) : 763-783

ANCEY V., WANE A., MÜLLER A., ANDRE D., LECLERC G., 2008. Payer l'eau au Ferlo : Stratégies pastorales de gestion communautaire de l'eau, *Autrepart*, 46 (2008-2) : 51-66

ANDRE D., 2008. *Le Ferlo*. Saint-Louis, PAPF/ECO-IRAM-GTZ, n.p.

ANDRE D. & MÜLLER A., 2008. *Le Ferlo des feux de brousse. L'expérience du PAPF en matière de lutte contre les feux de brousse*. Saint-Louis, PAPF/ECO-IRAM-GTZ, 28 p.

ANDRIEU J., 2008. *Dynamique des paysages dans les régions septentrionales des Rivières-du-Sud (Sénégal, Gambie, Guinée-Bissau)*. Thèse de doctorat en Géographie, Université Paris-Diderot Paris 7, 519 p.

ANDRIEU J., 2002. *La flore des Baronniees. Etude phytogéographique et phytoécologique d'un espace de transition floristique*. Mémoire de maîtrise, Université Paris 7 – Denis Diderot,

ANDRIEU J. & ALEXANDRE F., 2010. Dynamique des paysages forestiers sur la frange littorale de l'Afrique de l'Ouest (Sénégal, Gambie et Guinée-Bissau), in Galochet M., Glon E. (éds.), *Des milieux aux territoires forestiers*, Mélanges en l'honneur de Jean-Jacques Dubois (Actes du colloque international de Villeneuve-d'Ascq, septembre 2008), Arras, Artois Presses Université, 199-219.

ANDRIEU J., ALEXANDRE F., GENIN A., SAN EMETERIO J. L., 2010. Ressource fourragère en Afrique soudano-sahélienne : estimation, cartographie, et suivi par analyse de séries temporelles de NDVI-NOAA. Colloque *Les satellites grand champ pour le suivi de l'environnement, des ressources naturelles et des risques* (Clermont-Ferrand, janvier 2010), 2010, édition électronique : HAL Archives ouvertes.

- ARBONNIER M., 2002. *Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest*. Deuxième édition, CIRAD – MNHN, 573 p.
- AUBREVILLE A., 1949. *Climats, forêts, et désertification de l'Afrique tropicale*. Paris, Société d'Éditions de Géographie maritime coloniale, 351 p.
- AUBREVILLE A., 1973. Rapport de la mission forestière anglo-française Nigéria - Niger (Décembre 1936 - Février 1937), *Bois et forêts des tropiques*, 148 : 3-26.
- BAILLY A. & BEGUIN H., 2001. *Introduction à la géographie humaine*. Paris, Armand Colin (Coll. U, série Géographie), 218 p.
- BALME M., LEBEL T., AMANI A., 2006. Années sèches et années humides au Sahel: *quo vadimus?*, *Hydrological Sciences*, 51 (2) : 254-271
- BALME M., VISCHEL T., LEBEL Th., PEUGEOT C., GALLE S., 2006. Assessing the water balance in the Sahel: Impact of small scale rainfall variability on runoff. Part I: Rainfall variability analysis, *Journal of Hydrology*, 331 (1-2) : 336-348.
- BARIOU R., LECAMUS D., LE HENAFF F., 1985. *Dossiers de Télédétection : les indices de végétation*, Rennes, Centre Régional de Télédétection (Université de Rennes 2), 121 p.
- BARO J., MERING C., VACHIER C., 2011. Cartographie des villes à partir d'images issues de Google Earth : application aux villes d'Afrique de l'Ouest, Communication colloque *Images et Villes* (12 - 13 décembre 2011 Université Paris-Diderot Paris 7), n. p.
- BARTHOLOMÉ E., 1990. Suivi par télédétection des productions céréalières pluviales en pays sahéliens, in Dubois J.-M., Lafrance P. eds., *Apports de la télédétection à la lutte contre la sécheresse (journées scientifiques de Thiès, 21-24 novembre 1989)*, Montrouge, John Libbey Eurotext, 15-27.
- BARTHOLOMÉ É., 1989. Calibration of vegetation indices for APAR measurements using intrinsic satellite image information. *Proceedings of the Remote Sensing Society* (Colloque annuel : Université de Bristol, 13 au 15 septembre 1989), 47-52.
- BASSETT T. & BOUTRAIS J., 2000. Cattle and Trees in the West African Savanna, in Cline-Cole R., Madge C. (eds.), *Contesting forestry in West Africa*. Aldershot, Ashgate, 242-263.
- BATTERBURY S. P. J. & WARREN A., 2001. Desertification, in N. Smelser & P. Baltes (eds.), *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*. Oxford, Elsevier, 3526-3529.
- BAZZAZ F. A. & SOMBROEK W. G., 1996. *Global climate change and agricultural production: Direct and indirect effects of changing hydrological, pedological, and plant physiological processes*. Rome – Chichester - New York, FAO, Land and Water Development Division, 345 p.

- BENNOUNA T., 2003. Désertification et changements climatiques : Aspects historiques et géographiques Perspectives et tendances, Communication *École d'été de Marrakech 10 – 14 juin 2003. Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS)*, n. p.
- BENOIT M., 1984. *Le Séno Mango ne doit pas mourir. Pastoralisme, vie sauvage et protection au Sahel*. Paris, Orstom (coll. Mémoires, 103), 142 p
- BENZECRI J.-P. (éd.), 1973. *L'analyse factorielle*. Paris, Dunod. 619 p.
- BERGAOUI M. & ALOUINI A., 2001. Caractérisation de la sécheresse météorologique et hydrologique : cas du bassin versant de Siliana en Tunisie. *Sécheresse*, 12 : 205-13.
- BERHAUT J., 1967. *Flore illustrée du Sénégal* (2<sup>e</sup> édition), Dakar, Clairafrique, 487 p.
- BERTRAND R., 1998. *Du Sahel à la forêt tropicale : clés de lecture des sols dans les paysages ouest africains*. Montpellier, CIRAD, 150 p.
- BIGOT S., BROU T.Y., OSZWALD Y., DIEDHIOU A. & HOUNDENOU C., 2005. Facteurs d'explication de la variabilité pluviométrique en Côte d'Ivoire et relations avec certaines modifications environnementales, *Sécheresse*, 16 (1) : 5-13.
- BIROT P., 1970. *Les régions naturelles du globe*. Masson, 380 p
- BLANC-PAMARD C. & BOUTRAIS J., 2002. Les temps de l'environnement. D'un sauvetage technique à une gestion locale en Afrique et à Madagascar, *Historiens et Géographes*, 379 : Regards sur l'Afrique, 249-262.
- BLANDIN P. & BERGANDI D., 2003. La nature avec ou sans hommes ?, *La Recherche*, Hors-série n°11 (La Terre) : 67-71.
- BLANDIN P., 1992. De l'écosystème à l'éco-complexe, in M. Jollivet (éd.), *Sciences de la nature, sciences de la société. Les passeurs de frontières*, Paris, CNRS éditions, 267-279.
- BLANDIN P. & LAMOTTE M., 1984. Écologie des systèmes et aménagement : fondements théoriques et principes méthodologiques, in M. Lamotte (éd.), *Fondements rationnels de l'aménagement d'un territoire*. Paris, Masson. 139-162.
- BLASCO F. & AIZPURU M., 1992. *Carte de la végétation potentielle de l'Afrique / carte de la végétation réelle de l'Afrique*. Toulouse, Institut de la carte internationale de la végétation, documents internes.
- BONFILS M. & DELLERE R., 1987. *Halte à la désertification au Sahel : guide méthodologique*. Paris, Karthala, 263 p
- BONKOUNGOU E. G., 1984. *Acacia albida* Del. : un arbre à usages multiples pour les zones arides et semi-arides, *Ressources Génétiques Forestières*, 13, [En ligne] Archives de documents de la FAO, URL : [www.fao.org/docrep/006/r3812f/R3812F08.htm](http://www.fao.org/docrep/006/r3812f/R3812F08.htm)

BONNECASE V., 2009. Avoir faim en Afrique occidentale Française : investigations et représentations coloniales, *Revue d'Histoire des Sciences Humaines*, 21 : 151-174.

BOUALI L. 2009. Prévisibilité et prévision statistico-dynamique des saisons des pluies associées à la mousson ouest africaine à partir d'ensembles multi-modèles. Thèse de doctorat 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. Bourgogne 159 p

BOUZOU MOUSSA I., MAIGA O. F., AMBOUTA J.-M. K., SARR B., DESCROIX L., ADAMO M. M., 2009. Les conséquences géomorphologiques de l'occupation du sol et des changements climatiques dans un bassin-versant rural sahélien, *Sécheresse*, 20 (1) : 145-152.

BRASSERIE V. & OUEDRAOGO M. G., 2008. La sécurisation foncière : un des défis majeurs pour le nouveau siècle. *Grain de sel*, 41-42 : 13-14.

BREMAN H. & DE RIDDER N., 1991. *Manuel sur les pâturages des pays sahéliens*. Paris, Wageningen, Karthala, CTA, CCTA, 485 p.

BROOKS N., 2003. Vulnerability, Risk and Adaptation: A Conceptual Framework. Working Paper 38, Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich

BUCINI G. & LAMBIN E. F., 2002. Fire impacts on vegetation in Central Africa: a remote-sensing-based statistical analysis, *Applied Geography*, 22 (: 27-48.

BUREL F. & BAUDRY J., 1999. *Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications*. Paris, TEC & DOC. 359 p.

BYUN H. R. & WILHITE D. A., 1999. Objective quantification of drought severity and duration, *Journal of Climate*, 12 : 2747-2756.

CALOZ R. & C. COLLET., 2001. *Précis de télédétection, Volume 3 - Système d'information géographique et de traitement numérique d'images de télédétection*. Sainte-Foy, Presses de l'Université du Québec / AUPELF, 398 p.

CAMBERLIN P., MARTINY N., RICHARD Y., PHILIPPON N., 2006. Compared regimes of NDVI and rainfall in semi-arid regions of Africa, *International Journal of Remote Sensing*, 27 (23) : 5201-5223.

CANNON T., 2000. Vulnerability analysis and Disasters, in Parker D.J. (ed.), *Floods, Hazards and Disasters (vol I)*, Londres, Routledge, 13-30.

CARRIERE M., 1996. *Impact des systèmes d'élevage pastoraux sur l'environnement en Afrique et en Asie tropicale et subtropicale aride et subaride*. Sarrebrück, SEMGUSIB / CIRAD-EMVT, 70 p.

CEDEAO / ECOWAS, 2008. *Afrique de l'ouest: Présentation générale de la région*, 22 p. [En ligne] : [www.portailouestafrique.org/west-africa/region](http://www.portailouestafrique.org/west-africa/region)

CEDEAO-CSAO / OCDE, 2009. *Atlas régional de l'Afrique de l'Ouest*. [En ligne] URL : [www.oecd.org/fr/csao/publications/](http://www.oecd.org/fr/csao/publications/)

- CENTRE CANADIEN DE TELEDETECTION, 2014. *Notions fondamentales des télédétection. Cours tutoriel en téléchargement*, Ottawa, Ressources Naturelles du Canada / Natural Resources of Canada, 266 p. [En ligne] [http://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals\\_f.pdf](http://www.rncan.gc.ca/sites/www.rncan.gc.ca/files/earthsciences/pdf/resource/tutor/fundam/pdf/fundamentals_f.pdf)
- CESARO J. D., 2009. *Mobilité pastorale et accès au marché : le cas des éleveurs du forage de Niassanté*. Mémoire de master 1 de géographie, Université Paris 1- Panthéon-Sorbonne / CIRAD, 175 p.
- CHARNEY J., STONE P. H., QUIRK W. J., 1975. Drought in the Sahara: A biogeophysical feedback mechanism. *Science*, 187 : 434-435
- CHAVEZ P. S. & D. J. MACKINNON., 1994. Automatic detection of vegetation changes in the Southwestern United States using remotely sensed images, *Journal of Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60 (5) : 571-583.
- CHEVALIER A., 1900. Les zones et les provinces botaniques de l'AOF, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, 130 (18) : 1205-1208.
- CHOUQUER G., 2010. *Morphologie agraire de la concession de la forêt classée de Mbégué (Sénégal, Khelcom Diaga)*. Note de l'Observatoire des formes du foncier dans le monde, 11 p., [En ligne] : <http://www.formesdufoncier.org/index.php/pdfs/Etude-Mbegue.pdf>
- CHOWDHURY R. R., 2006. Landscape change in the Calakmu Biosphere Reserve, Mexico. Modelling the driving forces of smallholder deforestation in land parcels, *Applied geography*, 26 (2) : 129-152.
- CLARK R. N., 1999. Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy, in A. N. Rencz (ed.), *Manual of Remote Sensing. Vol. 3, Remote Sensing for the Earth Sciences*, New York, John Wiley and Sons, 3-58.
- CLEMENTS F. E., 1916. *Plant Succession. An Analysis of the Development of Vegetation*. Washington, Carnegie Institution of Washington, 516 p.
- CLEMENTS F. E., 1936. Nature and Structure of the Climax. *The Journal of Ecology*, 24 (1) : 252-284.
- CLUB DU SAHEL / OCDE, 1998. *Pour préparer l'avenir de l'Afrique de l'Ouest : une vision à l'horizon 2020*. Paris, Club du Sahel / OCDE, 157 p.
- COMBESSIE J.-Cl., 2007 (5<sup>e</sup> éd.). *La méthode en sociologie*. Paris, La Découverte (Coll. Repères), 128 p.
- CORNET A., 1977. *Qu'est-ce que la désertification ?* Les dossiers thématiques de l'IRD, Suds en ligne, 13 p. [En ligne] URL : <https://www.mpl.ird.fr/suds-en-ligne/desertif/desert.pdf>

- CORNET A. & POUPON H., 1977. Description des facteurs du milieu et de la végétation dans cinq parcelles situées le long d'un gradient climatique en zone sahélienne au Sénégal, *Bulletin de l'IFAN*, 39 (Série A : 2) : 241-300.
- COUR J.-M., 2001. The Sahel in West Africa: countries in transition to a full market economy, *Global Environmental Change*, 11 (1) : 31-47
- CRIPPEN R. E., 1988. The dangers of underestimating the importance of data adjustments in band ratioing, *International Journal of Remote Sensing*, 9 (4) : 767-776.
- CRUTZEN P. J. & STOERMER E. F., 1995. The "Anthropocene", *Global Change Newsletter*, 41 : 17-18.
- CSE (CENTRE DE SUIVI ECOLOGIQUE), 2000. *Programme d'action national de lutte contre la désertification*. Dakar, Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature, 152 p. [En ligne] URL : <http://ns.cse.sn/sid/biblioth/pnae/pnae/resum.htm>
- CSE (CENTRE DE SUIVI ECOLOGIQUE) / ROSELT-OSS, 2002. *Synthèse des études diagnostiques des sites de l'observatoire du Ferlo*. Dakar, Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature, 10 p.
- CSE (CENTRE DE SUIVI ECOLOGIQUE), 2011. *Suivi des feux de brousse au Sénégal (2010-2011)*. Dakar, Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature, 10 p. [En ligne] : [http://svr-web.cse.sn/IMG/pdf/Rapportr\\_de\\_campagne\\_2010-2011-2.pdf](http://svr-web.cse.sn/IMG/pdf/Rapportr_de_campagne_2010-2011-2.pdf)
- D'ERCOLE R., GLUSKI P., HARDY S., SIERRA A., 2009. Vulnérabilités urbaines dans les pays du Sud. Présentation du dossier. *Cybergeo : European Journal of Geography*, Dossier : Vulnérabilités urbaines au sud, [En ligne], URL: <http://cybergeo.revues.org/index22151.html>
- DAGET Ph. & GODRON M., 1982. *Analyse de l'écologie des espèces dans les communautés*. Paris, Masson (Coll. Écologie, 18), 163 p.
- DAGNELIE P., 1960. Quelques problèmes scientifiques posés par l'utilisation de l'analyse factorielle en phytosociologie, *Bulletin de l'institut agronomique de Gembloux*, 1 : 430-438.
- DANSEREAU P., 1957. *Biogeography, an Ecological Perspective*. New York, Ronald Press Company, 394 p.
- DECAMPS H., 2007. La vulnérabilité des systèmes socioécologiques aux événements extrêmes : exposition, sensibilité, résilience, *Natures Sciences Sociétés*, 15 (1) : 48-52
- DEKKER A. J., 1980. *Etudes préliminaire de la végétation du Parc National de la Boucle du Baoulé et quelques réserves adjacentes au Mali*. Rapport Technique du Projet RURGS. Wageningen, Université Agronomique de Wageningen (Département d'Aménagement de la Nature), 36 p.
- DESCROIX L., MAHÉ G., LEBEL Th., FAVREAU G., GALLE S., GAUTIER E., OLIVRY J.-C., ALBERGEL J., AMOGU O., CAPPELAERE B., DESSOUASSI R., DIEDHOU A., LE BRETON E., MAMADOU I., SIGHOMMOU D., 2009. Spatio-temporal variability of

hydrological regimes around the boundaries between Sahelian and Sudanian areas of West Africa: A synthesis, *Journal of Hydrology*, 375 (1-2) : 90-102.

DIA A. H., BECERRA S., GANGNERON F., 2008. Crises climatiques, ruptures politiques et transformations de l'action publique environnementale au Mali. *Vertigo, Revue électronique en sciences de l'environnement*, 8 (1), [En ligne] : URL : <http://vertigo.revues.org/1468>

DIA D., 2009. *Les territoires de l'élevage laitier à l'épreuve des dynamiques politiques et économiques : éléments pour une géographie du lait au Sénégal*. Thèse de doctorat de 3<sup>e</sup> cycle en Géographie, Dakar, Université Cheikh Anta Diop, 336 p.

DIALLO A., AGBANGBA E. C., THIAW A., GUISSÉ A., 2012. Structure des populations de *Acacia senegal* (L.) Willd dans la zone de Tébékéré (Ferlo nord), Sénégal, *Journal of Applied Biosciences*, 59 : 4366 – 4374.

DIDAY E., 1971. Une nouvelle méthode de classification automatique et reconnaissance des formes : la méthode des nuées dynamiques, *Revue de statistiques appliquées*, 19 (2) : 19-33.

DIENG O., ROUCOU P., LOUVET S., 2008. Variabilité intra-saisonnière des précipitations au Sénégal (1951-1996), *Sécheresse*; 19 (2) : 87-93.

DIEYE P. N., 2008. Les politiques agricoles en Afrique subsaharienne : une symphonie inachevée, *Grain de sel*, 41-42 : 6-7.

DIOP A. T., 1993. Les jachères dans l'alimentation des animaux domestiques au Sénégal : importance et mode d'utilisation, in Floret Ch. & Pontanier R. (éds), *La Jachère en Afrique tropicale*, (Actes du colloque de Montpellier, 2 au 5 décembre 1991), Paris, ORSTOM, 451-461.

DIOP A. T., CESARO J.-D., TOURE I., ICKOWICZ A., TOUTAIN B., 2012. Évolution des transhumances, in Touré I., Ickowicz A., Wane A., Garba I., Gerber P. (éds.), *Atlas des évolutions des systèmes pastoraux au Sahel : 1970-2012*. Paris, FAO / CIRAD / CILSS, 14-15.

DIOP M. C., 1980. *La confrérie mouride. Organisation politique et mode d'implantation urbaine*. Thèse de doctorat de 3<sup>e</sup> cycle, Université de Lyon 2, 265 p.

DIOUF A. & LAMBIN E. F., 2001. Monitoring land-cover changes in semi-arid regions: remote sensing data and field observations in the Ferlo, Senegal, *Journal of Arid Environments*, 48 (2) : 129–148.

DIOUF M., AKPO L. E., ROCHETEAU A., DO F., GOUDIABY V., DIAGNE A. L., 2002. Dynamique du peuplement ligneux d'une végétation sahélienne au Nord Sénégal (Afrique de l'Ouest), *Journal des sciences*, 2 (1) : 1-9.

DIOUF M., 2003. *Caractéristiques fondamentales de la feuillaison d'une espèce ligneuse sahélienne : Acacia tortilis (Forsk.) Hayne. Variations selon les microsites topographiques du*

*Ferlo (Nord-Sénégal)*. Thèse de doctorat de 3<sup>e</sup> cycle, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 103 p.

DIOUF M., 2004. Fiche *Zornia glochidiata* C. Rchb. ex DC, in Grubben, G.J.H. & Denton, O.A. (eds.), *Base de données PROTA4U (Plant Resources of Tropical Africa / Ressources végétales de l'Afrique tropicale)*, Université de Wageningen, [En ligne] URL : [www.prota4u.info](http://www.prota4u.info)

DIRECTION DE L'AGRICULTURE (SENEGAL), 1991. *Étude agropédologique de Khelcom. Domaine attribué à Sérigne Saliou Mbacké*. Dakar, Bureau Pédologie du Sénégal (Ministère du Développement rural et de l'Hydraulique), rapport n° 6, 46 p.

DJOUFACK-MANETSA V., 2011. *Étude multi-échelles des précipitations et du couvert végétal au Cameroun. Analyses spatiales, tendances temporelles, facteurs climatiques et anthropiques de variabilité du NDVI*. Thèse de doctorat en Géographie, Université de Yaoundé / Université de Bourgogne, 303 p.

DREGNE H. E., 1983. *Desertification of arid lands: advances in desert and arid land Technology and development. Vol. 3 : Desertification of Arid Lands*. Coire – Londres – Paris – New York, Harwood, 242 p.

DUBRESSON A. & RAISON J. P., 2003 (2<sup>e</sup> éd.). *L'Afrique subsaharienne une géographie du changement*. Paris, Armand Colin (Coll. U – Géographie), 245 p.

DUPIRE M., 1957. Les forages dans l'économie peule, in Grosmaire M. (éd.), *Éléments de politique sylvo-pastorale au Sahel sénégalais*, Saint-Louis, Inspection forestière du Fleuve, Fasc. 14 : 19-24.

EKLUNDH L. & OLSSON L., 2003. Vegetation index trends for the African Sahel 1982–1999, *Geophysical Research Letters*, 30 (8), [En ligne] : DOI : 10.129/2002GL016772.

ENGLEHART P. J. & DOUGLAS A., 2006. Defining Intraseasonal Rainfall Variability within the North American Monsoon, *Journal of Climate*, 19 : 4243–4253.

FAO, 1997. *Situation des forêts du monde 1997*. Rome, FAO, 200 p.

FAO, 2000. *On Definitions of Forest and Forest change*. Forest Ressources Assessment (Document de travail 33), Rome, FAO (Forestry Development), [En ligne] URL : [www.fao.org/forestry/fo/fra/index.jsp](http://www.fao.org/forestry/fo/fra/index.jsp)

FAO, 2001. *Global Forest Resources assessment 2000*. Rome, FAO (Forestry Paper, 140).

FAO, 2003. *Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne*. Rome, FAO, 54 p.

FAUQUET F., 2005. *Dynamiques des ressources environnementales et mutations des systèmes agro-sylvo-pastoraux en milieu tropical semi aride : le cas de la vallée d'Arewa*

(Niger central). Thèse de doctorat 3e cycle en Géographie, Université Joseph-Fourier Grenoble, 266 p.

FAUQUET F. & MOREL A., 2006. Résilience des communautés rurales face à la crise écologique et foncière du Sahel. L'exemple de la vallée d'Arewa (Niger central), *Afrique contemporaine*, 2006-1 (217) : 77-89.

FAYE A., 2011. *Revue des politiques d'élevage en rapport avec la gestion durable du bétail ruminant endémique* (Rapport de consultance), Nairobi, ILRI, 64 p.

FENSHOLT R. & RASMUSSEN K., 2011. Analysis of trends in the Sahelian rain-use efficiency using GIMMS NDVI, RFE and GPCP rainfall data, *Remote Sensing of Environment*, 115 (2) : 438-451.

FLORET C., PONTANIER R. & SERPANTIE G., 1993. *La jachère en Afrique tropicale*. Paris, UNESCO (Dossier MAB 16), 86 p.

FOLKE C. 2007. Social-ecological systems and adaptive governance of the Commons, *Ecological Research*, 22 (1) : 14-15.

FOLLAND C. K., PARKER D. E., PALMER T. N., 1986. Sahel rainfall and worldwide sea temperatures, 1901–1985, *Nature*, 320 : 602–607.

FONTAINE B., JANICOT S., MORON V., ROUCOU P., TRZASKA S., 1998. Anomalies de températures de surface de la mer et précipitations tropicales : synthèse de quelques travaux récents portant sur les précipitations au Sahel et dans le Nordeste, *La Météorologie*, vol. 8 (6) : 1503-1510.

FORMAN R. & GODRON M., 1986. *Landscape ecology*. New York, Wiley and Sons, 619 p.

FOTSING E., CHEYLAN J-P., DEGROOT W.T. & VERBURG P.H., 2003. Un dispositif multi échelle d'analyse des dynamiques agraires en zone des savanes de l'extrême Nord du Cameroun. *6<sup>e</sup> Rencontres Théo Quant (Rencontre sur les nouvelles approches en Géographie théorique et quantitative*, Besançon, 2003), 16 p. [En ligne] URL : [thema.univ-fcomte.fr/theoq/pdf/TQ2003\\_ARTICLE18.pdf](http://thema.univ-fcomte.fr/theoq/pdf/TQ2003_ARTICLE18.pdf)

FRANQUIN P., 1984. Agroclimatologie et agrométéorologie en zone tropicale sèche d'Afrique, *Agronomie tropicale*, 39 (4) : 301-302.

FRASER R.H., ABUELGASIM A. & LATIFOVIC R., 2005. A method for detecting large-scale forest cover change using coarse spatial resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*, 95 (4) : 414-427.

FREUDENBERGER M. S. & SCHOONMAKER-FREUDENBERGER K., 1989. *Part I: State of the art on desertification. Part II: Plan of action for West Africa Regional Office thrust on desertification* (Rapport d'étude), Dakar, IDRC/WARO

GADO A. B., 1993. *Une histoire des famines au Sahel : Étude des grandes crises alimentaires (XIX<sup>e</sup> –XX<sup>e</sup> siècles)*. Paris, L'Harmattan (Coll. Racines du présent), 201 p.

- GARBA I., TOURE I., ICKOWICZ A., CESARO J. D., TOUTAIN B., 2012. Suivi des feux de brousse au Sahel, in Touré I., Ickowicz A., Wane A., Garba I., Gerber P. (éds.), *Atlas des évolutions des systèmes pastoraux au Sahel : 1970-2012*. Paris, FAO / CIRAD / CILSS, 12-13.
- GAUSMAN H. W., 1985. *Plant leaf optical properties in visible and near-infrared light*. Lubbock, Texas Technical Press, 78 p.
- GÉNIN A., 1997. *Les contacts entre domaines phytoclimatiques. Exemple de la bordure cévenole*. Paris, Travaux du Laboratoire de Géographie Physique, 25, 185 p.
- GIDDINGS L., SOTO M., RUTHERFORD B. M., MAAROUF A., 2005. Standardized Precipitation Index Zones for México, *Atmósfera*, 18 (1) : 33-56.
- GIEC, 2007. *Changements climatiques 2007. Rapport de synthèse*. Genève, GIEC, 114 p. [En ligne] URL : [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_fr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_fr.pdf)
- GIRARD M. C. & GIRARD C. M., 1999. *Traitement des données de télédétection*. Paris, Dunod, 527 p.
- GLEASON H. A., 1926. The individualistic concept of the plant association. *Bulletin of Torrey Botanical Club*, 53, 7-26.
- GODRON M., 1966. Application de la théorie de l'information à l'étude de l'homogénéité et de la structure de la végétation, *Æcol. Plant.*, 1 : 185-212.
- GODRON M., 1971. *Essai sur une approche probabiliste de l'écologie des végétaux*. Thèse de doctorat d'Etat, Montpellier, Université des sciences et techniques du Languedoc, 247 p.
- GODRON M., 1967. Les groupes écologiques regroupés en écailles. *Æcol. Plant.*, 2 : 217-266.
- GODRON M., 1982. L'étude du "grain" de la structure de la végétation. Application à quelques exemples méditerranéens, *Ecologia Mediterranea*, 8 (1-2) : 191-195.
- GODRON M., 1968. Quelques applications de la notion de fréquence en écologie végétale, *Æcol. Plant.*, 3 : 217-266.
- GODRON M. & ANDRIEU J., 2008. Mise en évidence d'un continuum à facettes, in Alexandre F. & Génin A. (éds.), *Continu et discontinu dans l'espace géographique*, Tours, Presses de l'Université François Rabelais, 145-170.
- GODRON M. & EMBERGER L., (éds.) 1968. *Code pour le relevé méthodique de la végétation et du milieu*. Paris, CNRS éditions, 292 p.
- GOERG O., 2006. Domination coloniale, construction de « la ville » en Afrique et dénomination, *Afrique & histoire*, 1 (5) : 15-45.

- GOURA SOULE B., 2008. Agriculture : quelle vision pour quelle politique ?, *Grain de sel*, - 42 : 9-10.
- GUENGANT J.-P., BANOIN M., QUESNEL A., 2002. *Dynamique des populations, disponibilité en terres et adaptation des régimes fonciers : le cas du Niger*. Rome, FAO, 155 p.
- GUEYE Ch., 2000. Le paradoxe de Touba : une ville produite par des ruraux, *Bulletin de l'APAD*, 19-2000 (*Les interactions rural-urbain : circulation et mobilisation des ressources*), [En ligne] URL : <http://apad.revues.org/426>
- GUIBERT B., HEUZE G., 2008. *Restrictions et reconstructions successives d'un espace vital (pastoral, social et politique) des Peuls du Ferlo sénégalais durant la deuxième moitié du XIXe siècle*. (Rapport de consultance IRAM – GTZ PAPF). Toulouse, École des Hautes études en Sciences sociales, 22 p.
- GUILLEMYN D., PUIG H. & BLASCO F., 1993. Phytogéographie de l'Afrique, une approche écologique, in *Actes du Colloque international de Phytogéographie tropicale*, Paris, ORSTOM, 115-123.
- GUNNELL Y., 2009. *Écologie et Société*. Paris, Armand Colin (Coll. U - Géographie), 480 p.
- HEIN L. & DE RIDDER N., 2005. Desertification in the Sahel: a reinterpretation, *Global Change Biology*, 12 (5) : 751–758
- HERMANN S. M. & HUTCHINSON C. F., 2005. The changing contexts of the desertification debate, *Journal of Arid Environments*, 63 (3) : 538–555
- HERRMANN S. M., ANYAMBA A., TUCKER C. J., 2005. Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate, *Global Environmental Change*, 15 (4) : 394-404.
- HEUMANN B. W., SEAQUIST J. W., EKLUNDH L. & JONSSON P., 2007. AVHRR derived phenological change in the Sahel and Soudan, Africa, 1982-2006, *Remote Sensing of Environment*, 108 (4): 385-392.
- HIELKEMA, J. U., PRINCE, S. D., ASTLE, W. L., 1986. Rainfall and vegetation monitoring in the Savanna zone of the Democratic Republic of Sudan using the NOAA AVHRR, *International Journal of Remote Sensing*, 7 (11) : 1499–1513.
- HIERNAUX P., CISSE M. I., DIARRA L., COULIBALY M., 1983. *Recherche d'une solution aux problèmes de l'élevage dans le Delta intérieur du Niger au Mali*. Volume I. *Les pâturages de la zone d'étude Bamako/Sévaré*. Bamako, Centre international pour l'élevage en Afrique (CIPEA) / Opération de développement de l'élevage dans la région de Mopti (ODEM), 132 p.

- HIERNAUX P., DIARRA L., TRICHON V., MOUGIN, E., BAUP F., 2009. Woody plant population dynamics in response to climate changes from 1984 to 2006 in Sahel (Gourma, Mali), *Journal of Hydrology*, 375 (1-2) : 103-113
- HIERNAUX P. & LE HOUEROU H. N. 2006. Les parcours du Sahel, *Sécheresse*, 17 (1-2) : 51-71.
- HOLBEN B. N. & JUSTICE C. O., 1981. An examination of spectral band ratioing to reduce the topographic effect on remotely sensed data, *International Journal of Remote Sensing*, 2 (2) : 115-133.
- HOUNTONDJI Y. C., 2008. *Dynamique environnementale en zones sahélienne et soudanienne de l'Afrique de l'Ouest. Analyse de l'évolution et évaluation de la dégradation du couvert végétal*. Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Liège, 131 p.
- HRABANSKI M., 2011. Souveraineté alimentaire. *Revue Tiers Monde* 3 (207) : 151-168
- HUBERT P. & CARBONNEL J.-P., 1992. Pluviométrie en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne. Remise en cause de la stationnarité des séries, in Le Floc'h E., Grouzis M., Cornet A., Bille J.-C., *L'aridité, une contrainte au développement*, Paris, ORSTOM (Coll. Didactique), 37-51.
- HUBER S., FENSHOLT R., RASMUSSEN K., 2011. Water availability as the driver of vegetation dynamics in the African Sahel from 1982 to 2007, *Global and Planetary Change*, 76 (3-4) : 186–195
- HUBERT-MOY L., 2004. *Occupation du sol et télédétection : de l'inventaire à la modélisation prédictive*. Mémoire de synthèse HDR, Université Rennes 2, 279p.
- HULME M., 1996. Recent climatic change in the world's drylands, *Geophysical Research Letters*, 23 (1) : 61-64.
- HULME M., 2001. Climatic perspectives on Sahelian desiccation: 1973–1998, *Global Environmental Change* 11 (1) : 19–29.
- ICKOWICZ A., ANCEY V., LECLERC G., TOURÉ I., DAMMAN G. & DARLY S., 2005. *Rapport final du Programme LEAD Pastoralisme et Environnement au Sahel (PESah)*. Montpellier, CIRAD, 107 p.
- JACKSON R. D., SLATER P. N. & PINTER P. J. Jr., 1983. Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. *Remote sensing of environment*, 13: 187-208
- JANICOT S. & FONTAINE B., 1993. L'évolution des idées sur la variabilité interannuelle récente des précipitations en Afrique de l'Ouest, *La Météorologie*, 8 (1) : 28-53.
- JANICOT S., 1996. Impact of warm ENSO events on atmospheric circulation and convection over the tropical Atlantic and West Africa, *Annales Geophysicae*, 15 : 471-475.

- JANICOT S., 1996. Le point sur la désertification et les changements climatiques. *Connaissance de la Météorologie*, N°4, Météo-France, 15 p.
- JANIN P., 2004. La gestion spatio-temporelle de la soudure alimentaire dans le Sahel burkinabé, *Revue Tiers-Monde*, 180 : 909-933
- JANIN P., 2006. La vulnérabilité alimentaire des Sahéliens : concepts, échelles et enseignements d'une recherche de terrain, *L'Espace géographique*, 4 (35) : 355-366.
- JANODET E. & BLASCO F., 1993. Cartes écologiques de la végétation et télédétection satellitaire, in Dubois J.-M., Cavayas F., Lafrance P. (éds.), *Télédétection appliquée à la cartographie thématique et topographique*. Sainte-Foy, Presses de l'Université du Québec / AUPELF-UREF, 247-261
- JANSSEN M. A. & OSTROM E., 2006. Governing Social Ecological Systems, in Tesfatsion L. & Judd K. L., *Handbook of Computational Economics II: Agent-Based Computational Economics*, Elsevier, 1465-1509 [En ligne].
- JOLLIVET M. (éd.), 1992. *Sciences de la nature, sciences de la société. Les passeurs de frontières*. Paris, CNRS, 589 p.
- JUHE-BEAULATON D. & ROUSSEL B., 1994. Tropiques d'abondance ou tropiques menacés. Regards d'Européens sur la flore et la végétation de l'Afrique tropicale humide. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 36 (2) : 25-38.
- KAPTUE TCHUENTE A.T., ROUJEAN J. L., FAROUX S., 2010. ECOCLIMAP-II: An ecosystem classification and land surface parameters database of Western Africa at 1 km resolution for the African Monsoon Multidisciplinary Analysis (AMMA) project, *Remote Sensing of Environment*, 114: 961–976
- KESTELOOT L. & BA A. H., 1969. *Kaïdara : récit initiatique peul*. Paris, Julliard, 181 p.
- KÜCHLER A. W., 1967. *Vegetation mapping*. New-York, Ronald Press Company, 472 p.
- L'HOTE Y., MAHE G., BONAVENTURE S., TRIBOULET J. P., 2002. Analysis of a Sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000; the drought continues, *Hydrological Sciences Journal*, 47 (4) : 563–572.
- LAGADEUC Y. & CHENORKIAN R., 2009. Les systèmes socio-écologiques : vers une approche spatiale et temporelle, *Natures Sciences Sociétés*, 17 (2009-2) : 194-196.
- LAMB P. J. & PEPPLER R. A., 1992. Further case studies of tropical Atlantic surface atmospheric and oceanic patterns associated with sub-Saharan drought, *Journal of Climate*, 5 : 476–488.
- LAMBIN E.F. & STRAHLER A. H., 1994. Change-vector analysis in multispectral space: a tool to detect and categorize land-cover change processes using high temporal-resolution satellite data, *Remote Sensing Environment*, 48 : 231-244.

LAPEYRONIE A. & LE FLOCH E., 1995. Pourquoi certaines plantes sont-elles fourragères ?, in Daget P. et Godron M. (éds.), *Pastoralisme : troupeaux, espaces et sociétés*. Paris, Hatier / AUPELF-UREF, 100-110.

LATIFOVIC R., ZHI-LIANG Z., CIHLAR J., GIRI C. & OLTHOF I., 2004. Land cover mapping North and Central America: Global Land Cover 2000, *Remote Sensing of Environment*, 89 (1) : 116-127.

LAVAUDEN L., 1927. Les forêts du Sahara. *Revue des Eaux et Forêts*, 1927 : 6/7 : 265-77 ; 329-41.

LAVENU F., 1985. *Carte digitalisée de la végétation de l'Afrique, avec Notice sommaire destinée au système d'information géographique de la FAO*. Toulouse, ICIV.

LE BARBÉ L., LEBEL Th., TAPSOBA D., 2002. Rainfall Variability in West Africa during the Years 1950-1990, *Journal of Climate*, 15 : 187-202.

LE BARBÉ L. & LEBEL Th., 1997. Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel region during the years 1950-1990, *Journal of Hydrology*, 188-189 (1-4) : 43-73.

LE HEGARAT-MASCLE S., SELTZ R., HUBERT-MOY L., CORGNE S., STACH N., 2006. Performance of change detection using remotely sensed data evidential fusion: comparison of three cases of application, *International Journal of Remote Sensing*. 27 (16) : 3515-3532.

LE HOUÉROU H.-N., 1980. Browse in North Africa, in Le Houérou H.-N., *Browse in Africa, the current state of knowledge*, Addis Abéba, International Livestock Centre for Africa (ILCA), 55-82.

LE HOUEROU H. N. & POPOV G. F., 1981. *An eco-climatic classification of inter-tropical Africa*. Rome, FAO (Coll. Plant Production and Protection Papers, 33), 40 p.

LEBART L. & SALEM A., 1994. *Statistique textuelle*. Paris, Dunod, 344 p

LEBEL Th., 1995. *Hydrologie et météorologie de méso-échelle dans HAPEX SAHEL : Dispositif de mesures au sol et premiers résultats*. Paris, IRD, 204 p.

LEBEL, Th. & VISCHEL T., 2005. Climat et cycle de l'eau en zone tropicale : un problème d'échelle, *C. R. Géosciences*, 337(1-2), 29-38

LEBEL Th. & REDELSPERGER J. L., 2008. Le projet AMMA, un exemple d'étude intégré et multidisciplinaire sur un système climatique régional, *La Houille Blanche*, 2-2008, 1-7

LEBRUN J. P., 2002. *Introduction à la flore d'Afrique*. Paris, Cirad - Ibis Press, 156 p.

LECOMPTE M., 1986. *Biogéographie de la montagne marocaine : le Moyen-Atlas Central*. Paris, CNRS éditions, 202 p.

LEGENDRE L. & LEGENDRE P., 1979. *Écologie numérique*. Paris, Masson, 2 vol. (197 et 247 p.).

LEMAITRE F., 2002. *Recensement des tests de détection de tendances ou de ruptures adaptés à l'analyse de stationnarité des régimes de crues en France*. Travail de fin d'étude. ENTPE, CEMAGREF Lyon, 94 p.

LEROUX M., 1975. La circulation générale de l'atmosphère et les oscillations climatiques tropicales. *La désertification au sud du Sahara*. Nouvelles Editions Africaines (NEA), Dakar, 82-90. & Cahier n° 3, Cent. Rech. Clim., Univ. Dijon 1975, 1-16

LEROUX M., 1983. *Le climat de l'Afrique tropicale – the climate of tropical africa*. Editions H. Champion - M. Slatkine, Paris - Genève Publié et diffusé par l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), Genève, subventions de l'Agence de Coopération Culturelle et Technique (ACCT), Paris, du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) et du Ministère de la Coopération, Paris tome 1 : (22 x 30 cm), 636 pages, 649 Fig., tome 2 : (31 x 46 cm), notice bilingue et Atlas bilingue de 250 cartes.

LEROUX M. & SAGNA P., 2000. Le climat. *In : Atlas du Sénégal*. Ed. Jeune Afrique, 16-19

LESOURD M., 2009. L'Afrique. Cours magistral de géographie. Université de Rouen

LÉVÊQUE C., PAVÉ A., ABBADIE L., WEILL A. & VIVIEN F.-D., 2000. Les zones ateliers, des dispositifs pour la recherche sur l'environnement et les anthroposystèmes. Une action du programme « Environnement, vie et sociétés » du CNRS, *Natures Sciences et Sociétés*, 8 (4) : 44-52.

LÉVÊQUE C., T. MUXART, L. ABBADIE, A. WEIL & S. VAN DER LEEUW S. 2003. L'anthroposystème : entité structurelle et fonctionnelle des interactions sociétés-milieus. *In* LÉVÊQUE Ch. et van der LEEUW S. (éds), *Quelles natures voulons-nous ?*, Paris, Elsevier, 110-129.

LIU J., Th. DIETZ, S. R. CARPENTER, M. ALBERTI, C. FOLKE, E. MORAN, A. N. PELL, P. DEADMAN, T. KRATZ, J. LUBCHENCO, E. OSTROM, ZHIYUN O., W. PROVENCHER, Ch. L. REDMAN, S. H. SCHNEIDER & W. W. TAYLOR. 2007. Complexity of coupled human and natural systems, *Science*, 317, 5844 : 1513-1516.

LOMBARD J., 1990. Acteurs et enjeux dans le Bassin Arachidier Sénégalais, *in* Blanc-Pamard Ch. (ed.) *Dynamique des systèmes agraires. Politiques agricoles et initiatives locales : adversaires ou partenaires*. Paris, ORSTOM, 133-160

LOTSCH, A., FRIEDL, M. A. & ANDERSON, B. T., 2003. Coupled vegetation–precipitation variability observed from satellite and climate records. *Geophysical Research Letters*, 30 (14) 1774, [En ligne] doi : 10.1029/2003GL017506.

LOUVET S., 2011. Vulnérabilité : approches climatologique et agro-climatologique. Communication Atelier ANR RESSAC, *Vulnérabilité des ressources en eau superficielle au Sahel aux évolutions anthropiques et climatiques à moyen terme*,

<http://www.hydrosciences.fr/ressac/Atelier032011%5CVuln%C3%A9rabilit%C3%A9%20climato%20et%20agro%20-%20Louvet.pdf>

LUBÈS-NIEL H. J., MASSON M., PATUREL J.-E., SERVAT E., 1998. Variabilité climatique et statistiques. Étude par simulation de la puissance et de la robustesse de quelques tests utilisés pour vérifier l'homogénéité de chroniques, *Revue des Sciences de l'Eau*, 3 : 383-408.

LYKKE A. M., KRISTENSEN M. K. & GANABA S., 2004. Valuation of local use and dynamics of 56 woody species in the Sahel, *Biodiversity and Conservation*, 13 (10) : 1961–1990.

MABUTT J. A., 1986. Desertification Indicators, *Climate Change*, 9 (1-2) : 113-122.

MAINGUET M., 1990. La désertification: une crise autant socio-économique que climatique, *Sécheresse*, 1: 187-195.

MALO. A. R. & NICHOLSON S. E., 1990. A study of rainfall and vegetation dynamics in the African Sahel using NDVI. *Journal of Arid Environment*, 1–24.

MAREGA O., FALL A., MERING C., SALEM A., 2013. Paroles d'éleveurs : perceptions, pratiques, stratégies pastorales dans le Sahel sénégalais. ANR ECliS, Délivrable 5.7b, 23 p. [En ligne] URL : [http://eclis.get.obs-mip.fr/index.php/productions\\_scientifiques/delivrable](http://eclis.get.obs-mip.fr/index.php/productions_scientifiques/delivrable)

MARTEAU R., 2010. *Cohérence spatiale et prévisibilité potentielle des descripteurs intrasaisonniers de la saison des pluies en Afrique soudano-sahélienne: Application à la culture du mil dans la région de Niamey*. Thèse de doctorat de Géographie, Université de Bourgogne Dijon, 212 p.

MARTINY N., CAMBERLIN P., RICHARD Y., 2005. Interannual persistence effects in vegetation dynamics of semi-arid Africa, *Geophysical Research Letters*, 32 (24), [En ligne] doi : 10.129/2005GL024634

MASOUD A. A. & KOIKE K., 2006. Arid land salinization detected by remotely-sensed landcover changes: A case study in the Siwa Region, NW Egypt, *Journal of Arid Environments*, 66 (1) : 151-167.

McDONNELL M. J. & PICKETT S. T. A., 1990. The study of ecosystem structure and function along urban-rural gradients: an unexploited opportunity for ecology, *Ecology*, 71 (4), 1231–1237.

McDONNELL M. J., PICKETT S. T. A. & POUYAT R. V., 1993. The application of the ecological gradient paradigm to the study of urban effects. In McDonnell M. J. & Pickett S. T. A (eds), *Humans as components of ecosystems: subtle human effects and the ecology of populated areas*, New York; Springer-Verlag, 175–189.

McKEE T. B., DOESKEN N. J. & KLEIST J., 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales. *Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society* (17 au 23 janvier 1993, Anaheim), 179-186.

MICHEL P., 1973. *Les bassins des fleuves Sénégal et Gambie. Étude géomorphologique*. Paris, ORSTOM, 752 p.

MISHRA A., HANSEN J.W., DINGKUHN M., BARON C., TRAORÉ S.B., NDIAYE O., WARD N., 2008. Sorghum yield prediction from seasonal rainfall forecasts in Burkina Faso, *Agricultural Forest and Meteorology*, 148 (11) : 1798-1814.

MOREAU N., 2004. Mise en évidence et cartographie par télédétection de l'évolution de la mangrove dans les îles du Saloum ces trois dernières décennies (de 1972 à 2001). *Photointerprétation*, 2004-4 : 23-26.

MOREL R., 1992. *Atlas agroclimatique des pays de la zone du CILSS. Vol. 7 : Notice et commentaire*. Niamey, Centre AGRHYMET - OMM / CILSS.

MOREL R., 1998. Début de la sécheresse en Afrique de l'Ouest, in Demarée G., Alexandre J., De Dapper M. (éds.), *Tropical Climatology, Meteorology and Hydrology*, Bruxelles, Royal Meteorological Institute of Belgium / Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, 200-211.

MORTIMORE M., TIFFEN M., BOUBACAR Y. & NELSON J., 2001. Synthesis of long-term change in Maradi department, Niger, 1960-2000. Crewkerne, Drylands Research (Working Paper 39e), 60 p.

MUELLER-DOMBOIS D., 1984. Classification and Mapping of Plant Communities: a review with emphasis on tropical vegetation ecology, in Woodwell G.M. *The Role of Terrestrial Vegetation in the Global Carbon Cycle: measurement by remote sensing*, New York, Wiley and Sons, 21-65.

MYNENI R. B., HALL F. G., SELLERS P. S. & MARSHAK, A.L., 1995. The interpretation of spectral vegetation indexes, *Geoscience and Remote Sensing*, 33 (2) : 481-486.

NAEGELÉ A. F. G., 1977. *Les graminées des pâturages de Mauritanie*. Rome. FAO (Études Pâturages et cultures fourragères, n° 5), 298 p.

NAGENDRA H., PAREETH S., GHATE R., 2006. People within parks-forest villages, land-cover change and landscape fragmentation in the Tadoba Andhari Tiger Reserve, India, *Applied Geography*, 26: 96-112

National Academy of Sciences (NAS), 1979. *Tropical Legumes: Resources for the Future*. (Report of an Ad hoc Panel of the Advisory Committee on Technology Innovation), Washington, National Academy of Sciences, 331 p.

NDIAYE A., 1994. *Les paramètres de l'environnement et la pluviogenèse à travers un Système d'Information Géographique (SIG). Application au Sénégal*. Thèse de doctorat de Géographie, Université de Paris I Panthéon – Sorbonne, 326 p.

- 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) : 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.
- NDONG J.-B., 2007. *Déficit pluviométrique record au Sénégal en 2002*. Dakar, UCAD, Laboratoire de climatologie et d'environnement, Département de Géographie.
- NGUESSAN E., BELLAN M. F., BLASCO F., 2003. Suivi par télédétection spatiale d'une forêt tropicale humide protégée soumise à des pressions anthropiques, *Télédétection*. 3 (5) : 443-456.
- NICHOLSON S. E., 1981. The historical climatology of Africa, in Wigley T. M. L., Ingram M. J., Farmer G. (eds.), *Climate and History*, 249-270.
- NICHOLSON S. E. 1985. Sub-Saharan Rainfall 1981-1984. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 24 : 1388-1391.
- NICHOLSON S. E., 2005. On the question of "the recovery" of the rains in the West African Sahel, *Journal of arid environments*, 63 (3) : 615-641.
- NICHOLSON S. E. 2011. *Dryland Climatology*. Cambridge, Cambridge University Press, 528 p.
- NICHOLSON S.E., TUCKER C. J., BA M. B., 1998. Desertification, drought, and surface vegetation: an exemple from the West African Sahel, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79 : 815-829.
- NINOT O., MAGRIN G., CESARO D., 2011. *Atlas de l'élevage au Sénégal*. Paris, PRODIG, 32 p.
- OCHOA-GAONA S. & GONZALES-ESPINOSA M., 2000. Land use and deforestation in the highlands of Chiapas. Mexico, *Applied Geography*, 20 (1) : 17-42.
- OLSSON L., EKHLUND L., ARDÖ J., 2005. Recent greening of the Sahel trend, patterns and potential causes, *Journal of Arid Environments*, 63 (3) : 556-566.
- OSBORN F., 1948. *Our plundered planet*. Boston, Little Brown and Company, 217 p.
- OZER P., 2004. Bois de feu et déboisement au Sahel : mise au point, *Sécheresse*, 15 : 243-251.
- OZER P., HOUNTONDI Y. C., NIANG A. J., KARIMOUNE S., LAMINO MANZO O. & SALMON M., 2010. Désertification au Sahel : Historique et perspectives, *Bulletin de la Société de Géographie de Liège*, 54 : 69-84

PAHARI K. & MURAI S., 1999. Modelling prediction of global deforestation based on the growth of human population, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 54 (5-6) : 317-324.

PALMER W. C., 1965. *Meteorological drought* (Research Paper n°45). Washington, U.S. Weather Bureau.

PÉLISSIER P., 1966. *Les paysans du Sénégal. Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance*. Saint-Yrieix, Fabrègue, 939 p

PÉLISSIER P., 1980. L'arbre dans les paysages agraires de l'Afrique noire. Paris, *Cahiers de l'ORSTOM, Serie Sciences Humaines*, XVII (3-4) : 131-136.

PENNING DE VRIES F. & DJITEYE M., 1982. *La productivité des pâturages sahéliens*. Wageningen, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, 525 p.

PERRET C., 2009. Le climat et les changements climatiques, in CEDEAO-CSAO / OCDE, 2009. *Atlas régional de l'Afrique de l'Ouest*. Série environnement, 13 p. [En ligne] URL : [www.oecd.org/fr/csao/publications/4021057.pdf](http://www.oecd.org/fr/csao/publications/4021057.pdf)

PETTITT A. N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem, *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 28(2) : 126-135.

PICKETT S. T. A. & WHITE P. S. (eds.), 1985. *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. New York, Academic Press, 472 p.

PIELKE R. A. J., 1998. Rethinking the role of adaptation in climate policy. *Global Environmental Change*, 8, 159–170.

POUCHIN T., DEBRIE J., BOURCIER A., 2002. L'observation de la végétation de l'Afrique de l'Ouest par télédétection spatiale : l'apport de végétation normalisé, *Sécheresse*, 13 (3) : 187-195.

POUPON H., 1980. *Structure et dynamique de la strate ligneuse d'une steppe sahélienne au nord du Sénégal*. Paris, ORSTOM, 307 p.

POUPON H. & BILL J. C., 1974. Recherches écologiques sur une savane sahélienne du Ferlo septentrional, Sénégal. Influence de la sécheresse de l'année 1972-1973 sur la strate ligneuse. *Revue d'écologie. Terre et Vie*, 28 : 49-75.

PRINCE S. D., DE COLSTOUN E. B., KRAVITZ L. L., 1998. Evidence from rain use efficiencies does not support extensive Sahelian desertification, *Global Change Biology*, 4 (4) : 359–374

PRINCE S. D., WESSELS, K. J., TUCKER C. J., & NICHOLSON S. E., 2007. Desertification in the Sahel: A reinterpretation of a reinterpretation, *Global Change Biology*, 13 (7) : 1308–1313.

- RABARIMANANA M.H., RAHARISON L.J.R., CHOROWICZ J. 2003. Cartographie des lavaka par télédétection : analyse des facteurs et gestion des espaces ruraux à Madagascar, *Télédétection*, 3 (2-4) : 105-130.
- RAMANKUTTY N., 2004. Cropland in West Africa: A geographically explicit dataset for use in models. *Earth Interactions*, 8 : 1- 21.
- RAYNAL J., 1964. *Étude botanique des pâturages du Centre de Recherches Zootechniques de Dahra-Djolloff (Sénégal)*. Dakar, Rapport ORSTOM, 99 p.
- REENBERG A. & PAARUP-LAURSEN B., 1996. Determinants for land use strategies in a Sahelian agro-ecosystem—Anthropological and ecological geographical aspects of natural resource management. *Agricultural Systems*, 53 (2-3): 209-229
- REINING P., 1978. *Handbook on Desertification Indicators*. Washington, American Association for the Advancement of Science, 141 p.
- ROBERTY G., 1952. La végétation du Ferlo, *Bulletin de l'IFAN*, XIV (3) : 777-798
- ROCK B. N., WILLIAMS D. L., MOSS D. M., LAUTEN G. N. & KIM M., 1994. High spectral resolution field and laboratory reflectance measurements of red spruce and eastern hemlock needles and branches, *Remote Sensing of Environment*, 47 (2): 176-189.
- RODIER J., 1964. *Régimes hydrologiques de l'Afrique noire à l'ouest du Congo*. Paris, ORSTOM, 137 p.
- ROMANE F., 1972. *Application à la phytoécologie de quelques méthodes d'analyse multivariée. Discussion sur des exemples pris dans les Basses Cévennes et les garrigues occidentales*. Thèse de docteur-ingénieur, Faculté des sciences, Université de Montpellier. 124 p.
- ROUSE J. W., HAAS R. H., DEERING D. W., SEHELL J. A., 1974. *Monitoring the vernal advancement and retrogradation (Green wave effect) of natural vegetation*. Final Rep. RSC 1978-4, Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station, 110 p.
- ROUSSEL B. & LUXEREAU A., 1997. *Changements écologiques et sociaux au Niger*, L'Harmattan, Paris, 235 p.
- ROUX M. & ROUX G., 1967. A propos de quelques méthodes de classification en phytosociologie. 1967, *Revue de statistiques appliquées*, 15 : 59-72.
- ROZANOV B. G., 1977. Les problèmes de la dégradation des terres arides et la coopération internationale dans le domaine de la lutte contre la désertification. *Potchvovïedienïe*, 8 : 5-11.
- RUSTER J., 2009. *Évolution du couvert végétal de la région de Tébékéré au Sénégal, par le biais de la télédétection*. Mémoire de Master 1 Géographie, Université Paris-Diderot Paris, 80 p.

- SAGNA P., 1988. *Études des lignes de grains en Afrique de l'ouest*. Thèse de doctorat de Géographie, Université Cheikh Anta Diop, Dakar, 2 tomes, 541 p.
- SAKHO-JIMBIRA M. S., 2009. *L'autonomie alimentaire par la diversification des activités : le cas des ménages agricoles du bassin arachidier au Sénégal*. Thèse de doctorat en Économie du développement agricole, agro-alimentaire et rural, Université de Montpellier 1, 241 p.
- SALEN-PICARD C., 1986. Valeurs centrales (analyse de gradient) et délimitation de groupes d'espèces en fonction des facteurs du milieu. *Oceanologia Acta*, 1987, 10 (2) : 217-222.
- SAN EMETERIO J. L., ALEXANDRE F., ANDRIEU J., GENIN A., MERING C., 2013. Changements socioenvironnementaux et dynamiques des paysages ruraux le long du gradient bioclimatique nord-sud dans le sud-ouest du Niger (régions de Tillabery et de Dosso), *Vertigo*, *Revue électronique en sciences de l'environnement*, 13 (3), [En ligne] URL : <http://vertigo.revues.org/14456>
- SANDERS L., 1989. *L'analyse des données appliquées à la géographie*. Montpellier, GIP Reclus (coll. Alidade), 268 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, 45-56.
- SANTOIRE C., 1983. *Raison pastorale et développement: Les sociétés Peuls face aux aménagements*. Dakar, ORSTOM (Coll. Travaux et documents de l'ORSTOM n°166), 178 p.
- SARR M. A., 2009. *Évolution récente du climat et de la végétation au Sénégal (cas du Ferlo)*. Thèse de doctorat de géographie, Université Jean Moulin Lyon 3, 313 p.
- SAWADOGO I., 2011. *Ressources fourragères, représentations des éleveurs et évolution des pratiques pastorales en contexte d'aire protégée : cas du terroir de Kotchari à la périphérie de la réserve de biosphère du W au Burkina Faso*. Thèse de doctorat en agronomie. Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, 336 p.
- SCHNELL R., 1971. *Introduction à la phytogéographie des pays tropicaux. Vol 2: les milieux, les groupements végétaux*. Paris, Gauthier-Villars, 452 p.
- SCHOONMAKER-FREUDENBERGER K., 1991. *Mbegué : l'habile destruction d'une forêt sahélienne*. Londres, IIED (Dossier n°29), septembre 1991, 28 p.
- SEAQUIST J. W., HICKLER T., EKLUNDH L., ARDÖ J., HEUMANN B. W., 2009. Disentangling the effects on Sahel vegetation dynamics, *Biogeosciences*, 6 : 469–477
- SECK A., 1962. Le «Heug» ou pluie de saison sèche au Sénégal, *Annales de Géographie*, 71 (385) : 225-246.

- SELLERS P. J., 1985. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *International Journal of Remote Sensing*, 6 : 1335-1372.
- SENE S. & OZER P., 2002. Évolution pluviométrique et relation inondations – événements pluvieux au Sénégal, *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 42, 27-33.
- SHARMAN M., 1987. *La végétation ligneuse. The global environment monitoring system*, PNUE/FAO, ser. GEMS Sahel 7, 87 p.
- SIDDIQUI M. N., JAMIL Z. & AFSAR J., 2004. Monitoring changes in riverine forests of Sindh-Pakistan using remote sensing and GIS techniques, *Advances in Space Researches*. 33 : 333-337.
- SIDIBÉ M., 2005. *Migrants de l'arachide: la conquête de la forêt classée de Pata, Casamance*. Paris: IRD (coll. À travers champs), 301p
- SIMEON T., REICH P., ESWARAN H. 2000. Erosion and desertification vulnerability in Africa (Framework for developing indicators for land degradation). *Réseau Erosion*, 20 : 14 p.
- SIVAKUMAR. M. V. K., 2006. Interactions between climate and desertification, *Agricultural and Forest Meteorology*, 142 : 143–155.
- SLATER P. N. & JACKSON R. D., 1982. Atmospheric effects on radiation reflected from soils and vegetation as measured by orbital sensors using various scanning directions, *Applied Optics*, 21 (2) : 3923-3931.
- SMIT B., BURTON I., KLEIN R. & WANDEL J., 2000. An anatomy of adaptation to climate change and variability, *Climatic Change*, 45 : 223–251.
- SMITH O. B., KOALA S. K., 1999. *La désertification : mythes et réalités*. Ottawa, Centre de recherches pour le développement international (Flashs du CDRI), 6 p.
- SNYMAN H. A., 2003. Short-term response of rangeland following an unplanned fire in terms of soil characteristics in a semi-arid climate of South Africa, *Journal of Arid Environments*, 55(1) : 160-180.
- SÖNMEZ F. K., KÖMÜSCÜ A, ERKAN A., TURGU E., 2005. An analysis of spatial and temporal dimension of drought vulnerability in Turkey using the Standardized precipitation Index, *Natural Hazards*, 35: 243-264
- SOULEYE YERO K., 2013. Evolution de l'occupation des sols dans l'ouest du Niger : influence sur le cycle de l'eau. Thèse de doctorat de géographie, Université de Grenoble
- STEBBING E. P., 1935. The encroaching Sahara, *Geographical Journal*, 85 : 506–524.
- STEBBING E. P., 1938. The man-made desert in Africa: erosion and drought, *Journal of the Royal African Society*, 37 (146), 3-40.

SULTAN B., 2011. *L'étude des variations et du changement climatique en Afrique de l'Ouest et ses retombées sociétales*. Thèse Habilitation à diriger des recherches, Université Pierre et Marie Curie, 137 p.

SULTAN B. & JANICOT S., 2004. La variabilité climatique en Afrique de l'Ouest aux échelles intra-saisonniers. 1<sup>e</sup> partie : Analyse diagnostique de la mise en place de la mousson et de la variabilité intra-saisonnière de la convection, *Sècheresse*, 15 (4) : 321-330.

SWIFT J., 1996. Desertification: narratives, winners and losers, in Leach M., Mearns R. (eds.), *The lie of the land: challenging received wisdom on the African environment*. Londres, James Currey/ International African Institute, 73-90.

SWIFT J., 2003. *The global drylands imperative: pastoralism and mobility in the drylands*. Nairobi, UNDP, Drylands Development Centre

SY O., 2009. Rôle de la mare dans la gestion des systèmes pastoraux sahéliens du Ferlo (Sénégal), *Cybergéo*, article n°440.

SY O., 2010. Aménagements Hydrauliques et Vulnérabilité de L'élevage Transhumant au Ferlo (Sénégal), *Sustentabilidade em Debate*, [En ligne] URL : <http://seer.bce.unb.br/index.php/sust/article/view/1679/1302>

SY O., 2010. La transhumance transfrontalière, source de conflits au Ferlo (Sénégal). *Mappemonde*, [En ligne] URL : <http://mappemonde.mgm.fr/num26/articles/art10201.pdf>

TANSLEY A. G., 1935. The use and abuse of vegetational concepts and terms, *Ecology*, 16: 284-307.

TENG S. P., CHIANG J. L., CHAN Y. K. & CHENG K. S. 2007. Hypothesis-test-based landcover change detection using multitemporal satellite images, *Advances in Space Research*, 4 : 1744–1754.

TER BRAAK C. J. F., 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis, *Ecology* 67 : 1167–1179.

TER BRAAK C. J. F., 1987. The analysis of vegetation–environment relationships by canonical correspondence analysis, *Vegetation* 69, 69–77.

TEXIER P., 2009. *Vulnérabilité et réduction des risques liés à l'eau dans les quartiers informels de Jakarta. Réponses sociales, institutionnelles et non institutionnelles*. Doctorat en Géographie, Université Paris-Diderot Paris 7, 458 p.

TIXIER G., 1965. La succession à la Régie des chemins de fer de l'A.O.F. Problèmes posés par l'apparition de nouveaux États, *Annuaire français de droit international*, 11 : 916-932.

TOBLER W. DEICHMANN V., GOTTSEGEN J., MALOY K., 1995. *The global demography project*. Technical Report TR- 95-6, University Santa Barbara, National Center for Geographic Information analysis, 75 p.

- TOULOUSE B. & LACAZE B., 2010. Analyse de l'évolution récente du couvert végétal au Sahel à partir des indices de végétation NOAA-AVHRR (1981-2000) et MODIS (2000-2009). Communication *Atelier AMMA France*, Toulouse (novembre 2010).
- TOUPET C., 1992. *Le Sahel*. Paris, Nathan (Coll. Nathan-Université Géographie), 192 p.
- TOURE I., ICKOWICZ A., ANCEY V., AKPO E., BA A., BAH A., CORNIAU C., DIOP AT., DIOP GAYE I., GARBA I., LECLERC G., NDIAYE P., NIANG I., SALEY M., SOUMARE MA., TOUTAIN B. & WANE A., 2012, *Système d'information sur le pastoralisme au Sahel. Phase 2, Rapport Final*, CIRAD, 53 p.
- TOURE O., 1990. *Ngaynaaka majji: la perte des pratiques pastorales dans le Ferlo, Nord Sénégal*. Londres, IIED, dossier 22.
- TOURE O., 1992. Crise agricole et comportements de survie Le cas du Ferlo (Sénégal). *Société-Espace-Temps*. I (1) : 90-102
- TOUTAIN, B., BORTOLI L., DULIEU D., FORGIARINI G., MENAUT J. C. & PIOT J., 1983. *Espèces ligneuses et herbacées dans les écosystèmes sahéliens pâturés de Haute-Volta*. ACC GRIZA (LAT), GERDAT, 124 p
- TRICART J., 1954. Influence des sols salés sur la déflation éolienne en basse Mauritanie et dans le delta du Sénégal., *Revue de Géomorphologie Dynamique*, 5 : 124-132.
- TROCHAIN J., 1940. *Contribution à l'étude de la végétation du Sénégal*. Paris : Larose, 433 p.
- TROCHAIN J., 1957. Accord interafricain sur la définition des types de végétation de l'Afrique tropicale, *Bulletin de l'Institut des Etudes Centrafricaines*, 13-14 : 55-94.
- TUCKER C. J., 1979. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation, *Remote Sensing of the Environment*. 8 : 127-150.
- TUCKER C. J. & ANYAMBA A., 2005. Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981-2003, *Journal of Arid Environments*, 63 (3) : 596-614
- TURNER M. D. & HIERNAUX P., 2008. Changing access to labor, Pasture, and knowledge: the extensification of grazing management in Soudano-Sahelian West Africa, *Human Ecology*, 36 : 59-80
- ULBRICHT, K.A. & HECKENFORD W.D., 1998. Satellite images for recognition of landscape and land use changes, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 53 : 235-243.
- UNITED NATIONS (SECRETARIAT OF THE CONFERENCE ON DESERTIFICATION). 1977. *Desertification: An overview, In Desertification: Its Causes and Consequences*. New York, Pergamon Press

UPEGUI CARDONA E., 2009. *Extraction automatique des agglomérations urbaines à partir d'images Google Earth. Application aux villes d'Afrique de l'ouest issues de la base de données d'Africapolis*, Mémoire de M2 TGAE, Université Paris-Diderot – Paris 7.

USMAN M. T. & REASON C. J. C. 2004. Dry spell frequencies and their variability over southern Africa. *Climate Research* 26: 99-2.

WARREN A. 2001. Désertification. Smelser de N. & P. Baltes (éd.), *Encyclopédie internationale des sciences sociales et comportementales*. Elsevier Press. 3526-3529.

WARREN A. & AGNEW C., 1988. *An assessment of desertification and land degradation in arid and semi-arid areas*. London, IIED, 72 p.

WARREN A., BATTERBURY S., OSBAHR H., 2001. Soil erosion in the West African Sahel: a review and an application of a local political ecology approach in South West Niger, *Global Environmental Change. Human and Policy Dimensions*, 11 : 79-95

WAUTHY B., 1983. Introduction à la climatologie du golfe de Guinée, *Oceanogr. Trop.*, 18 (2) : 103-138

WHITE F., 1986. *La végétation de l'Afrique. Mémoire accompagnant la carte de végétation de l'Afrique*. Paris, UNESCO / AETFAT / UNSO.- ORSTOM et UNESCO, collection Recherches sur les ressources naturelles, n° 20, 384 p. + 4 cartes

WHITTAKER R. H., 1967. Gradient analysis of vegetation, *Biological Review*, 42 : 207-264

WICKENS G. E., 1997. Has the Sahel a future?, *Journal of Arid Environments*, 37: 649–663

WORLD BANK. 2002. *World development report 2003: Sustainable development in a dynamic world: transforming institutions, growth, and quality of life*. Oxford University Press, 272 p.

WU H, HAYES MJ, WEISS A, HU Q., 2001. An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China Z-index and the statistical Z-score, *International Journal of Climatology*, 21: 745-758.

ZHANG X., FRIEDL M.A. SCHAAP C.B., STRAHLER, A. H. & LIU, Z., 2005. Monitoring the response of vegetation phenology to precipitation in Africa by coupling MODIS and TRMM instruments, *Journal of Geophysical Research*, 110 (D12), [En ligne] doi : 10.1029/2004JD005263

ZIEGLER J., 2008. Réfugiés de la faim. *Le Monde Diplomatique*, mars 2008.

ZONN I. S., 1978. L'approche systémique à la notion de la désertification anthropique, *Problemy osvoieniia poustyn'*, 6 : 13-18.

### **Sites internet**

<http://eclis.get.obs-mip.fr/>

<http://www.fao.org/home/fr/>  
<http://glovis.usgs.gov/>  
<http://svr-web.cse.sn/spip.php?site0/>  
<http://www.oecd.org/fr/csao/>  
<http://www.banquemondiale.org/>  
<http://www.ird.fr/>  
<http://www.tradingeconomics.com/>  
<http://landsat.gsfc.nasa.gov/>  
<http://www.usgs.gov/>  
<http://glcf.umd.edu/>  
<https://support.google.com/earth/answer/176147?hl=fr>  
<http://malherbologie.cirad.fr>

# Table des matières

---

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	5
<b>Première partie : Le Ferlo, un agroécosystème sahélien.....</b>	<b>16</b>
<b>Chapitre 1 - L'environnement biophysique du Sénégal intérieur à l'heure des changements socio-environnementaux .....</b>	<b>17</b>
<b>1. Relief plan et simplicité pédologique .....</b>	<b>18</b>
<b>2. Le climat sahélien, marqué par la variabilité interannuelle .....</b>	<b>20</b>
2-1- <i>La mousson ouest-africaine dans la circulation atmosphérique générale.....</i>	<i>21</i>
2-2- <i>Les flux.....</i>	<i>21</i>
2.2.1. Les flux d'alizé .....	21
2.2.2. Les flux de mousson .....	22
2-3- <i>Les précipitations.....</i>	<i>24</i>
2.3.1. Typologie des précipitations au Sénégal .....	24
2.3.2. La distribution spatiotemporelle des précipitations détermine les bioclimats et conditionne les activités en milieu rural sahélien .....	25
<b>3. La structure spatiale de la végétation sénégalaise et ses potentialités agropastorales.....</b>	<b>29</b>
3.1. <i>De la zonation écologique .....</i>	<i>29</i>
3.2. <i>... A la zonation agro-écologique .....</i>	<i>31</i>
<b>4. La zone écogéographique du Ferlo et ses marges sud.....</b>	<b>34</b>
4.1. <i>Peuplement et société pastorale.....</i>	<i>34</i>
4.2. <i>La géographie des ressources naturelles d'un milieu semi-aride.....</i>	<i>35</i>
4.2.1. Du point de vue géomorphologique, pédologique et.....	36
4.2.2. ...Climatique .....	37
4.2.3. Flore et végétation .....	39
<b>Chapitre 2 : L'utilisation de l'espace et ses conséquences socioenvironnementales dans le Sénégal intérieur : le poids de l'histoire coloniale et post-coloniale.....</b>	<b>43</b>
<b>1. La politique et les stratégies coloniales d'exploitation des ressources agricoles et leurs conséquences dans l'occupation et l'utilisation de l'espace.....</b>	<b>44</b>
<b>2. Le Ferlo et ses marges sud, un espace longtemps marginalisé.....</b>	<b>48</b>

**3. Les politiques et stratégies de gestion des espaces agricoles et pastoraux de l'Indépendance à nos jours.....49**

*3-1- Entre 1960 et 1980 : L'omniprésence du pouvoir dans tous les échelons de la politique agricole 50*

*3-2- Un tournant politique au début des années 1980 : les programmes d'ajustement structurel et le désengagement (forcé) de l'Etat.....52*

*3-3- La nouvelle orientation politique .....53*

**Chapitre 3 : La question de la dégradation des écosystèmes sahéliens en rapport avec l'extraversion des modes de production agricoles et la péjoration de la pluviosité .....57**

**1. Désertification, dégradation, résilience, adaptation : des notions en discussion 60**

*1.1. La désertification, une notion issue de la science coloniale.....60*

*1-2. Résilience des écosystèmes et adaptation des sociétés humaines .....63*

*1-3. A la recherche des causes et des mécanismes .....64*

**2. Les facteurs naturels .....65**

**3. Le facteur anthropique : la question démographique et l'emprise spatiale accrue de l'agriculture .....68**

*3-1. Les grands traits de la démographie sahélienne .....68*

*3-2. Une population rurale qui continue de progresser malgré les mutations socioéconomiques et politiques. ....71*

**Chapitre 4 : Concepts et méthode.....77**

**1. Du concept d'anthroposystème à celui de système socioécologique : Une modélisation du « système homme-nature » dans le contexte des agroécosystèmes sahéliens 77**

**2. La vulnérabilité ou l'évolution du paradigme sur le milieu sahélien .....79**

**3. L'approche régionale : Entre homogénéité et hétérogénéité du domaine sahélien 81**

**4. La méthode suivie.....82**

*4-1. Caractérisation des changements biophysiques intervenus dans le Ferlo et ses marges au nord du Bassin arachidier. ....83*

*4-1-1. Caractériser la variabilité climatique dans le Ferlo des années 1960 aux années 2010 .....83*

*4-1-2. Cartographier l'évolution de l'occupation du sol au cours de la même période.....84*

*4-2. Ces changements correspondent-ils à une dégradation des anthroposystèmes et à un accroissement de la vulnérabilité des écosystèmes et des populations ? .....85*

4-2-1-	Recours aux indices synthétiques d'activité de la végétation.....	85
4-2-2-	Analyse de l'état de la végétation envisagée comme ressource.....	86
4-2-3-	Dynamique des paysages ruraux dans le Sénégal intérieur entre le Ferlo et le Bassin arachidier.....	86
4-2-4.	Perception et représentations des changements socioenvironnementaux.....	87
<b>Deuxième partie : Caractérisation des changements socioenvironnementaux dans le Ferlo au cours des 50 dernières années.....</b>		<b>89</b>
<b>Chapitre 5- La question de la variabilité pluviométrique dans le Sénégal intérieur : une histoire de successions de crises climatiques.....</b>		<b>91</b>
<b>1.</b>	<b>Les données utilisées, leurs limites et les traitements appliqués .....</b>	<b>92</b>
1-1.	<i>Les séries de données pluviométriques des stations.....</i>	<i>92</i>
1-1-1.	Le réseau d'observations météorologiques et climatologiques au Sénégal.....	93
1-1-2.	Les stations synoptiques.....	95
1-1-3.	Les stations agroclimatologiques.....	95
1-1-4.	Les postes pluviométriques .....	96
1-1-5.	Les stations retenues .....	96
<b>2.</b>	<b>La variabilité interannuelle des précipitations dans le Ferlo et le Bassin arachidier entre 1950 et 2010 .....</b>	<b>98</b>
2.1.	<i>Une clé de compréhension des crises climatiques au Sahel.....</i>	<i>98</i>
2.2.	<i>Evolution des cumuls annuels de 1950 à 2010.....</i>	<i>99</i>
2.3.	<i>L'irrégularité de la saison des pluies dans le Sahel sénégalais entre 1950 et 2010.....</i>	<i>105</i>
<b>3.</b>	<b>Etude de l'irrégularité des pluies et de la sécheresse par l'Indice Standardisé des Précipitations .....</b>	<b>110</b>
<b>4.</b>	<b>La variabilité pluviométrique dans les domaines bioclimatiques.....</b>	<b>116</b>
<b>5.</b>	<b>Evolution décennale des précipitations.....</b>	<b>119</b>
<b>6.</b>	<b>Les tests statistiques de détection des changements .....</b>	<b>121</b>
6-1.	<i>Variabilité des précipitations avec la méthode de filtrage par les moyennes mobiles (filtre et résidu).....</i>	<i>121</i>
6.2.	<i>Mise en évidence de l'homogénéité ou de l'hétérogénéité des séries temporelles par le test de Pettitt .....</i>	<i>124</i>
<b>Chapitre 6 : Traitement d'images multispectrales de télédétection pour la cartographie de l'occupation du sol en région sahéenne : choix méthodologique.....</b>		<b>127</b>
<b>1.</b>	<b>Méthode de traitement d'images .....</b>	<b>128</b>

1.1.	<i>Les classifications supervisées.....</i>	128
1.2.	<i>Les classifications non supervisées.....</i>	129
<b>2.</b>	<b>Les données utilisées.....</b>	<b>132</b>
<b>3.</b>	<b>Chaîne de traitement en vue de la réalisation des cartes d'occupation du sol</b>	<b>135</b>
3.1.	<i>Schéma récapitulatif du traitement d'images.....</i>	135
3.2.	<i>Prétraitements effectués sur les images.....</i>	136
3.3.	<i>Présentation des compositions colorées.....</i>	137
<b>4.</b>	<b>Nomenclature de la carte d'occupation des sols.....</b>	<b>139</b>
<b>Chapitre 7 : Occupation et utilisation actuelles du sol dans le Ferlo et le nord du bassin arachidier 147</b>		
<b>1.</b>	<b>Application de la méthode pour la cartographie de l'occupation du sol en 2010</b>	<b>147</b>
<b>2.</b>	<b>L'occupation et l'utilisation actuelles du sol dans le Ferlo et le nord du bassin arachidier en 2010.....</b>	<b>157</b>
2.1.	<i>Etat de l'occupation du sol en 2010.....</i>	157
<b>3.</b>	<b><i>De l'occupation à l'utilisation du sol : études de cas.....</i></b>	<b>160</b>
3.1.	<i>Les villages peuls de Dendielli Guelli et Dendielli Namass au nord de Dahra Djoloff dans le Ferlo central.....</i>	161
3.2.	<i>Occupation et utilisation du sol à Loumbel, village wolof du Ferlo Ouest.....</i>	164
3.3.	<i>Some Dandé dans le Ferlo nord, un village de pasteurs Peuls.....</i>	167
3.5.	<i>Thiargnie chef-lieu de la communauté rurale du même nom dans le Ferlo sud, un village d'agropasteurs Peuls (Fig. 84).....</i>	173
3.6.	<i>NDRAMÉ un village wolof entre le Ferlo et le Bassin arachidier. (Fig. 85).....</i>	173
<b>Chapitre 8 : Cartographie par télédétection des changements dans l'occupation du sol 175</b>		
<b>1.</b>	<b>Analyse de l'occupation du sol au cours des quarante dernières années : l'occupation du sol en 1973, l'occupation du sol en 1999.....</b>	<b>175</b>
1.1.	<i>Carte de l'occupation du sol en 1973.....</i>	178
1.2.	<i>Carte de l'occupation du sol en 1999 entre le Ferlo et le Bassin arachidier.....</i>	179
<b>2.</b>	<b>Les cartes des changements d'occupation du sol.....</b>	<b>179</b>
2.1.	<i>Localisation et quantification des différents changements intervenus entre 1973 et 2010</i>	181
<b>Troisième partie : Le Ferlo, un agroécosystème en voie de dégradation ?.....191</b>		

<b>Chapitre 9 : La réponse du NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) .....</b>	<b>193</b>
<b>1. Les données et traitements appliqués .....</b>	<b>196</b>
<b>2. A l'échelle du Sahel, des travaux qui font état d'une tendance positive du NDVI entre les années 1980 et la période actuelle.....</b>	<b>197</b>
<b>3. Analyse du rythme saisonnier du NDVI dans le Sénégal intérieur .....</b>	<b>200</b>
3.1. <i>Évolution moyenne 1982-2006 des valeurs du NDVI en saison sèche.....</i>	<i>200</i>
3.2. <i>Évolution moyenne des valeurs du NDVI en saison humide .....</i>	<i>200</i>
<b>4. Évolution du NDVI entre 1982 et 2006 et cartographie de la dynamique du couvert végétal.....</b>	<b>204</b>
4.1. <i>ACP sur les valeurs du NDVI (1982-2006).....</i>	<i>204</i>
4.2. <i>Cartographie des paysages fondée sur la phénologie de la végétation .....</i>	<i>205</i>
4.2.1. <i>Analyse du NDVI moyen des unités phénologiques du paysage en 1984 (Fig. 98-3)...</i>	<i>205</i>
4.2.2. <i>Analyse du NDVI moyen des unités phénologiques du paysage en 2005 (Fig. 98-4)...</i>	<i>208</i>
<b>Chapitre 10 : Analyse de la composition floristique de la végétation envisagée comme ressource et comme indicatrice des changements socioenvironnementaux.....</b>	<b>211</b>
<b>1. Constitution d'un échantillon de relevés floristiques .....</b>	<b>212</b>
1.1. <i>La collecte des données au cours de deux missions de terrain (2010, 2012).....</i>	<i>212</i>
1.2. <i>Des relevés floristiques s'inscrivant dans le schéma global de variation du paysage végétal entre le Ferlo et le Bassin arachidier.....</i>	<i>213</i>
<b>2. Protocole de relevé floristique et écologique .....</b>	<b>218</b>
2.1. <i>Mode de relevé.....</i>	<i>218</i>
2.2. <i>Les descripteurs écologiques des relevés de végétation.....</i>	<i>219</i>
<b>3. Analyse générale de l'ensemble de relevés .....</b>	<b>221</b>
3.1. <i>Diversité floristique des pâturages à travers les relevés de végétation .....</i>	<i>222</i>
3.2. <i>Quelques exemples de relevés.....</i>	<i>225</i>
3.2.1. <i>Les relevés de Tésékéré, une communauté rurale au nord du Ferlo .....</i>	<i>225</i>
3.2.2. <i>Relevés de Loumbel.....</i>	<i>227</i>
3.3. <i>Arbre et herbe entre le Ferlo et le Bassin arachidier .....</i>	<i>230</i>
<b>4. Analyse des données floristiques : approche par la statistique multivariée et par le calcul d'information.....</b>	<b>232</b>
4.1. <i>Les techniques employées.....</i>	<i>232</i>
4.1.1. <i>Les analyses multivariées .....</i>	<i>232</i>

4.1.2.	Analyses de la fréquence des espèces dans les communautés : une approche probabiliste s'appuyant sur la théorie de l'information.....	233
<b>5.</b>	<b>Étude de la distribution régionale de la flore à partir de l'analyse factorielle des correspondances .....</b>	<b>234</b>
5.1.	<i>Indicateurs généraux de l'analyse .....</i>	234
5.1.1.	Les valeurs propres .....	234
5.1.2.	Les pourcentages d'inertie :.....	234
5.2.1.	Premier plan factoriel.....	235
5.2.2.	Analyse du deuxième plan factoriel.....	236
5.3.	<b><i>Première partie de la bande d'étude entre Téssékéré et Colobane : La disparition de la savane et la prédominance des steppes arbustives et arborées .....</i></b>	<b>244</b>
5.4.	<i>Le domaine bioclimatique soudano-sahélien : alternance entre savanes arborées et espaces agricoles. ....</i>	249
<b>6.</b>	<b>Distribution spatiale de la flore : une analyse phyto-écologique .....</b>	<b>254</b>
6.1.	<i>Les communautés végétales approchées par l'analyse de la fréquence des espèces dans les relevés.....</i>	254
6.1.1.	Le groupe végétal 1.....	258
6.1.2.	Le groupe végétal 10.....	258
6.1.3.	Le groupe végétal 17.....	259
6.1.4.	Le groupe végétal 16.....	259
6.1.5.	Le groupe végétal 6.....	260
6.2.	<i>Les informations mutuelles espèces-descripteurs écologiques.....</i>	262
6.2.1.	Le descripteur physiognomique ou le facteur paysager (Tableau 23).....	263
6.2.2.	Le descripteur utilisation du sol (tableau 24) .....	264
6.2.3.	Le descripteur distance aux villages ou campements fixes (Tableau 25).....	264
6.2.4.	Le descripteur de la pluviosité (Tableau 26) .....	265
<b>Chapitre 11 : Dynamique des paysages ruraux dans le Sénégal intérieur entre le Ferlo et le Bassin arachidier .....</b>		<b>275</b>
<b>1.</b>	<b>Pour une relecture de l'organisation des paysages végétaux sahéliens en relation avec le gradient climatique .....</b>	<b>275</b>
1.1.	<i>Retour sur le découpage en domaines bioclimatiques dans le cadre du modèle zonal</i> 275	
1.2.	<i>Une transition paysagère et floristique dans un cadre où la macro-homogénéité paysagère est en rapport avec le gradient de la pluviosité .....</i>	278

<b>2.</b>	<b>La micro-hétérogénéité paysagère locale induite par la diversité des pratiques et des usages ruraux, modulée par un contexte de changements socio-environnementaux.</b>	<b>280</b>
2.1.	<i>Du Ferlo au Bassin arachidier : changements et recompositions de l'espace rural du Sénégal intérieur</i>	280
2.2.	<i>L'expérience de Khelcom ou l'ambiguïté des politiques agricoles et leurs conséquences environnementales dans un contexte de péjoration de la pluviosité.</i>	291
<b>Chapitre 12 : Perception des changements socio-environnementaux et évolutions des pratiques et stratégies agricoles et pastorales au Ferlo et sur ses marges avec le bassin arachidier 299</b>		
<b>1.</b>	<b>Les enquêtes par entretiens semi-directifs</b>	<b>299</b>
<b>1.</b>	<b>Méthode de traitement des données des enquêtes</b>	<b>303</b>
1.1.	<i>Étapes du traitement</i>	303
1.2.	<i>Caractéristiques générales du corpus</i>	304
1.3.	<i>Analyse statistique des discours selon les villages et campements</i>	305
<b>3.</b>	<b>Analyse thématique du corpus</b>	<b>305</b>
3.1.	<i>Les ressources pastorales : Une préoccupation majeure pour les différents acteurs</i>	305
3.2.	<i>La disponibilité en eau : un enjeu fondamental pour les activités pastorales, notamment dans le nord du Ferlo.</i>	311
3.3.	<i>Les feux de brousse dans le Ferlo et leurs conséquences sur la disponibilité de la ressource fourragère pastorale</i>	320
<b>CONCLUSION GENERALE</b>		<b>326</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>		<b>332</b>
<b>Annexe</b>		<b>371</b>

# TABLE DES FIGURES

FIGURE 1 : LOCALISATION DE LA ZONE D'ÉTUDE : FERLO ET BASSIN ARACHIDIÈRE .....	6
FIGURE 2: LES SYSTÈMES DE PRODUCTION AU SÉNÉGAL (SOURCE : HTTP://WWW.CARTOGRAPHIE.IRD.FR/SENEGALFIG/SENEGAL_PDF/ESPACE_AGRICOLE.PDF).....	12
FIGURE 3 : CARTE DES DIFFÉRENTS TYPES DE SOLS DU SÉNÉGAL (SOURCE : EROS DATA CENTER, 1996).....	19
FIGURE 4 : CYCLE DE LA MOUSSON EN AFRIQUE DE L'OUEST (SOURCE : CEDEAO, 2008).....	23
FIGURE 5 : CARTES DES MOYENNES PLUVIOMETRIQUES DÉCENNALES DU SÉNÉGAL (CSE, 2003).....	28
FIGURE 6 : LES PRINCIPALES ZONES ÉCOGÉOGRAPHIQUES AU SÉNÉGAL (SOURCE: MINISTÈRE SÉNÉGALAIS DE L'ENVIRONNEMENT, DES BASSINS DE RETENTION ET DES LACS ARTIFICIELS, 2009).....	30
FIGURE 7 : CARTE DES FORMATIONS VÉGÉTALES DU SÉNÉGAL (SOURCE : CSE, 2007) .....	33
FIGURE 8 : LES DOMAINES CLIMATIQUES AU SÉNÉGAL (IN SARR, 2008 ; D'APRÈS NDONG, 1996 ; SAGNA, 2005) .....	37
FIGURE 9 : ÉVOLUTIONS MENSUELLES DES TEMPÉRATURES ET DES PRÉCIPITATIONS ENTRE 1951 ET 2003 A LINGUÈRE .....	38
FIGURE 10 : L'ÉTABLISSEMENT DU CHEMIN DE FER AU SÉNÉGAL (SOURCE : SIDIBE, 2005).....	44
FIGURE 11 : ÉVOLUTION DES SUPERFICIES DESTINÉES À LA CULTURE ARACHIDIÈRE ENTRE 1860 ET 2000 (SOURCE : SIDIBE, 2005).....	48
FIGURE 12 : LE RISQUE DE DÉSERTIIFICATION D'ORIGINE ANTHROPIQUE À L'ÉCHELLE MONDIALE (SOURCE : TOBLER, W., V. DEICHMANN, J. GOTTSCHEN, & K. MALOY. 1995).....	59
FIGURE 13 : ÉVOLUTION DE L'ENVIRONNEMENT ET DU CLIMAT DE L'AFRIQUE DU NORD ET DE L'OUEST DURANT LES 18 000 DERNIÈRES ANNÉES .....	65
FIGURE 14 : LA TRANSLATION DES ISOHYÈTES : LE CAS DU SÉNÉGAL (SOURCE : NDONG, 1995) .....	67
FIGURE 15 : POPULATION TOTALE ET CROISSANCE DÉMOGRAPHIQUE DANS NEUF PAYS DE L'AFRIQUE DE L'OUEST ENTRE 1960 ET 2020 (BURKINA FASO, CAP-VERT, GAMBIE, GUINÉE BISSAU, MALI, NIGER, SÉNÉGAL, TCHAD, MAURITANIE) (SOURCE : CLUB DU SAHEL, OCDE, 2007).....	69
FIGURE 16 : LA TRANSITION DÉMOGRAPHIQUE DANS LE SAHEL (SOURCE : CEDEAO-CSAO/OCDE 2007) .....	70
FIGURE 17 : DEGRÉ DE RURALITÉ EN AFRIQUE DE L'OUEST. ....	72
FIGURE 18 : LIENS DE CAUSALITÉ ENTRE LES RESSOURCES EN TERRES, LA POPULATION, LA PAUVRETE ET LA DÉGRADATION DE LA TERRE (SOURCE : FAO, 2003) .....	73
FIGURE 19 : SCHEMA DE FONCTIONNEMENT D'UN ANTHROPOSYSTÈME (ANDRIEU, 2008) .....	78
FIGURE 20 : L'ÉVOLUTION DE LA RECHERCHE SUR LA VULNÉRABILITÉ SELON ADGER (2006) .....	80
FIGURE 21 : COMPARAISON ENTRE L'ÉVOLUTION DE LA PRODUCTION ANNUELLE DE MIL ET DE MAÏS AVEC LA PLUVIOMETRIE MOYENNE ANNUELLE ENTRE 1970 ET 2003 (SOURCE DES DONNÉES : FAOSTAT ; RÉALISATION : FALL, 2014).....	92
FIGURE 22 : RESEAU DES STATIONS D'OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES AU SÉNÉGAL (FALL, D'APRÈS LES DONNÉES DE L'AGENCE NATIONAL DE L'AVIATION CIVILE ET DE LA MÉTÉOROLOGIE (ANACIM) .....	94
FIGURE 23 : ÉVOLUTION DES CUMULS ANNUELS ENTRE 1950 ET 2010 A MATAM.....	100
FIGURE 24 : ÉVOLUTION DES CUMULS ANNUELS ENTRE 1950 ET 2010 A LOUGA .....	100
FIGURE 25 : ÉVOLUTION DES CUMULS ANNUELS ENTRE 1950 ET 2003 A DAHRA DJOLOFF .....	101
FIGURE 26 : ÉVOLUTION DES CUMULS ANNUELS ENTRE 1951 ET 2010 A BAKEL .....	102
FIGURE 27 : ÉVOLUTION DES CUMULS ANNUELS ENTRE 1950 ET 2010 A DIOURBEL .....	102
FIGURE 28 : ÉVOLUTION DES CUMULS ANNUELS ENTRE 1951 ET 2011 A FATICK.....	103
FIGURE 29 : ÉVOLUTION DES CUMULS ANNUELS ENTRE 1950 ET 2003 A BOULEL.....	103
FIGURE 30 : ÉVOLUTION DES CUMULS ANNUELS ENTRE 1950 ET 2010 A KAOLACK.....	104
FIGURE 31 : ÉVOLUTION DES CUMULS ANNUELS ENTRE 1951 ET 2010 A TAMBACOUNDA.....	104
FIGURE 32 : ÉVOLUTION DE LA SAISON DES PLUIES (JUIN, JUILLET, AOÛT, SEPTEMBRE) ENTRE 1950 ET 2003 A DAHRA DJOLOFF .....	106
FIGURE 33 : ÉVOLUTION DE LA SAISON DES PLUIES (JUIN, JUILLET, AOÛT, SEPTEMBRE) ENTRE 1950 ET 2002 A LOUGA.....	107
FIGURE 34 : ÉVOLUTION DE LA SAISON DES PLUIES (JUIN, JUILLET, AOÛT, SEPTEMBRE) ENTRE 1950 ET 2008 A DIOURBEL.....	107
FIGURE 35 : ÉVOLUTION DE LA SAISON DES PLUIES (JUIN, JUILLET, AOÛT, SEPTEMBRE ENTRE 1950 ET 2009 A KAOLACK .....	108
FIGURE 36 : ÉVOLUTION DE LA SAISON DES PLUIES (JUIN, JUILLET, AOÛT, SEPTEMBRE ENTRE 1950 ET 2008 A TAMBACOUNDA .....	108
FIGURE 37 : ÉVOLUTION DE L'INDICE STANDARDISÉ DES PRÉCIPITATIONS ENTRE 1951 ET 2010 A MATAM .....	111

FIGURE 38 : ÉVOLUTION DE L'INDICE STANDARDISE DES PRECIPITATIONS ENTRE 1950 ET 2010 A LOUGA .....	112
FIGURE 39 : ÉVOLUTION DE L'INDICE STANDARDISE DES PRECIPITATIONS ENTRE 1951 ET 2010 A BAKEL.....	113
FIGURE 40 : ÉVOLUTION DE L'INDICE STANDARDISE DES PRECIPITATIONS ENTRE 1951 ET 2010 A DIOURBEL.....	113
FIGURE 41 : ÉVOLUTION DE L'INDICE STANDARDISE DES PRECIPITATIONS ENTRE 1950 ET 2010 A KAOLACK .....	114
FIGURE 42 : ÉVOLUTION DES INDICES STANDARDISES DES PRECIPITATIONS ENTRE 1951 ET 2010 A TAMBACOUNDA .....	114
FIGURE 43 : CARTE DE LA REPARTITION DES ANNEES PLUVIOMETRIQUES (TYPOLOGIE SPI) PAR STATION ENTRE 1950 ET 2010 .....	117
FIGURE 44 : ÉVOLUTION DES CUMULS ANNUELS PLUVIOMETRIQUES ENTRE 1951 ET 2010.....	116
FIGURE 45 : ÉVOLUTION DE L'INDICE STANDARDISE DES PRECIPITATIONS .....	117
FIGURE 46 : « ANOMALIES » DES PRECIPITATIONS DANS LE SAHEL ENTRE 1950 ET 2011 .....	118
FIGURE 47 : ÉVOLUTION DES MOYENNES DECENNALES DES PRECIPITATIONS .....	119
FIGURE 48 : ÉVOLUTION DES CUMULS PLUVIOMETRIQUES EN ZONE SAHELIEENNE SENEGALAISE SELON LA METHODE DES MOYENNES MOBILES .....	122
FIGURE 49 : ÉVOLUTION DES CUMULS PLUVIOMETRIQUES EN ZONE SOUDANO-SAHELIEENNE SENEGALAISE SELON LA METHODE DES MOYENNES MOBILES.....	123
FIGURE 50 : RESULTATS DU TEST DE PETTITT POUR LE DOMAINE SAHELIEEN .....	125
FIGURE 51 : RESULTATS DU TEST DE PETTITT POUR LA ZONE SOUDANO-SAHELIEENNE.....	125
FIGURE 52 : SYNTHÈSE DU PRINCIPE DE LA CLASSIFICATION SUPERVISEE (SOURCE : CENTRE CANADIEN DE TELEDETECTION, 2014) .....	129
FIGURE 53 : COURBES DE REFLECTANCE DE LA VEGETATION ET DU SOL (SOURCE : CLARK, IN RENCZ, ED. 1999).....	131
FIGURE 54 : CHAÎNE DE TRAITEMENT DES IMAGES .....	135
FIGURE 55 : MOSAÏQUE DES COMPOSITIONS COLOREES DES SCENES MSS (1973) (FALL, 2014).....	137
FIGURE 56 : MOSAÏQUE DES COMPOSITIONS COLOREES DES SCENES TM (1999) (FALL, 2014) .....	138
FIGURE 57 : MOSAÏQUE DES COMPOSITIONS COLOREES DES SCENES ETM+ (2010) (FALL, 2014).....	139
FIGURE 58 : RELEVÉ N° 73, FORMATION VEGETALE OUVERTE SUR SOL SOMBRE A KEUR MEDINA FALLOU (FALL, 2012) .....	141
FIGURE 59 : RELEVÉ N° 17 FORMATION VEGETALE TRES OUVERTE SUR SOL CLAIR AU SUD DE DAHRA (FALL, 2012).....	141
FIGURE 60 : RELEVÉ N° 132 FORMATION VEGETALE DENSE A KEUR SANDAO (FALL, 2012) .....	142
FIGURE 61 : EAUX : LE FLEUVE SENEGAL A MATAM (FALL, 2010) .....	143
FIGURE 62 : RELEVÉ N°2 ZONE INCENDIEE A TESSEKERE (FALL, 2010) .....	143
FIGURE 63 : MILIEUX IRRIGUES : CASIER AGRICOLE SUR LA VALLEE DU FLEUVE SENEGAL A TIGUERE CIRE (NORD DE MATAM) (FALL, 2010) .....	144
FIGURE 64 : COMPOSITION COLOREE ET CLASSIFICATION KMEANS DE LA SOUS-SCENE DU FERLO 2010 .....	148
FIGURE 65 : LES COURBES RADIOMETRIQUES DE L'ENSEMBLE DES CLASSES DE LA PREMIERE CLASSIFICATION AVEC L'ALGORITHME DES NEEES DYNAMIQUES (KMEANS) .....	150
FIGURE 66 : OBSERVATION DES CLASSES 5, 7, 4, 12, 11, ET 10 .....	151
FIGURE 67 : REGROUPEMENT DES CLASSES COMMUNES .....	152
FIGURE 68 : RESULTAT DE LA CLASSIFICATION PAR EMBOITEMENT SUR LA CLASSE DES MILIEUX AQUATIQUES .....	153
FIGURE 69 : COURBES RADIOMETRIQUES DE VERIFICATION DE LA CLASSE DES MILIEUX AQUATIQUES .....	153
FIGURE 70 : RESULTATS DE LA CLASSIFICATION NON DIRIGEE SUR LES FACTEURS DE L'ACP (CLASSE VEGETATION).....	154
FIGURE 71 : COURBES RADIOMETRIQUES DE LA CLASSIFICATION NON DIRIGEE SUR L'ACP (VEGETATION).....	154
FIGURE 72 : REGROUPEMENT DES CLASSES POUR LA CARTE D'OCCUPATION FINALE DE LA SOUS-SCENE FERLO .....	156
FIGURE 73 : COURBES RADIOMETRIQUES DE LA CARTE D'OCCUPATION FINALE DE LA SOUS-SCENE FERLO.....	156
FIGURE 74 : OCCUPATION ACTUELLE DU SOL DANS LE FERLO ET LE NORD DU BASSIN ARACHIDIER (REALISATION : FALL, 2014).....	159
FIGURE 75 : CARTE DES FEUX OBSERVES AU SENEGAL ENTRE 2010 ET 2011 (SOURCE : CSE, 2011).....	160
FIGURE 76 : LOCALISATION DES VILLAGES ET CAMPEMENTS .....	161
FIGURE 77. PAYSAGE STEPPIQUE DOMINE PAR ACACIA RADDIANA A NDIQUELLI NAMASS (PHOTO : FALL, 2010) .....	162
FIGURE 78 : LES VILLAGES PEULS DE NDIQUELLI GUELLI ET NDIQUELLI NAMASS AU NORD DE DAHRA DJOLOFF DANS LE FERLO CENTRAL. ICI, L'ELEVAGE LONGTEMPS PRATIQUEE COMME ACTIVITE PRINCIPALE EST DE PLUS EN PLUS ASSOCIE A L'AGRICULTURE. LE PAYSAGE MONTRE UNE PHYSIONOMIE DE STEPPE ARBOREE.....	163

FIGURE 79: PHOTO (FALL, 2010): LE PAYSAGE STEPPIQUE A LOUMBEL. LA STRATE ARBOREE EST DOMINEE PAR <i>ACACIA RADDIANA</i> ET LE TAPIS HERBACE PAR <i>CENCHRUS BIFLORUS</i> .....	165
FIGURE 80: VILLAGE WOLOF DE LOUMBEL DANS LE FERLO OUEST: L'AGRICULTURE PLUVIALE EST LA PRINCIPALE ACTIVITE. L'ELEVAGE EST PRATIQUE A PARTIR DES DEUX CAMPEMENTS EQUIDISTANTS DU VILLAGE. SOURCE : <i>GOOGLE EARTH</i> , 2013.....	166
FIGURE 81 : STEPPE AVEC COUVERTURE LIGNEUSE ASSEZ FAIBLE A SOME DANDE (PHOTO : FALL, 2010).....	167
FIGURE 82 : SOME DANDE DANS LE FERLO, UN VILLAGE DE PASTEURS PEULS. LORS DE NOTRE PASSAGE EN OCTOBRE 2010, UNE SEULE FAMILLE PRATIQUAIT L'AGRICULTURE. LE SEUL CHAMP QUI APPARAÎT SUR L'IMAGE ÉTAIT CLOTURE AVEC <i>EUPHORBIA BALSAMINA</i> . (SOURCE : <i>GOOGLE EARTH</i> , 27/02/2013) .....	168
FIGURE 83. MARE PERMANENTE AU NIVEAU DE LA VALLEE FOSSILE DU FERLO A OUARKHOKH DANS LE DEPARTEMENT DE LINGUERE. L'IMPORTANCE DE CE POINT D'EAU POUR LES ACTIVITES DE TRANSHUMANCE AMENE LES ELEVEURS A SEJOURNER AUTOUR VOIRE EN FAIRE LEUR BASE PRINCIPALE DE CAMPEMENT. (SOURCE : <i>GOOGLE EARTH</i> , 13/03/2005).....	170
FIGURE 84. THIARGNIE CHEF LIEU DE LA COMMUNAUTE RURALE DU MEME NOM DANS LE FERLO SUD, UN VILLAGE D'AGROPASTEURS PEULS (SOURCE : <i>GOOGLE EARTH</i> , 2009) .....	171
FIGURE 85. NDRAME, VILLAGE WOLOF ENTRE LE FERLO ET LE BASSIN ARACHIDIER. LE TERROIR EST BIEN MARQUE PAR LES PRATIQUES AGRICOLES AVEC UN PARCELLAIRE BIEN ORGANISE AUTOUR DU VILLAGE. LES ARBRES (SEMIS DE POINTS) SONT PRESENTS AUTOUR DU VILLAGE MAIS PRESQUE ABSENTS DANS LES CHAMPS. (SOURCE : <i>GOOGLE EARTH</i> , 16/01/2004) .....	172
FIGURE 86. OCCUPATION DU SOL DANS LE FERLO ET LE NORD DU BASSIN ARACHIDIER EN 1973 (REALISATION, FALL 2014).....	176
FIGURE 87. OCCUPATION DU SOL DANS LE FERLO ET LE NORD DU BASSIN ARACHIDIER EN 1999 (REALISATION, FALL 2014).....	177
FIGURE 88. EVOLUTION DES CLASSES D'OCCUPATION DU SOL (EN HECTARE).....	182
FIGURE 89. CARTE DES CHANGEMENTS DE L'OCCUPATION DU SOL ENTRE 1973 ET 1999 (REALISATION, FALL 2014).....	185
FIGURE 90. CARTE DES CHANGEMENTS DE L'OCCUPATION DU SOL ENTRE 1999 ET 2010 (REALISATION, FALL 2014).....	186
FIGURE 91. LES VALEURS DE REFLECTANCE DE VEGETATION MESUREES AVEC TROIS RADIOMETRES QUI SERONT UTILISES DANS CE MEMOIRE (SOURCE : <i>ROCK ET AL</i> , 1993).....	193
FIGURE 92. ZONE D'ETUDE .....	197
FIGURE 93. ÉVOLUTION DE LA TENDANCE LINEAIRE DU NDVI EN AFRIQUE SAHELIEENNE ENTRE 1982 ET 2007 (FENSHOLT & RASMUSSEN, 2010).....	198
FIGURE 94. TENDANCE DE LA VARIATION TEMPORELLE DU NDVI ENTRE 1981 ET 2006 (SOURCE : <i>BENOIT TOULOUSE</i> , 2010).....	199
FIGURE 95. EVOLUTION DES MOYENNES (DES QUINZAINES) DU NDVI ENTRE 1981 ET 2006. ....	202
FIGURE 96. RESULTATS DE L'ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES : 1, 2, 3, 4 LES QUATRE PREMIERS FACTEURS .....	203
FIGURE 97. POURCENTAGE D'INERTIE DES AXES FACTORIELS AXES 1 A 4 = 99,39 % .....	203
FIGURE 98. 1- CLASSIFICATION (PAR LA METHODE DES NUEES DYNAMIQUES) EN 4 CLASSES EN FONCTION DES VALEURS OBTENUES SUR LES 4 PREMIERES COMPOSANTES PRINCIPALES .....	206
FIGURE 99. TENDANCES D'ÉVOLUTION DU NDVI POUR CHAQUE CLASSE SUR L'ENSEMBLE DE LA SERIE. ....	207
FIGURE 100. LA LOCALISATION DES RELEVES ET QUELQUES VILLAGES ENQUETES LORS DES DEUX MISSIONS DE TERRAIN ENTRE LE FERLO ET LE BASSIN ARACHIDIER. ....	215
FIGURE 101. PLANCHE : LA VARIATION PAYSAGERE ENTRE LE FERLO ET LE BASSIN ARACHIDIER (PHOTOGRAPHIES : FALL, 2010 ET 2012) .....	217
FIGURE 102. VARIATION DU NOMBRE D'ESPECES PAR RELEVÉ LE LONG DE L'AXE NORD-SUD.....	224
FIGURE 103. PREMIER RELEVÉ EFFECTUÉ DANS LA COMMUNAUTE RURALE DE TESSEKERE A PROXIMITE DU CAMPEMENT DE WOURO SAMBA (FALL, 2010). ....	225
FIGURE 104. JEUNE TOUFFE DE <i>BOSCHIA SENEGALENSIS</i> A WOURO SAMBA (COMMUNAUTE RURALE DE TESSEKERE) SOURCE : <i>A. FALL</i> , 2010.....	226
FIGURE 105. PREMIER RELEVÉ EFFECTUÉ A LOUMBEUL (FALL, 2010). ....	227
FIGURE 106. <i>CENCHRUS BIFLORUS</i> OU CRAM-CRAM.....	228
FIGURE 107. RELEVÉS A PANAL DANS LE BASSIN ARACHIDIER (FALL, 2012).....	229
FIGURE 108. DES <i>BALANITES AEGYPTIACA</i> EMONDES PAR DES ELEVEURS A MATAM (FALL, 2010) .....	231
FIGURE 109. AFC FLORE COMPLETE FERLO - HISTOGRAMME DES VALEURS PROPRES ET POURCENTAGES D'INERTIE CUMULES. ....	235
FIGURE 110. REPRESENTATION DE L'ENSEMBLE DES RELEVÉS SUR LE PREMIER PLAN FACTORIEL .....	238

FIGURE 111. REPRESENTATION DE L'ENSEMBLE DES ESPECES SUR LE PREMIER PLAN FACTORIEL.....	239
FIGURE 112. COORDONNEES DE L'AXE 1 LE LONG DU TRANSECT .....	240
FIGURE 113. REPRESENTATION DE L'ENSEMBLE DES RELEVES SUR LE SECOND PLAN FACTORIEL .....	241
FIGURE 114. REPRESENTATION DE L'ENSEMBLE DES ESPECES SUR LE SECOND PLAN FACTORIEL.....	242
FIGURE 115. PHOTO : A COLOBANE, UNE JEUNE JACHERE COLONISEE PAR <i>CASSIA OCCIDENTALIS</i> ET <i>GUIERA</i> <i>SENEGALENSIS</i> SOURCE : FALL, 2012 .....	243
FIGURE 116. PHOTO: <i>ZORNIA GLOCHIDIATA</i> (FALL, 2010) .....	245
FIGURE 117. PHYSIONOMIE DE QUELQUES RELEVES DU FERLO (PHOTOS : FALL, 2010) .....	246
FIGURE 118. WOURO SAMBA, (COMMUNAUTE RURALE DE TESSEKERE) : BUISSONS JEUNES DE <i>BOSCIA</i> <i>SENEGALENSIS</i> .....	248
FIGURE 119. PAYSAGE DE STEPPE AU SUD DE DAHRA, 03/11/2012.....	249
FIGURE 120. DIANVELLI ALASSANE DANS LE BASSIN ARACHIDIER. CHAMP D'ARACHIDES APRES RECOLTE. ARACHIDE MISE EN MEULE (FALL, 2012). .....	250
FIGURE 121. PHOTOS : COMMUNAUTE RURALE DE OGO (MATAM), LES RESIDUS DE NIEBES SONT RAMASSES, FAGOTES ET MIS EN SECHAGE SUR LES TOITS DES MAISONS. PENDANT LA SAISON SECHE, LORSQUE L'HERBE AURA COMPLETEMENT DISPARU, LES ANIMAUX POURRONT LE CONSOMMER (FALL, 2010).....	252
FIGURE 122. LOCALISATION DES DIFFERENTS SITES ETUDIES DANS CE CHAPITRE.....	282
FIGURE 123. PLANCHE 1 : QUATRE SITES DE PATURAGES A TESSEKERE ET A WOURO SAMBA (COMMUNAUTE RURALE DE TESSEKERE) .....	283
FIGURE 124. PLANCHE 2 : BARKEDJI, DES PATURAGES AU CŒUR DE LA VALLEE FOSSILE.....	284
FIGURE 125. PLANCHE 3 : LES PATURAGES A DAHRA : UN CONTEXTE DE DEGRADATION ET DE PRESSION SUR LA RESSOURCE FOURRAGERE .....	285
FIGURE 126. PLANCHE 4 : LES SITES DE JACHERES EXPLOITEES COMME PATURAGE A KEUR MEDINA FALLOU SOURCE : FALL, 2012.....	287
FIGURE 127. PLANCHE 5 : LES SITES DE PATURAGES A COLOBANE SOURCE : FALL, 2012 .....	288
FIGURE 128. PAYSAGES DE CHAMPS ET DE PATURAGE A KEUR SANDAO. SOURCE : FALL, 2012 .....	290
FIGURE 129. LOCALISATION DE KHELCOM ET ORGANISATION TERRITORIALE DES DIFFERENTES EXPLOITATIONS OU DAARAS (D'APRES DONNEES DE CHOUQUER, 2010).....	292
FIGURE 130. FRONT DE COLONISATION AGRICOLE AUTOUR DU <i>DAARA</i> DE DAROU SALAM (IMAGE GOOGLE EARTH DU 13/03/2005) .....	293
FIGURE 131. LE <i>DAARA</i> DE DAROU MINAM (IMAGE GOOGLE EARTH DU 13/03/2005) .....	294
FIGURE 132. LE PAYSAGE AUTOUR DU <i>DAARA</i> DE DAROU MARNANE (IMAGE GOOGLE EARTH DU 13/03/2005)..	295
FIGURE 133. AFC SUR LES LOCALITES, PLAN DES DEUX PREMIERS FACTEURS (TABLEAU DES 602 FORMES LES PLUS FREQUENTES DANS 14 LOCALITES DU FERLO) (MAREGA, FALL ET AL, 2013).....	307
FIGURE 134. SPECIFICITES POUR LES FORMES <i>EAU</i> , <i>HERBE</i> , <i>FOURRAGE</i> POUR CHACUNE DES LOCALITES. (MAREGA, FALL ET AL, 2013).....	309
FIGURE 135. DIVERS MOYENS DE COLLECTE ET DE TRANSPORT DE L'EAU DANS LE FERLO. ....	313
FIGURE 136. DESSERTES DES FORAGES DANS LE FERLO EN 2001 (SOURCE : TOURE ET AL, IN FAO, 2012) .....	315
FIGURE 137. EVOLUTION DU NOMBRE DE FORAGES DANS LE FERLO ENTRE 1980 ET 2000 (TOURE ET AL, 2009). 316	
FIGURE 138. LES FORAGES DE LA ZONE DE WIDOU THIENGOLY AU NORD DU FERLO : LES VOLUMES MOYENS MENSUELS D'EAU POMPES POUR LA PERIODE 2000-2003 (ANCEY, 2008).....	317
FIGURE 139. LA COMMUNAUTE RURALE DE TESSEKERE : LES FORAGES ET LEURS AIRES D'INFLUENCE (TOURE, 2012).....	318
FIGURE 140. LES TRACES DE FEUX OBSERVES ENTRE TESSEKERE ET WOURO SAMBA LE 08/11/2010 (CLICHES, A. FALL, 2010).....	322

# LISTE DES TABLEAUX

---

TABLEAU 1 : LISTE DES STATIONS RETENUES .....	97
TABLEAU 2 : STATISTIQUE DESCRIPTIVE DE LA PLUVIOMETRIE DANS LES STATIONS RETENUES .....	99
TABLEAU 3 : NOMENCLATURE DES VALEURS DE SPI.....	111
TABLEAU 4 : REPARTITION DES TYPES D'ANNEES (SELON LE SPI) POUR CHAQUE STATION ENTRE 1950 ET 2010	116
TABLEAU 5 : SYNTHÈSE DES SPI DANS LES DEUX DOMAINES CLIMATIQUES .....	118
TABLEAU 6 : SYNTHÈSE DES CUMULS DECENNAUX MOYENS .....	119
TABLEAU 7 : SYNTHÈSE STATISTIQUE GÉNÉRALE .....	121
TABLEAU 8 : RESULTAT TEST DE PETTITT (SAHELIEU) : .....	124
TABLEAU 9 : RESULTAT TEST DE PETTITT (SOUDANO-SAHÉLIEU) .....	125
TABLEAU 10 : FENÊTRES SPECTRALES DES CAPTEURS LANDSAT MSS.....	132
TABLEAU 11 : FENÊTRES SPECTRALES DES CAPTEURS LANDSAT TM .....	133
TABLEAU 12 : LES DIFFÉRENTES IMAGES SATELLITES TRAITÉES .....	134
TABLEAU 13 : LES PRINCIPALES CLASSES D'OCCUPATION DES SOLS RETENUES .....	140
TABLEAU 14 : LISTE DES CLASSES IDENTIFIÉES ET RETENUES .....	180
TABLEAU 15 : TABLEAU DE SYNTHÈSE .....	187
TABLEAU 16 : LES DIFFÉRENTS INDICES DE VÉGÉTATION UTILISÉS EN TÉLÉDETECTION (GIRARD & GIRARD, 1999) .....	194
TABLEAU 17 : L'ENSEMBLE DES VILLAGES ET CAMPEMENTS VISITÉS DURANT LES DEUX MISSIONS DE TERRAIN .	216
TABLEAU 18 : LES DESCRIPTEURS RETENUS.....	220
TABLEAU 19 : TABLEAU DE DÉTERMINATION DE LA RICHESSE SPÉCIFIQUE DES RELEVÉS DE VÉGÉTATION.....	224
TABLEAU 20 : AFC FLORE COMPLÈTE FERLO - VALEURS PROPRES ET POURCENTAGES D'INERTIE POUR LES PREMIERS FACTEURS.....	234
TABLEAU 21 : LES INFORMATIONS MUTUELLES ENTRE ESPÈCES : LES GROUPES DE FORTES LIAISONS.....	255
TABLEAU 22 : DISTRIBUTION LE LONG DU TRANSECT DES ESPÈCES LIGNEUSES ET SOUS-LIGNEUSES .....	261
TABLEAU 23 : LES RESULTATS DE L'ANALYSE DES PROFILS D'ENSEMBLE AVEC LE DESCRIPTEUR PHYSIONOMIE DE LA VÉGÉTATION .....	263
TABLEAU 24 : RESULTATS DE L'ANALYSE DES PROFILS D'ENSEMBLE AVEC LE DESCRIPTEUR UTILISATION DU SOL .....	264
TABLEAU 25 : LES RESULTATS DE L'ANALYSE DES PROFILS D'ENSEMBLE AVEC LE DESCRIPTEUR DISTANCE AUX VILLAGES OU CAMPEMENTS FIXES .....	265
TABLEAU 26 : LE DESCRIPTEUR DE LA PLUVIOSITÉ.....	265
TABLEAU 27 : LIAISONS ENTRE ESPÈCES ET DESCRIPTEUR DE LA PLUVIOSITÉ .....	266
TABLEAU 28 : LISTES DES PERSONNES ET GROUPES ET PERSONNES RENCONTRÉS LORS DES MISSIONS DE TERRAIN. .....	302
TABLEAU 29 : LES ÉVÉNEMENTS (MAJEURS AYANT UN IMPACT SUR LES PRATIQUES PASTORALES) ENREGISTRÉS DANS LA COMMUNAUTÉ RURALE DE TESSEKERE DEPUIS LA GRANDE SÈCHÈRESSE DE 1973 (D'APRÈS O. TOURE 2009, COMPLÈTE APRÈS NOS MISSIONS DE 2010 ET 2012).....	321

**ANNEXE: Liste des principales espèces rencontrées et identifiées sur les relevés de végétation**

---

**Tableau 1: Les principales espèces rencontrées sur les relevés et identifiées**

Noms scientifiques	IDEN	Familles	Biologie et indications bioclimatiques
<i>Acacia adansonii</i>	ACAD	Mimosacées	Arbre épineux atteignant 20 m de Haut. Espèce sahélo-soudanienne qui peut être utilisée comme pâturage.
<i>Acacia albida</i>	ACAL	Mimosacées	Arbre épineux pouvant atteindre 25 m de Haut, espèce soudano-sahélienne entre 300 et 1800mm, fruits et feuilles sont utilisés comme pâturage
<i>Acacia ataxacantha</i>	ACAT	Mimosacées	Arbre épineux atteignant 10 m de Haut, se développant au voisinage des points d'eau dans la zone soudano-sahélienne, peu appréciée du bétail
<i>Acacia raddiana</i>	ACRA	Mimosacées	Arbre épineux atteignant 20 m de Haut, très caractéristique des paysages sahéliens et pouvant servir comme pâturage.
<i>Acacia senegal</i>	ACSE	Mimosacées	Arbre épineux pouvant atteindre 10 m de Haut. Espèce sahélienne et soudano-sahélienne résistante et très recherchée pour sa gomme et son bois.
<i>Acacia seyal</i>	ACSY	Mimosacées	Arbre épineux pouvant atteindre 15 m de haut. Espèce sahélienne se développant au voisinage des points d'eau, peut servir de pâturage.
<i>Acanthospermum hispidum</i>	ACHI	Asteraceae	AH est une plante annuelle très rudérale. Cette plante est répandue dans toute l'Afrique tropicale
<i>Achyranthes argentea</i>	ACAR	Amaranthaceae	Herbacée annuelle mesurant entre 30 et 80cm de hauteur, zone sahélo-soudanienne. Poussant très vite dans les zones de cultures extensives.
<i>Adansonia digitata</i>	ADDI	Bombacaceae	Arbre typique de l'Afrique tropicale pouvant avoir 7 m de diamètre, très utilisé comme condiment (feuilles et fruits) ou comme pâturage
<i>Agave sisalana</i>	AGSI	Agavaceae	Herbacée vivace, 40 et 90 cm de hauteur, répandue en zone soudanienne, n'est pas apprécié par le bétail
<i>Alyscarpus ovalifolius</i>	ALOV	Fabaceae	Adventice annuelle, très caractéristique des zones de cultures extensives de la zone sahélo-soudanienne, peut être consommé par le bétail
<i>Anacardium occidentale</i>	ANOC	Anacardiaceae	Arbre atteignant 10 m de haut, souvent cultivé en zone soudanienne et guinéenne (500 et 2000mm)
<i>Andropogon gayanus</i>	ANGA	Poaceae	Herbacée annuelle très rudérale pouvant mesurer jusqu'à 1m répandue dans toute la zone intertropicale. Peut servir de pâturage
<i>Annona senegalensis</i>	ANSE	Annonaceae	Arbuste caduc qui peut atteindre 4 m. De la zone sahélienne à la zone guinéenne. Cette espèce dont toutes les parties sont utilisées, possède un grand nombre d'utilisations médicinales
<i>Anogeissus leiocarpus</i>	ANLE	Combretaceae	Arbre de 15 à 20 m de hauteur, assez grégaire, entre la zone sahélienne et guinéenne. Très bon Pâturage pour petit bétail
<i>Aphania senegalensis</i>	APSE	Sapindaceae	Arbuste poussant à proximité points d'eau dans la zone soudano sahélienne. Toxique pour le bétail mais très utilisé pour ses vertus médicinales
<i>Arachis hypogaeae</i>	ARACH	Fabaceae	Plante atteignant 30 cm très cultivée dans les régions tropicales. Très utilisé et très recherché comme pâturage. Importance économique et sociale
<i>Aristida adscensionis</i>	ARAD	Poaceae	Plante annuelle répandue en Afrique tropicale sèche se rencontre dans les jachères, peut servir de pâturage
<i>Aristida mutabilis</i>	ARMU	Poaceae	Plante annuelle pouvant atteindre 70 m, poussant sur sols assez pauvres, peut servir de pâturage
<i>Azadirachta indica</i>	AZIN	Meliaceae	Arbre atteignant 20 m de haut, poussant partout, très répandue en zone tropicale. Souvent citée comme espèce invasive, pas consommé par le bétail
<i>Balanites aegyptiaca</i>	BAAG	Balanitacées	Arbre, jusqu'à 10 m de haut, zone sahélienne et soudanienne, sur sols pauvres, indicateur de surpâturage, consommé par le bétail
<i>Boerhaavia diffusa</i>	BODI	Nyctaginaceae	Espèce annuelle, commune dans toute la zone tropicale, voisinage point d'eau, bon pâturage.
<i>Bombax costatum</i>	BOCO	Bombacacées	Arbre épineux, atteignant 20 m de haut, zone soudano-sahélienne, très consommée (feuilles) par les populations, vertus médicinales
<i>Borassus flabellifer</i>	BOFL	Arécacées	Palmier, hauteur jusqu'à 20 m, zone soudanienne et guinéenne, résistant aux feux. Donnant fruits et vins de palme

<i>Boreria stadychea</i>	BOST	Rubiaceae	Plante annuelle, zone soudano-sahélienne et soudanienne (600 et 1200mm), se développe surtout en zone de culture, sert de pâturage.
<i>Borreria radiata</i>	BORA	Rubiaceae	Plante annuelle, zone soudano sahélienne, très fréquente dans les zones de culture notamment d'arachide ou de mil
<i>Boscia senegalensis</i>	BOSE	Capparacées	Arbuste dépassant rarement 4 m, grégaire, commune en zone sahélienne, sur sols sableux pauvres, peut servir de pâturage
<i>Calotropis procera</i>	CAPR	Asclepiadaceae	Arbuste atteignant 2 à 3 m de haut, répandue en zone sahélienne, des propriétés médicinales mais toxique pour le bétail
<i>Cassia occidentalis</i>	CAOC	Caesalpiniaceae	Arbrisseau mesurant jusqu'à 1m, très connue au Sénégal pour ses vertus antipaludéennes.
<i>Cassia obtusifolia</i>	CAOP	Caesalpiniaceae	Plante annuelle, régions sahélo-soudanienne et soudano-sahélienne, pluviométrie jusqu'à 1 000 mm. Se développe surtout en zone de culture
<i>Cenchrus biflorus</i>	CEBI	Poacées	Plante annuelle rudérale, caractéristique de la zone sahélienne, indicatrice de pauvreté des sols et de surpâturage, peut être pâturé par le bétail
<i>Chloris prierii</i>	CHPR	Poacées	Graminée annuelle, jusqu'à 80 cm de haut, répandue en zone sahélienne,
<i>Citrilus lanatus</i>	CITR	Cucurbitaceae	Plante lianescente subspontanée dans les cultures annuelles ou cultivée, zone soudano-sahélienne, jusqu'à 800mm de pluies,
<i>Combretum glutinosum</i>	COGL	Combretacées	Arbre atteignant 8m de haut, zone sahélienne et soudanienne, très résistant, plusieurs vertus médicinales et bon pâturage (feuilles)
<i>Commelina forskalei</i>	COFO	Commelinaceae	Plante annuelle répandue en zone sahélienne et soudanienne, pousse sur sols dégradés et pauvres et en zone de culture
<i>Corchorus tridens</i>	COTR	Tiliaceae	Plante annuelle, zone sahélienne et soudanienne, pousse sur tout type de sols,
<i>Cordyla pinnata</i>	COPI	Caesalpiniaceae	Arbre atteignant 15 m de haut, zone soudanienne, feuilles et rameaux servent de pâturage pour le bétail
<i>Trianthema portulacastrum</i>	CRPO	Aizoaceae	Espèce annuelle pouvant atteindre 50 cm de haut, très rudérale, zone sahélienne et soudanienne
<i>Crotalaria podocarpa</i>	CRPOD	Fabaceae	Plante annuelle, zone soudano-sahélienne, jusqu'à 800 mm de pluies, tout type de sols et parcelles de cultures
<i>Crotalaria retusa</i>	CRRE	Fabaceae	Espèce rudérale commune le long des chemins, zones de bas-fond humide. Adventice des cultures dans les parcelles aux sols lourds
<i>Ctenium elegans</i>	CTEL	Poacées	Graminée annuelle sahélienne, jusqu'à 90cm de haut, sur sols sableux pauvres, une des principales espèces pâturées dans le Sahel
<i>Cucumis melo</i>	CUME	Cucurbitaceae	Plante lianescente annuelle, zone soudano-sahélienne, sols sableux pauvres
<i>Cynodon dactylon</i>	CYDA	Poacées	Plante vivace gazonnante, développement très rapide, zone soudano-sahélienne, peut servir de pâturage
<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	DAAE	Poacées	Espèce annuelle et rudérale, régions sahélo-soudanienne dont la pluviométrie annuelle est comprise entre 600 et 800 mm, aux régions soudanienne plus humides. Bon pâturage pour le bétail
<i>Datura metel</i>	DAME	Solanaceae	Plante vivace atteignant 1m de haut, colonisant les terrains vagues et bords de pistes, n'est pas apprécié par le bétail ni utilisé par les villageois
<i>Dichrostachys cinerea</i>	DHCI	Mimosaceae	Arbre épineux de 4 à 5 m de haut, zone soudano-sahélienne, feuilles et rameaux broutés par le bétail
<i>Digitaria ciliaris</i>	DICI	Poacées	Graminée annuelle très répandue en zone sahélienne, zone de culture, broutée par le bétail
<i>Digitaria gayana</i>	DIGA	Poacées	Graminée annuelle atteignant 60 cm de hauteur, zone sahélienne et soudanienne, broutée par bétail
<i>Diheteropogon hagerupii</i>	DIHA	Poacées	Plante annuelle, zone sahélienne, broutée par le bétail

<i>Eragrostis Siliadensis</i>	ERSI	Poacées	Espèce annuelle, zone sahélo-soudaniennes à soudano-sahélienne, pluviométrie annuelle entre 500 et 1 200 mm, zone de culture
<i>Eragrostis tremula</i>	ERTR	Poacées	Espèce annuelle très rudérale, fréquente en bordure de chemin ou jachères récentes. Zone sahélienne et soudanienne. Appété par le bétail
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	EUCA	Myrtaceae	Ligneux atteignant 15 à 20 m de haut, originaire d'Australie, pousse sur tout type de sols. De la zone sahélienne jusqu'à la zone guinéenne
<i>Euphorbia balsamifera</i>	EUBA	Euphorbiaceae	Arbuste pouvant atteindre 5 m de haut, zones sahélienne et soudanienne, utilisée pour faire des haies vives et limiter la divagation du bétail
<i>Grewia bicolor</i>	GRBI	Tiliacées	Arbre atteignant 7 m de haut, zone soudano-sahélienne, soudanienne. Ses feuilles sont appréciées du bétail
<i>Guiera senegalensis</i>	GUSE	Combretacées	Arbuste pouvant atteindre 2 m de haut, zone soudano-sahélienne, colonise les jachères et les sols épuisés, pâturé par le bétail
<i>Hibiscus sabdarrifa</i>	HISA	Malvacées	Plante cultivée, atteignant 50 cm de haut, zone tropicale, très consommée au Sénégal
<i>Indigofera astragalina</i>	INAS	Fabacées	Plante annuelle pouvant atteindre 1 m de haut, zone tropicale, pousse sur les sols sableux
<i>Indigofera pillosa</i>	INPI	Fabacées	Espèce annuelle, mesurant jusqu'à 30cm de haut, zone tropicale, pousse dans les zones de culture et de bas fonds
<i>Jatropha curcas</i>	JACU	Euphorbiacées	Arbuste de 4 à 8 m de haut, espèce pantropicale, pousse autour des villages, haies vives autour champs, plante réputée toxique
<i>Lannea acida</i>	LAAC	Anarcadiacées	Arbre haut d'une dizaine de mètres, zone soudanienne et guinéenne, souvent plantée pour ses fruits, feuilles consommées par le bétail
<i>Leptadenia hastata</i>	LEHA	Asclepiadacées	Liane très répandue dans la zone sahélienne, mesurant jusqu'à 20 m, plante très peu utilisée par les villageois
<i>Leptadenia pyrotechnica</i>	LEPY	Asclepiadacées	Arbuste ramifié à la base, atteignant 3 m de haut, zone saharienne et sahélienne, peu utilisée par les villageois.
<i>Mangifera indica</i>	MAIN	Anarcadiacées	Arbre fruitier, pouvant atteindre 10 m de haut, cultivée pour ses fruits, l'ombre qu'il procure, zone soudano-sahélienne jusqu'à guinéenne,
<i>Manihot esculenta</i>	MAES	Euphorbiacées	Arbuste planté et cultivé pour ses tubercules et ses feuilles, répandu en Afrique de l'ouest et centrale, peut servir de nourriture pour le bétail
<i>Merremia aegyptiaca</i>	MEAE	Convolvulacées	Herbacée annuelle, répandue en zone tropicale,
<i>Merremia pinnata</i>	MEPI	Convolvulacées	Herbacée annuelle, répandue en zone tropicale, se développe dans les milieux à sols sableux
<i>Merremia tridentata</i>	METR	Convolvulacées	Herbacée annuelle, répandue en zone tropicale, 10 à 15 cm de hauteur, milieux à sols sableux
<i>Mitracarpus scaber</i>	MISC	Rubiacees	Herbacée annuelle, zone sahélienne et soudanienne, pousse vite sur sols légers et sur les parcelles cultivées
<i>Mitragyna inermis</i>	MIIN	Rubiacees	Arbuste pouvant atteindre 7m de haut, zone soudano-sahélienne, proximité bas fonds ou mares, peu utilisé comme pâturage
<i>Momordica balsamina</i>	MOBA	Cucurbitacées	Plante lianescente, zone sahélienne et soudanienne, beaucoup de propriétés médicinales
<i>Ocimum basilicum</i>	OCBA	Lamiacées	Herbacée annuelle semi vivace, mesurant jusqu'à 50 cm de haut, zone soudanienne, consommée par les populations
<i>Panicum laetum</i>	PALE	Poacées	Graminée annuelle, très répandue en zone sahélienne et soudanienne, excellent pâturage
<i>Parkia biglobosa</i>	PABI	Mimosacées	Arbre de 10 à 15m de haut, zone soudanienne et guinéenne, assez grégaire, feuilles mangées par le bétail
<i>Pennisetum glaucum</i>	PEGL	Poacées	Plante céréalière cultivée, jusqu'à 2m de haut, zone sahélienne et soudanienne, répandue dans les systèmes d'agriculture vivrière (mil)
<i>Pennisetum pedicellatum</i>	PEPE	Poacées	Plante annuelle très rudérale mesurant jusqu'à 1m50 de haut, zone sahélienne et soudanienne, pousse vite en zone de culture, pâturé par le bétail

<i>Piliostigma reticulatum</i>	PIRE	Caesalpinaceae	Arbre pouvant atteindre 8 m de haut, zone sahélienne et soudanienne, proximité points d'eau et mares, jachères, bon pâturage
<i>Schizachyrium exile</i>	SCEX	Poacées	Graminée annuelle, rudérale, zone sahélienne et soudanienne, très utilisé comme pâturage
<i>Schoenfeldia gracilis</i>	SCGR	Poacées	Plante annuelle, zone sahélienne, pousse sur des sols très pauvres, utilisé comme pâturage
<i>Sclerocarya birrea</i>	SCBI	Anarcadiacées	Arbre atteignant 12 m de haut, zone sahélo-soudanienne, grégaire, sur sols sableux, feuilles et rameaux consommés par le bétail
<i>Sesbania pachycarpa</i>	SEPA	Fabacées	Adventice de début de cycle cultural, 2 à 4 m de haut, zone sahélo soudanienne, sur sols lourds et humides.
<i>Sida cordifolia</i>	SICO	Malvacées	Plante annuelle, mesurant jusqu'à 40 cm de haut, zone sahélienne et soudanienne, pousse dans les jachères et zones cultivées.
<i>Sorghum bicolor</i>	SOBI	Poacées	Plante céréalière cultivée, atteignant 2m de haut, zone sahélienne et soudanienne, commune dans les systèmes d'agriculture vivrière
<i>Sterculia setigera</i>	STSE	Sterculiacées	Arbre d'une dizaine de mètres de haut, zone soudano-sahélienne, ses feuilles sont utilisées comme fourrage en saison sèche
<i>Tragus berteronianus</i>	STBE	Poacées	Graminée annuelle très rudérale, mesurant jusqu'à 45 cm de haut, zone sahélo-soudanienne
<i>Striga gesnerioides</i>	STGE	Scrofulariaceae	Plante annuelle, répandue en Afrique tropicale, se développe surtout dans les parcelles cultivées
<i>Striga hermonteca</i>	STHE	Scrofulariaceae	Espèce annuelle mesurant jusqu'à 50cm de haut, commune en Afrique tropicale, très fréquente au milieu des cultures
<i>Tamarindus indica</i>	TAIN	Cesalpiniacées	Arbre atteignant 12 m de haut, espèce pantropicale, très consommée au Sénégal, feuilles et rameaux appréciés du bétail
<i>Tephrosia pupurea</i>	TEPU	Fabaceae	Plante annuelle, mesurant jusqu'à 50 cm de haut, zone sahélienne et soudanienne, pousse au milieu des cultures
<i>Vigna sinensis</i>	VISI	Fabaceae	Plante cultivée pour ses graines nourrissante (niébé) zone sahélienne et soudanienne, excellent pâturage
<i>Xeroderris stuhlmannii</i>	XEST	Papilionaceae	Arbre de 10 à 12 m de haut, zone soudanienne et guinéenne, beaucoup de vertus médicinales mais pas pâturé
<i>Zornia glochidiata</i>	ZOGL	Fabaceae	Herbacée annuelle, très répandue en zone sahélienne et soudanienne, l'un des meilleurs pâturages, très recherché pour nourrir le bétail
<i>Ziziphus mauritania</i>	ZYMA	Rhamnacées	Arbuste épineux mesurant jusqu'à m de haut, zone sahélienne et soudanienne, très apprécié par le bétail surtout les chèvres

(Descriptions, d'après Berhaut, 1967 ; Arbonnier, 2002 ; CIRAD<sup>42</sup>)

<sup>42</sup> [http://malherbologie.cirad.fr/Fr/baseplantes/index\\_baseplante.php?baseplante.phtml](http://malherbologie.cirad.fr/Fr/baseplantes/index_baseplante.php?baseplante.phtml)

## Résumé

---

L'anthroposystème pastoral du Ferlo sénégalais évolue dans un milieu historiquement négligé par les politiques agricoles en raison de ses caractéristiques biophysiques particulières, peu favorables à l'agriculture et à une forme de mise en valeur autre que l'élevage extensif, incluant une transhumance. Celui-ci permet d'exploiter des ressources très variables dans l'espace et dans le temps. Cette primauté de l'élevage itinérant est de nos jours de plus en plus contestée par le développement de l'agriculture dans un contexte marqué par l'amélioration des conditions de la pluviométrie dans tout le Sahel ouest-africain, de l'épuisement des terres du Bassin arachidier et de la multiplication des aménagements agricoles au niveau de la vallée du fleuve Sénégal. En combinant l'analyse d'images de télédétection pour la cartographie d'évolution de l'occupation du sol par le couvert végétal, l'étude de la flore et du paysage végétal et l'exploitation d'enquêtes dans les villages et les campements du Ferlo, ce mémoire de thèse tente de cerner la géographie de la vulnérabilité des populations rurales et des écosystèmes qu'elles utilisent. Ainsi les éleveurs et les pasteurs évoluent-ils avec des stratégies d'adaptation quotidienne dans ces milieux du Sénégal intérieur marqués par l'instabilité écologique profonde et par les transformations à l'œuvre dans la société rurale sénégalaise. Ces changements socio-environnementaux considérables contribuent ainsi à la dynamique des paysages végétaux et par-delà pose la question de la dégradation des écosystèmes.

## Mots-clés:

---

FERLO SAHEL VULNERABILITE PASTORALISME DEGRADATION ECOSYSTEME RESILIENCE ANTHROPOSYSTEME

## Summary

---

The pastoral anthroposystem of Senegalese Ferlo evolves in an environment historically neglected by agricultural policies because of its characteristics particular biophysics, unfavorable to the agriculture and to the shape of development other than the extensive breeding. This primacy of the itinerant breeding is nowadays more and more disputed by the development of the farming in a context marked by the improvement of the conditions of the rainfall in West-African Sahel, soil depletion in the Groundnut Basin and the multiplication of agricultural development at the valley of the Senegal River. By combining the analysis of remote sensing imagery for mapping land cover changes by the vegetation cover, the study of flora and vegetation landscape and the exploitation of the investigations in villages and camps, this thesis attempts to define the geography of the vulnerability of rural populations and ecosystems which they use. So, pastoralists evolve with daily adaptation strategies in these circles inside Senegal marked by deep ecological instability and by the transformations at work in the Senegalese rural society. These socio-environmental changes contribute to the dynamics of plant landscapes and raise the question of ecosystem degradation

## Keywords

---

FERLO SAHEL VULNERABILITY PASTORALISM DEGRADATION ECOSYSTEM RESILIENCE ANTHROPOSYSTEM

**Discipline : GEOGRAPHIE**

**Ecole doctorale ERASME**

**Laboratoire : PLEIADE EA 7338 - CRESC**

---

