

UNIVERSITE ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR



**UFR des Sciences et Technologies
Département de Géographie
École doctorale : Sciences Technologies et Ingénierie
Laboratoire de Géomatique et d'Environnement (LGE)
Spécialité : Géographie - Environnement
Option : Géomorphologie**

Thèse de Doctorat

**Dégradation des terres rizicoles par salinisation et acidification
dans le bassin versant de Diouloulou, en Basse Casamance
septentrionale (sud-ouest du Sénégal)**

Thèse soutenue publiquement le 02 décembre 2023

Par :

Yancouba SANE

Composition du Jury :

Président : M. Oumar SY (Professeur Titulaire, Université Assane Seck de Ziguinchor)

Rapporteurs

M. Cheikh FAYE (Maître de Conférences CAMES, Université Assane Seck de Ziguinchor)

M. Ababacar FALL (Maître de Conférences CAMES, École Polytechnique de Thiès)

M. Moussa GIBIGAYE (Professeur Titulaire, Université d'Abomey-Calavi)

Examineurs :

M. Antoine SAMBOU (Maître Assistant, Université Assane Seck de Ziguinchor)

M. Luc DESCROIX (Directeur de Recherche en Hydrologie, Institut de recherche pour le Développement, UMR PALOC Patrimoines Locaux, Environnement et Globalisation, MNHN, 75005 Paris)

Directeurs de thèse :

M. Boubou Aldiouma SY (Professeur Titulaire, Université Gaston Berger de Saint Louis)

M. Aïdara Chérif Amadou Lamine FALL (Maître de Conférences CAMES, Université Assane Seck de Ziguinchor).

Année académique : 2022-2023

DÉDICACE

*Je dédie ce travail à la mémoire de ma défunte mère
Virginie SAGNA décédée le 25 Mai 2016 à Nyassia et à
mon papa Sadibou SANE, pour toutes les souffrances et
les sacrifices qu'ils ont endurés dans le but de nous
permettre de construire un avenir meilleur et aller au-
delà de ce qu'ils ont pu réaliser.*

REMERCIEMENT

Nous tenons à remercier les Professeurs Boubou Aldiouma Sy et Aïdara Chérif Amadou Lamine FALL qui m'ont encadré tout au long de cette thèse et qui m'ont fait partager leurs brillantes expériences. Cette thèse est le fruit d'une collaboration de plus de cinq années. C'est à leurs côtés que j'ai compris ce que rigueur et précision voulaient dire. Qu'ils soient aussi remerciés pour leur gentillesse, disponibilité permanente et pour les nombreux encouragements qu'ils m'ont prodigués.

Nous remercions les membres du jury pour avoir accepté de participer à l'évaluation de cette thèse et apporté leur contribution à son amélioration.

Nous associons à ces remerciements le Département de géographie et le Laboratoire de Géomatique et d'Environnement (LGE) de l'UASZ au sein duquel nous avons effectué nos travaux de recherche. Nous adressons nos vifs remerciements à tous les enseignants du Département de Géographie de l'Université Assane SECK de Ziguinchor, notamment au chef de département, Dr El Hadji Balla DIEYE, au Pr Oumar SY, au Pr Cheikh FAYE, au Pr Tidiane SANE, à Dr Oumar SALL, à Dr Alvares F.G. BENGA, au Pr Ibrahima MBAYE, et au Pr Abdourahmane Mbade SENE, à Dr Cheikh Tidiane Wade, à Dr Aliou Baldé, à Dr Demba Gaye, pour leurs encouragements et leurs conseils.

Nous accordons une mention spéciale à notre équipe de terrain : Dr Boubacar Demba BA, Dr Victor MENDY, Dr Mamadou THIOR et M. Mamadou Marouana DIALLO. Merci à tous pour votre disponibilité et votre accompagnement.

Nous remercions aussi l'ensemble des Docteurs et Doctorants du LGE plus particulièrement Dr Boubacar SOLY technicien du LGE, Dr Djiby SOW, Dr Josephe Samba GOMIS, Dr Alexandre BADIANE, Dr Bouly SANE, Dr Abdou Khadry SAMBOU, M. Henry Marcel SECK, M. Boubacar BARRY, M. Ambroise SAGNA, Mlle Aissatou CISSE, M. Baba SY, M. Roger Coly. Nous tenons également à remercier le Laboratoire Mixte International "Patrimoine et Territoires de l'Eau" (LMI/PATEO) et l'Institut de Recherche pour le développement (IRD) qui nous ont soutenus pendant nos travaux de terrain à travers Dr Luc DESCROIX, pour sa disponibilité et sa générosité. Votre soutien a été précieux pour nous. Vos conseils, orientations, suggestions et encouragements nous ont permis de mieux asseoir une analyse critique de nos résultats. Nous vous en remercions vivement.

Nous remercions également tout le personnel de l'Institut National de pédologie plus particulièrement M. Alioune Badara DIEYE, responsable du laboratoire, qui a répondu avec calme et patience à toutes questions et sollicitations.

À toute “*la famille Sen multiservice/UASZ,*” plus particulièrement à Laye FATY, à Ismaila DJIBA pour leur soutien sans faille.

Nos remerciements vont également à l’endroit de tous les membres de ma famille, notamment: mes tantes Aida SANE et Dallo SIGNATE, mes frères et sœurs Fadia SANE, Victor Célestin DIEME, Francis DIEME, Ramatoulaye BADJI, Rita Khady SAGNA, Samsidine SANE, Marie Thilore SANE, Seynaboubou SANE, Seny SANE, Kemo SANE, Ousmane SANE, Fallou SANE, Ouly SANE, Fatou SANE, Matar SANE, Aida SANE, Astou SANE, Sarata SANE, Katy GOUDIABY, mon cousin Josué Aristide Paul BARBOZA et mes oncles Terence SAGNA, Jérôme SAGNA.

SIGLES ET ACRONYMES

ACRA (ONG italienne) : Associazione di Cooperazione Rurale in Africa e America Latina (Sénégal)

AFD : Agence française de développement

AJAC : Association des Jeunes Agriculteurs de Casamance

AJAEDO : Association des Jeunes Agriculteurs et Éleveurs du département d'Oussouye

AMP : Aire Marine Protégée

ANAT : Agence Nationale de l'Aménagement du Territoire

ANACIM : Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie du Sénégal

ANCAR : Agence Nationale de Conseil Agricole et Rural

APAD : Association des Planteurs de l'Arrondissement de Diouloulou

APAC : Aires de patrimoine autochtone et communautaire

ANSD : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie

ANRAC : Agence Nationale pour la Relance des Activités économiques et sociales en Casamance

ASAPID : Association d'Appui aux Initiatives de Développement

ASPRODEB : Association Sénégalaise pour la Promotion du Développement par la Base

AFVP : Association Française des Volontaires du progrès

BAD : Banque Africaine de Développement

BM : Banque Mondiale

BV : Bassin Versant

CADEF : Comité d'Action pour le Développement du Fogy

CAH : Complexe Argilo-Humide du sol

CAR : Conseil Agricole et Rural

CE : conductivité électrique

CEC : Capacité d'Échange Cationique

CERP : Centres d'Expansion Rurale Polyvalents

CILSS : Comité Inter-États de Lutte contre la Sécheresse au Sahel

CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

CLCOP : Comité Local de Concertation des Organisations de Producteurs

CNCAS : Caisse Nationale de Crédit Agricole du Sénégal

CNCR : Comité National de Concertation des Ruraux

CNGRC : Conseil National de Gestion des Risques et Catastrophes

CRA : Centre de Recherches Agricoles

CRAD : Centres Régionaux d'Assistance au Développement

CRCR : Cadre Régional de Concertation des Ruraux

COOSPE : Coordinadora de Organizaciones Sociales Progresistas del Ecuador

CSE : Centre de Suivi Écologique

DAPSA : Direction de l'analyse et de la Prévision des Statistiques Agricoles

DERBAC : Projet Autonome de Développement Rural de la Casamance

DEEC : Direction de l'Environnement et Des Établissements Classés

DPV : Direction de la Protection des Végétaux

DRDR : Direction Régionale du Développement Rural

DSRP : Document Stratégique de Réduction de la Pauvreté

DTGC : Direction des Travaux Géographiques et Cartographiques

ED : Entente de Diouloulou

EDEQUE : École Doctorale Eau, Qualité et Usages de l'Eau

EDSTI : École Doctorale Sciences, Technologies et Ingénierie

ETM+ : Enhanced Thematic Mapper Plus

FADDO : Fédération d'Appui au Développement du Département d'Oussouye

FAO : Food and Agriculture Organisation (Organisation des Nations-Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture)

FCFA : Franc de la Communauté Financière Africaine

FMI : Fonds Monétaire International

FRGPF-Z : Fédération Régionale des Groupements de Promotion. Féminine de la Région de Ziguinchor

FONGS : Fédération des Organisations Non Gouvernementales du Sénégal

GERCA : Groupement d'Études Rurales en Casamance

GIE : Groupement d'Intérêt Économique

GIRE : Gestion Intégrée des Ressources en Eau

GOANA : Grande Offensive Agricole pour la Nourriture et l'Abondance

GPS : Global Positioning System (Système de Positionnement Global)

GRDR : Groupe de Recherche et de Réalisations pour le Développement Rural

IAP : Indice des anomalies pluviométriques

IDP : Indice Logarithme décimal de déviations pluviométriques

IFAN : Institut français d'Afrique noire

IGN-France : Institut Géographique National

ILACO : International Land Development Consultants
INP : Institut National de Pédologie du Sénégal
IRAM : Institut de recherches agronomiques à Madagascar
IRD : Institut de Recherche pour le Développement (France)
IREF : Inspection Régionale des Eaux et Forêts
ISRA : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles
ITPS: Intergovernmental Technical Panel on Soils
ISSP : Institut Scientifique de Service Publique
SPI : Indice standardisé de précipitation
ITA : Institut de Technologie Alimentaire
KDES : Kalounayes pour le Développement Économique et Social
LCDM : Landsat Data Continuity Mission
LMI PATEO : Laboratoire Mixte International « Patrimoines et Territoires de l'eau »
LGE : Laboratoire de Géomatique et D'environnement
LS : Limono-sableux
LSA : Limono-Sablo-Argileux
MAC : Mission Agricole Chinoise
MCA : Millenium Challenge Account
MFDC : Mouvement des Forces Démocratiques de Casamance
MNT : Modèle Numérique de Terrain
MO : Matières Organiques
MSS : Multi-Spectral Scanner
NASA : National Aeronautics and Space Administration
NEPAD : Nouveau Partenariat pour le Développement de l'Afrique
NPA : Nouvelle Politique Agricole (Sénégal)
OCA : Office de Commercialisation Agricole
OLI : Operational Land Imager
OMC : Organisation Mondiale du Commerce
OMM : Organisation Mondiale de la Météorologie
ONCAD : Office National de Commercialisation et d'Assistance au Développement
ONG : Organisation Non Gouvernementale
ORSTOM : Institut Français de Recherche pour le Développement en Coopération (actuel, IRD)
PALOC : Patrimoines Locaux et Gouvernance

PADERCA : Projet d'Appui au Développement Rural de la Casamance

PAHA : Programme d'Aménagement Hydroagricole de Basse Casamance

PAM : Programme Alimentaire Mondial

PRGTE : Projet de Renforcement de la Gestion des Terres et des Écosystèmes des Niayes et de la Casamance dans un contexte de changements climatiques -

ONG : Organisation Non Gouvernementale

OP : Organisation Paysanne

PADEC : Programme d'Appui au Développement Économique de la Casamance

PAN/LCD : Programme d'Action National de Lutte Contre la Désertification

PA/PRAESC : Programme d'Appui au Programme de Relance des Activités

PAPA : Projet d'Appui aux Politiques Agricoles

PASA : Programme d'Ajustement Structurel du secteur Agricole

PDMAS : Programme de Développement des Marchés Agricoles

pH : Potentiel hydrogène

PIARESPC : Programme Intégré d'Appui à la Réinsertion Économique et Sociale des Populations affectées par le conflit en Casamance

PLHA : Plan Local d'Hydraulique et d'Assainissement

PNAT : Plan National d'Aménagement du Territoire

PNUD : Programme des Nations-Unies pour le Développement

PPDC : Programme Pôle de Développement de la Casamance

PIDAC : Projet Intégré de Développement Agricole en Casamance

PIR : Proche Infra-Rouge

PISA : Programme d'Investissement du Secteur Agricole

PLD : Plan local de développement

PPR-SREC : Plateforme Pluridisciplinaire Régionale de recherche, formation et innovation "Sociétés Rurales, Environnement, Climat en Afrique de l'Ouest".

PRAESC : Programme de relance des activités économiques et sociales en Casamance

PROCAS : Programme d'appui au développement socioéconomique pour la paix en Casamance (Sénégal)

PROGES : Projet de Gestion des Eaux du Sud

PSAOP : Programme des Services Agricoles et des Organisations de Producteurs

PSE : Plan Sénégal Émergent

PRODULAS : Programme de lutte anti sel

PUDC : Programme d'urgence de développement communautaire

REVA : Plan Retour Vers l'Agriculture

RGPHAE : Recensement Général de la Population, de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Élevage

SAED : Société d'Aménagement et d'Exploitation des Terres du Delta

SATEC : Société d'Assistance Technique

SDDR : Service Départemental du Développement Rural

SIG : Système d'Information Géographique

SODAGRI : Société de développement agricole et industriel du Sénégal

SODEVA : Société de Développement et de Vulgarisation Agricole

SOMIVAC : Société de Mise en Valeur Agricole de la Casamance

SNCAR : Système National de Conseil Agricole et Rural

SR/DPS : Service Régional/Direction de la Prévision et de la Statistique

SRDR : Société Régionale de Développement Rural

SRTM : Shuttle Radar Topography Mission

TER : Travail d'Étude et de Recherche

TM : Thematic Mapper

TVA : Taxe sur la Valeur Ajoutée

UASZ : Université Assane Seck de Ziguinchor

UEMOA : Union Économique et Monétaire Ouest-Africaine

USAID : United States Agency for International Development (Agence des États-Unis pour le Développement international)

USGS: United States Geological Survey

UTM: Universal Transverse Mercator

WGS 84 : World Geodetic System 1984 (Système Géodésique Mondial, révision de 1984)

RÉSUMÉ

La Basse Casamance septentrionale a été frappée par les conséquences de la sécheresse des années 1970 qui se sont traduites par la baisse de la pluviométrie, l'augmentation de la salinisation et de l'acidification, l'ensablement des terres rizicoles, donc la régression des terres rizicoles. Celles-ci ont entraîné l'abandon de nombreuses parcelles rizicoles dans le Département de Bignona en général et le Bassin Versant de Diouloulou en particulier. Cette étude vise à comprendre la dégradation des terres rizicoles et les dynamiques actuelles de l'environnement biophysique et social dans le bassin versant de Diouloulou.

La combinaison des données climatiques, des données géospatiales, et des méthodes d'analyse relatives aux sciences géographiques (Télédétection, SIG, relevés de points GPS, analyse physicochimique des échantillons de sols des rizières, mesure de salinité in situ de l'eau du marigot et des bolons de Diouloulou, enquêtes socioéconomiques auprès des ménages) a permis de dégager les grandes tendances de l'environnement biophysique et social dans le bassin versant de Diouloulou.

Les principales contraintes de mise en valeur des parcelles rizicoles dans le Bassin versant de Diouloulou sont : la baisse de la pluviométrie pendant les années 1970 – 1980 qui a accentué la salinisation, l'acidification et la faible disponibilité de la main-d'œuvre rizicole. Ainsi, l'analyse des caractéristiques chimiques des sols a permis de mettre en évidence des faciès à dominance chloruré sodique et potassique sulfatée sodique. À cet effet, les rizières exploitées, les cultures de plateau et la mangrove ont connu une tendance régressive avec des taux d'évolution annuels respectifs de -1,17 %, - 0,68 % et -1,04 %. Les rizières exploitées sont abandonnées ou substituées par les tannes et la mangrove dans certaines zones.

Face à cette situation de crise, des stratégies sont développées par les paysans, appuyés par l'État et les ONG à travers, la construction d'une piste de désenclavement, de digues et mini-barrages anti-sel, la diversification de l'agriculture avec l'arboriculture fruitière, le maraîchage, la transformation de l'huile de palme. Il faut noter que ces efforts ont eu des résultats positifs dans certains terroirs comme Kabiline. Mais aujourd'hui, force est de constater que dans la majeure partie des terroirs villageois du bassin versant de Diouloulou, les infrastructures hydroagricoles sont inefficaces du fait du manque de suivi et d'entretien par les populations.

Mots-clés : Bassin Versant – Rizières – Salinisation – Acidification – Diouloulou

ABSTRACT

Lower northern Casamance was hit by the consequences of the drought of the 1970s, which resulted in a drop in rainfall, an increase in salinization and acidification, the silting up of rice-growing land, and therefore the regression of rice-growing land. These have led to the abandonment of several rice plots in the Department of Bignona in general and the Diouloulou watershed in particular. This study aims to understand the degradation of rice-growing land and the current dynamics of the biophysical and social environment in the Diouloulou watershed.

The combination of climate data, geospatial data, and analytical methods related to geographical sciences (remote sensing, GIS, GPS point surveys, physicochemical analysis of soil samples from rice fields, in situ salinity measurement of water from the backwater and the bolons of Diouloulou, socio-economic surveys of households) made it possible to identify the major trends in the biophysical and social environment in the Diouloulou watershed.

The main constraints to the development of rice-growing plots in the Diouloulou watershed are : the decrease in rainfall during the 1970s and 1980s, which accentuated salinization, acidification and the low availability of rice labour. Thus, the analysis of the chemical characteristics of the soils revealed facies with sodium chloride and sodium sulphate potassium predominance. To this end, cultivated rice fields, plateau crops and mangroves experienced a downward trend with annual rates of change of -1.17%, -0.68% and -1.04% respectively. Exploited rice fields are abandoned or replaced by tannes and mangroves in some areas.

Faced with this crisis situation, strategies have been developed by farmers, supported by the State and NGOs through the construction of an access road, dykes and anti-salt mini-dams, the diversification of agriculture with fruit growing, market gardening, and palm oil processing. It should be noted that these efforts have had positive results in certain areas such as Kabiline. But today, it is clear that in most of the village areas of the Diouloulou watershed, the hydro-agricultural infrastructures are ineffective due to the lack of monitoring and maintenance by the populations.

Key words: Watershed – Rice fields – Salinization – Acidification – Diouloulou

Table des matières

DÉDICACE	2
REMERCIEMENT	2
SIGLES ET ACRONYMES	4
RÉSUMÉ	9
INTRODUCTION GENERALE	12
CHAPITRE 1. ÉTAT DE LA QUESTION, FONDEMENT THÉORIQUE ET CONCEPTUEL	17
Chapitre II. CADRE MÉTHODOLOGIQUE : PRESENTATION DES METHODES DE TRAITEMENT ET D'ANALYSE	43
Chapitre III. CONTEXTE GÉOMORPHOLOGIQUE ET CLIMATIQUE DU BASSIN VERSANT DE DIOULOLOU	72
CHAPITRE IV : ÉVOLUTION RÉCENTE DES RESSOURCES PÉDOLOGIQUES ET HYDRIQUES DES RIZIÈRES DU BASSIN VERSANT DE DIOULOLOU	99
CHAPITRE V : DYNAMIQUE ET RECOMPOSITION DE L'ENVIRONNEMENT BIOPHYSIQUE ET SOCIAL DU BASSIN VERSANT DE DIOULOLOU	141
Chapitre VI : POLITIQUES DE REDYNAMISATION DE LA RIZICULTURE ET STRATÉGIES DE DIVERSIFICATION DES SOURCES DE REVENUS DES PAYSANS	169
CONCLUSION GENERALE	205
Bibliographie	208
ANNEXES	236

INTRODUCTION GENERALE

Le riz est l'aliment de base de plus de la moitié de la population mondiale, et près d'un milliard de personnes dans les zones rurales des pays en développement sont impliquées dans les systèmes de production de riz et les processus post-récolte. La production mondiale de riz, effectuée à 90% en Asie, s'élève à environ 390 millions de tonnes par an, dont 6% sont commercialisées sur le marché mondial (AFD, 2005).

Il est la céréale de base des Sénégalais, qui sont habitués depuis la colonisation à consommer des brisures de riz parfumé importées d'Asie. La demande nationale est essentiellement couverte par les importations. Cependant le riz local connaît, depuis quelques années, un développement surtout dans la vallée du fleuve Sénégal et celle de l'Anambé (Fall, 2016).

La consommation moyenne annuelle par tête est estimée à 78,1 kg au niveau national. Cette valeur est supérieure à la moyenne annuelle par tête au niveau urbain égal à 76,6 kg/tête/an et inférieure à celle au niveau rural équivalant à 80,9 kg. Au niveau urbain, les villes de Rufisque avec 88,7 kg/tête/an et Ziguinchor avec 87,1 kg/tête/an ont les consommations moyennes par tête les plus élevées (Dia, 2017).

Le riz joue un rôle important dans la sécurité alimentaire, qui reste un problème au Sénégal et est, depuis plusieurs années, la céréale la plus consommée. La consommation du riz a particulièrement pris de l'ampleur et s'est généralisée au fil des années faisant de cette denrée, un aliment stratégique dont dépend la sécurité alimentaire des ménages vulnérables (Fall, 2016).

La péjoration des conditions climatiques observée au début des années 1970 dans toute la zone soudano-sahélienne a fini par compromettre la sécurité alimentaire dans le monde rural. Selon la BAD (2016), « *En général, l'agriculture est le secteur le plus exposé aux changements climatiques, en raison de sa forte dépendance à l'égard de l'environnement* ». Le Sénégal, par sa position géographique, n'échappe pas à cette donne.

En dépit de son importance dans l'économie régionale, le secteur rizicole subit de plein fouet la faiblesse et la variabilité de la pluviométrie pendant les années de sécheresse, de fortes contraintes environnementales et la volatilité des prix. Ceci a conduit à une faible productivité et compétitivité de la production du riz local. Ainsi, les efforts de recherche et de développement doivent se concentrer sur les marges de progrès du secteur aux différents maillons dans les zones de production qui offrent un minimum d'obstacles techniques (Fall, 2016).

Les variabilités climatiques se sont manifestées par une forte variabilité interannuelle de la pluviométrie et une augmentation des températures (Descroix, 2015). Ceci a accentué les phénomènes d'inondation, de salinisation, d'acidification et d'ensablement des rizières, ce qui explique la dégradation des parcelles rizicoles qui se manifeste par la baisse continue de la production de riz dans le monde rural en Basse Casamance.

Les déficits pluviométriques des années 1970 - 1980 et l'intense évaporation provoquée par des températures très élevées, ont entraîné une extension de la superficie des tannes sursalés et acidifiés à cause de l'accumulation de quantités plus importantes de sels à la surface des sols et de l'oxydation de la pyrite des sédiments. Cette extension des tannes s'est faite aux dépens des terres de culture, de la mangrove et de la végétation (Sadio, 1989).

La salinisation et l'acidification ont affecté l'ensemble des vallées de la Casamance. Ce véritable front salé a rendu difficile l'exploitation des rizières. On assiste, dès lors, à une réduction du temps de travail à la suite de l'abandon des surfaces aptes à la riziculture et finalement à une baisse de la production (Badiane, 2016).

Les sols salins et acides sont parmi les obstacles majeurs à surmonter. La salinité est entretenue par les eaux marines, la fonction anti-sel du barrage n'empêchant cependant pas les intrusions via la nappe. L'acidité, présente dans ces sols par suite de leur exondation durant une grande partie de la saison sèche, engendre dans les rizières des éléments solubles, toxiques pour les plantes. La stérilisation de ces terres a entraîné l'abandon de la culture de riz en zone salée.

La reconstitution de la fertilité de ces sols nécessite de diminuer leur degré de salinité par un lessivage approprié et de neutraliser l'acidité par des amendements organiques et/ou minéraux raisonnés (Dobos *et al.* 1994). Ces impacts participent de façon directe ou indirecte à la paupérisation et à la détérioration des conditions socio-économiques des riziculteurs de la Basse Casamance.

Ainsi, plusieurs auteurs ont essayé de comprendre et d'expliquer le phénomène de salinisation des terres et de proposer des solutions de récupération depuis des années 1970. C'est le cas de (Barry *et al.* 1988 ; Boivin et Touma, 1988 ; Zante *et al.* 1986 ; Marius et Cheval, 1983 ; Boivin et Le Brusq, 1986 ; Loyer *et al.* 1986 ; Boivin et Brunet, 1990 ; Boivin et Le Brusq, 1984 ; Durand, 1971 ; Giffard, 1971 ; Vieillefon, 1977 ; Niang, 1985 ; Sadio, 1985 ; Daffé et Sadio, 1988 ; Sadio, 1991 ; Ba, 1992 ; Sarr, 1994). Les sols salés du Sine Saloum, ont été caractérisés

par (Daffé *et al.* 1987) et ceux de la Casamance par (Pages et Debenay, 1987) ; (Fauck *et al.* 1989) ; (Sow *et al.* 1994) ; (Montoroi 1996) ...entre autres, etc.

Aujourd'hui, d'importantes surfaces rizicoles sont abandonnées, d'où la baisse de la production de riz. La dégradation des sols contribue non seulement à l'appauvrissement des écosystèmes, mais elle met en danger la qualité de vie, voire la survie de certaines populations vulnérables (Faye, 2016).

« Les besoins en riz se faisant de plus en plus sentir au niveau national, une politique de mise en valeur rationnelle de ces terres a été mise en œuvre au lendemain de l'indépendance du pays en 1960. Dans un premier temps, il s'est agi de reprendre les méthodes traditionnelles à une plus grande échelle et d'y adjoindre des techniques plus performantes, en particulier en matière de drainage, afin de provoquer un meilleur dessalement du sol » (Diouf, 2013).

Face à ces contraintes d'ordre climatique, la Casamance, région la plus agricole en ce temps, considérée comme le grenier du Sénégal, a vu sa production baisser au fil des années. Ainsi, de nombreux projets d'aménagement hydro-agricoles ont été élaborés : construction de barrages et drainage des terres protégées pour accélérer le dessalement (Badiane, 2013).

À cet effet, plusieurs projets et structures d'encadrement étatiques ont vu le jour notamment **ILACO** (International Land Development Consultants), le **PIDAC** (Projet Intégré de développement Agricole en Basse Casamance), la **SOMIVAC** (Société de Mise en Valeur Agricole en Casamance), le **DERBAC** (Projet Autonome de Développement Rural en Basse Casamance), l'**ANCAR** (Agence Nationale de Conseil Agricole et Rural), le **PADERCA** (Projet d'Appui au Développement Rural en Casamance), le **PNAR** (Programme National d'Autosuffisance en Riz) dans le cadre de la **GOANA** (Grande Offensive Agricole pour la Nourriture et l'Abondance), le **PRAESC** (Programme de Relance des Activités Économiques et Sociales en Casamance), entre autres, pour une amélioration des productions locales et la promotion du développement rural en Casamance. Aujourd'hui, le **PPDC** (Programme Pôle de Développement de la Casamance) intervient en Basse Casamance depuis 2014 dans le cadre de la mise en œuvre du **PSE** (Plan Sénégal Émergent) et le **GrDr** (Groupe de Recherche et de réalisation pour le Développement Rural).

Malgré ces diverses interventions, force est de constater que le phénomène de salinisation et d'acidification des rizières persiste toujours dans la plupart des vallées de la Basse Casamance. La composition et l'évolution de la population active disponible sont des facteurs à prendre en compte pour évaluer les chances de la riziculture en Casamance. La mise en culture et l'entretien des rizières dépendent encore de la force de travail humaine dans la plupart des villages de la

Basse Casamance même si la traction attelée et le motoculteur existent, ils ne sont pas, ou sont très peu utilisés pour la culture du riz (Bonfond *et al.* 1985).

La salinisation et l'acidification représentent encore une forte limitation pour la riziculture de vallée soit parce que la réhabilitation n'a pas intéressé toutes les vallées rizicultivables soit parce que les ouvrages de contrôle ne sont pas tous correctement entretenus et/ou gérés par les populations bénéficiaires (Manzelli *et al.* 2013).

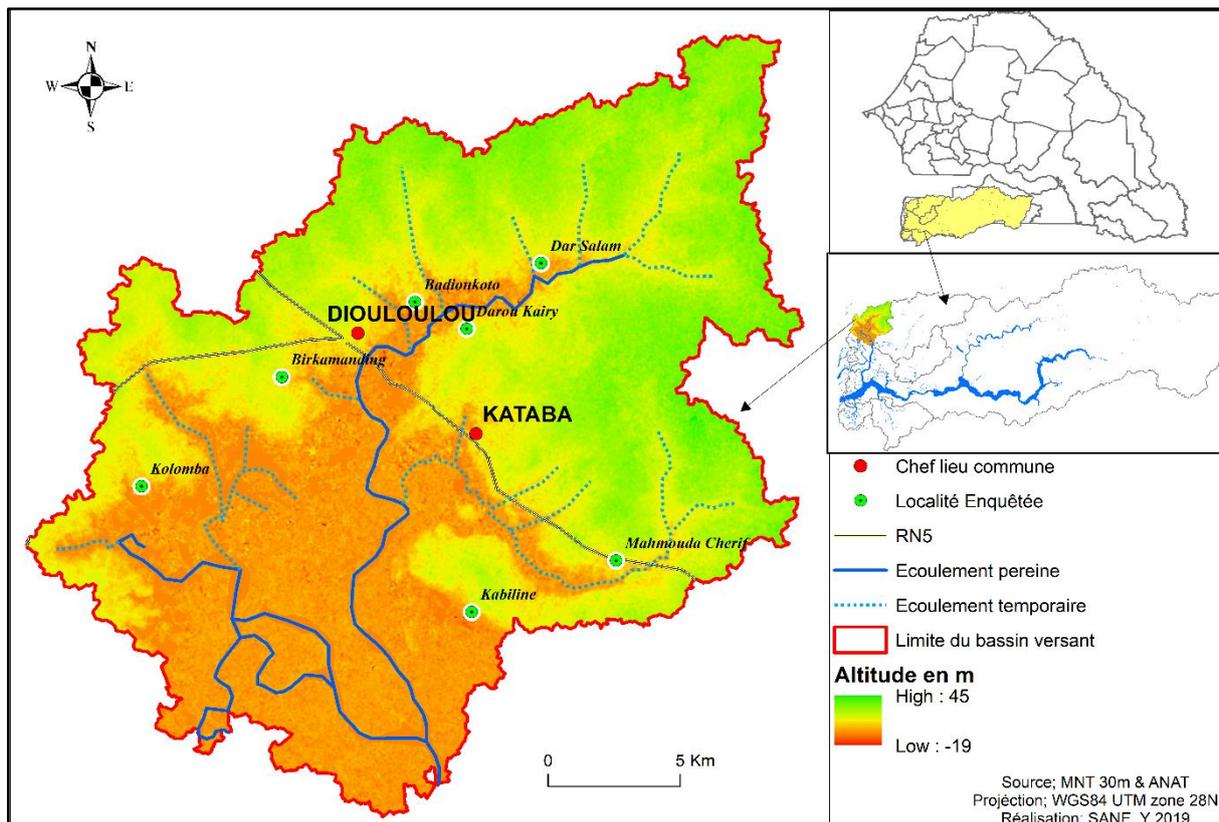
Le non-entretien des digues a accentué le processus de salinisation et d'acidification des terres qui aboutit à des abandons de parcelles rizicoles. Dans la plupart des vallées de la Basse Casamance, les parties les plus exposées aux cours d'eau sont les plus affectées au point que de nouveaux aménagements de digues proposés soit par l'État soit par des ONG soient réalisés à l'intérieur de la vallée en déplaçant le site initial des anciennes digues (Mendy, 2016).

Cette situation a poussé les autorités publiques et les bailleurs de fonds à financer, dans les dernières années, de nouveaux programmes d'entretien et de réhabilitation d'ouvrages existants pour une éventuelle augmentation des surfaces rizicoles exploitables dans un contexte de retour de la pluviométrie (Manzelli *et al.* 2013).

L'amplification du phénomène de salinisation et d'acidification apparaît de plus en plus comme une contrainte majeure de mise en valeur rizicole pour beaucoup de paysans de la région. Le caractère inquiétant de cette dégradation des rizières nécessite donc des études approfondies, afin de proposer des solutions adéquates pour sinon éradiquer du moins atténuer les impacts de ce phénomène sur l'environnement et l'activité socio-économique de Basse Casamance.

Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant de Diouloulou est situé dans la région de Ziguinchor (Sud du Sénégal) et au nord du département de Bignona. Il polarise les communes de Diouloulou, de Kataba 1, de Djinaky et de Kafountine (carte 1). Il s'étend sur une longueur de 67,44 km du nord au sud et une largeur de 42,01 km (d'ouest en est), soit une superficie de 502 km². La topographie est faible dans l'ensemble, la plus haute altitude étant de 45 m et la majorité des altitudes sont inférieures ou égales à 10 m. Il est caractérisé par un réseau de drainage dense qui soumet l'ensemble du Bassin versant à l'influence marine et accentue la salinisation. La carte 1 montre la localisation du bassin versant de Diouloulou.



Carte 1: localisation du Bassin versant de Diouloulou

CHAPITRE 1. ÉTAT DE LA QUESTION, FONDEMENT THÉORIQUE ET CONCEPTUEL

« La théorie est *au centre de tout processus de recherche* et intervient tant dans la définition du problème de recherche qu'au niveau des autres étapes. La théorie justifie, explique *le fondement de l'analyse des données collectées* et permet d'apprécier *la contribution que fait cette recherche* à l'avancement ou au recul de la connaissance » (Yao, 2003).

1.1. Contexte scientifique et institutionnel

Dans le cadre de notre travail d'étude et de recherche de master portant sur le thème : *Impacts de la dégradation des rizières par salinisation et ensablement dans la Commune de Tenghory : de Tenghory Transgambienne à Diourou (département de Bignona)* (Sane, 2016), nous avons démontré que les parcelles rizicoles de la commune de Tenghory sont affectées par la salinisation, l'ensablement et l'acidification. Ceux-ci ont entraîné des conséquences environnementales et socio-économiques qui se manifestent par la baisse de productivité des rizières, l'abandon de parcelles rizicoles, la baisse progressive des productions de riz, contribuant ainsi à la paupérisation des paysans.

Face à cette situation, des stratégies d'adaptation (développement d'activités nouvelles, génératrices de revenus telles que l'arboriculture, le commerce, l'exode rural et/ou l'émigration, etc.) et d'atténuation du phénomène sont développées par les paysans, appuyés par l'État et les ONG. Aujourd'hui, devant l'ampleur du phénomène de dégradation des rizières, les stratégies développées sont jugées inefficaces.

Pour ce Travail d'Étude et de Recherche (TER) de thèse, le champ d'investigation s'est élargi dans le Département de Bignona en mettant l'accent sur le Bassin versant de Diouloulou où plusieurs stratégies de récupération et d'adaptation sont en train d'être développées par les paysans, les ONG et l'État en espérant une redynamisation de l'activité agricole afin d'atteindre l'autosuffisance en riz et la sécurité alimentaire en Basse Casamance en général et dans le Bassin versant de Diouloulou en particulier. Malgré ces interventions, plusieurs parcelles rizicoles restent toujours abandonnées et les paysans se tournent vers d'autres sources de revenus comme l'arboriculture. Cette activité est bien développée dans le département de Bignona. Elle génère des ressources monétaires importantes qui permettent aux populations de s'approvisionner en denrées alimentaires.

Ce travail de thèse porte sur la « *dégradation des terres rizicoles par salinisation et acidification dans le bassin versant de Diouloulou en Basse Casamance septentrionale* ». Elle

étudie la dynamique de la dégradation et son influence sur le vécu des populations et sur l'environnement. Elle étudie également les stratégies de lutte et d'adaptation développées. Ceci a permis d'appréhender les espaces rizicoles les plus affectées et d'apprécier leur possibilité éventuelle de mise en valeur.

Cette étude s'inscrit dans les thématiques de l'École Doctorale Sciences, Technologies et Ingénierie (EDSTI) de l'Université Assane Séck de Ziguinchor. Au Laboratoire de Géomatique et D'environnement (LGE), ce travail d'étude et de recherche est inscrit dans les thématiques du parcours environnement et ressources naturelles, plus particulièrement dans la thématique : environnement, Agriculture et risques, impacts et stratégies d'adaptation du changement climatique, décentralisation, développement local et recomposition territoriale. « Pour une échelle géographique donnée, l'environnement regroupe l'ensemble des facteurs abiotiques (physiques, chimiques) et biotiques (biologiques, écologiques et sociaux) susceptibles d'avoir un effet direct ou indirect, immédiat ou différé (futur) sur les êtres vivants, les processus écologiques, éco paysagers et les activités humaines et la qualité de vie » (Tecno science, consultée le 28/11/2017). Il intègre des disciplines connexes notamment : la géomorphologie, la pédologie, l'agronomie, l'hydrologie, la géomatique, etc.

Ce TER est une contribution sur la problématique de la dégradation des terres salées et acides au Sénégal, notamment en Basse Casamance septentrionale. Il a pour cadre le bassin Versant de Diouloulou.

1.2. Problématique

Les populations de l'Afrique subsaharienne, dans le souci de satisfaire leurs besoins alimentaires, font recours à l'agriculture sous ses différentes formes. Ce constat général est manifeste au Sénégal, particulièrement en Casamance. Cette région, aux innombrables potentialités agricoles, est connue pour sa longue tradition rizicole dont les facteurs explicatifs restent, entre autres, l'existence de zones alluvionnaires longtemps favorables aux activités rizicoles (Sané, 2017 ; GrDr, 2017 ; Diouf, 2013).

La riziculture de mangrove longtemps pratiquée en Basse Casamance est une autre variante de système de production et qui correspond à un lieu de rencontre de l'eau douce et de l'eau salée. Cette riziculture de mangrove se rencontre donc souvent dans les grandes plaines maritimes et plus particulièrement autour de l'embouchure d'un fleuve sur des terres placées à une distance plus ou moins lointaine du bord de mer sur lesquelles coexistent alternativement les deux types

d'eau durant l'année. Du fait des dépôts continus d'alluvions, cet écosystème est complexe et très changeant. Ainsi, les terres sont cultivables lorsqu'elles sont soumises à un flux majoritaire d'eau douce à la période de culture. Par ailleurs, lorsque la pluviométrie est suffisante, la culture du riz est aussi possible dans des milieux où le flux salin prédomine. Cependant, il est obligatoire de se protéger de l'eau salée et de capturer suffisamment d'eau douce pour satisfaire les besoins hydriques de la plante cultivée (Fall, 2016).

La riziculture en Basse Casamance a connu des difficultés à partir des années 1960. Au nombre des causes directes de ces difficultés figure le déficit pluviométrique. Celui-ci a occasionné la salinisation des terres accentuée par les conditions hydrologiques et géophysiques défavorables (Sambou, 2015).

La Casamance a ainsi fortement subi les effets de la péjoration climatique durant ces cinquante dernières années et qui s'est exacerbée durant les années 1970 et 1980. La période de sécheresse 1968-1983, bien connue au Sahel, a eu des conséquences sur les zones Soudano-guinéennes les mieux arrosées, en particulier sur les écosystèmes des zones côtières. La Casamance a durement souffert de ces changements.

En dépit de son importance dans l'économie régionale, le secteur rizicole subit de plein fouet la faiblesse et la variabilité de la pluviométrie, de fortes contraintes environnementales et la volatilité des prix. Ceci conduit à une faible productivité et compétitivité de la production locale. Ainsi, les efforts de recherche et de développement doivent se concentrer sur les marges de progrès du secteur aux différents maillons dans les zones de production qui offrent un minimum d'obstacles techniques.

La production rizicole de la Casamance représente actuellement environ 32 % de la production nationale par le seul fait des exploitations familiales, dont les superficies cultivées représentent 43 %, alors que jusqu'au début des années 1970, la part de la Casamance était de 70 %. Elle est passée à 29 % au début des années 1980 à cause des grandes sécheresses des années 1970 (PAM, 2007).

« La baisse de la pluviométrie et de l'écoulement fluvial a eu pour conséquences : l'invasion des eaux marines dans tout le réseau hydrographique, la baisse généralisée du niveau des nappes, la salinisation et l'acidification des vasières occupées par la mangrove qui a disparu sur de grandes étendues. De nombreuses rizières, aussi bien salées (zone de mangrove) que douces (vallées inondées), ont été abandonnées » (Montoroi, 1996).

La marée se propage, en se déformant, d'abord dans les cours d'eau importants comme la Casamance, puis dans les multiples marigots de la zone estuarienne et remonte ainsi loin à l'intérieur des terres (Vieillefon, 1977). Cette propagation de la marée a généralement entraîné la salinisation de la plupart des parcelles rizicoles de la Basse Casamance.

La dégradation des sols des rizières en Basse Casamance est généralement due à l'avancée des eaux marines dans tout le réseau hydrographique, l'invasion des terres côtières par les eaux marines, la baisse généralisée du niveau des nappes, la salinisation et l'acidification des vasières occupées par la mangrove qui avait ainsi disparu sur de grandes superficies. Les sols de bas-fonds et les cuvettes aptes à l'agriculture ont subi la remontée de la langue salée (Montoroi, 1996 ; Marius *et al.* 1982 ; Dacosta, 1989).

« À cause de ces processus, les sols restent sursalés pendant presque toute l'année. Néanmoins, on observe pendant l'hivernage un dessalement des sols sableux des glacis de raccordement et des levées sableuses, et des sols limoneux des terrasses hautes à topographie plane grâce aux eaux de pluie qui tombent sur une roche poreuse, filtrante » (Faye, 2016).

« Les terres rizicoles des bas-fonds ont été progressivement contaminées par les eaux de surface sursalées » (Marius, 1982). Cela a constitué une contrainte pour le développement de la riziculture durant les années de sécheresse.

« La riziculture en zone salée est pratiquée sur des plaines vaseuses, récupérées sur la mangrove, et sur des sols limono-sableux de transition, proches de la mangrove et présentant un caractère salé. Environ 9 500 ha (16,594 %) de la surface emblavée dans la région sont mis en culture par an. Mais la réussite de la culture dépend fortement de la pluviométrie de l'année qui conditionne le niveau de lessivage des sels et la possibilité de réaliser ou non un repiquage » (Mbodji, 1989).

Dans les années 1960-1970, un grand espoir était né au Sénégal à propos de la Casamance que l'on jugeait capable de dégager un surplus de production de riz grâce à la récupération de vastes superficies de sols salés. Cet espoir était fondé sur une série d'études dont l'idée principale était la construction de barrages anti-sel associés à des ouvrages et des réseaux de drainage par fossés permettant de dessaler totalement les zones protégées après quelques saisons de pluies (GrDr, 2017 ; Diouf, 2013). En Basse Casamance, d'une part, et au Sénégal, d'autre part, beaucoup de recherches ont été conduites sur les interactions entre l'évolution de la société et celle des vallées rizicoles. Les publications disponibles datent principalement des années 1970, 1980,

1990 et seulement quelques-unes sont postérieures à 2000. Pélissier (1966), Michel (1973), Vieillefon (1977), Montoroi (1986, 1988, 1989, 1992, 1995, 1996), Pages (1987), Marius (1985, 1995) se sont véritablement illustrés avec leurs travaux sur la collecte et la publication de données biophysiques portant sur certains secteurs de Basse Casamance comme la vallée de Djiguinoum, de Baïla, de Guidel, de Niassy, etc.

La diminution du volume des pluies et la réduction corrélative des ruissellements durant la période sèche ont entraîné l'abandon progressif de la riziculture dans la partie Sud du pays du fait de la salinisation et de l'acidification des sols. Les populations ont assisté ainsi à une profonde modification de la physionomie du domaine fluviomaritime se traduisant par un accroissement des tannes et une baisse considérable des superficies rizicultivables (Diouf, 2013 ; Sambou, 2015 ; Badiane, 2014 ; Dacosta, 1989).

C'est ainsi que l'État sénégalais, dans le cadre de sa politique de développement agricole, avait mis en œuvre de grands projets d'aménagement notamment la construction de barrages comme ceux de Guidel en 1982, d'Affiniam en 1984, ainsi que de mini-barrages et de digues anti-sel. Malgré ces efforts, le phénomène de dégradation persiste entraînant des conséquences environnementales et socio-économiques dans le monde rural de cette région méridionale du Sénégal. L'implantation de ces ouvrages combinée aux effets de la péjoration climatique des années 1980 a accentué la dynamique de la dégradation des terres à travers l'acidification, la dégradation de la mangrove et l'accentuation de la salinisation en aval des ouvrages de manière générale.

En effet, les sols se sont dégradés sous l'effet conjugué de la sécheresse et des pratiques de gestion de l'eau et culturales inadaptées. Ce qui a eu pour conséquence l'acidification et la salinisation des rizières, d'où l'abandon progressif des parcelles affectées. « *L'évolution des propriétés bio-physico-chimiques des sols a sans nul doute des répercussions sur ses capacités à produire* » (Poussin, 1999).

Il paraît aujourd'hui important de caractériser et de suivre l'évolution des sols affectés, de façon à maîtriser les distributions salines et préserver ces milieux particulièrement sensibles d'une éventuelle dégradation. « *Pendant des décennies, la Casamance était considérée comme le grenier du Sénégal en raison des importantes quantités de riz produites* » (Pélissier, 1966). « *La riziculture est à l'origine d'un aménagement remarquable des zones inondables et constitue*

le fondement de la civilisation agraire des Diolas, une des trois communautés les plus importantes de la Casamance » (Salem, 1989).

« *Certaines cultures traditionnelles pratiquées dans la zone de mangrove telle que la riziculture, ou près des tannes, ont fortement régressé ou disparu totalement de la plupart des terrasses basses, faute de pouvoir les récupérer par les méthodes traditionnelles d'aménagement* » (Faye, 2016). Les rizières ont joué un rôle important dans la production du riz ainsi que dans les politiques de sécurité alimentaire.

La riziculture est la principale activité pratiquée en Basse Casamance par les sociétés diola et baïnouk. Elle est fondée sur un aménagement bien élaboré du sol qui protège les rizières des marées et qui facilite leur drainage. Elle est le levier sur lequel se base l'organisation sociale des Diolas dont elle conditionne la réalisation de toutes sortes d'activités agricoles (Bassene, 2016 ; Péliissier, 1988). Les activités agricoles permettaient aux populations d'assurer leur autosuffisance alimentaire en riz.

Pendant les années 1960, avant la période de sécheresse, la Casamance était considérée comme la première région productrice de riz du Sénégal (Marius, 1980). Cependant, la sécheresse des années 1970 est venue inverser la tendance en instaurant progressivement la famine et la misère dans la plupart des familles du monde rural casamançais en général, et en particulier en Basse Casamance septentrionale où se trouve le Bassin Versant de Diouloulou.

Dès lors, la région de la Casamance se trouve désormais dans une situation de mutations écologiques et socio-économiques déclenchées par les effets de la sécheresse des années 1970. Cette sécheresse (1970 -1990) s'est traduite par la variabilité des précipitations, provoquant des transformations de l'état des sols des rizières. Depuis cette période, ces sols sont graduellement dégradés par la salinisation et l'acidification (Sané, 2016).

Aujourd'hui, malgré les échecs constatés, l'État, les ONG et certains riziculteurs restent toujours convaincus de la possibilité de récupérer les terres abandonnées à cause de la salinisation et/ou l'acidification pour une satisfaction des besoins alimentaires des populations.

La crise alimentaire mondiale de 2008 a exacerbé ces défis et notamment la satisfaction des besoins alimentaires des pays. Les prix des céréales ont doublé et les pauvres deviennent de plus en plus pauvres. Face à cette situation, la promotion et le soutien au secteur agricole se justifient dans les orientations stratégiques de sécurité alimentaire et de réduction de la pauvreté.

Dans cette perspective, le riz fait partie des cultures ciblées compte tenu de son importance dans les stratégies de consommation alimentaire (Fall, 2016).

Ainsi, des programmes et des projets continuent d'être initiés pour la récupération des terres salées et acides abandonnées pour accroître la production rizicole afin d'atteindre l'autosuffisance en riz. C'est le cas du PPDC (Projet Pôle de Développement de la Casamance, de mars 2014 à juin 2019). Dans le cadre de ce projet, il était prévu de réhabiliter 30 000 ha de rizières pour une production annuelle de 260 000 tonnes de riz paddy et promouvoir l'horticulture par l'aménagement de 3 000 ha de périmètres maraîchers. En outre, il était aussi prévu la réalisation de 350 km de pistes de production pour désenclaver les zones enclavées de la région.

1.3. Justification

La salinisation et l'acidification constituent du point de vue environnemental, deux problèmes majeurs bien qu'ils ne soient pas des phénomènes nouveaux (Diouf, 2013).

Au Sénégal, la dégradation des sols par salinisation affecte plus de 1,700000 hectares de terre (LADA, 2009) Soit 17 millions de km², la superficie de la Russie, le plus grand pays de la planète. En outre, selon Sadio (1991), tous les bassins fluviaux du Sénégal sont affectés par la salinisation : les bassins du fleuve Sénégal, 400 000 ha ; du Sine Saloum, 230000 ha ; de la Casamance, 400 000 ha et du fleuve Gambie, 143 000 ha.

La salinisation des sols constitue un problème majeur dans le monde. Selon les estimations de la FAO, elle affecte au moins 400 millions d'hectares, soit 6,5% de la superficie totale des terres (Legros, 2009). Les sols salés se trouvent principalement dans les zones climatiques arides et semi-arides de l'Afrique (Marlet et Job, 2006), où environ 38 millions d'hectares de terres, soit 2% de la superficie du continent, sont affectés par le sel. Au Sénégal, les travaux menés par l'Institut national de pédologie (INP) en 2008 ont estimé la superficie des terres salées à près de 1 000 000 ha (CSE, 2010).

En 1997, la superficie des terres salées au Sénégal était estimée à 1 700 000 ha par le Bureau pédologique de la Direction de l'Agriculture. Ce chiffre représente environ 45 % de la superficie totale cultivable du pays, un taux qui démontre l'ampleur de la dynamique de la salinisation. L'extension des terres salées provoque un déséquilibre environnemental qui affecte l'activité agricole, et dont l'impact se résume en grande partie à la réduction des terres arables (CSE, 2010). La Basse Casamance est l'une des zones les plus touchées par le sel au Sénégal.

La dégradation des rizières constitue donc un phénomène réel qui a des impacts aussi bien sur la production rizicole que sur l'environnement et les activités socioéconomiques de la région. Selon Sané (2017), « *La forte variabilité climatique (pluviométrique notamment), aspect important en milieu tropical, semble être un des éléments déclencheurs des transformations environnementales passées et actuelles observées dans la région. Elle a entraîné d'autres évènements extrêmes aux contours complexes (salinité élevée des eaux et des sols, acidité des sols, ensablement, etc.), rendant inapte la riziculture dans de nombreuses parcelles de la région* ».

Le fléau que constituent la salinisation et l'acidification des rizières a été pris en compte dans plusieurs plans locaux de développement (PLD) élaborés et mis en œuvre par les collectivités locales à travers des projets et des programmes intervenant en Casamance. C'est ainsi que des efforts ont été consacrés aussi bien au niveau local que national avec la construction de digues et de barrages anti-sel et de retenue d'eau douce.

Les rizières sont des écosystèmes marqués par une homogénéité d'emblavure de riz en période d'hivernage. La région naturelle de Casamance possède un énorme potentiel édaphique dans les différentes vallées qui bien exploité pourrait largement contribuer à l'autosuffisance alimentaire du Sénégal (Pélissier, 2008). Plusieurs projets et programmes d'aménagement et de mise en valeur de ces vallées ont été mis en œuvre pour booster la production agricole en luttant contre la salinisation, l'acidité et l'ensablement des terres accentuées par le déficit pluviométrique des années 1980 qui en constituent les principales contraintes physiques et chimiques. Si un inventaire exhaustif de toutes les vallées n'a pu être fait, faute de données disponibles, il ressort néanmoins que la situation technico-agricole et socio-économique de plusieurs vallées est relativement modeste, car la quasi-totalité des revenus agricoles dans plusieurs villages de la Casamance proviennent d'activités hors des rizières, principalement de l'arboriculture, de l'exploitation forestière, le maraîchage et des revenus extérieurs. Les cultures vivrières traditionnelles ne parviennent pas à couvrir les besoins alimentaires (Sané, 2016 ; Sané, 2017 ; Mendy, 2016 ; Ba, 2019 ; GrDr, 2017).

La riziculture a connu des contraintes environnementales et socio-économiques liées en général à la salinisation, à l'acidité des bas-fonds, au manque de main-d'œuvre et dans une certaine mesure au manque de suivi des infrastructures hydro agricoles. Beaucoup d'études ont été réalisées sur cette question depuis les années 1980 (Montoroi, 1996). Cependant, avec le retour de la pluviométrie (Descroix, 2018), celles-ci méritent d'être réactualisées d'autant plus que les

populations peinent à reprendre leurs activités rizicoles normales qui prévalaient pendant les années d'avant sécheresse.

C'est pour cette raison que ce TER est mené en Basse Casamance en général et dans le Bassin du marigot de Diouloulou en particulier, afin d'apporter une modeste contribution scientifique à la recherche de stratégies efficaces et durables de récupération des espaces rizicoles salés et acides. En effet, l'état actuel des rizières en Basse Casamance nécessite des mesures de conservation et/ou de restauration. D'où l'urgence de développer des politiques et des stratégies de vulgarisation favorables à la valorisation de ces rizières pour un développement socio-économique de la région. Il se pose donc la question de la pertinence de l'extension des zones rizicoles pluviales et du dispositif à mettre en place pour accompagner les riziculteurs et les orienter à travers un appui-conseil technique.

1.4. Approche écologique et sociale

1.4.1. Comment aborder la dynamique des espaces agro écologiques ?

Il s'agit ici de comprendre les dynamiques des grands ensembles des unités morphologiques de l'occupation des agrosystèmes de la zone d'étude qui servent de base aux activités agricoles. L'analyse de la dynamique des ressources environnementales est basée sur des indicateurs de dégradation en rapport avec les sols, les eaux, la végétation et les pratiques agricoles. Il s'agit de comprendre l'évolution de l'occupation du sol et des systèmes de production.

Pour l'évolution de l'occupation du sol, une étude diachronique est réalisée sur la base des photographies aériennes (Corona, 1968), des images satellites (Landsat, 1987) et des images Google Earth, 2004 et 2020. L'analyse de l'imagerie spatiale est appuyée par des enquêtes socio-économiques pour une meilleure appréciation de la dynamique. L'analyse de l'occupation du sol a permis de comprendre l'évolution des systèmes de production et d'utilisation actuels des terres dans le temps et dans l'espace.

1.4.2. Comment aborder les mutations socio-économiques et spatiales ?

Dans ce cadre, il s'agit de comprendre les dynamiques en cours, lesquelles touchent essentiellement les sphères sociale et productive. Les interrogations sont portées sur le contexte socio-organisationnel et sur les stratégies mises en œuvre par les populations face aux contraintes de la riziculture.

Cette démarche a permis de mettre en évidence des mutations profondes et multiformes dont la prise en compte est essentielle dans une perspective de promotion d'un développement durable de la riziculture dans le Bassin versant de Diouloulou.

Ceci a permis également de s'interroger sur l'évolution sociale des populations et l'organisation de l'espace agricole. Pour ce faire, des enquêtes socio-économiques sont adressées surtout aux exploitants (ménages agricoles) et aux résidents du 3^{ème} âge pour mieux comprendre le processus de transformation du milieu rural. Ce sont eux qui connaissent le mieux leur espace.

1.4.3. Approche temporelle

L'approche temporelle s'est basée sur les grands événements et activités facilement repérables qui ont marqué l'histoire de notre zone d'étude comme le début de la crise Casamançaise en 1982, la sécheresse des années 1970 - 1980, le recensement général de la population (1976, 1988, 2002 et 2013) pour situer les informations dans le temps. Ces dates historiques ont permis de faire le recoupement avec les témoignages des populations sur les changements intervenus dans la zone.

Pour l'étude diachronique de la dynamique de l'occupation des éléments du sol, les images satellites sont exploitées (1968, 1987, 2004 et 2020). Ces photographies aériennes ont permis de comprendre l'évolution de l'utilisation du sol dans le bassin du marigot de Diouloulou.

Ces images présentent souvent des limites du point de vue de leur qualité, mais elles ont permis de déceler les grandes phases des changements intervenus dans les agrosystèmes du bassin durant la période 1968-2020, à travers des crises, des années charnières, l'introduction de semences améliorées, l'apparition ou la disparition de certaines méthodes ou pratiques culturales pour le maintien de l'équilibre des agrosystèmes, les transformations du milieu physique.

1.5. Approche géographique multi échelles

L'approche géographique consiste à avoir une vision « downscaling », c'est-à-dire du global au particulier. C'est une approche descendante (Desfontaines, 1973).

À l'échelle spatiale, et pour une bonne compréhension de certaines conditions mésologiques, plusieurs échelles d'analyse des données sont utilisées.

Des paramètres géologiques, hydrographiques, climatiques sont étudiés au niveau régional ou départemental pour situer notre zone d'étude dans le contexte écologique qui l'englobe. Ainsi, certaines données (statistiques, agricoles, météorologiques) sont souvent rattachées et produites

à une échelle globale (à l'échelle départementale ou régionale) qui se trouve être au-delà des limites du bassin du marigot de Diouloulou.

L'échelle globale du bassin du fleuve Casamance est retenue pour mieux comprendre comment le milieu naturel structure l'organisation agricole et comment l'activité a évolué dans le temps et dans l'espace. L'échelle du bassin du fleuve Casamance est retenue dans la mesure où c'est à ce niveau (échelle du bassin) que certains aspects abordés sont étudiés. Cette dernière est la référence pour l'étude de la qualité des sols rizicoles et des flux hydriques. Toutefois, différentes unités morpho-pédologiques qui conditionnent l'occupation effective de l'espace paysan seront définies à l'intérieur de cette échelle de référence.

Quelle que soit l'échelle, l'analyse des discontinuités dans le champ observé aboutit à une détermination d'unités physiologiques dans lesquelles les combinaisons entre facteurs présentent une certaine homogénéité.

Il est clair que dans les pays de vieilles civilisations agraires (comme le Sénégal), où les petites structures dominent, l'échelle de la région naturelle ou du bassin versant dépasse largement celle du terroir, le paysage reflète alors l'agrégation d'un grand nombre d'exploitations et intègre des formes multiples d'utilisation du terroir, à cette échelle l'observation du paysage révèle certains facteurs supports, d'environnement (type d'habitat, urbanisation) et de production (occupation du sol dominante, mode de mise en valeur des sols) et permet de distinguer différents terroirs (Desfontaines, 1973).

Si les échelles de la région naturelle et du bassin versant sont utiles pour l'analyse de l'activité rizicole, pour détecter des unités de paysage, c'est l'analyse à l'échelle du terroir qui apporte le plus d'informations pour déceler les stratégies paysannes, et mener les enquêtes qui permettent de mettre à jour les mutations sociospatiales et temporelles. Le terroir, par sa position intermédiaire, représente un cadre de recherche approprié pour étudier les interactions nature/société, et permettre d'approfondir les connaissances sur les modifications des pratiques culturelles et par conséquent, d'appréhender les dynamiques de mutations sociospatiales (Faye, 2016).

1.6. État de l'art

L'état de l'art est une étape importante dans la discrimination de l'objet de la recherche, ce qui contrôle le renforcement de l'argumentaire. Elle a permis de mieux cadrer la thématique de notre étude et d'asseoir son cadre théorique et conceptuel.

1.6.1. Apport des références bibliographiques sur la connaissance de la problématique de dégradation des terres rizicoles.

La dégradation des rizières n'est pas un phénomène nouveau. L'acuité du phénomène ces dernières décennies a incité certains chercheurs à s'appesantir davantage sur la question. Ainsi, des études ont été menées à l'échelle régionale et locale pour mieux cerner le phénomène de salinisation et d'acidification des rizières. À cet effet, il faut noter plusieurs travaux de recherches et d'études sont effectués en Basse Casamance par l'ORSTOM avec l'ISRA durant les années 1980.

Barry *et al.* (1988) ont rappelé les dégâts occasionnés par la sécheresse dans ce milieu : baisse généralisée du niveau des nappes superficielles des bas-fonds et des plateaux, invasion et concentration des eaux marines dans tout le réseau hydrographique du fleuve Casamance, abandon des terres rizicoles des mangroves.

Albergel *et al.* (1991) ont montré que le dessalement au cours de l'hivernage est plus marqué en bordure de plateau qu'au milieu de la vallée et un suivi physico-chimique montre un pic de salure au voisinage du lit du marigot de Djiginoum.

Il y a aussi le travail de Graffin (1964) qui démontre que ces sols ont connu une évolution, et leur formation est en étroite relation avec la topographie : présence d'une nappe à faible profondeur. Il ne s'agit pas d'une altération physico-chimique, mais d'une évolution en liaison avec un régime particulier de l'eau dont les effets se manifestent rapidement : mauvais drainage entraînant hydromorphie, évaporation d'eau des nappes salées entraînant une accumulation de sel en surface. L'influence des eaux salées a été prépondérante, au point de rendre le sol salé.

Les travaux de Rasso (2009) ont montré qu'il y a une forte salinisation des eaux souterraines dans la frange côtière avec quelques anomalies à l'intérieur des terres. Cette salinisation est due aux sulfates et chlorures de sodium et de potassium. L'origine de ces éléments est en relation avec la nature des réservoirs aquifères, l'activité anthropique et l'intrusion marine. Les effets de l'intrusion marine sont très localisés sur la bande côtière et la salinisation des eaux est surtout le résultat d'une contamination évaporitique.

Abondant dans le même sens, Diop (1990) soutient que la péjoration pluviométrique a engendré la diminution, voire l'inexistence d'apports d'eau douce à partir de l'amont pour les fleuves tels que le Saloum et la Casamance. Ainsi, il en résulte une accentuation des phénomènes de

salinisation entraînant une hausse de la mortalité de la mangrove et en même temps une contamination des nappes dans les estuaires de la Casamance et du Saloum.

Dans ce cadre, la CSE (2010) avance que le bief aval de la Casamance est sous influence marine à cause de la faiblesse des apports provenant du haut bassin. Les eaux de la Basse Casamance seraient donc caractérisées par leur forte salinité qui varie en moyenne entre 19g/l en octobre à 37g/l en juin.

Dans le même sens, Dacosta et Gomez (1998) soulignent que les pentes restent faibles, sur l'ensemble du bassin versant de la Casamance et que cette faiblesse est liée à la monotonie du relief surtout en Basse Casamance. Elles facilitent la remontée de la langue salée dans les principaux affluents. Les études effectuées par ces auteurs sur les zones humides de la Casamance en 1998 ont montré que l'évolution climatique a également eu des conséquences sur le profil longitudinal de la salinité. Pour ces auteurs, entre 1968 et 1969, la salinité diminuait de l'embouchure vers l'amont, sauf en fin de saison sèche. Mais en 1984-1985, la salinité augmentait progressivement avec la distance à l'embouchure sur la plus grande partie de l'estuaire, susceptible d'atteindre 120 ‰. Les mesures réalisées entre 1966 et 1992, issues de cette étude montrent que la Casamance est devenue une ria qui fonctionne comme un estuaire inversé à un gradient de salinité croissant du littoral vers le continent.

Dans le même sillage, Sané et *al.* (2010) confirment que le fleuve Casamance fonctionne comme une véritable ria caractérisée par de fortes concentrations de sel sur l'essentiel de son grand estuaire et de sa zone amphibie.

Pour expliciter ce phénomène, Diop (1986) rapporte que jusqu'aux années 1970, le fleuve suivait un fonctionnement « *normal* ». Les débits d'eau douce, quoique faibles, subsistaient même en début de saison sèche si bien que les marées de salinités n'affectaient qu'en partie l'ensemble du fleuve. La péjoration climatique a en effet bouleversé le fonctionnement hydrologique du fleuve Casamance. Les analyses de pluviométrie annuelle effectuées par Pagès *et al.* en 1987 aux stations de mesures implantées dans l'estuaire de la Casamance montrent une nette tendance à la diminution de l'intensité des précipitations depuis 1968 avec les épisodes de grande sécheresse. Cette diminution des apports pluviaux a entraîné une perturbation du régime hydrique *normal*. Pour ces auteurs, l'évaporation intense conditionnée par une géométrie particulière et une topographie irrégulière a amené l'estuaire à son état de sursalinisation.

Lahoud (1988) en comparant les observations de Brunet-Moret (1970) de 1968-1970 et celles de Pagès *et al.* (1987) de 1984 à 1986 découvre qu'il y a une évolution du profil longitudinal de la salinité. Autrefois concave, il est devenu convexe avec un pic de sursalure qui dépasse 100 ‰. Cela a abouti à une contamination des nappes superficielles du Continental Terminal par le biseau salé surtout dans les villages insulaires, hypothéquant leur approvisionnement en eau potable en plus des activités agricoles déjà menacées.

L'IRD (2015), poursuit en soulignant que l'intrusion de l'eau de mer a de lourdes conséquences sur les écosystèmes terrestres littoraux. En d'autres termes, la salinisation des eaux et des terres menacerait l'agriculture et l'approvisionnement en eau potable en milieu insulaire. En effet, le PADERCA (2008) explique qu'en raison de la faiblesse de la pente, les eaux du fleuve sont saisonnièrement soumises à la montée marine jusqu'à 200 km de l'embouchure. Ainsi les sols des bas-fonds et les cuvettes aptes à l'agriculture, subissent la remontée de la langue salée et deviennent de plus en plus incultes.

Mougenot *et al.* (1990), démontrent que le domaine fluviomarín de la Basse Casamance est en permanence envahie par les eaux marines. Les conséquences pour les sols et les nappes de bas-fonds sont un accroissement de la salinité et une acidification consécutive à la baisse de la nappe.

Sané (2017), estime que la dégradation des conditions climatiques, même au regard d'un léger mieux pour les précipitations depuis quelques années, confirme l'effacement du domaine sud soudanien de la Basse-Casamance et la dépendance accrue des activités agricoles à l'égard des domaines climatiques. Les répercussions de l'instabilité climatique sur cette région sont sans équivoque. Leurs traces sont encore perceptibles sur les écosystèmes et restent prégnantes sur les ressources pédologiques, hydriques et sur la dynamique des unités paysagères. La salinisation, l'acidification et l'ensablement sont les types de dégradation des sols qui étaient plus observés. À cet égard, la progression du front de salinité vers les terres intérieures et l'accroissement des superficies de tannes à efflorescences salines attestent de leur ampleur. La forte variabilité climatique a donc provoqué et accéléré, à travers la salinité et l'acidité, la transformation des paramètres physico-chimiques des eaux et des sols, réduisant ainsi les potentialités agricoles des écosystèmes des rizières. La dégradation des ressources pédologiques, climatiques et hydriques participe à l'explication de la dynamique des paysages et, partant, des systèmes agraires de Basse Casamance.

Sambou (2015) montre qu'en Basse Casamance, il y a une réduction des espaces rizicoles et une relative régénération de la végétation entre 1984 et 2010. Il a également indiqué que la dégradation de la qualité des terres se manifeste par une acidité élevée sur l'ensemble des sites étudiés et une persistance de la salinité des sols rizicoles en amont des vallées aménagées. Il poursuit son analyse en montrant que les micro-barrages bien qu'ayant eu des débuts prometteurs, n'ont pas donné dans la durée les résultats attendus. Ils peinent à résoudre le problème de la salinisation des terres dégradées et de l'intensification de la riziculture.

Marius (1985) souligne que du point de vue chimique, les deux caractères dominants des sols de mangroves du Sénégal sont l'acidité potentielle et la salinité, l'un étant lié au stock relativement important de soufre et l'autre à l'influence de la mer. Les sols de mangroves au Sénégal sont tous potentiellement acides et salés. Il estime que le caractère d'acidité potentielle est à relier principalement à la végétation à dominante de l'espèce *Rhizophora* et dont le système racinaire constitue un véritable piège à stocker les pyrites, toutes les conditions favorables à la formation de ces pyrites étant, par ailleurs, réunies : abondance de sulfates fournis par l'eau de mer et de fer fourni par le bassin versant, milieu réduit riche en matière organique et en bactéries sulfato-réductrices. Sauf dans le cas d'un aménagement mal conduit de ces sols, provoquant une oxydation brutale des sulfures et une baisse considérable du pH, l'oxydation naturelle de la pyrite dans les horizons superficiels des tannes ne provoque pas nécessairement une chute importante du pH, et la jarosite. Cependant, le caractère salé des sols est essentiellement lié à l'eau de mer qui inonde la mangrove ou qui circule dans la nappe phréatique jusqu'à la tanne. Il est principalement chloruré sodique, donc neutre et même acide dans la tanne par suite du contact avec les produits d'oxydation de la pyrite. Alors que dans tout le domaine de la mangrove, le déplacement de la nappe se fait latéralement du marigot à la mangrove et retour au marigot, dans la tanne le déplacement de la nappe est vertical. C'est aussi au caractère salé qu'il faut attribuer l'individualisation de la tanne par suite de la concentration sur place des sels et principalement de l'halite provenant de l'évaporation de l'eau de mer, arrivée là aux grandes marées. Une fois individualisé, le fonctionnement de la tanne est en grande partie indépendant de celui de la zone de mangrove d'où la présence de ces grands espaces nus.

Marius (1984) poursuit son analyse en montrant que dans les zones soumises à l'influence quasi permanente de la marée (estuaire du Saloum, bras principal de la Casamance et partie aval de ses affluents), l'acidité résultant de l'oxydation de la pyrite est, en grande partie, neutralisée et le pH des sols reste, dans l'ensemble supérieur à 4. Dans la partie amont des affluents de la Casamance, ainsi qu'en Gambie où les eaux superficielles et les nappes sont dessalées pendant

une partie de l'année, il y a un développement général de l'acidité dans les horizons superficiels des tannes.

Vieillefon (1997) fait une étude pédologique des sols des mangroves et des tannes de Basse Casamance. Pour cet auteur, Le pH après séchage des échantillons de sols, augmentait de la mangrove aux tannes, et s'abaissent également de la profondeur vers la surface. Le sol est plus acide si la végétation antérieure était une mangrove à *Rhizophora* qu'une mangrove à *Avicennia*. Il parvient également à établir une relation entre les superficies des tannes et les zones climatiques en montrant que dans les régions à climat tropical sec très contrasté, les tannes occupent de grandes superficies alors que dans les régions tropicales humides, les tannes vives ne forment qu'une mince auréole autour des prairies à halophytes.

Loyer (1989) a analysé les caractéristiques, la distribution et l'évolution des sols sous culture où il montre la salinité des sols et des eaux de la Basse vallée du fleuve Sénégal est d'origine marine, plus ou moins modifiée par rapport à la composition initiale de l'eau de mer, soit dans le sens d'une dilution sous l'effet des apports d'eau de crue du fleuve, les précipitations étant très faibles, soit dans le sens d'une concentration sous l'effet de l'évaporation. Il démontre qu'il s'agit d'une salure neutre essentiellement chlorurée, sodique et magnésienne, faiblement sulfatée. Les carbonates et bicarbonates sont pratiquement absents et les sources de calcium sont peu abondantes. Il souligne également que l'acidité résiduelle des sols est souvent forte (pH 3 à 6), ce qui n'exclut pas des phénomènes d'alcalinisation secondaire dans ces sols. Le pH neutre à l'origine en conditions de submersion marine et fluviale a été fortement influencé dans ces sols par la transformation biochimique des sulfures de la mangrove, qui sous l'effet de l'abaissement du plan d'eau sont transformés en sulfates par le processus habituel d'oxydation propre à ces milieux potentiellement acides.

Lathan (1985) a fait une cartographie des sols et leur aptitude culturale et forestière à Ouégoa en Nouvelle-Calédonie et l'état des lieux des terres bonnes et celles qui en sont moyennes. Ainsi il démontre que les possibilités de développement agricole sont limitées par une fertilité naturelle souvent très réduite : 2 % de bonnes terres et 7 % de terres de qualité moyenne représentent un potentiel agro-pédologique très restreint. La faible profondeur des sols, l'hydromorphie, la salinité, les risques de toxicité aluminique et les excès de magnésium sont les principales contraintes pédologiques ; les risques d'érosion et d'inondation sont par ailleurs deux contraintes morphoclimatiques très importantes.

Les potentialités de développement agricole apparaissent donc limitées. Elles existent cependant et sont loin d'être actuellement utilisées. Si une intensification des cultures de plaine, une amélioration pastorale des zones collinaires et un reboisement de la Chaîne pouvaient être réalisés, cela donnerait à cette région, qui apparaît souvent comme « marginale », un visage nouveau.

Poussin (1999) estime que l'analyse des systèmes de cultures (pratiques des producteurs), associée à une étude pédologique, apporte des éléments de réponse à cette question. Ce qui l'a poussé à se poser la question suivante : « l'évolution des sols (dégradation par salinisation, baisse de « fertilité » chimique) peut-elle expliquer les mauvaises performances agricoles au Sahel ? ». Il estime que l'évolution des propriétés bio-physico-chimiques des sols a sans nul doute des répercussions sur leurs capacités à produire. Ainsi, le développement de l'irrigation au Sahel a profondément modifié le fonctionnement hydrique des sols et génère de graves risques pour leur conservation. Néanmoins, l'impact de cette évolution, tant qu'elle n'a pas atteint de « seuil critique » (et bien souvent irrémédiable) pour la production agricole, n'est pas évident, car les pratiques des producteurs, dont la maîtrise technique est encore faible, expliquent l'essentiel de la variabilité des rendements. Il poursuit son analyse en affirmant que le défaut de maîtrise technique est la principale cause des contre-performances des systèmes irrigués dans la vallée du Sénégal : non-compétitivité du riz local, faible intensité culturale, endettement des producteurs, abandon des aménagements. Il est aussi souvent à l'origine de la dégradation de sols (appauvrissement en éléments minéraux par défaut de fertilisation, salinisation par défaut de drainage...).

Lacharme (2001) montre que les problèmes de salinisation des sols peuvent devenir très importants et induire de très fortes diminutions de production au champ jusqu'aux abandons en général définitifs de périmètres. Il a également identifié les zones où apparaissent des problèmes de salinité sur le riz (sur la plante et sur le sol), et les zones à risque. Il a ensuite essayé de montrer la différence entre salinité, sodisation et alcalinisation, tout en essayant de comprendre la genèse et les mécanismes de ces différents phénomènes. Les exploitants rizicoles sont déjà sensibilisés au problème de la salinisation car elle présente des manifestations évidentes : cristaux de sels, goût salé du sol, mortalité des cultures ou grains vides sur le riz. Les exploitants se posent donc le problème des méthodes de lutte contre la salinisation. Tout au long du cycle du riz, des symptômes morphologiques dus au stress causé par la salinité peuvent être observés. La combinaison et la sévérité de ces symptômes dépendent de la variété, de la sévérité du stress,

de la salinité et des conditions climatiques. Dans cette étude, l'auteur a proposé des stratégies de lutte contre la dégradation qui peuvent permettre d'éviter les mécanismes de la salinité :

- le drainage profond (le rabattement de la nappe phréatique salée par des drains) ;
- le passage d'offset après la récolte (mois de janvier – février) à travers un léger labour du sol superficiel pour créer en surface une couche de terre pulvérisée. Cela coupe les remontées capillaires en brisant les capillaires du sol ;
- l'utilisation de variétés tolérantes à la salinité.

Badiane (2016), soutient que la riziculture telle qu'elle est pratiquée en Basse Casamance poursuit le même rythme saisonnier agricole avec les mêmes outils oratoires. Ce qui est de nature à influencer négativement sur la production qui n'arrive à tenir que trois à quatre mois après les récoltes, donc ne répondant pas aux besoins alimentaires des producteurs. Cela dénote de l'inadaptation du système cultural aux aléas climatiques, au régime des précipitations, à la disponibilité de l'eau pendant l'année et à l'imbibition des sols, aux aménagements, au manque de main-d'œuvre, la persistance de la dégradation des sols par la salinisation et la dessiccation prématurée. Ce qui nécessite un changement du système cultural diola et son adaptation au nouveau contexte climatique et social. Pour pallier cette crise de la production accentuée par la crise armée, les jeunes pour l'essentiel migrent à la recherche de ressources additionnelles dépeuplant ainsi les villages. Cette migration accentue la difficulté de mise en valeur des terres rizicoles. Ainsi, la survie du système agricole de la Basse Casamance est à reconsidérer. Il poursuit, que la salinisation progressive des rizières dues au manque d'entretien des digues traditionnelles réalisées par les hommes qui, du fait de la « mandinguisation¹ » progressive du système de production, ont laissé la femme seule dans les rizières dans certaines zones du département de Bignona comme la zone appelée Nialor dans la commune de Tenghory, ainsi que Teubi et Colomba dans la commune de Niamone où les hommes ne sont pas autorisés à cultiver les rizières. Le système de gestion des ouvrages hydroagricoles concourt également à rendre les surfaces rizicoles salées. Les écoulements provenant des sous-bassins versants qui approvisionnent le cours d'eau principal et favorisent le dessalement sont retenus par les différents ouvrages hydroagricoles installés le plus souvent sur les têtes de ces sous-bassins. Ce qui rend inefficace le processus de dessalement entamé par le barrage d'Affiniam. Un autre inconvénient au dessalement des rizières est la mauvaise répartition des barrages dans le bassin

¹ Mandinguisation : adoption des pratiques mandings par les autres Ethnies.

versant. La partie amont est plus fournie en aménagements constituant un frein à l'apport d'eau nécessaire pour le dessalement.

Diouf (2013) a étudié la question des « *ouvrages hydrauliques et le modèle de gestion de l'eau dans le bassin de la Casamance* ». Dans cette thèse, il a, dans un premier temps, analysé la morphogénèse, les caractéristiques du bassin tout en décrivant les contraintes de la riziculture comme la salinisation et l'acidification, l'évolution de la pluviométrie, des températures et de l'évapotranspiration. L'analyse de ces différentes tendances a permis de comprendre les relations qui existent entre les aléas climatiques et l'état des eaux et des sols dans le bassin. Dans un deuxième temps, il a analysé les systèmes de cultures pratiqués dans les vallées aménagées en Basse, Moyenne et Haute-Casamance. Pour bien comprendre la représentation de la culture du riz dans les sociétés de la Casamance, il a présenté l'organisation dans le temps et dans l'espace, la répartition du travail entre sexes et le coût des activités rizicoles. L'analyse a permis de comprendre les dynamiques de la riziculture dans le bassin du fleuve Casamance. Ensuite, dans la troisième partie de son étude, il a fait un rappel de l'historique des politiques d'aménagement des vallées de 1960 en 2012 et a souligné que les petits barrages sont bien une solution à la lutte contre l'avancée des eaux marines malgré quelques impacts négatifs sur les parties aval des ouvrages. Cependant le principal objectif, celui de développer la riziculture de manière optimale dans les zones de vallée, est loin d'être atteint. Cet échec peut être imputable à plusieurs faits. Il estime que ces politiques ont vu la participation d'une multitude d'acteurs. Par ailleurs, la présence de plusieurs acteurs officiels (ONG, autorités déconcentrées et autorités décentralisées) aux intérêts divergents sur le même terrain n'a pas permis non plus une efficacité des interventions. Il s'est donc posé dès lors un problème de coordination et de planification auquel une approche ²GIRE pourrait apporter des solutions. Il poursuit son analyse dans la quatrième partie de son travail, sur la pertinence et l'efficacité des modèles organisationnels et techniques du développement rizicole en Casamance, en estimant que celles-ci doivent dépendre de l'intérêt que suscite l'exploitation rizicole des vallées. La mise en place d'un environnement incitatif est essentielle pour une implication totale des populations (tout sexe confondu). Or, l'orientation actuelle de la politique de l'État du Sénégal en matière rizicole n'incite pas le développement d'une riziculture compétitive basée sur un cadre institutionnel fort et des modèles techniques modernes adaptés. La rupture avec les pratiques rizicoles

² GIRE : Gestion Intégrée des Ressources en Eau

traditionnelles et l'appropriation des nouvelles techniques par les populations locales dépendent aussi de ces choix au niveau national sur la production du riz.

Albergel *et al.* (1992) ont effectué une étude expérimentale de gestion d'un barrage anti-sel dans le bassin versant de Djiguinoume, en Basse Casamance en respectant un certain nombre de règles de gestion de l'eau du barrage avant de procéder à un essai agronomique. Les résultats de l'essai agronomique ont démontré que la culture traditionnelle du riz est possible dans ces vallées à sols sulfatés acides, moyennant un aménagement sommaire et le respect de règles de gestion de l'eau simples. Il reste toutefois à vérifier, par la modélisation hydrologique, que la gestion préconisée peut se faire en année plus sèche. Après une première année de gestion rationnelle du barrage anti-sel et une première bonne récolte, les paysans de la vallée de Djiguinoum, ainsi que ceux des vallées environnantes, ont retrouvé l'espoir de cultiver leurs rizières. Si cet espoir n'est manifestement pas vain, il se doit de ne pas être déçu. L'objectif, qui consistait à montrer la faisabilité d'une réimplantation de la riziculture sur des terres dégradées, a été atteint.

Faye (2016) démontre que le Haut Saloum a connu une importante dégradation de ses sols. Cette dégradation liée en grande partie à la salinisation et à la variabilité climatique a entraîné des dynamiques au niveau des agrosystèmes. Il montre que la dynamique saline et la variabilité climatique font naître de nouveaux enjeux et risques, mais ouvrent également de nouvelles opportunités de développement pour les populations rurales du « Haut-Saloum » telles que l'exploitation et le commerce du sel. Ces activités procurent un revenu substantiel aux paysans. Ces revenus permettent aux villageois de contribuer au financement d'équipements structurants. Ces derniers participent également au remodelage de l'espace villageois et à la création de nouvelles dynamiques socio-économiques et spatiales.

Les travaux de Marius (1985) et Barry (1986) ont mis l'accent sur la riziculture aquatique salée, historiquement implantée dans la zone estuarienne du fleuve Casamance. Ce type de riziculture avait suscité de gros espoirs pendant une période où la pluviométrie était particulièrement favorable. Ces auteurs ont exprimé la forte nécessité de mettre en valeur des terres occupées par la mangrove où se pratique la riziculture salée et qui selon Pélissier (1966) ne posait pas de problèmes fonciers particuliers. Les populations ont parfaitement su maîtriser l'eau pour rendre productives des vasières difficiles à travailler pendant la période à pluviométrie satisfaisante (avant les années de sécheresse).

Guèye (2007) a mis en évidence les transformations profondes dans le système de production en général et les pratiques paysannes en particulier. Il soutient l'idée selon laquelle la riziculture inondée, toile de fond du système de production traditionnel, n'est plus le modèle dominant. Elle a connu un déclin consécutif à plusieurs facteurs tels que la péjoration climatique, les politiques agricoles inadaptées, la pauvreté, etc. Les cultures sèches ont connu une progression importante entraînant une profonde recomposition de l'espace agricole. Les terres hautes restées jusqu'ici marginales sont devenues le centre nerveux de l'activité agricole. Ce changement dans le rapport à l'espace est concomitant à des recompositions sociales qui mettent en évidence un affaiblissement de la prégnance des considérations religieuses et sociales dans le rapport avec le milieu.

La question principale de cette présente étude est de savoir comment les rizières du Bassin Versant de Diouloulou sont affectées par les phénomènes de salinisation et d'acidification au point d'engendrer des dynamiques sur l'environnement biophysique et social ? Il s'agit plus spécifiquement de savoir :

- quels sont les facteurs qui ont favorisé la salinisation et l'acidification des terres rizicoles du Bassin versant de Diouloulou ?
- comment se caractérisent les impacts de la salinisation et de l'acidification des terres rizicoles sur le milieu physique et les activités socio-économiques dans le bassin versant de Diouloulou ?
- quelles sont les stratégies mises en place par les différents acteurs pour s'adapter et lutter contre la salinisation et l'acidification des sols dans le contexte de redynamisation de la riziculture ?

1.7. Objectifs

L'Objectif général vise à comprendre la dégradation des terres rizicoles par salinisation et acidification et les dynamiques actuelles de l'environnement biophysique et social dans le bassin versant de Diouloulou.

Les objectifs spécifiques :

- identifier les facteurs à l'origine de la dégradation des rizières à travers les caractéristiques pédologiques et hydrologiques des rizières du bassin versant de Diouloulou ;
- caractériser les dynamiques et recompositions spatiales actuelles engendrées par la salinisation et l'acidification des sols des rizières du bassin versant de Diouloulou ;

- analyser les stratégies de lutte et d'adaptation face à la vulnérabilité des rizières dans un contexte de redynamisation de la riziculture.

1.8. Hypothèses

L'hypothèse générale est : la dégradation des rizières par salinisation et acidification a entraîné les dynamiques actuelles de l'environnement biophysique et social du bassin versant de Diouloulou

Les hypothèses spécifiques

- la salinité et l'acidité des sols des rizières et des cours d'eau sont favorisés par une combinaison de facteurs naturels et anthropiques compromettant la mise en valeur des rizières du Bassin versant de Diouloulou ;
- la salinisation et l'acidification des terres rizicoles ont entraîné des mutations environnementales et socio-économiques dans le Bassin versant de Diouloulou ;
- les échecs des politiques rizicoles ont favorisé la diversification des sources de revenus par les paysans dans le Bassin versant de Diouloulou.

1.9. Le fondement conceptuel

La définition conceptuelle. Les concepts sont les mots clés qui structurent l'intitulé du sujet et les hypothèses de recherche. Ainsi leur clarification paraît importante dans un travail d'étude et de recherche. Une définition conceptuelle est celle qui a recours à d'autres concepts pour clarifier ce qui doit être défini. Elle permet de mieux comprendre et cerner le thème du TER.

Le bassin versant. Le bassin versant, appelé zone de drainage ou bassin hydrographique, constitue la source des écoulements de pluie ou des neiges fondues qui terminent leur course dans un fleuve, un lac, un barrage, un estuaire, une terre humide, une mer ou un océan (FAO, 2009). Il est considéré comme la surface d'alimentation d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau défini comme l'aire de collecte des eaux et considéré à partir d'un exutoire. Le bassin versant est limité par le contour à l'intérieur duquel toutes les eaux s'écoulent en surface et en souterrain vers cet exutoire (Gueguen, 2013). En somme, le bassin versant est cette surface drainée par une rivière ou un cours d'eau en amont d'un point, l'exutoire.

Le sol. Traditionnellement, est nommé sol, la mince couche de terre dans laquelle les plantes fixent leurs racines et puisent une partie de leur nourriture. Le sol n'est pas un milieu stable. Il naît, il évolue, il atteint un état d'équilibre, ou bien il se dégrade. « C'est donc un milieu

dynamique », vivant et fragile, qui se met en place à l'échelle géologique. Il est aussi très complexe et très hétérogène. En fait, le sol comprend trois composantes : solide, liquide et gazeuse. Les minéraux et la matière organique forment la partie solide (fraction minérale). Exception faite des sols organiques, les minéraux prédominent toujours. L'eau et l'air occupent les espaces laissés entre les particules solides de sol. Selon la nature du sol, la proportion de chacun d'eux s'en trouve affectée. Par exemple, si la quantité d'eau augmente, celle de l'air diminue, et vice versa (Ruelan, 2010).

Un sol évolué se subdivise en trois horizons désignés par les lettres A, B, et C :

- l'horizon A est un horizon de surface. Il contient des matières organiques, mais il est souvent appauvri en colloïdes (argile), en fer, et en chaux par lessivage. Les sols cultivés n'ont souvent pas d'horizon A différencié (exemple : A₀₀, A₀, A₁, A₂) ;
- l'horizon B diffère de l'horizon A par sa structure généralement plus compacte et par l'absence de matières organiques. Il est souvent riche en colloïdes (argile) et en fer, mais il l'est moins en humus ;
- l'horizon C constitue, la roche-mère ou matériau originel peu altéré, le plus souvent de type agglomérat (Tessier, 2005).

Par ailleurs, le sol de surface, mieux connu du praticien paysagiste et du producteur agricole sous le nom de « *topsoil* », correspond à l'horizon A ; le sous-sol correspond à l'horizon B. En sol cultivé, il est donné au sol de surface le nom de terre arable, ou couche Ap, ou Horizon Ap. Ce sol correspond à la terre remuée par les instruments aratoires (de 10 à 25 cm) et modifiée par la décomposition de la matière organique (Tessier, 2005, Ruelan, 2010).

La dégradation. Le terme dégradation est défini dans le *Dictionnaire de la géographie* par Pierre George et Fernand Verger (2009, 10^e édition) comme « une évolution d'un élément d'un milieu, dans le sens d'une détérioration ».

Pour Brabant (2008), la dégradation des terres « *est un processus qui réduit ou détruit la capacité des terres pour la production agricole, végétale et animale, et pour la production forestière. Elle résulte des activités humaines ou elle est un phénomène naturel aggravé par l'effet des activités humaines.* Cette dégradation peut avoir les conséquences suivantes :

- une détérioration plus ou moins importante de l'une ou de plusieurs principales composantes du sol ;
- la disparition du sol ;
- la transformation du sol pour une utilisation autre qu'agricole ;

- la pollution du sol qui rend les zones concernées inexploitable ou encore exploitable, mais avec des contraintes majeures pour une utilisation agricole.

La dégradation affecte d'abord le sol, principal composant de la terre. Quand la dégradation du sol atteint un certain degré de sévérité, les autres composants de la terre sont aussi progressivement affectés : la nature et la densité de la végétation spontanée, la dynamique de l'eau sur le sol et dans le sol, les réserves en éléments nutritifs, la faune du sol, le rendement des cultures, le mode d'exploitation et le type d'utilisation des terres. Ajoutons à cette liste la réflectance de la surface du sol, paramètre utilisé pour l'interprétation des images satellitaires afin d'identifier et de suivre l'évolution de la dégradation des terres sur la planète. La réflectance du sol est en effet rapidement modifiée quand le sol est érodé ou dégradé. Ainsi l'érosion, mais aussi des types de dégradation physiques (comme l'encroûtement, la compaction, l'aridification) ou de dégradation chimique (salinisation), sont repérés sur les images, alors que leur repérage *de visu* sur le terrain n'est pas forcément évident.

La salinisation. D'après *Pierre George et Fernand Verger (2006)*, un sol salé est un sol contenant des sels solubles généralement le sodium et constituant de ce fait un milieu défavorable aux cycles végétatifs autres que ceux qui supportent le sel : espèces halophytes.

La *Communauté européenne (2009)* considère la salinisation comme l'accumulation de sels hydrosolubles dans le sol. Ces sels sont le potassium (K^+), le magnésium (Mg^{2+}), le calcium (Ca^{2+}), le chlorure (Cl^-), le sulfate (SO_4^{2-}), le carbonate (CO_3^{2-}), le bicarbonate (HCO_3^-) et le sodium (Na^+). L'accumulation de sodium est aussi appelée sodisation. Les sels se dissolvent et se déplacent dans l'eau. Quand l'eau s'évapore, les sels restent.

Tout d'abord, la salinisation implique une accumulation de sels par des processus naturels du fait d'une forte teneur en sel du matériau parental ou des nappes souterraines. En second lieu, la salinisation est provoquée par des interventions humaines, telles que des pratiques d'irrigation inappropriées, par exemple avec de l'eau d'irrigation riche en sels et/ou par un drainage insuffisant.

Selon la *FAO (2006)* lors de sa conférence sur les stratégies de prévention et réhabilitation, la salinisation est définie comme un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles qui aboutit à la formation d'un sol salin.

La salinité. La salinité désigne la teneur en sels dissous de l'eau de mer, exprimée en gramme par litre (g/l). La valeur moyenne pour les océans est de 35 g/l. Les principaux sels de l'eau de

mer sont les chlorures de sodium ou sel marin, le chlorure de magnésium, les sulfates (de calcium notamment), du carbonate de calcium, des phosphates, etc.

Les mers fermées des régions sèches ont des salinités très élevées, avec des proportions différentes entre les sels (concentration supérieure en carbonates et en magnésium par exemple). Une eau saumure est une eau à forte teneur en sels (eau de certaines lagunes, de la mer morte) ou la vie animale n'est plus possible ; le gel de l'eau crée des poches de saumure dans les glaces de mer. Inversement, une eau saumâtre est une eau à faible teneur en sel ; elle peut résulter de la concentration d'eau apparemment douce par évaporation, soit du mélange d'eau de mer et d'eau douce (dans les estuaires), soit de l'enrichissement d'eaux souterraines par lessivage d'un gisement de sel. Dans ce dernier cas, même avec de faibles teneurs en sel, on parle plutôt d'eau salée. La teneur saline n'exprime que l'aspect qualitatif déterminé par la présence du sel, le mot salinité précisant l'aspect quantitatif.

L'acidification. Castillon et Bouthier, (2011) l'acidification des sols est un phénomène naturel, mais son ampleur varie beaucoup selon la nature du sol, de la végétation et des conditions climatiques. Les pratiques agricoles, à travers le choix des cultures, les exportations de résidus et les formes d'engrais apportées, y contribuent plus ou moins.

L'acidité d'un sol est liée à la concentration de protons (H^+) dans la solution du sol. Plus celle-ci est élevée, plus le pH est faible. Un sol dont le pH est inférieur à 7 est considéré comme acide. L'acidification des sols a des causes multiples. C'est avant tout un phénomène naturel qui est particulièrement marqué au printemps et en été. Durant cette période, l'intense activité biologique et la nitrification de l'azote ammoniacal provenant soit des engrais azotés, soit de la minéralisation de l'humus sont les principales causes de la tendance à la baisse du pH. À l'inverse, la minéralisation des résidus de culture et les excès d'eau peuvent expliquer sa remontée en automne et hiver. L'acidification est définie comme une perte de la capacité des milieux (eau, sol) à neutraliser les entrées d'acides aboutissant à une diminution du pH du milieu. Les dépôts acides issus des émissions industrielles ont favorisé ce processus (Baker et al., 1991).

La rizière. La rizière est définie dans *le nouveau Robert de la langue française (2007)* par Alain Rey et Josette Rey-Debove, comme étant « un terrain où l'on cultive du riz ; plantation de riz. Rizière sèche, inondée ». En Climat de moussons, la culture en rizière est liée à la saison humide. La rizière, le plus souvent, ne reçoit que de l'eau de pluie. La suite des travaux comprend le labour, hersage, semi en pépinière, repiquage, récolte et battage. Généralement situées dans la plaine alluviale, les rizières peuvent aussi s'étaler le long des pentes, grâce à

l'aménagement de celles-ci en terrasses (Insulinde, Philippines, Madagascar). Pour donner deux récoltes au cours d'une même année, la rizière doit être artificiellement irriguée grâce à des réservoirs et des canaux, ou de petits appareils élèvent l'eau des cours d'eau, mais souvent, une culture de saison sèche succède à la récolte de riz paddy. Les rizières composent un paysage classique où les parcelles aux formes particulières sont encadrées par les diguettes de terre ; mais il n'est pas rare que les arbres ou les arbustes disposés à l'intérieur ou sur la périphérie des parcelles constituent un véritable bocage.

Dans le dictionnaire *les mots de la géographie* (1992, 3^{ème} édition), Roger Brunet (1992) définit la rizière comme « un champ de riz (*oryza* en Latin et grec, à partir du mot oriental), aplani, maintenu en eau par des endiguements. Les aménagistes de cet espace peuvent se contenter de retenir de l'eau de pluie, dans les régions humides (rizières irriguées). « Tous les champs de riz ne sont pas des rizières, mais toutes les rizières sont inondées ». La rizière a beaucoup retenu l'attention des géographes comme champs inondés : la riziculture pluviale n'a pas mérité plus d'intérêt que toutes les autres cultures céréalières, si ce n'est quand elle est associée aux fronts pionniers ou à l'agriculture sur brûlis. Cette fascination découle de ce que la riziculture inondée permet les plus fortes densités de peuplement rural et qu'elle constitue un système de production qui fonctionne sous certains climats notamment celui de l'Asie des moussons.

« L'aménagement des rizières suppose un travail considérable pour assurer la maîtrise de l'eau et étendre les surfaces planes jusqu'à la construction de terrasses, parfois très spectaculaires, comme aux Philippines. Il suppose également une forte discipline sociale pour les travaux courants et plus encore pour l'aménagement hydraulique, en ce que Pierre Gourou a baptisé "*techniques d'encadrement*" et où il voit la forme la plus achevée des civilisations du monde tropical. Il s'y ajoute un certain exotisme que la rizière partage avec la mangrove ou la jungle et le fait que les rizières indochinoises ont été, justement parce qu'elles se trouvaient au cœur de la région densément peuplée, le cadre de batailles acharnées, de l'époque de Francis Grenier à la fin de la guerre vietnamienne ».

Chapitre II. CADRE MÉTHODOLOGIQUE : PRESENTATION DES METHODES DE TRAITEMENT ET D'ANALYSE

La méthodologie adoptée s'est basée sur l'exploitation bibliographique : articles scientifiques, mémoires, thèses, ouvrages généraux, rapports d'études, revues scientifiques, journaux, etc. *en sus* des mesures et observations *in situ* de la dynamique socio environnementale actuelle.

Ensuite des enquêtes de perception des paysans sur la dynamique de la dégradation des rizières et la variabilité climatique l'économie des activités extra rizicoles des paysans sont effectuées. Les méthodes diagnostiques utilisées dans cette recherche sont essentiellement statistiques. Elles ont permis d'analyser les variabilités pluviométriques, hydrologiques et salines. L'étude de la dégradation et des mutations socio spatiales du Bassin versant de Diouloulou nécessite des données climatologiques, hydrométriques et cartographiques complétées par des données quantitatives et qualitatives de terrain. Afin de disposer d'une séquence temporelle suffisante pour étudier l'évolution à long terme et les variations climatiques récentes, une période d'étude de 66 ans, de 1951 à 2018 a été retenue.

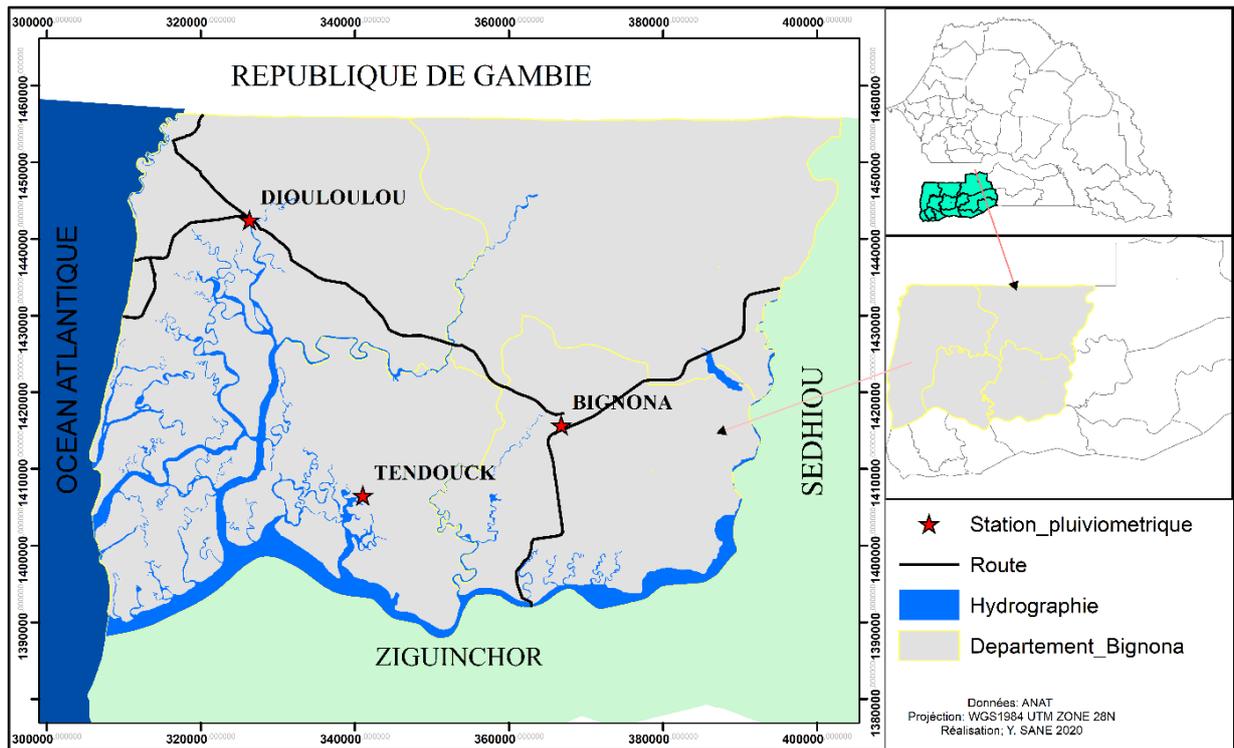
Le choix de la période 1951-2018 est motivé par deux raisons essentielles : la nécessité d'utiliser une période plus ou moins longue incluant les normales (1961-1990) et (1981-2010) et la possibilité qu'elle offre de comparer les situations prévalant avant et depuis la sécheresse des années 1970-1990.

L'analyse des dynamiques en cours de l'occupation du sol s'est basée sur les images aériennes et satellitaires des années 1968, 1987, 2006/2004 et 2019/2020.

La méthodologie adoptée a permis de mieux cerner le thème d'étude et d'atteindre les objectifs poursuivis.

2.1. Méthodes et Données pour l'analyse de la situation climatique du BV Diouloulou

L'analyse de la situation climatique du BV de Diouloulou s'est basée sur des séries annuelles des précipitations de 1951 à 2018. Les stations concernées par cette analyse de la pluviométrie sont les stations de Bignona, Diouloulou et Tendouck (Carte 2). Ces postes disposent de données de longues séries pouvant faciliter l'analyse. La carte 2 illustre la position des stations pluviométriques du département de Bignona.



Carte 2: localisation des stations pluviométriques

Tableau 1: liste des postes pluviométriques utilisés et période des séries

Postes	Période
Bignona	1951-2018
Diouloulou	1951-2018
Tendouck	1951-2018

Source : ANACIM (2018)

Dans la dynamique d'analyse de la variabilité hydro-climatique, les données de températures (maximales, minimales et moyennes) de la station synoptique de Ziguinchor sont utilisées dans ce travail pour caractériser leur tendance évolutive dans la mesure où les données ne sont pas disponibles au niveau de ces trois stations.

2.1.1. Les approches méthodologiques

2.1.1.1. Utilisation des indices appliqués à la pluviométrie

- *Indice standardisé de précipitation (SPI)*. Dans le traitement des longues séries de données pluviométriques, la question de la fiabilité des données s'impose tout le temps. Il arrive des moments où la donnée peut être mal collectée et ainsi biaiser les résultats qui résultent des différents traitements. La détection des ruptures ne se fait pas aussi au hasard, le travail se fait

en amont et toute étude portant sur la variabilité pluviométrique nécessite le recours à des méthodes d'analyse statistique éprouvées. L'évolution interannuelle est déterminée à partir des écarts normalisés qui sont des moyennes réduites définies par Lamb (1992). Ces anomalies facilitent la compréhension de la variabilité climatique en mettant en exergue les années humides et sèches. L'indice définit la sévérité de la sécheresse en différentes classes (tableau 2). Les valeurs annuelles négatives indiquent une sécheresse par rapport à la période de référence choisie et les positives une situation humide (Faye *et al.* 2015). Les données SPI ont été calculées à partir des données de postes pluviométriques de Bignona, de Diouloulou et de Tendouck sur une période de 65 ans. Le SPI est exprimé mathématiquement comme suit (Mckee *et al.* 1993) :

$$SPI = \frac{(P_i - P_m)}{S}$$

Avec P_i : la pluie du mois ou de l'année i ; P_m : la pluie moyenne de la série sur l'échelle temporelle considérée ; S : l'écart-type de la série sur l'échelle temporelle considérée (Mballo *et al.*, 2021, Faye, 2017).

Tableau 2: signification des valeurs de SPI (Faye, 2017)

Valeurs SPI	Séquences de sécheresses	Valeurs SPI	Séquences humides
$SPI < -2,00$	Extrêmement sec	$2,00 < SPI$	Extrêmement humide
$-2,00 < SPI < -1,50$	Sévèrement sec	$1,50 < SPI < 2,00$	Sévèrement humide
$-1,50 < SPI < -1,00$	Modérément sec	$1,00 < SPI < 1,50$	Modérément humide
$-1,00 < SPI < 0,00$	Légèrement sec	$0,00 < SPI < 1,00$	Légèrement humide

- **Indice Logarithme décimal de déviations pluviométriques (IDP)**. Le pourcentage de pluies représente peut-être la plus simple méthode employée pour exprimer le déficit pluviométrique d'une période par le rapport entre les pluies effectives et la moyenne pluriannuelle pour cette période (Stânga, 2009). Comme l'expression graphique du rapport n'est pas suffisamment suggestive pour nuancer les déviations maximales, l'indice logarithme décimal des déviations pluviométriques se calcule de la manière suivante :

$$IDP = \log \left(\frac{P_i}{P_m} \right)$$

Avec P_i : la pluie du mois ou de l'année i ; P_m : la pluie moyenne de la série sur l'échelle temporelle considérée.

L'IDP met beaucoup mieux en évidence l'excédent ou le déficit pluviométrique avec une bonne tendance à mettre en évidence les extrêmes positifs ou négatifs. Une classification de la sécheresse suivant les valeurs de l'IDP est effectuée (Tableau 3).

Tableau 3 : classification des séquences de sécheresse selon l'IDP

Valeurs de l'IDP	Séquences de sécheresses	Valeurs de l'IDP	Séquences humides
0,00 < IDP < -0,99	Modérément sèche	0,00 < IDP < 0,99	Modérément humide
-1,00 < IDP < -1,99	Fortement sèche	1,00 < IDP < 1,99	Fortement humide
IDP < -2,00	Extrêmement sèche	2,00 < IDP	Extrêmement humide

- **Indice des anomalies pluviométriques (IAP).** L'indice des anomalies pluviométriques, proposé en 1965 (Van Roy. 1965), mentionné par Lucas *et al.* (2003), peut être utilisé dans de nombreuses zones climatiques. Conformément à la méthodologie, les données climatiques doivent être ordonnées pour mettre en évidence les anomalies positives et négatives. L'équation se calcule de la façon suivante :

$$IAP = \frac{(Pi - Pm)}{(Em - Pm)}$$

Avec Pi : la pluie de l'année *i* ; Pm : la pluie moyenne de la série sur l'échelle temporelle considérée et Em : la moyenne des dix valeurs extrêmes (négatives ou positives).

Pour les anomalies positives, le préfixe est positif et Em est la moyenne des 10 valeurs les plus élevées sur la série des précipitations, tandis que pour les anomalies négatives, le préfixe est négatif et Em est la moyenne des 10 mesures les plus basses de la série. L'IAP fournit une caractérisation pluviométrique facile de tout intervalle et ses valeurs sont évaluées selon un système de classification donnée dans le tableau 4.

Tableau 4 :classification des séquences de sécheresse selon IAP

Séquences de sécheresses	Valeurs de l'IAP	Séquence humide	Valeurs de l'IAP
En limites normales	$00 < IAP < -1,0$	En limites normales	$00 < IAP < 1,0$
Peu sèche	$-1,0 < IAP < -2,0$	Peu pluvieuse	$1,0 < IAP < 2,0$
Modérément sèche	$-2,0 < IAP < -3,0$	Modérément pluvieuse	$2,0 < IAP < 3,0$
Fortement sèche	$- 3,0 < IAP < - 4,0$	Très pluvieuse	$3,0 < IAP < 4,0$
Excessivement sèche	$IAP < - 4,0$	Excessivement pluvieuse	$IAP > 4,0$

2.1.1.2. Utilisation des tests de tendances pluviométriques

- *Les tests non paramétriques de Mann Kendall et de Pettitt.* Ces tests permettent d'identifier objectivement l'occurrence d'éventuelles ruptures, ainsi que les tendances de part et d'autre de celles-ci et leur significativité ; leur utilisation garantit la robustesse de l'analyse et des résultats présentés (Rome *et al.* 2015).

Tous les tests statistiques et graphiques ont été réalisés avec le logiciel Microsoft Excel. Les procédures statistiques avec XLStat. Les paramètres retenus pour les calculs étaient les suivants : hypothèse alternatives $\neq 0$; niveau de significativité de 5% ; nombre de simulations de 10000, avec une durée maximale de 180 secondes (Nascimento *et al* 2015).

. *Test de Mann Kendall.* Le test de Mann (1945), de Kendall (1975) permet de détecter d'éventuels changements graduels dans les séries de variables extrêmes (Faye, 2019). La robustesse du test a été validée par plusieurs essais de comparaison effectués par Yue *et al.* (2004). Sur une série chronologique avec le test de Mann Kendall, on peut examiner l'existence d'une tendance linéaire (à la hausse ou à la baisse). L'hypothèse H_0 testée est qu'il n'y a pas de tendance. S'il n'y a pas seuil de significativité choisi, l'hypothèse H_0 est rejetée et on conclut à l'existence d'une tendance significative, au seuil choisi.

• **Test de Pettitt.** Le test de Pettitt, (1979) est un test non paramétrique de détection d'une rupture unique à date inconnue (Faye. 2019). Une rupture est définie comme un changement dans la loi de probabilité des variables aléatoires dont les réalisations successives définissent les séries chronologiques étudiées (Servet *et al.* 1998 repris par Kouassi *et al.* 2017). Le test de Pettitt permet de souligner un point de changement en vérifiant si les moyennes de deux périodes différentes sont différentes (Sané *et al.* 2020). En outre, le test a permis de conforter la fiabilité des choix des années de ruptures ou de cassures des séries de données. C'est un test réputé et robuste, appliqué par Lobes *et al.* (1994) repris par Vissin *et al.* (2003), Nascimento *et al.* (2015), Faye, (2019), Sané *et al.* (2020).

L'humidité du sol réagit relativement vite aux anomalies de précipitations, tandis que les eaux souterraines, le débit des cours d'eau et les volumes stockés dans les réservoirs sont sensibles aux anomalies de précipitations à plus long terme (OMM, 2012 cité par Sané, 2017).

Pour l'analyse de la dynamique des régimes pluviométriques saisonniers, une comparaison des normales des périodes 1961-1990 et 1971-2000 avec celles de la période 1951-1980 a été effectuée. En effet, la période 1951-1980 constitue la référence de l'Organisation Météorologique Mondiale (O.M.M.) à partir de laquelle sont analysés les régimes climatiques.

2.1.2 Données agricoles

Étant donné que des données de statistiques agricoles ne sont pas disponibles à l'échelle locale, c'est-à-dire dans les communes, l'analyse s'est effectuée sur les données disponibles à l'échelle du département de Bignona. L'analyse a porté sur les céréales sèches notamment le riz et le mil. Il s'agit des données annuelles sur les productions et les superficies emblavées de 1960 à 2019. Ces données ont permis d'avoir un aperçu de la tendance globale de l'évolution de la production rizicole dans le département de Bignona où se trouve le bassin versant de Diouloulou.

Les statistiques sont collectées à la Direction de l'analyse et de la Prévision des Statistiques Agricoles (DAPSA). Les séries statistiques sont complétées par celles collectées à la Direction régionale du Développement Rural (DRDR) de Ziguinchor et au Service Départemental du Développement Rural (SDDR) de Bignona. L'exploitation de ces données a permis de comprendre la dynamique des productions agricoles dans un contexte de redynamisation de l'agriculture plus particulièrement de la riziculture par les autorités publiques, privées et paysannes.

2.1.3 Les données de terrain

Pour une meilleure appréciation du phénomène de salinité et d'acidité des sols, un prélèvement d'échantillons de sols est effectué.

2.1.3.1 Prélèvement d'échantillonnage des sols

L'échantillonnage est réalisé suivant des unités morphologiques des vallées du bassin versant suivant des transects. Les sédiments sont prélevés dans les vallées de 20 villages du Bassin versant. Pour chaque village, trois échantillons composites sont prélevés le long d'un transect, allant de l'amont à l'aval de la vallée (haut versant, mi- versant, et bas versant) à l'aide d'une tarière (planche 1).



Planche 1: prélèvement des échantillons de sols à l'aide d'une tarière

Pour qu'un échantillon représente bien la zone portant l'intérêt, il doit être composé de plusieurs sous-échantillons. Ceux-ci doivent couvrir la profondeur du sol où se feraient normalement des travaux du sol. Pour la plupart des éléments nutritifs et des autres paramètres réglementés, cette profondeur est d'environ 15 centimètres. Cette profondeur est appropriée même lorsqu'il n'y a aucun travail du sol puisqu'elle représente la partie du sol où se trouvent la plupart des racines et où se produit surtout l'absorption des éléments nutritifs (ISSP³, 2014).

³ Institut Scientifique de Service Public

Considérant la faible profondeur de la zone d'exploration des racines du riz, les prélèvements sont effectués dans l'horizon supérieur, entre 0 et 25 cm, susceptible de refléter toutes les conditions physiques et chimiques des sédiments contraignants au développement de la riziculture. Ce niveau de prélèvement correspond également environ au volume racinaire du riz et au maximum de pénétration du Kadiadou (Sy, 2009). Le choix de cet horizon pédologique tient compte de la profondeur de la zone d'exploration des racines du riz et de leur alimentation en chaleur, en eau et en éléments nutritifs (Reyniers *et al.* 1979, Touhtouh *et al.* 2014, Koné *et al.* 2008).

Dans chacun des 20 villages, l'échantillonnage est effectué selon trois niveaux de la topo-séquence de la vallée, il s'agit de l'amont vers l'aval (un prélèvement en amont, au centre et en aval de la vallée). Pour chacune des vallées et chaque niveau de la topo-séquence, trois unités de surface (environ 100 m²) ont fait l'objet de prélèvement de carottes de sols. Dans chacune des neuf (9) unités de surface rizicole localisée dans chaque vallée, 5 carottes de sols sont prélevées suivant les diagonales ; soit une carotte dans chacun des 4 côtés de l'unité de prélèvement et le cinquième au point d'intersection de ses diagonales.

Un total de 900 carottes de sols est prélevé, à raison de 15 carottes par niveau de topo-séquence, soit 45 carottes dans chacune des vingt (20) vallées des villages du bassin versant. Les carottes de sol ont été collectées dans l'horizon [0 - 25] cm à l'aide d'une tarière pédologique (planche 1).

2. 1.3.2. Composition de l'échantillon

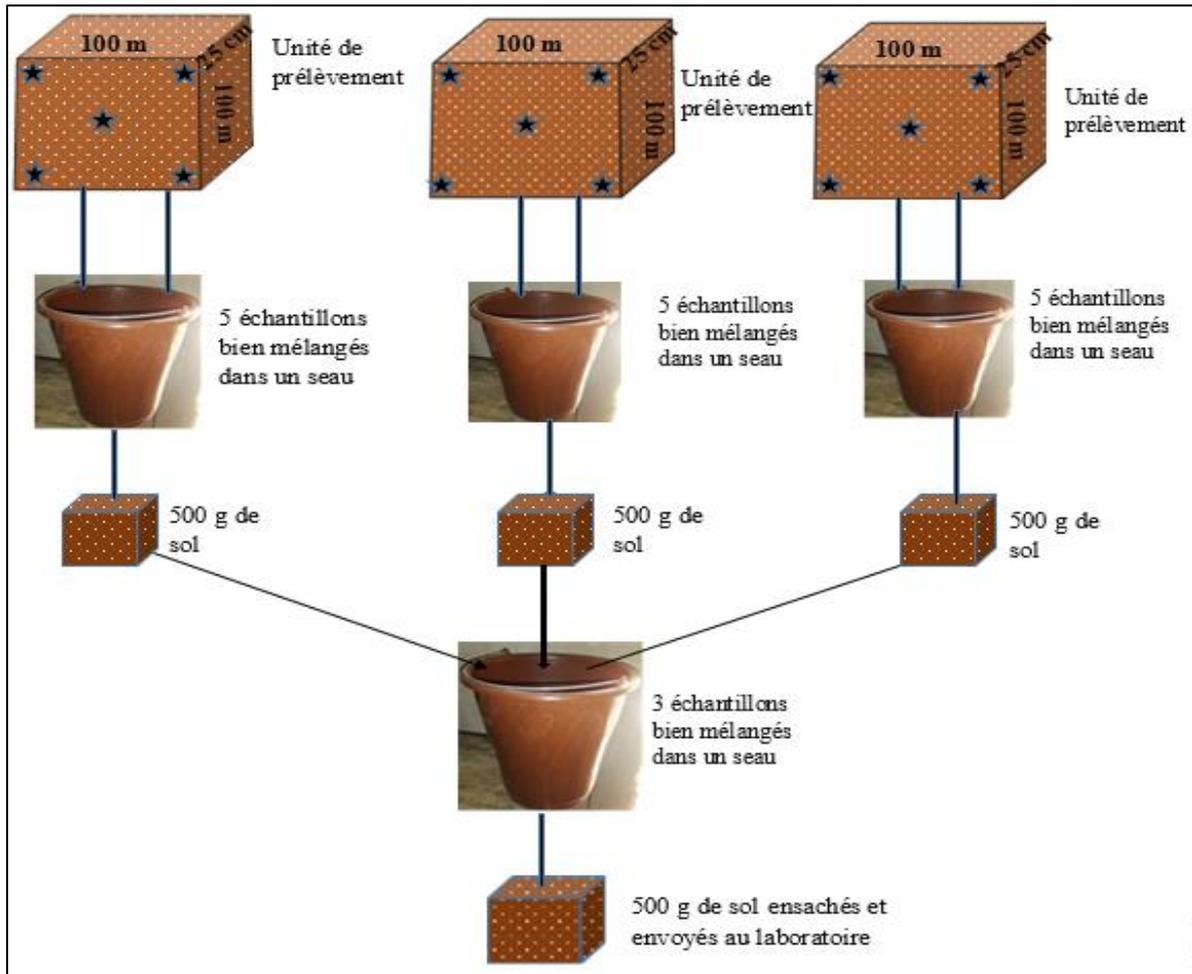
Les carottes de sols prélevées ont subi deux niveaux d'association pour avoir des échantillons composites pour chaque vallée. Ces sous-échantillons sont bien mélangés ensemble dans un seau pour produire un échantillon composite qui sera soumis pour analyse. Après le mélange un poids de 500 g de sol est prélevé de ce mélange pour le conditionner dans des sachets en plastique (photo 2) afin d'assurer leur conservation avant de les acheminer au laboratoire pour déterminer leurs caractéristiques physiques et chimiques. Cet échantillon constitue l'échantillon composite (représentatif) du sol.

Le premier niveau d'association est fait à l'échelle de l'unité de prélèvement où les 5 carottes des sols prélevés ont été mélangées dans un seau pour obtenir un échantillon composite. Ainsi, pour chaque vallée, trois (3) échantillons composites sont constitués dans sa partie amont (haut versant), trois (3) en mi-versant et les trois autres dans sa partie aval (bas versant).

Ensuite, le deuxième niveau d'association a consisté, pour chaque vallée, à mélanger les trois (3) échantillons de sols de chaque niveau de topo-séquence déjà constitué en un (1) échantillon

composite (figure 1). Dans chacune des vallées, trois échantillons composites sont constitués, soit soixante (60) échantillons au total ensachés et étiquetés (planche 2).

La campagne de recueil des échantillons de sol a été effectuée du 20 mai au 06 juin 2018. La carte 3 montre la répartition spatiale des échantillons composites.



Graphique 1 : du champ au laboratoire (adapté de Monroe, 2018)

En effet, chaque échantillon composite est étiqueté et numéroté de façon à pouvoir ultérieurement lier les résultats d'analyse à telle localité et tel niveau de prélèvement (rizière de nappe ou haute, inondée ou moyenne et de bas-fonds ou profonde). L'étiquetage est réalisé de la manière suivante. Il s'agit de noter d'abord le nom du village (exemple Kabiline), ensuite P qui signifie profil et enfin le numéro du niveau 1, 2, ou 3 (P1 = rizière de nappe ou haute, P2 = rizière inondée ou moyenne, P3 = rizière de bas-fonds ou profonde).

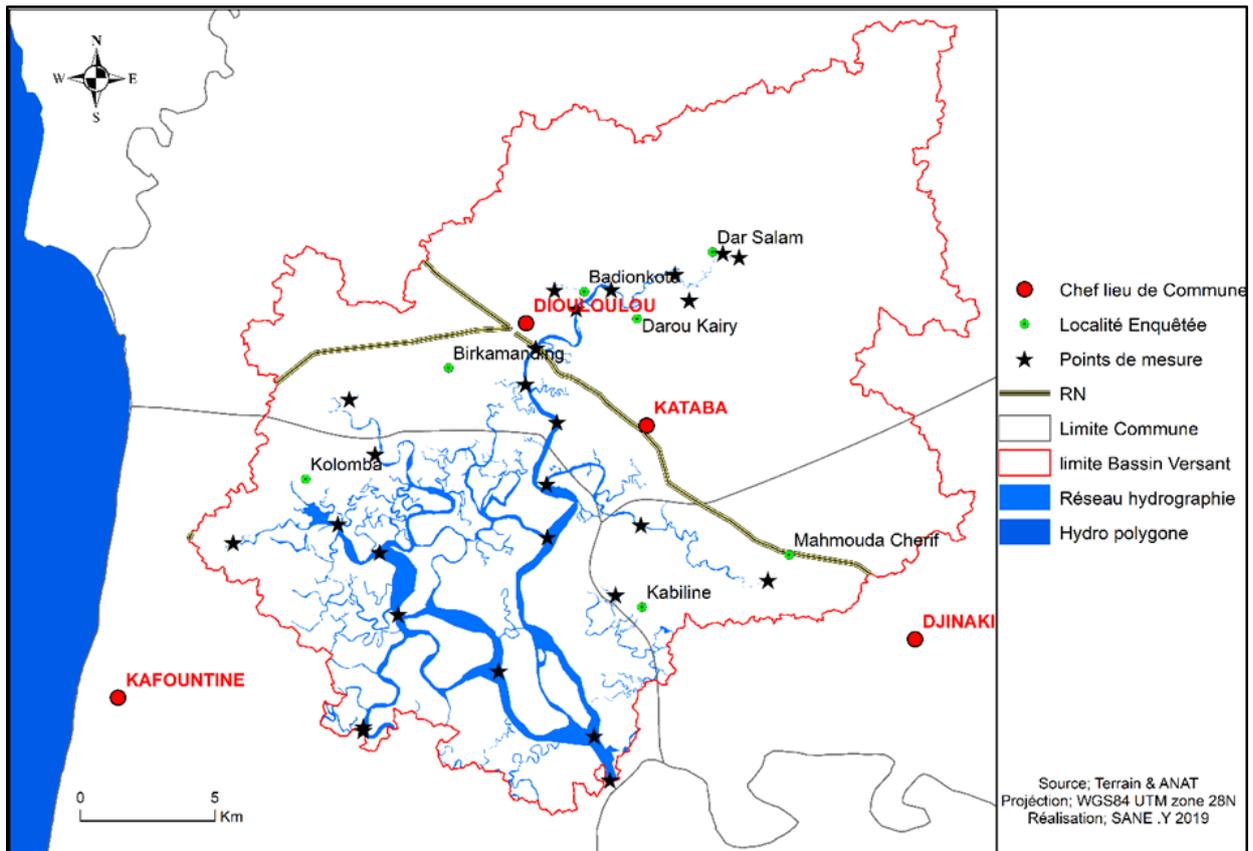
Un échantillonnage et un mélange attentifs sont essentiels pour garantir la précision de l'échantillon composite (Munroe, 2018). À titre d'exemple, l'échantillon composite du niveau un (1) de Kabiline est noté : « Kabiline P1 ». Et, chaque profil de sol est localisé géographiquement à l'aide d'un GPS et photographié à l'aide d'une caméra numérique.



Planche 2: conditionnement d'un échantillon dans un sachet plastique

Compte tenu des moyens financiers limités, 14 échantillons composites seulement ont fait l'objet d'analyse totale de leurs différents paramètres physiques (texture) et chimiques (anions et cations, azote, phosphore, potassium, etc). Ces échantillons ont concerné ceux prélevés au niveau des vallées des villages où les enquêtes Ménage sont effectuées. Il s'agit pour chaque village, des échantillons de niveau 1 (P1) et 2 (P2).

Ensuite, 60 échantillons ont fait l'objet d'une analyse de la conductivité électrique (CE) et du potentiel Hydrogène (pH) pour estimer leur degré de salinité et d'acidité. En effet, des mesures fixes (eau du marigot de Diouloulou) *in situ* saisonnières de réfractométrie (salinité) et du pH eau sont effectuées tout au long du marigot pour appréhender les variations spatio-temporelles de la salinité et de l'acidité de l'eau du marigot de 2017 à 2019 (carte 3).



Carte 3 : répartition spatiale des sites de mesures de la salinité et du potentiel hydrogène de l'eau du marigot de Diouloulou

Il s'agit d'effectuer des mesures au mois de novembre et de juin. Ces mesures sont effectuées à l'aide d'un réfractomètre pour la salinité et d'un conductimètre pour le potentiel hydrogène (planche 3).



Planche 3: conductimètre et refractomètre

2.1.3.3 Mesures et analyse au laboratoire

L'analyse physique et chimique des échantillons de sol a été effectuée au laboratoire de l'Institut National de Pédologie (INP) de Dakar. Ce laboratoire est composé de trois unités : une unité d'analyses physiques, une unité d'analyses chimiques et une unité de stockage des échantillons. Ensuite, chaque échantillon est émiété, tamisé à 2 mm pour obtenir les résidus fins afin de les conserver avant de procéder à l'analyse.

2.1.3.3.1 Analyse physique

L'analyse des paramètres physiques est effectuée sur les 14 échantillons composites et a concerné la granulométrie. Elle est réalisée à l'aide d'un appareil de granulométrie à diffraction laser « Mastersizer 3000 » pour fournir de manière constante des données précises, solides et fiables qui guident la prise de décisions critiques dans les processus de recherche (planche 4).

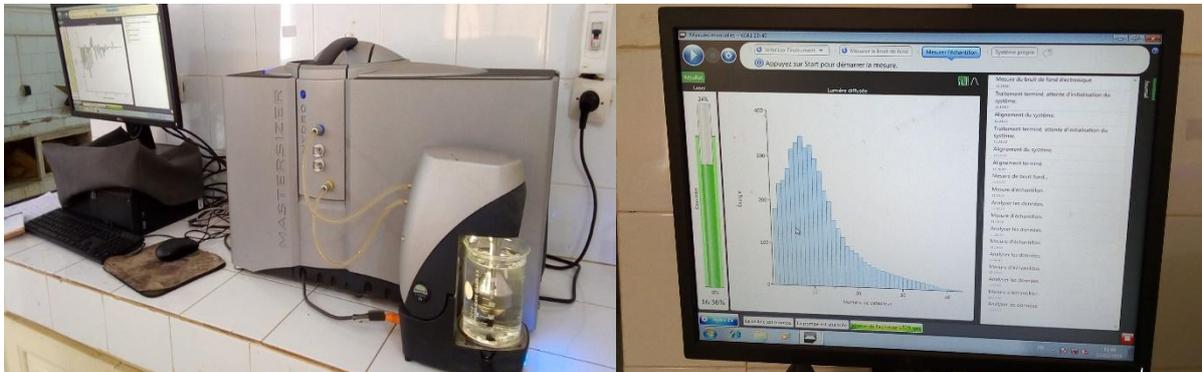


Planche 4 : granulométrie à diffraction laser « Mastersizer 3000 »



Photo 1: balance électronique

2.1.3.3.2. Analyse chimique

L'analyse chimique des échantillons a concerné les paramètres tels que la conductivité électrique (CE), le potentiel Hydrogène (pH), l'azote, le carbone, le phosphore, les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+), les anions (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- et NO_3^-) et la matière organique (MO) afin d'apprécier le potentiel de fertilité chimique du sol.

La fertilité chimique peut se définir par l'aptitude d'un sol à créer et à maintenir un statut chimique favorable à la croissance des plantes et à leur fournir les éléments nutritifs en quantité suffisante. Les racines puisent dans la solution du sol les éléments majeurs (Ca, N, P, K, Mg...) et les oligo-éléments ; la composition de la solution étant régulée par le Complexe Argilo-Humique (CAH) du sol. C'est en effet le CAH du sol, dont l'importance varie en fonction de l'acidité et des teneurs en argiles et en matières organiques, qui va permettre la mise en réserve ou la libération des éléments nutritifs pour les racines. Tous les raisonnements pour des besoins d'apports éventuels d'éléments nutritifs du sol doivent donc être raisonnés en fonction des besoins de la culture bien sûr, mais aussi en fonction de la taille du CAH du sol, en général mesurée par la Capacité d'Échange Cationique (CEC) (Saidi, 2002).

Cette analyse concerne 14 échantillons composites soit deux échantillons par vallée d'un village où les enquêtes ménages sont effectuées. Ainsi, les échantillons sont prélevés à deux niveaux de la topo-séquence. Un échantillon en amont (rizières de nappe ou haute) et un en aval de la vallée (rizière inondée ou moyenne). Ce qui a permis de déterminer les principales composantes physiques et chimiques des sols des rizières du bassin versant de Diouloulou. L'analyse a également permis d'apprécier le niveau de dégradation des sols et de comprendre la dynamique saline et de l'occupation du sol.

Les analyses chimiques totales (Ca, Mg, K, Na, P, Al, etc.) donnent des résultats interprétables en termes de caractérisation et de fonctionnement biochimique du sol (Ruellan, 2008).

2.1.3.3.3. Détermination de la liaison chimique cations et anions

- *La Capacité d'Échange Cationique CEC.* La CEC correspond à la quantité de charges positives portées par les cations susceptibles d'être fixées, de façon réversible, sur les sites chargés négativement de certains constituants du sol. Ainsi, deux types de sites se distinguent : les sites à charges permanentes dont le nombre varie peu avec les conditions de milieu et les sites à charges variables (matière organique) dont la quantité est fortement liée au pH.

La détermination de la CEC comprend trois étapes.

L'échantillon est d'abord saturé en ions ammonium (NH_4^+) par percolations successives d'une solution d'acétate d'ammonium ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{NH}_4$).

Après avoir éliminé l'excès d'ions ammonium par percolations d'alcool éthylique, ensuite leur échange est effectué par une solution de chlorure de potassium ; l'ammonium déplacé est dosé après distillation dans une solution d'acide borique.

- **Les bases échangeables Ca, Mg, Na, K.** les cations échangeables peuvent être extraits en lessivant le sol avec un sel correspondant à un métal susceptible de se fixer sur le sol. La méthode la plus habituellement utilisée est celle où se réalise le lessivage du sol par une solution normale et neutre d'acétate d'ammonium. En effet, à 20 g d'un échantillon est ajouté 50 ml d'acétate d'ammonium, ensuite : laisser le tout reposer pendant une nuit puis le filtrer. Ensuite, 50 ml est ajouté à la terre qui reste puis le laisser reposer pendant 30 mn et récupérer de nouveau le filtrat. Ce procédé est répété une 2^{ème} fois en vue d'obtenir 150 ml de filtrat. Lors de ce procédé, les cations passent de l'échantillon de terre à la solution d'acétate qui en devient riche, elle constitue le filtrat. Ce filtrat est récupéré en vue d'un dosage complexométrique pour le calcium et le magnésium et d'une photométrie de flamme pour le potassium et le sodium (Photo 2).



Photo 2: photométrie de flamme ANA-135

- **Phosphore assimilable.** La méthode utilisée pour la détermination du phosphore repose essentiellement sur l'acidité du sol. Pour les sols acides, la méthode Bray est utilisée et pour les sols basiques la méthode Olsen est utilisée. Le dosage se fait par colorimétrie.

Les sols de notre zone étant acides, la méthode Bray est utilisée, qui consiste à ajouter 35 ml de la solution d'extraction Bray 1 aux 5 g de sol sec préalablement séché, à agiter le mélange

pendant quelques minutes à l'agitateur mécanique puis à centrifuger le tout à 4 000 t/mn. La solution est filtrée et le filtrat est récupéré dans une fiole de 50 ml à laquelle sont ajoutés 20 ml d'acide ascorbique et 2 ml du réactif sulfomolybdique ; le tout est placé ensuite au bain-marie pendant 10 mn à 30° (coloration bleu-vert). La solution est laissée refroidir puis ajustée au trait de jaugeage avec de l'eau distillée, enfin les longueurs d'onde sont lues à 650 nm.

- **Le carbone organique.** Le carbone organique est déterminé par dosage en retour après une oxydation par du bichromate. Après avoir pesé 1 g d'échantillon, 10 ml de bichromate de potassium y sont ajoutés puis 20 ml d'acide sulfurique concentré ; laisser ensuite le tout reposer pendant 30 mn afin que la réaction se termine. Après 150 ml d'eau distillée y sont ajoutés et 10 ml d'acide orthophosphorique et 1 à 3 gouttes de diphénylamine (indicateur). La solution obtenue est dosée par le sel de mohr.

- **L'Azote total.** Dans le sol, la plus grande partie de l'azote (outre celle provenant de l'engrais) est présente dans la matière organique. Cet azote devient disponible pour les végétaux par le processus de la minéralisation, par lequel la décomposition microbienne des matières organiques libère l'azote sous forme minérale.

Le dosage de l'azote total se fait par la méthode de Kjeldahl. Il s'agit de l'attaque par l'acide sulfurique concentré en présence d'un catalyseur, puis après neutralisation et passage en milieu alcalin, distillation et dosage de l'ammoniac obtenu avec de l'acide sulfurique 0.1 N en présence d'un indicateur, le rouge de méthyle. Le résultat est exprimé en ppm.

- Détermination de la matière organique

La matière organique régularise l'humidité de tous les types du sol en favorisant l'évacuation de l'eau en excès de sol argileux et en augmentant la capacité de rétention en eau de sol sableux. Elle améliore les qualités chimiques du sol par sa réaction acide, ses propriétés colloïdales et sa minéralisation continue source d'aliment pour la plante et augmente l'aération du sol. Analytiquement, la matière organique du sol est estimée par la teneur en carbone organique, mesurée dans le sol préalablement séché et tamisé à 2mm, que multiplie un coefficient. (Par convention généralement 1,72), d'où, M.O (%) = Carbone (%) x 1,72 (Bourgeat, 1972 ; IRAM⁴, 1963 ; Rousseau, 1973).

⁴ IRAM : Institut de recherches agronomiques à Madagascar

La quantification de l'azote total est déterminée par la méthode de Kjeldahl. (1883) en 4 phases :

- la transformation de l'azote du sol en azote ammoniacal à ébullition (minéralisation) ;
- la transformation de l'ammoniac par action de la soude sur le sulfate d'ammonium (distillation) ;
- le recueillement de l'ammoniac gazeux par l'acide borique (car l'ammoniac est très volatile) ;
- la nitration de l'ammoniac par une solution d'acide sulfurique titrée.

- Détermination du pH et de la CE des sédiments

L'analyse s'est basée sur deux indicateurs de dégradation pour montrer la dégradation des terres rizicoles dans le bassin versant de Diouloulou : le potentiel Hydrogène (pH) et la Conductivité électrique (CE). Aujourd'hui, les exploitants rizicoles qualifient ces deux paramètres de principaux facteurs de dégradation des parcelles rizicoles dans cette zone. Les analyses du pH et de la CE sont effectuées au laboratoire de chimie de l'université Assane Séck de Ziguinchor. Elles ont concerné les 60 échantillons prélevés (carte 3).

- Analyse du pH. Le pH fait partie des plus importantes caractéristiques physico-chimiques des sols, car la spéciation, et donc la mobilité et la biodisponibilité des éléments traces métalliques sont liées à sa valeur. L'analyse du potentiel hydrogène s'est effectuée au laboratoire de chimie de l'université Assane Seck de Ziguinchor. Le pH de la solution qui entoure les particules de terre à l'état naturel est sujet à des variations en fonction des changements dans les rapports terre/solution motivés par le climat, la culture et d'autres facteurs (Faye, 2016). Le pH est une mesure du degré d'acidité ou d'alcalinité d'une eau ou d'un sol. Quand les ions H^+ dominant dans un sol, ce sol est dit acide avec un pH inférieur à 7. Cependant, si le pH est supérieur à 7, il est dit sol alcalin parce que ce sont les ions OH^- qui dominant. Lorsqu'il y a équilibre dans un sol ou dans une eau entre les ions H^+ les ions OH^- , le pH est neutre (tableau 5).

Tableau 5 : le statut acido-basique des sols selon le projet PNUD/FAO

Échelle	0	2	3	4	5	6		
pH	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7 7,5 8 8,5	
Degré	Très acide		Acide	Peu acide		Neutre	Peu alcalin	Alcalin

Source : Projet PNUD/FAO

Mode opératoire de l'analyse du pH

Pour chaque échantillon de sol, un ratio de 1/2,5 a été utilisé. Ainsi, 10 g de sol sont prélevés dilués dans un bécher gradué de 25 ml d'eau distillée puis agitée. Le mélange a été laissé au repos pour décantation pendant deux heures. Ensuite, le pH-mètre est étalonné avec les solutions tampons. Et enfin, la mesure de la solution obtenue est faite. La mesure a été répétée deux fois pour chaque échantillon de sol pour s'assurer de la fiabilité des résultats obtenus.

- **Conductivité électrique (CE) des sols.** La salinisation peut être naturelle ou résulter de pratiques agricoles et en particulier de l'irrigation. En climat semi-aride, et dans certaines régions, l'eau douce qui percole peut entrer en communication avec des nappes phréatiques superficielles et salées. Lorsque l'évaporation est intense, des remontées d'eau salée et des dépôts de sel en surface se produisent.

Il se forme dans un premier temps des efflorescences blanches, puis à mesure que la salinisation se poursuit, des efflorescences brunes en surface. À ce stade, les sols sont stériles, au moins pour une utilisation agricole.

Dans le cadre de ce TER, le niveau de salinité des sols est déterminé à travers la conductivité électrique. La conductivité électrique est une mesure qui donne une approximation de la concentration des sels solubles présents dans l'échantillon. Elle est exprimée en millimhos par centimètre (mmhos/cm) ou déci siemens par mètre (dS/m) ou milli Siemens par centimètre (mS/cm) ou microsiemens par centimètre (1.e. 1 dS/m = 1000µS/cm). La concentration en sel donnée par le TDS (Quantité Totale de Matière dissoute) est exprimée en milligramme de sel par litre d'eau (mg/L) ou en gramme de sel par mètre cube d'eau (g/m³) (i.e. mg/L = g/m³ = ppm).

La norme utilisée est la NF X 31-113 qui est basée sur l'extraction des sels d'un échantillon, solubles dans l'eau, dans des conditions bien définies et dans un rapport sol sec/eau égal à 1/5.

Un conductimètre de laboratoire permet de mesurer le courant conduit par les ions présents (Bocoum, 2009).

- **Mode opératoire de l'analyse de la conductivité électrique.** Pour chaque échantillon de sol, il faut préparer la pâte saturée. Ainsi, un ratio de 1/10 est adopté, à savoir 20 g de sol dilués dans 200 ml d'eau distillée pour humecter le sol en malaxant la solution à l'aide d'une spatule. Après un mélange, la pâte saturée est laissée en décantation pendant 2 heures au minimum avant de récupérer la solution. La solution récupérée dans un bêcher sert à la mesure de la conductivité électrique moyennant un conductimètre de laboratoire à une température de 25°C. Les résultats sont interprétés selon la classification de Durand, 1983, (tableau 6).

Tableau 6: classe de la qualité des sols (Durand, 1983)

Classe	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 25 °C	Qualité des sols	Effet sur le rendement
Classe I	0 à 500	Non salé	Négligeable
Classe II	500 à 1000	Légèrement salé	Diminution du rendement des cultures sensible au sel
Classe II	1000 à 2000	Salé	Diminution du rendement de la plupart des cultures
Classe IV	2000 à 4000	Très salé	Seules les cultures résistantes donnent des rendements

2.1. 4. Collecte des données d'enquêtes de terrain

Les données des recensements généraux de la population et de l'habitat et de l'élevage (RGPHE) du Sénégal (1976, 1988, 2002 et 2013) sont exploitées et ont permis de comprendre l'évolution de la population, la dynamique de l'occupation du sol, la pression exercée sur les ressources naturelles et dans une certaine mesure l'évolution socioéconomique des populations du bassin versant de Diouloulou.

En effet, c'est à partir des données de population du RGPHE de 2013 que l'échantillon est constitué. Pour cela, des visites exploratoires dans les différents villages que polarise le bassin versant sont d'abord effectuées. Ce travail exploratoire a permis d'opérer le choix des outils de recherche et d'investigation les plus appropriés pour atteindre les objectifs. Il en ressort également que le bassin est caractérisé par une diversité agro-écologique et socioculturelle. Donc, la prise en compte des différentes zones agro-écologiques par zonage est nécessaire. Il faut rappeler que le bassin polarise quatre communes notamment : les communes de Diouloulou, de Kafountine, de Djinaky et Kataba 1. La diversité des conditions d'exploitation

des ressources naturelles mais aussi les formes de mise en valeur des terres en général et des rizières en particulier sont également prises en compte.

Cette exigence a permis de choisir un échantillon de 7 localités (villages) représentatif de la diversité écologique et socioéconomique de la zone d'étude. Le choix est porté essentiellement sur les villages situés le long du marigot. Ainsi, il a concerné les localités affectées par le phénomène de salinisation et d'acidification et qui s'activent dans l'activité rizicole. Il s'agit des terroirs villageois de Kabiline, Mahamouda Chérif, Dar Salam Cherif, Darou Khairy, Birkamading, Colomba et Badionkotong (carte 1). Ce choix est également motivé par l'importance de l'activité rizicole dans ces villages, d'une part, et leur proximité avec le marigot de Diouloulou, d'autre part.

En outre, dans cette étude, le ménage est considéré comme l'unité d'échantillonnage dans la mesure où il constitue l'unité de production rizicole en Basse Casamance. Ainsi, un taux de sondage de 25 % a été appliqué sur 824 ménages. Sur la base du nombre de ménages de chaque terroir, la formule suivante est appliquée :

(Nombre de ménages du terroir*25) /100 = Nombre de ménages à interroger

Le résultat a conduit d'interroger 106 ménages à Kabiline, 15 à Mahmoudou Cherif, 33 à Dar Salam, 18 à Darou khairy, 6 à Birkamading, 26 à Colomba, et 6 à Badionkotong, soit un total de 206 ménages interrogés (tableau 7). Le questionnaire ménage est généralement constitué de questions fermées (annexe 1) en s'appuyant sur les hypothèses et les objectifs de l'étude « sur les représentations sociales des impacts de la dégradation des terres rizicoles ainsi que les dynamiques environnementales et socioéconomiques observées dans leur terroir villageois conduisant à la mise en œuvre de stratégies d'adaptation par les populations ». La collecte de ces données est effectuée à l'aide de smartphones avec l'outil Kobo collecte. Ainsi, une équipe de 5 d'enquêteurs est mobilisée pour les enquêtes auprès des ménages.

Les informations recueillies ont essentiellement porté sur la perception sociale de leur terroir. Il s'agit de la variabilité climatique, de la dynamique saline, de l'évolution des systèmes de production rizicole, des activités extra-rizicoles et leur répercussion sur le plan environnemental et socio-économique.

Un calcul des proportions relatives ou absolues des ménages interrogés ayant perçu différemment les phénomènes ou les risques de dégradation auxquels ils font allusion est

effectué afin de dégager les grandes tendances constatées. Ceci permet de confirmer ou d’infirmer les hypothèses.

Tableau 7 : synthèse de la méthode d’échantillonnage (ANSD, 2013)

Commune	Quartier/village	Concessions	Ménages	Ménages interrogés
Djinaky	Kabiline	358	409	102
Djinaky	Mahmoudou chérif	51	61	15
Kataba 1	Dar Salam chérif	115	130	33
Kataba 1	Darou khairy	64	72	18
Diouloulou	Birkamading	24	24	6
Kafountine	Colomba	66	104	26
Diouloulou	Badionkoto	23	24	6
Total		701	824	206

Les informations recherchées dans cette partie du travail sont plus quantitatives que qualitatives. Cependant, les informations qualitatives issues des entretiens (guides d’entretien et focus group) viennent confirmer les tendances qui se dessinent après les enquêtes ménages et la cartographie.

Les guides d’entretien ont été administrés aux chefs des villages, aux maires des différentes communes du bassin versant de Diouloulou : Diouloulou, Kataba 1, Kafountine, Djinaky. Des entretiens ont été aussi effectués auprès des responsables des organisations paysannes notamment au Comité d’Action pour le Développement du Fogy (CADEF), à l’Entente de Diouloulou (ED), à l’association des planteurs de l’arrondissement de Diouloulou (APAD), (ASAPID), au Cadre Régional de Concertation Rural (CRCR).

Ils ont été réalisés avec les responsables des structures (étatiques ou non étatiques) intervenant dans le domaine de la riziculture, en particulier, la Direction Régionale du Développement Rural (DRDR), le Groupe de Recherche et de Réalisations pour le Développement Rural (GRDR), le chef de centre de l’Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA/Djibélor), le Projet Pôle de Développement de la Casamance (PPDC), le service départemental du développement rural (SDDR), le Service départemental des eaux, forêts, chasse et conservation des sols de Bignona, le PADERCA, l’ANCAR, le PAM.

Les Focus group ont été organisés dans les 7 villages de notre échantillon : Kabiline, Mahmoudou Cherif, Dar Salam, Darou Khairy, Birkamading, Colomba, et Badionkotong. Ils ont consisté à réunir des personnes-ressources en vue de recueillir des informations crédibles à travers des discussions orientées. Pour ce faire, toutes les couches sociales sont regroupées (jeunes paysans, paysans adultes, vieux et vieilles paysannes et les paysans « retraités », s’il y

en a) afin de dégager les nouvelles tendances. C'est-à-dire chaque groupe socioculturel est représenté.

Le choix porté sur ces groupes socioculturels est motivé par la diversité des perceptions des effets de la variabilité climatique et des dégradations des rizières. Pour les paysans âgés, c'est pour profiter de leur vécu et expérience afin d'avoir des informations sur les situations anciennes. En outre, les adultes sont interrogés parce qu'aujourd'hui, ils sont les principaux acteurs de la riziculture. Cependant, les jeunes paysans sont associés dans la mesure où c'est à eux d'assurer la relève de la production rizicole dans un contexte de dégradation des rizières et de mutation socio-économique, culturelle et environnementale.

Ces focus group ont permis d'avoir une appréciation globale de la dynamique des terres salées et ses répercussions sur les activités socio-économiques, sur la sécurité alimentaire des ménages et sur l'environnement. Au total, un focus group est organisé par village : Kabiline, Mahmoudou Cherif, Dar Salam, Darou Khairy, Sambouladiang, Colomba, et Badionkotong.

Les informations tirées des discussions avec les paysans ont permis de dégager les tendances globales des changements globaux intervenus depuis les périodes d'avant ou début de sécheresse à nos jours. Ceci a également permis de confirmer ou infirmer les résultats de la cartographie diachronique de l'occupation du sol.

2.2. Méthodes et données cartographiques

La cartographie a constitué une étape importante dans la réalisation de ce TER. Cette étape a consisté d'abord à cartographier le bassin versant de Diouloulou avant de faire la cartographie de l'occupation du sol pour une meilleure appréciation et interprétation de sa dynamique spatiale observée.

2.2.1. La délimitation du bassin versant de Diouloulou

Pour de nombreuses études en rapport avec l'hydrologie, il est nécessaire de connaître la délimitation et les limites d'un bassin versant ainsi que son réseau de drainage. La connaissance du réseau de drainage et des sous-bassins qu'il draine est aussi importante pour aborder des questions de riziculture, d'aménagement et de gestion des eaux, en particulier des eaux pluviales. Depuis que des modèles numériques de terrain (MNT⁵) sont disponibles, le réseau de drainage et la superficie des bassins versants sont souvent obtenus à l'aide de logiciels d'analyse du MNT où les directions des écoulements sont déterminées par la topographie (écoulement selon la plus grande pente par exemple).

⁵ Modèles numériques de terrain

Ce travail a commencé par déterminer la frontière topographique du bassin versant à l'aide d'utilitaires qui se trouvent dans la plupart des Systèmes d'Informations géographiques (SIG) du logiciel ArcGIS 10.3. Cet outil fournit aussi un premier réseau de drainage, défini à partir de la topographie. Dans le cadre de cette étude, le logiciel ArcGIS 10.3 est utilisé. Ensuite, les exutoires du bassin (réseau naturel) sont déterminés et les points de connexion des réseaux unitaires avec le réseau naturel. Les surfaces drainées par l'ensemble de ces réseaux définissent la frontière maximale du bassin.

Pour ce faire, l'exutoire est placé au point de rencontre entre le marigot de Diouloulou et celui de Bailla. Ceci a été effectué avec les images SRTM⁶ de 2008 téléchargées dans le site : www.usgs.gov/. Par conséquent, le bassin versant est délimité afin de faire ressortir les différents cours d'eau qui alimentent le bassin à l'aide de l'outil Arc-hydrology incorporé dans le logiciel Arcgis 10.3.

2.2.2. La cartographie de l'occupation du sol

L'interprétation des images satellites est un exercice important qui permet de mieux apprécier la dynamique de l'occupation du sol. Il s'agit de l'analyse de la dynamique des paysages du bassin versant et des terroirs villageois. Ainsi, la cartographie constitue une méthode importante pour l'étude des systèmes agraires et de leur évolution. Elle a permis de dresser, à partir de l'imagerie géospatiale, des situations de l'occupation du sol des différentes composantes du paysage, de leur organisation spatiale et de déterminer les changements intervenus au cours des périodes retenues.

Pour ce faire, il est retenu de travailler sur 4 images satellites de dates différentes : images Google Earth de janvier 2019 et 2004, Landsat 1987 et des images Corona de janvier 1968.

Le choix des dates est motivé, d'une part, par leur correspondance avec la problématique de la dégradation des parcelles rizicoles en Basse Casamance en général et dans le Bassin versant de Diouloulou en particulier, et, d'autre part, par l'évolution des paramètres climatiques (pluviométrie). En effet, l'année 1968 coïncide avec le début des années de sécheresse, alors que l'année 1987 se trouve être au cœur des années sèches. Des années pendant lesquelles plusieurs riziculteurs ont abandonné certaines parcelles rizicoles. À partir de 1999 (année pendant laquelle ont été enregistrés des volumes pluviométriques exceptionnels) il est constaté

⁶ Shuttle Radar Topography Mission

un retour pluviométrique (Descroix, 2015). Ensuite, puisque les images à haute résolution de Google Earth ne couvrent notre zone d'étude qu'à partir de 2004, cette date a été choisie. Enfin, l'année 2020 est choisie parce qu'elle se rapproche de près de l'état actuel du paysage et coïncide avec la période de retour de la pluviométrie et une volonté de redynamisation de la riziculture par les paysans eux-mêmes, l'État et les ONG. Donc chacune de ces 4 séquences est représentative d'une des phases caractéristiques des variabilités climatiques en Basse Casamance (chapitre II).

Ensuite les images sont corrigées puisqu'elles sont prises avec des capteurs différents. Il s'agit d'une correction géométrique des images sous un même référentiel, WGS 1984 UTM zone 28N, afin de ramener la prise de vue satellite à une norme de coordonnées cartographiques pour une possibilité de superposer des images prises avec différents capteurs (satellites). Elles doivent avoir le même nombre de lignes et de colonnes (pixels). Cette étape a consisté à réaliser dans un premier temps la composition colorée de l'image Landsat de l'année 1987 qui permet d'avoir des informations acceptables pour la cartographie de l'occupation du sol. Ensuite, elles sont recalées géométriquement à partir des points de repère pour chacune des quatre images pour éviter des décalages entre deux images prises à des dates différentes.

En effet, pour la prise en compte de la diversité des thèmes à cartographier, les images sont interprétées visuellement (une interprétation visuelle des images) sous le logiciel ArcGis 10.3. Cette étape s'est basée sur la documentation existante (cartes, photographies aériennes...), les connaissances et observations sur le terrain et les signatures spectrales de l'image pour délimiter les contours des différentes classes thématiques de l'occupation du sol. Compte tenu de la problématique et des objectifs de l'étude, huit (09) classes d'occupation sont retenues : rizières fonctionnelles, rizières abandonnées, tanne, cours d'eau, mangrove, végétation de terre ferme, culture de plateau, verger et bâti. Ainsi, la digitalisation des éléments de l'occupation du sol est effectuée. Cette démarche a consisté à identifier les éléments de l'occupation du sol de notre zone d'étude et à définir les caractéristiques de chaque typologie de l'occupation du sol afin de la numériser. La digitalisation, c'est la représentation discrète des objets géographiques du monde réel sous forme de points, de lignes et de polygones.

Après la digitalisation, une vérification sur le terrain est faite pour confirmer ou infirmer les tendances des éléments représentés par la prise des relevés de points GPS, des entretiens individuels et collectifs auprès des riziculteurs, notamment les personnes âgées (tableau 8).

Tableau 8 : perception des tendances paysagères du bassin versant de Diouloulou

Nom de la classe	Tendance perçue à travers la lecture des images : P (Progression), R (Régression), S (Stabilité);	Tendance restituée à travers les entretiens : P (Progression), R (Régression), S (Stabilité);
Rizière exploitée	R	R
Rizière abandonnée	P	P
Tanne	R	R
Cours d'eau	P	R
Mangrove	P	R
Savane arbustive	R	R
Culture de plateau	P	S
Bâti	P	P
Verger	P	P

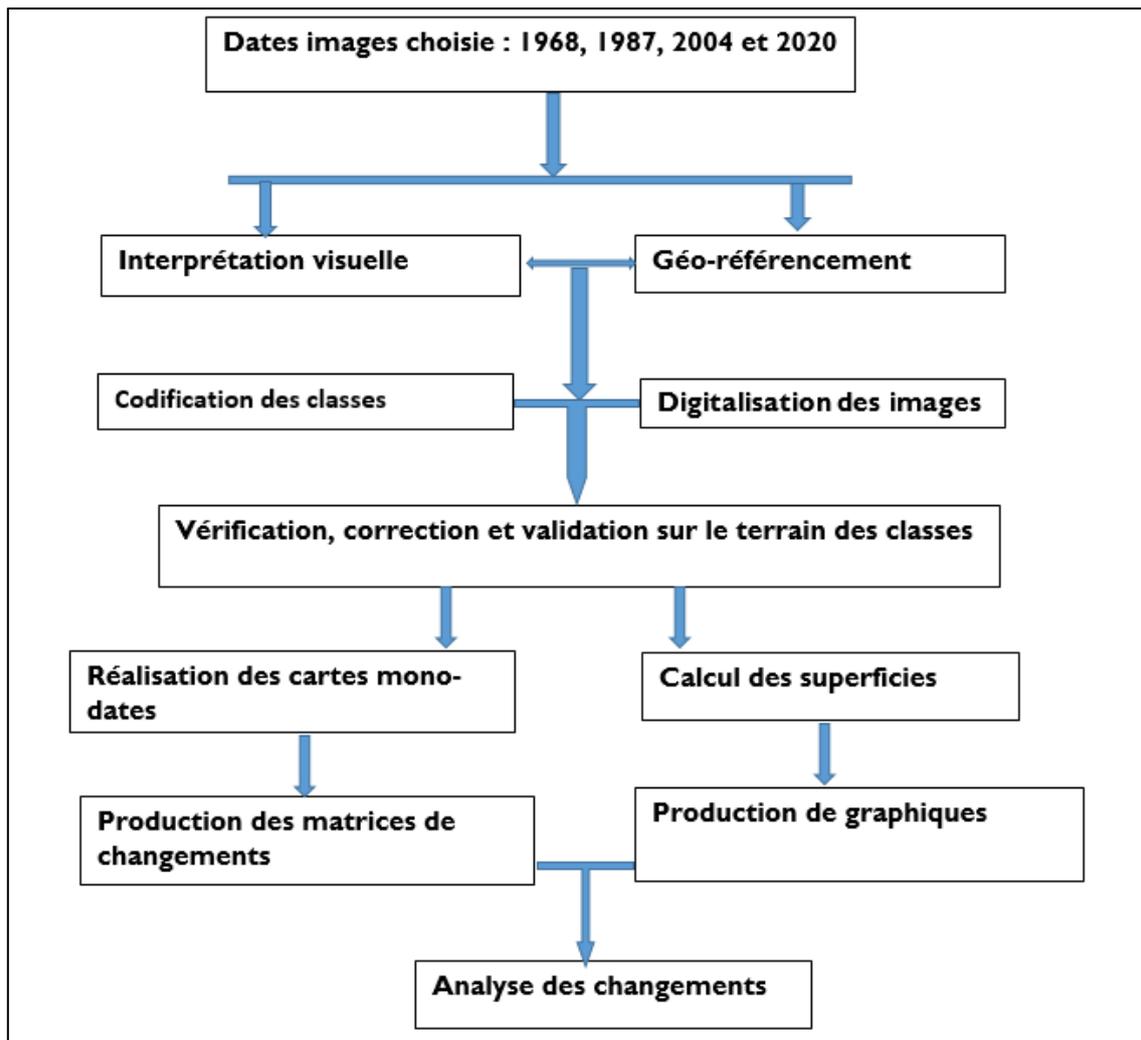
Cette phase a permis d'apporter les corrections nécessaires avant d'exporter les tables attributaires des différentes unités du paysage. Ces tables ont permis de faire ressortir des statistiques sur les différentes unités de paysage et de quantifier les différents éléments du paysage et d'apprécier leur évolution dans l'espace et dans le temps. À partir des résultats obtenus, les cartes thématiques des différentes dates retenues sont réalisées (cartes mono-dates). Les couches vectorielles, issues de l'interprétation des images par date sont croisées deux à deux (années 1968 – 1987, 1968 – 2020, 2004 – 2020) pour obtenir une seule couche et une matrice des changements. La matrice renseigne sur les statistiques (superficies) pour chaque classe d'occupation du sol de l'année la plus ancienne qui est restée stable (dans la même classe) ou qui est passée à une autre.

En s'inspirant de certains travaux de cartographie (Dièye, 2007 ; Andrieu, 2008 ; Sané, 2016 ; Sané, 2017), trois catégories d'occupation du sol sont mises en évidence : sans changement (ou stabilité), modification, et conversion après la réalisation d'une combinaison de couches vectorielles de deux dates.

- sans changement (ou stabilité) : la classe d'occupation de l'espace est restée la même entre les deux années ;

- modification : la classe d'occupation de l'espace a changé d'une classe à l'autre, mais en restant dans la même catégorie. Par exemple, la rizière fonctionnelle de l'année 1968 est rizière abandonnée en 1984 ;

- conversion : la classe d'occupation du sol est passée à une autre classe dans une catégorie différente. Par exemple, la végétation d'une année devient une zone de culture de plateau une autre année.



Graphique 2 : résumé de la méthode cartographique de l'occupation du sol

2.3. Le traitement et analyse des données

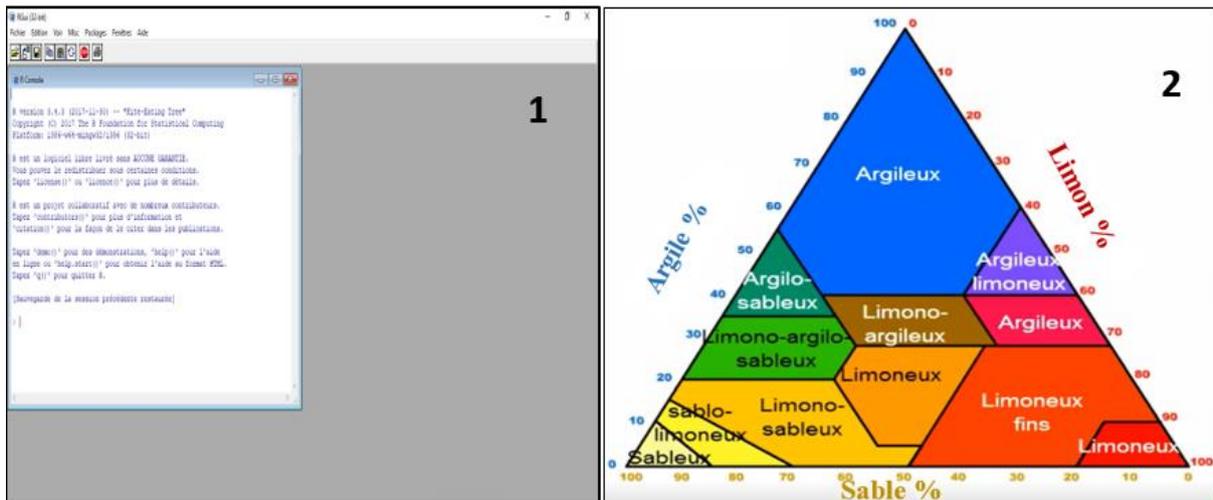
Pour une analyse fine des données, il est recommandé de les traiter de manière à les organiser par thème. Le traitement des données est une étape importante dans la recherche. Cette étape a consisté à la saisie et l'exploitation des données collectées. Elle permet de faire ressortir des informations par thème.

Elle permet également, à partir des données collectées, d'élaborer des séries statistiques (tableaux), de déterminer certaines valeurs statistiques (moyenne, indice, médiane...), de représenter graphiquement (sous forme de diagramme, histogramme...) certaines données quantitatives afin de permettre une symbolisation visuelle du phénomène étudié.

Dans le cadre de ce travail, le traitement des données s'est fait avec l'aide du tableur Excel et de Sphinx pour la saisie des questionnaires et la collecte des réponses, Excel pour les calculs et les graphiques.

Le logiciel XLSAT 2014 a également été utilisé pour l'analyse statistique des données physicochimiques des sols et des paramètres climatiques. Il s'agit de la réalisation des figures, des calculs de moyenne, écart type, des ruptures, etc.

Les résultats issus de l'analyse granulométrique ont permis de réaliser les diagrammes texturaux triangulaires des sols (graphique 3). Ces diagrammes sont réalisés grâce au logiciel R x64 3.4.3. Ils ont permis de déterminer les différents faciès de nos différents échantillons.

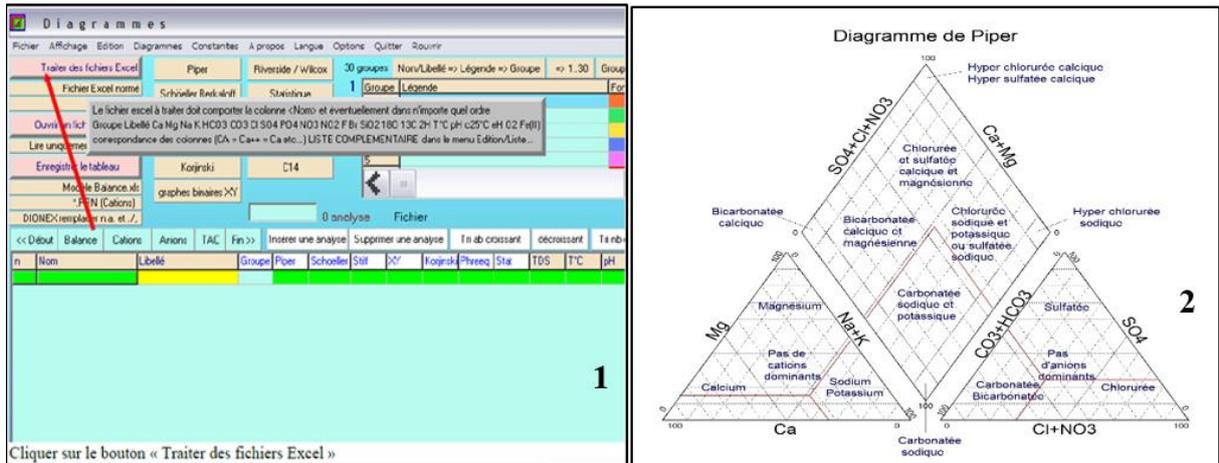


Graphique 3: interface du logiciel R x64 3.4.3 (1) et diagramme texturale triangulaire (2)

Pour une meilleure interprétation des données des paramètres chimiques des sols et en faire ressortir le plus d'informations, des outils et méthodes variés sont utilisés.

Parmi ces outils figure le logiciel DIAGRAMMES (graphique4) créé par Roland Simler (2007). C'est un logiciel d'hydrochimie en distribution libre facilitant l'exploitation des résultats d'analyse de sol et de l'eau.

Les diagrammes :	Piper	Stiff	
	Schoeller	Berkalov	Binaire
	Korjinski	Rose des vents	
• Les paramètres calculés:	balances ioniques	teneurs en cations	
	dureté	teneurs en anions	
	indice de saturation (calcite, dolomite, aragonite, gypse)		



Graphique 4 : interface du logiciel Diagramme (1) et diagramme de piper (2)

Pour cette étude, la fonctionnalité du diagramme de Piper est utilisée. Elle a permis de déterminer les différents faciès chimiques des échantillons de sol.

Le diagramme de Piper est une composante graphique qui permet de visualiser, quantitativement et qualitativement, la composition chimique des eaux et des sols. Le procédé consiste à porter les concentrations sur deux triangles équilatéraux (triangle des anions et triangle des cations) puis à projeter les points représentatifs des échantillons dans un diagramme sous forme de losange qui donne les compositions totales en éléments majeurs et les faciès chimiques des eaux ou des sols (Kaid Rassou, 2009).

Tableau 9 : synthèse des données utilisées

Données	Type	Source	Traitement	Restitution
Climatiques	Pluviométrie	ANACIM	Graphique, statistique	Diagramme, tableau
	Température		Graphique, Statistique	Diagramme, tableau, graphique
	Insolation		Graphique, statistique	Courbe
	Humidité		graphique	Courbe
	Évaporation		Graphique	Courbe
	Domaine climatique de l'Afrique de l'Ouest,	CILSS	Analytique Carte	Carte
	Domaine climatique du Sénégal	Sagna, 2008	Analytique, Cartographique	Carte
Pédologiques	Sol du BV de Diouloulou	CSE, INP, terrain	Analytique, Carte	Tableau, Carte, graphique
Démographiques	Population du département de Bignona	ANSD, 1988, 2001 et 2013	Statistique	Diagramme
	Nombre de ménages des villages interrogés	ANSD 2013	Statistique	Tableau, Graphique
Cartographiques	Cartographie du bassin versant de Diouloulou	SRTM 2008 (www.usgs.gov/) ANAT	Cartographique	Carte, tableau
	Sols du bassin versant de Diouloulou	ORSTOM, INP	analytique Cartographique	Carte, tableau, Texte
	Occupation du sol du Bassin Versant de Diouloulou et	Google Earth, 2004, 2020, Landsat, 1987 et	analytique Cartographique	Carte, tableau statistique, Diagramme, graphique

	des Terroirs enquêtés	Corona, 1968 (www.usgs.gov/)		
	Points GPS	Terrain (Sané, 2017, 2018, 2019, 2020)	Cartographique	Carte
Autres	Productions rizicoles dans le département de Bignona	DAPSA	Statistique	Diagramme, tableau
	Superficies emblavées pour la production du riz dans le département de Bignona	DAPSA	Statistique	Tableaux, courbe et diagramme
	Salinisation du Bassin de la Casamance et du Bassin de Diouloulou	LMI- PATEO et Terrain	Statistique	Carte, tableau
Données socio-économiques	Perception des populations sur la salinisation, l'acidification, les dynamiques, les stratégies de lutte et d'adaptation	Enquêtes de terrain 2018	Analytique, Statistique	Tableau, diagramme, textes

Conclusion

La méthodologie adoptée a permis de mieux aborder la problématique de recherche. Diverses approches géographiques (photo-interprétation, analyse au laboratoire des échantillons de sol, travaux de terrain, entre autres) sont ici mises à contribution, dans une démarche géographique globale. Les deux niveaux d'échelle (Bassin versant et terroir) considérés dans ce travail s'inscrivent dans une démarche multiscalaire (du global au particulier) pour une meilleure compréhension du phénomène de dégradation des sols.

Chapitre III. CONTEXTE GÉOMORPHOLOGIQUE ET CLIMATIQUE DU BASSIN VERSANT DE DIOULLOULOU

Les estuaires, du fait de leur position à l'interface terre-mer et de leur caractéristique géomorphologie particulière, sont des environnements particulièrement sensibles aux variations des conditions climatiques et du niveau marin. L'analyse du contexte géomorphologique et climatique du bassin versant de Diouloulou permet une meilleure compréhension de la dégradation des terres rizicole dudit bassin.

3.1. La géomorphologie du Bassin versant de Diouloulou

En Casamance, la mer a formé un vaste golfe au Nouakchottien et ses eaux s'épalaient sur une largeur de 75 km entre Diouloulou et la frontière de la Guinée Bissau ; elle a pénétré dans les vallées en doigts de gants du fleuve et des affluents : Soungrougrou, Baila, Kamobeul, etc. Cette transgression a généralement laissé des dépôts sableux qui forment des terrasses en bordure du plateau continental et qui subsistent parfois en îlots au milieu des alluvions plus récentes (Marius, 1984).

La zone alluviale fluvio marine de la Basse Casamance couvre environ 250 000 hectares entre l'océan Atlantique et les plateaux de Bignona, de Ziguinchor et d'Oussouye qui se poursuivent en Gambie, au Nord, et en Guinée Bissau, au Sud. Elle pénètre largement à l'intérieur des plateaux, soit par la Casamance, dont le lit majeur atteint près de 10 km de large, à l'amont de Ziguinchor, soit par plusieurs de ses affluents : Soungrougrou, Bignona, Diouloulou et Baila, sur la rive droite, Guidel, Nyassia et Kamobeul sur la rive gauche. Tous ces cours d'eau sont soumis à l'influence de la marée sur la majeure partie de leur cours (Pimmel, 1984 ; Marius, 1984 ; Vieillefon, 1974).

Il faut ajouter que la zone alluviale du fleuve Casamance se présente comme un entonnoir plat, parcouru de chenaux anastomosés (où la vitesse de l'eau est faible) dont le fonctionnement est en estuaire inverse : un estuaire dans lequel l'influence de l'eau douce est nulle en saison sèche, conduisant à une hypersalinité de l'eau des rivières. Ces chenaux sont peu profonds dans les vasières, en avant des mangroves, mais ils s'approfondissent lorsque l'on pénètre dans la mangrove elle-même (Gouleau et *al.* 1977 ; Vieillefon, 1974 ; Pimmel, 1984, Marius, 1984).

En effet, il s'est produit une remise en suspension des sédiments et transport vers les parties hautes de la mangrove à *Avicennia* ou vers les vasières en aval des mangroves après l'installation de la mangrove. Les chenaux existants se sont creusés par les courants de marées. Cette remise en suspension des sédiments, dans le lit et sur les berges des marigots, serait liée

à l'existence d'une turbidité créée lors de la renverse des courants (jusant-flot) explique Gouleau *et al.* (1977). Comme l'a montré Brunet-Moret (1970⁷), il n'y aurait actuellement aucun apport nouveau (surtout continental), mais seulement une reprise des sédiments, lors de la renverse des courants sur le fond des marigots et du fleuve, ou par le vent sur les berges.

La mise en place des grandes unités géomorphologiques, caractéristique de l'estuaire de la Basse Casamance, relève de cette période comprise entre le Nouakchottien et l'Actuel.

Au maximum de la transgression, vers 5 500 BP, la mer a pénétré dans la zone déprimée de la Basse Casamance qui se présente alors sous forme de golfe largement ouvert sur l'océan. Le comblement de la Basse vallée serait attribué à la transgression nouakchottienne, avec une sédimentation essentiellement marine jusqu'à 4 000 BP. C'est vers cette période que se sont formés les anciens cordons sableux, grâce à la dérive littorale nord-sud, qui ont progressivement fermé le golfe de la Casamance. La sédimentation marine est alors relayée par une sédimentation de type lagunaire, notamment à l'arrière des cordons sableux (Clalck, 1978).

Vers 3 000 BP la progression des cordons littoraux est telle que le golfe se présente alors sous la forme d'une grande lagune, avec d'épais dépôts de vase où la mangrove peut se développer intensément (*op.cit.*).

Enfin vers 1 500 BP, la Casamance prend une allure comparable à la situation actuelle. La fermeture du golfe par les cordons littoraux entraîne la diminution des apports marins et provoque un ralentissement de l'évolution morphologique. Certaines unités telles que les tannes à l'arrière de la mangrove, à la faveur d'un climat sec (surtout pendant les années de sécheresse), conduisent à la grande transformation du paysage. D'autres unités géomorphologiques : dépôts artificiels de coquilles, terrasses les plus récentes, cordons littoraux constituent les jalons de la phase d'alluvionnement actuelle. Les plus importants cordons littoraux et flèches sableuses se sont formés sous l'influence de la dérive littorale nord-sud.

L'ensemble de ces unités se déplace progressivement vers l'ouest, suivant un système de progradation. Parallèlement, les vasières à mangrove comblent peu à peu la lagune et donnent à l'ensemble de la zone estuarienne sa morphologie actuelle (Kalck, 1978 ; Pimmel, 1984 ; Marius, 1984).

Selon (Pimmel, 1984), c'est durant la transgression Nouakchottienne qu'on attribue la plus grande partie du « *comblement alluvial* » du fleuve Casamance. La mer dépasse le niveau actuel

⁷ BRUNET-MORET YVES. (1970). *Étude des marées dans le fleuve Casamance. Cahiers ORSTOM. Série Hydrologie*, 7 (4), p. 3-18. ISSN 0008-0381.

vers 6 500 à 6 000 ans *BP* et atteint le niveau + 1 à + 1,5 m vers 5 000 à 5 500 *BP*. L'invasion marine est importante à l'intérieur des terres, mais la hauteur d'eau est faible ; elle s'insinue entre les alignements dunaires et forme des golfes en doigts de gant, envahissant les fleuves qui comblent leur estuaire.

L'estuaire de la Casamance est en fait une ria envahie par la transgression Nouakchottienne. La vallée aurait été creusée dans les formations sablo-argileuses du Continental Terminal lorsque le niveau océanique était beaucoup plus bas, puis comblée lors d'épisodes plus pluvieux que l'Actuel (Aubrun et Marius, 1986).

Cette importante régression est également responsable du creusement des vallées en doigts de gants qui s'enfoncent à l'intérieur des plateaux, en particulier dans les zones de Bignona et Baila, Diouloulou (Vieillefon, 1977). Selon Aubrun et Marius (1986), les formations superficielles se répartissent de manière générale en trois zones.

Une zone de plateau constituée par l'ensemble des plateaux gréseux mio-pliocènes du Continental Terminal qui domine d'une trentaine de mètres les vasières à mangrove.

Cette zone est formée de buttes circulaires ou sinueuses du Continental terminal à relief généralement plat. Les altitudes diminuent progressivement du sud-est, depuis les derniers contreforts du Fouta Djalon jusqu'à l'ouest pour atteindre le niveau de mer. Dans ce domaine, des cultures dites sèches (riz de plateau, arachide, mil, sorgho, verger, etc.), pousse une végétation dont la caractéristique varie du type soudanien (savanes arborées) vers l'est, au type guinéen avec un couvert végétal plus dense composé de palmiers et d'espèces diverses (Badiane, 2016). Elle est souvent composée de formations sableuses rouges constituées des sols ferrugineux tropicaux lessivés suivis des sols ferrallitiques appauvris rouges sur matériaux rouge sablo argileux et argileux sableux du Continental Terminal (Vieillefon, 1977 ; Marius, 1986 ; Badiane, 2016 ; Pélissier, 2008). Ces sols sont perméables alors que les zones de versants le sont moyennement, mais leur perméabilité décroît avec leur mise en culture.

Une zone de versants composés : partie terminale du domaine continental, les versants sont constitués de terrasses marines. Ils constituent la zone de transition entre le domaine continental et fluvio-marin qui est dominé par des sols gris et hydromorphes. Ils sont parcourus par une nappe phréatique circulante qui affleure périodiquement.

Elle est constituée d'une partie haute des versants qui comprend l'ensemble des sables rouges colluvionnés en surface, surmontant le niveau latéritique à cuirasse lorsqu'il affleure et d'une partie basse des versants constituée par un ensemble de terrasses. La partie haute des versants

comprend l'ensemble des sables rouges, colluvionnés en surface, surmontant le niveau latéritique à cuirasse, lorsqu'il affleure.

La partie basse des versants est constituée par un ensemble de terrasses qui se divise en deux ensembles. Ce sont les basses terrasses sableuses ou argileuses dont l'altitude varie généralement de 0,5 à 1 mètre au-dessus du niveau moyen et qui n'affleure pas partout et celui des terrasses sableuses (Vieillefon, 1974 ; Montoroi, 1994).

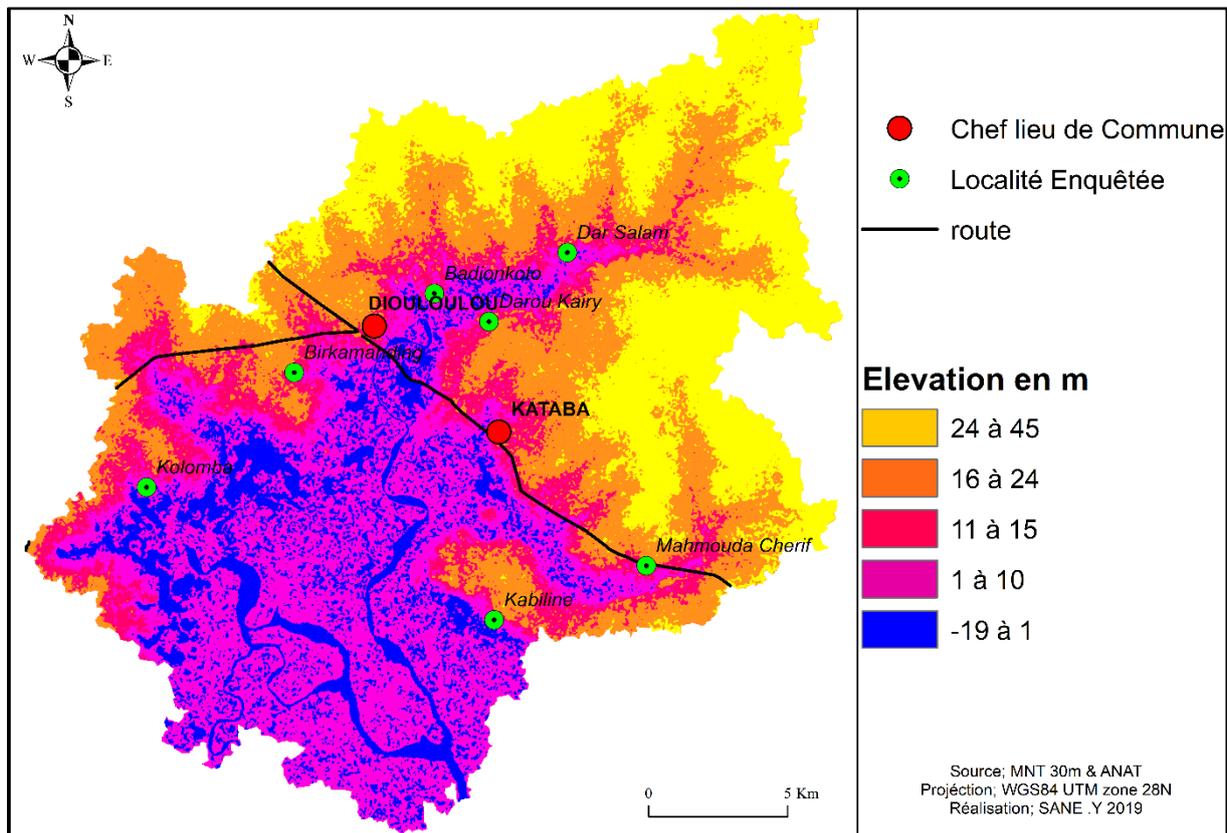
Elle peut être subdivisée en trois niveaux. Une terrasse sableuse de 2 mètres (généralement entourée de cordons sableux et de mangrove). C'est la plus récente, elle est formée de sables provenant des parties les plus hautes. Elle est, souvent, occupée par des rizières ou des palmiers à huile). Une terrasse sableuse de 2 à 5 mètres (constituée de sables blancs colonisés par une frange arbustive) et une terrasse supérieure 6 - 10 mètres (elle est la plus ancienne et ourle généralement les plateaux du "Continental Terminal", ou se présente sous la forme d'îles, au Nord de la zone alluviale) (Vieillefon, 1974, Albergel et *al.* 1993 ; Montoroi. 1994 ; Pimmel, 1984 ; Marius, 1984).

Une zone de bas-fond constituée par l'ensemble des vasières à mangroves, tannes et des rizières. Les bas-fonds sont subdivisés en deux zones. Une zone aval (influencée par la marée) remplie de vases récentes où se développent la mangrove et les tannes (sols salés plats et nus) et une zone amont non maritime de sédiments limono sableux occupés par les rizières (Vieillefon, 1974). Ce sont des zones de vallées marécageuses plus ou moins inondables entaillées par des axes naturels de drainage qui constituent le vaste bassin versant du fleuve Casamance et de ses trois principaux affluents, Diouloulou, Bignona et Soungrongrou sur la rive droite, Kamobeul et plusieurs bolong sur la rive gauche. Les zones de bas-fonds très argileuses et toujours saturées en eau (mer en saison sèche et eau douce en hivernage) sont quasi imperméables, souvent colonisées en amont par des formations herbacées, et à l'aval des formations végétales composées de palétuviers (*Rhizophora* et *Avicennia*) fortement entamées par la sécheresse qui a favorisé l'extension des tannes (Vieillefon, 1974 ; Albergel *et al.* 1993 ; Montoroi, 1994 ; Pimmel, 1984 ; Marius, 1984).

3.1.1. Relief et géométrie du bassin versant de Diouloulou

Le relief est un facteur essentiel, il détermine en grande partie l'aptitude des terrains au ruissellement, à l'infiltration et à l'évaporation. C'est un élément capital dans le comportement hydrologique d'un bassin versant (Bodian, Bacci et Diop, 2015).

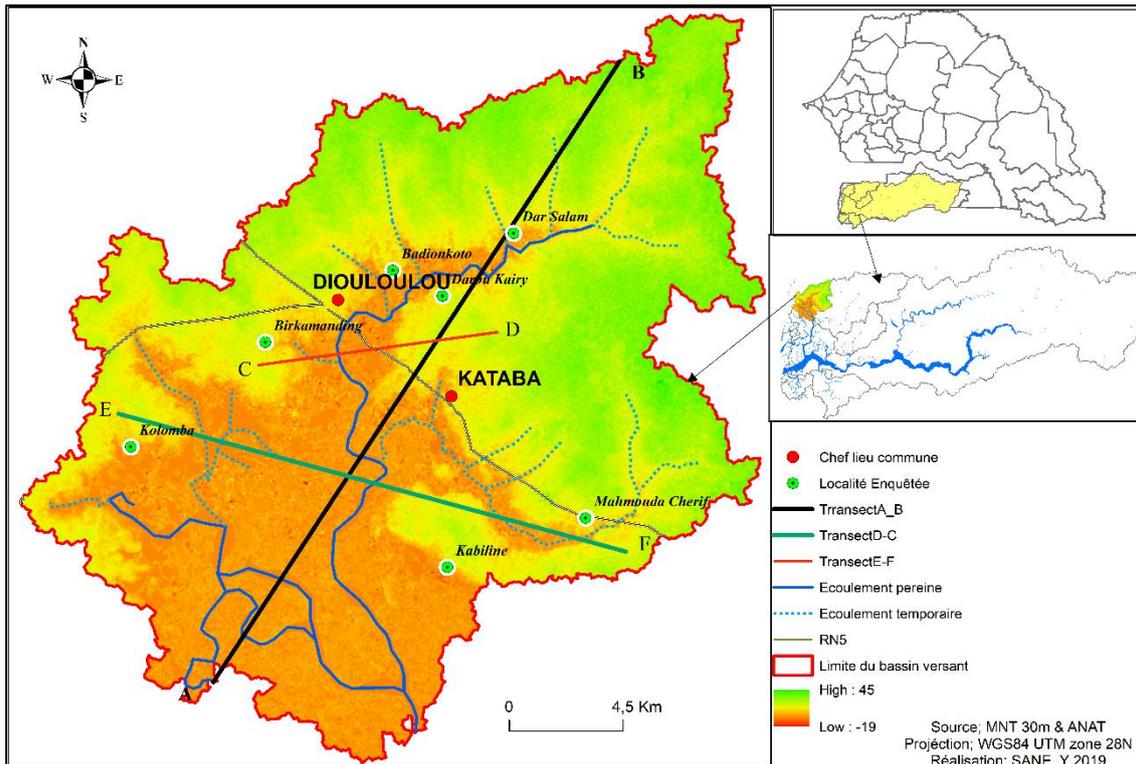
Du point de vue topographique, le bassin versant de la Casamance se caractérise par la faiblesse du relief. La faiblesse des pentes explique l'invasion profonde de l'eau de mer à l'intérieur du bassin de la Casamance (bolong, vasières, rizières, etc.) occasionnant ainsi la salinisation des terres agricoles. Ainsi, les eaux marines remontent le cours principal de la Casamance jusqu'à Dianamalari à 152 km de l'embouchure. Sur le Diouloulou notamment et sur le Baïla, elles atteignent Djibidione à 154 km de Diogué à l'embouchure (Dacosta, 1989).



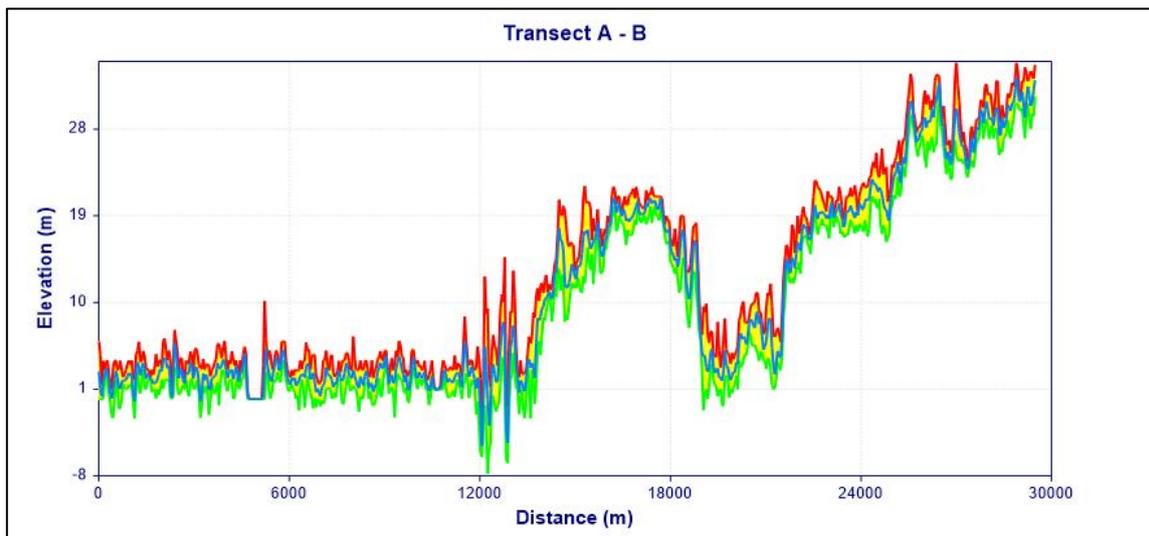
Carte 4 : relief du Bassin versant de Diouloulou

Le relief de la Basse Casamance est généralement constitué de bas plateaux et de terrasses basses. Les bas plateaux se localisent à l'est de la Casamance et sont découpés par un réseau de marigots, tandis que les terrasses basses, elles, se retrouvent vers l'ouest avec un relief à faible altitude. Le bassin de la Casamance est caractérisé par un relief monotone dont l'altitude maximale ne dépasse pas 50 m. Elles sont généralement comprises entre 0 et 40 m (Dacosta, 1989 ; Marius, 1984).

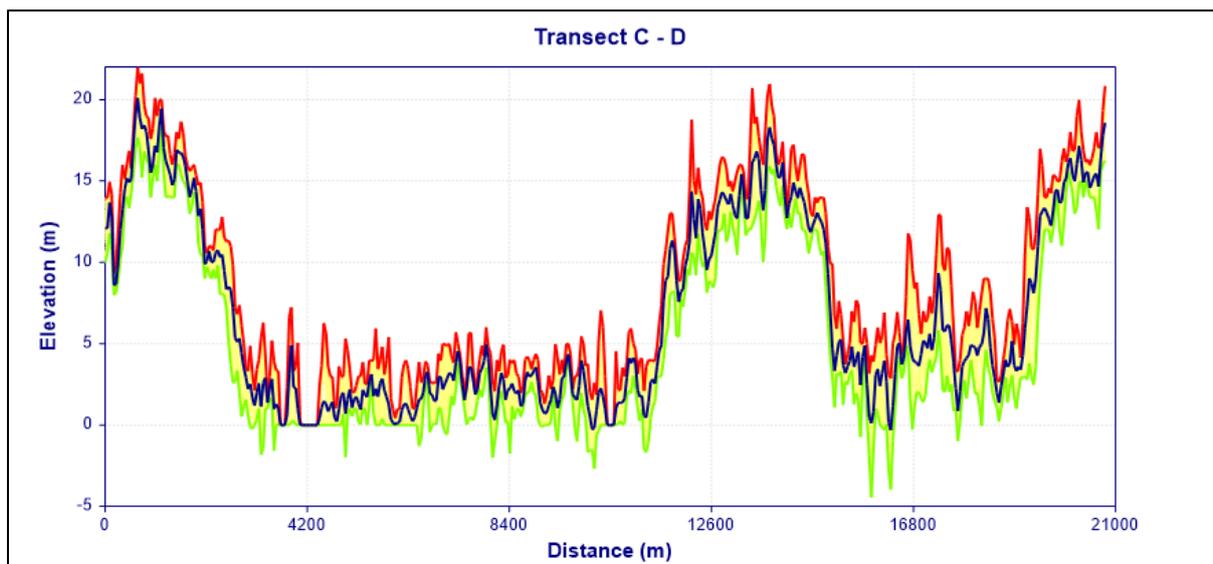
Ainsi, la carte 4 du modèle numérique de terrain (MNT) du bassin versant de Diouloulou montre que le relief est plat et les altitudes maximales ne dépassent pas 45 m. Les plus faibles altitudes sont en dessous du niveau zéro (0) de la mer (-19 m). Ceci concerne souvent le fond du marigot. Ce qui peut contribuer de manière significative à l'invasion des eaux marines parfois jusqu'au niveau des fonds des vallées rizicoles.



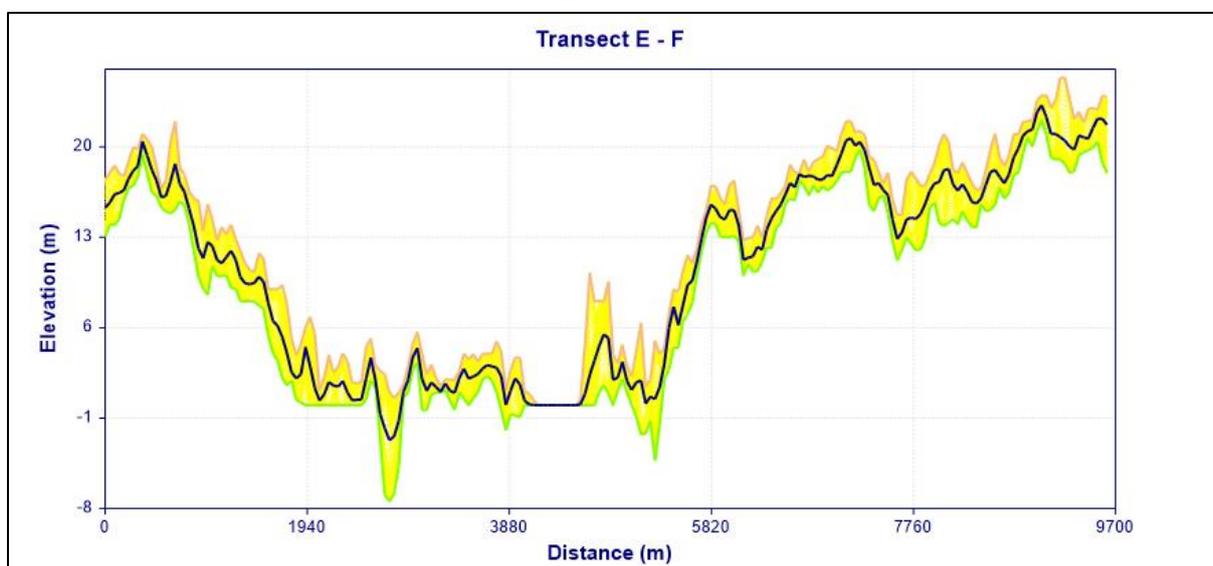
Carte 5 : transect des coupes topographiques dans le Bassin versant de Diouloulou



Graphique 5 : coupe topographique du transect A – B



Graphique 6: coupe topographique du transect C – D dans le Bassin Versant de Diouloulou



Graphique 7: coupe topographique du transect E – F dans le Bassin Versant de Diouloulou

L'analyse des coupes topographiques montre globalement que le bassin versant, a une topographie faible. Pour chaque profil, plus de 50 % des altitudes sont compris entre 0 à 10 m. Ce qui autorise à dire que le bassin versant est sous influence des eaux marines où les sols y sont affectés par le sel et mal lessivé.

Au-delà de la faiblesse de la topographie qui influe sur l'écoulement, il faut également noter sa forme et son importance. Les caractéristiques de formes permettent de déterminer la configuration géométrique du bassin versant et pourraient avoir un effet sur le ruissellement des eaux de surface. C'est dans ce cadre que quelques paramètres ont été déterminés (tableau 10).

L'indice admis par les hydrologues pour caractériser la forme d'un bassin versant est l'indice de compacité de GRAVELIUS, qui est le rapport du périmètre du bassin à celui d'un cercle de même surface. Si A est la surface du bassin en km^2 et P son périmètre en km, le coefficient K_G est égal à :

$$K_G = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Cet indice est déterminé à partir de la carte du Bassin versant en calculant automatiquement le périmètre du bassin versant et sa surface à l'aide du logiciel ArGIS10.3. Il est proche de 1 pour un bassin versant de forme quasiment circulaire et donc compacte, mais d'autant supérieur à 1 lorsque le bassin est de forme plus allongée. L'indice (K_G) est supérieur à 1 (= 2,1), donc, il faut déduire que le bassin versant de Diouloulou est relativement allongé.

Le bassin versant, a une superficie de 502 km^2 , et un périmètre de 169 m. Le calcul du rectangle équivalent a permis d'obtenir une longueur de 67,44 Km et une largeur de 42, 01 Km. Ce qui traduit le caractère allongé du bassin. Le tableau 10 illustre les paramètres caractéristiques du bassin versant.

Tableau 10: paramètres morphométriques du Bassin de Diouloulou Source : (Sané (2020))

Superficie (km^2)	Périmètre (km)	K_G	Longueur (km)	Largeur (km)	H5%	H95%	D	IG
502	169	2,1	67,44	42,01	45	-19	45.8	0.67

Le caractère faible de la topographie ne facilite pas les écoulements de l'eau au niveau du Bassin, du coup, les sols sont mal lessivés pendant les années sèches et, il s'est produit une forte salinisation des sols des bas-fonds. Ainsi, à partir des années 1970-1980 (années sèches), « *des modifications écologiques localisées et réversibles sont constatées* » (Sané, 2017). Des modifications généralement liées au changement climatique perceptible en Casamance à travers la variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie (baisse pendant les épisodes de sécheresse), des températures (l'augmentation des températures), de l'humidité relative, de l'évaporation, etc.

À cela, est venue s'ajouter une tendance à un assèchement progressif de ces zones encore humides avec comme conséquences :

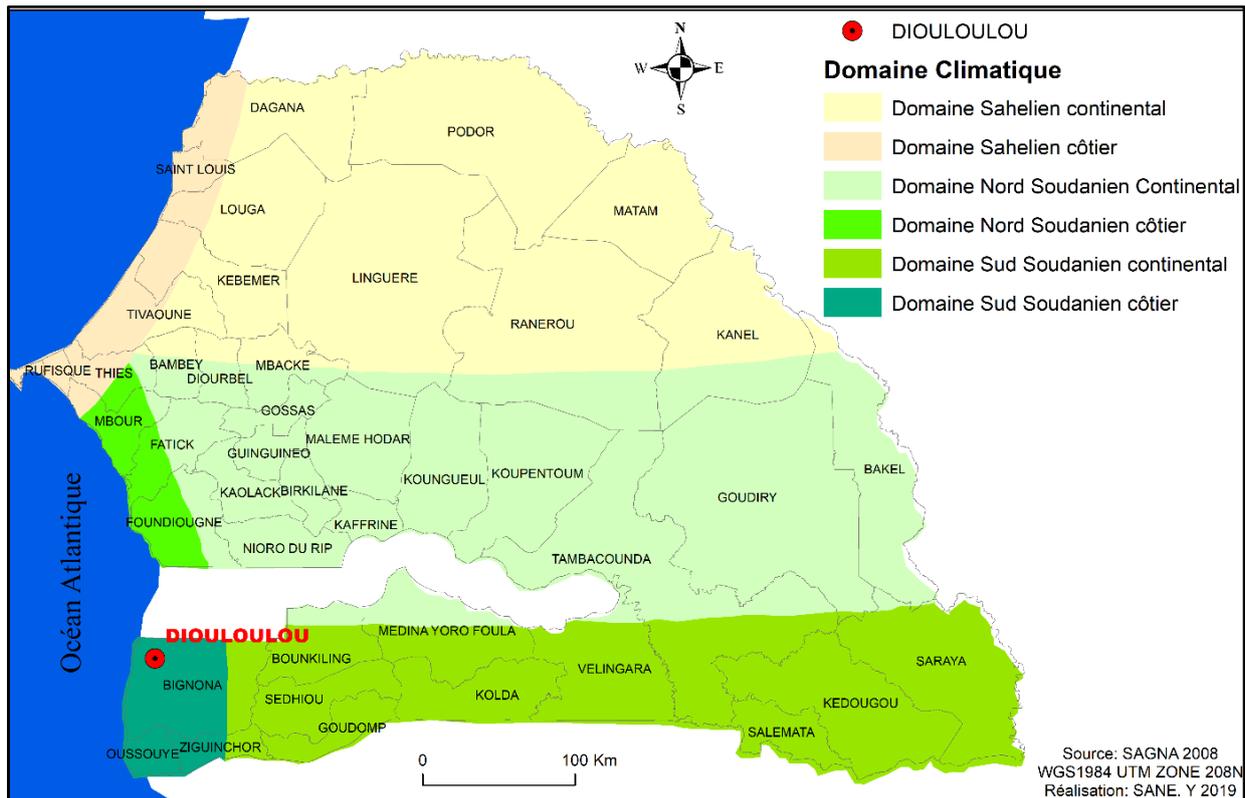
- la réduction de certaines surfaces d'eau consécutive à la sécheresse des années 1970 -1980 ;
- la réduction de l'espace rizicole contaminé généralement par le sel ;
- le recul de certaines vasières, de la végétation de la mangrove et l'accroissement des tannes, particulièrement dans la partie externe des estuaires du Nord ;

- l'ébauche de formes dunaires mineures sur cordons sableux à couvert végétale (Pimmel, 1984. Marius, 1984).

3.2. Caractérisation de la tendance hydro climatique actuelle en Basse Casamance septentrionale

L'Afrique de l'Ouest subit encore les effets de la sécheresse qui l'a frappé durant plusieurs décennies, maintenant toute la zone sahélienne avec des conséquences importantes sur la sécurité alimentaire. Les quantités des précipitations moyennes enregistrées varient d'une zone à l'autre. Elles augmentent de la zone saharienne à la zone guinéenne. La pluviométrie en Afrique de l'Ouest connaît des fluctuations spatio-temporelles et varie en moyenne entre 200 mm dans le domaine saharien et 1 200 mm dans le domaine Guinéen dont une partie se trouve Sénégal vers la Basse Casamance.

Il faut noter que la Basse Casamance, de par sa situation géographique, bénéficie d'un climat humide caractérisé par deux saisons très contrastées : une sèche et une pluvieuse. Elle appartient au domaine climatique sud-soudanien (Sagna, 2007). Selon la classification de (Sagna. 2005 et 2008) l'espace d'étude se trouve dans la zone Sud-soudanienne côtière (carte 7). Ce climat est marqué par une pluviométrie supérieure en moyenne à 1000 mm, une humidité importante, des températures assez élevées en fonction des saisons et des vents d'alizé et de mousson. La particularité du climat en Basse Casamance est l'importance des volumes d'eau précipités et d'humidité relative avec des températures assez élevées. Carte 6 met en évidence les domaines climatiques du Sénégal.



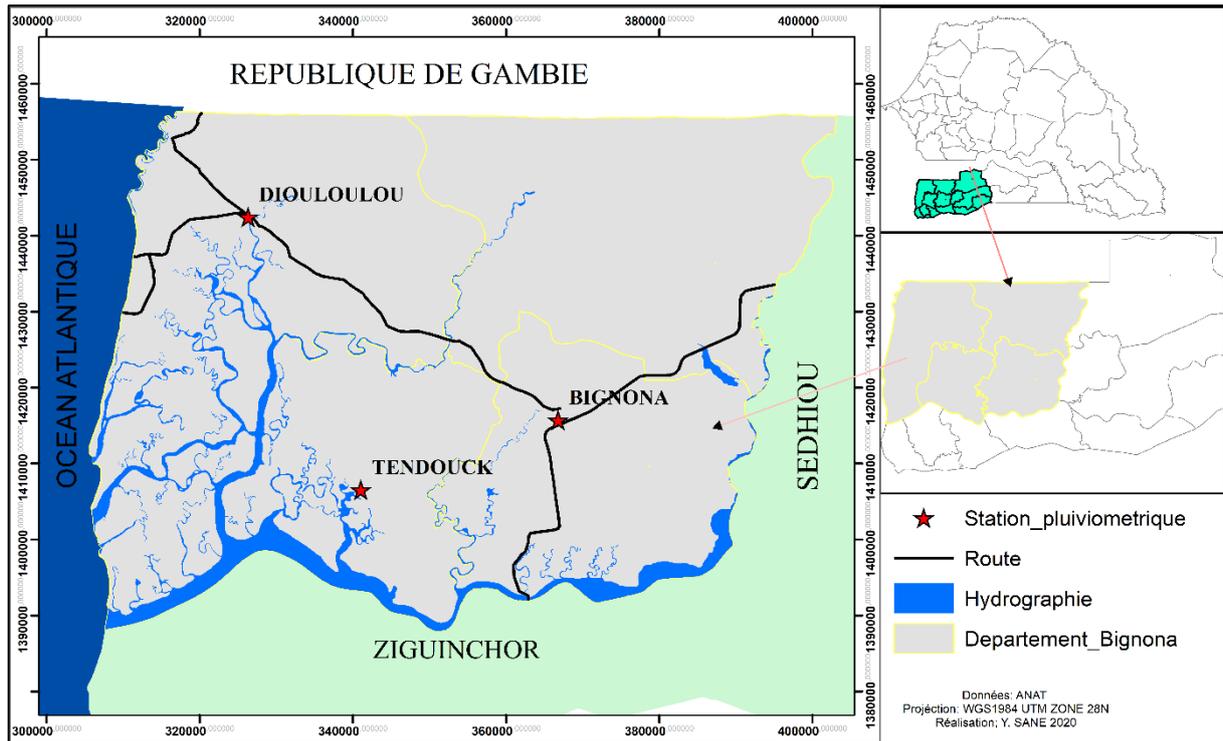
Carte 6: domaines climatiques du Sénégal (Sagna, 2008)

3.2.1. Irrégularités de la pluviométrie

La pluviométrie en Basse Casamance est généralement marquée par une variabilité dans le temps et dans l'espace, qui est perceptible à travers sa distribution mensuelle et annuelle.

L'analyse de la pluviométrie s'est appuyée sur son évolution interannuelle et inter-décennale. Elle s'est fondée sur les données des stations de Bignona, de Diouloulou et de Tendouck (carte 8) qui possèdent de longues séries pluviométriques (1951-2018). Ce qui permet de faire ressortir de manière plus explicite et d'identifier les périodes humides et sèches. L'évolution interannuelle est déterminée à partir des écarts normalisés qui sont des moyennes réduites définies par Lamb (1992). Ces anomalies facilitent la compréhension de la variabilité climatique en mettant en exergue les années humides et sèches.

L'analyse de l'évolution interannuelle des précipitations annuelles révèle une forte variabilité à la fois temporelle et spatiale (matérialisée par l'alternance des anomalies positives et négatives au cours des années). Généralement, il y a une diminution des cumuls pluviométriques depuis la fin des 1950 jusqu'au milieu des années 2000, à l'exception de quelques années à pluviométrie normale à excédentaire. Ainsi, une situation sensiblement normale de la pluviométrie annuelle au cours des dernières années de la série chronologique est remarquée, années durant lesquelles il y a une prédominance des anomalies positives.



Carte 7: localisation des stations pluviométriques

3.2.1.1. Variabilité de la pluviométrie en Basse Casamance Septentrionale

La variabilité interannuelle est perçue à travers la courbe de variabilité interannuelle (figure 5) qui révèle une évolution en dents de scie alternant des pics et des creux. Elle traduit également le recul pluviométrique de 1951 à 2018. Les minima de la série sont observés en 1968, 1972, 1980 et 1983. L'année 1983 a le creux le plus prononcé, 518,7 mm. Le coefficient de variation exprime aussi cette variabilité. Il est égal à 0,6 à Bignona, 0,5 à Diouloulou et 0,23 à Tendouck et demeure faible. La variabilité interannuelle s'accompagne d'une variabilité inter mensuelle importante. Cette variabilité interannuelle peut être confirmée par l'étude des tendances des différentes séries pluviométriques (figure 5).

3.2.1.2. Ruptures et tendances des séries pluviométriques des différents postes

3.2.1.2.1. Détection des ruptures et changements par le test de Pettitt

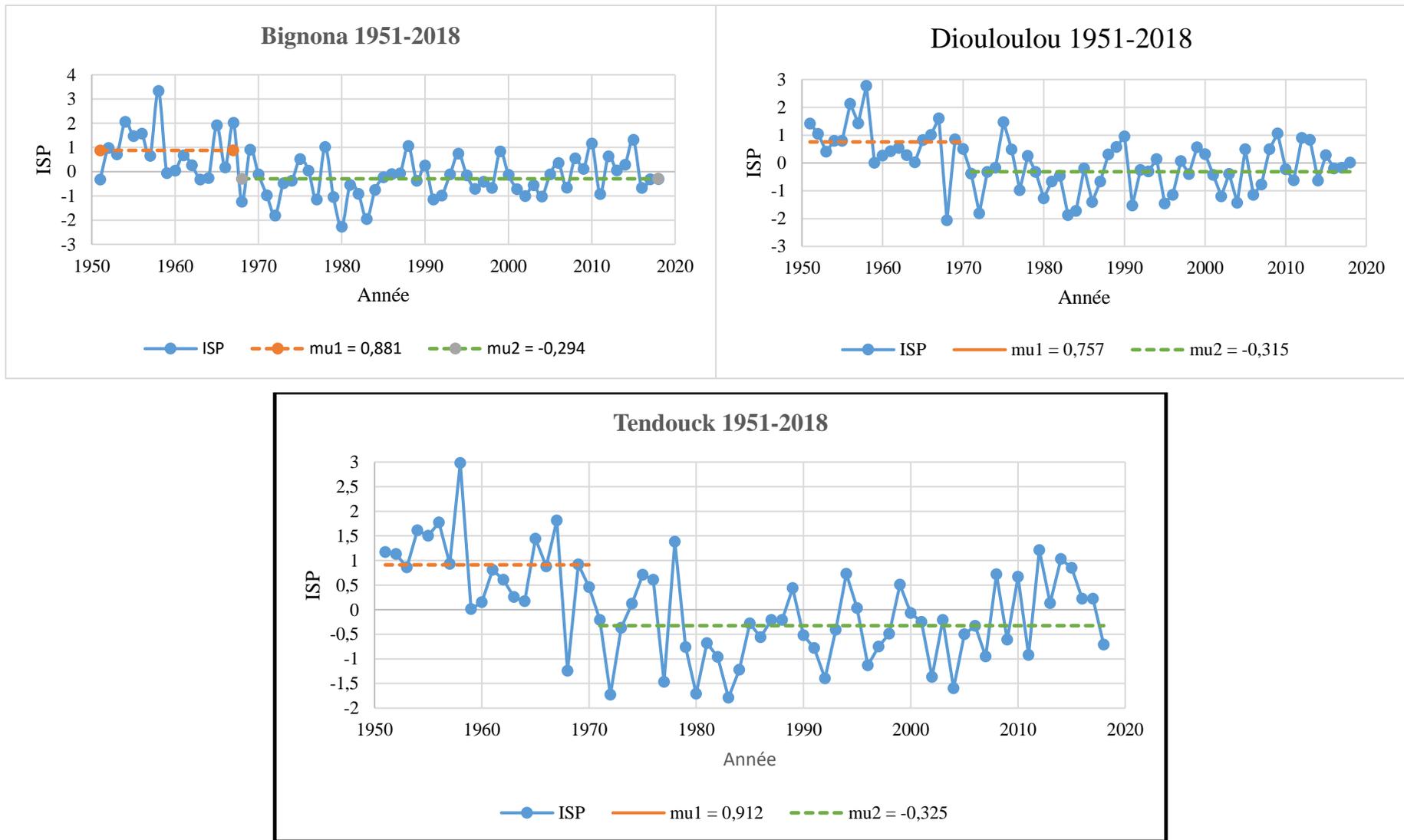
L'application du test de Pettitt sur la série de 1951-2018 dans le Département de Bignona fait ressortir deux années de ruptures au niveau de chaque poste pluviométrique : une année considérée comme modérément sèche et une année humide. La pluviométrie en Basse Casamance septentrionale a subi d'importantes variations depuis la période de déficit extrême. Les principaux changements ont été constatés en 1967 à Bignona et en 1970 à Diouloulou et Tendouck (graphique 8). Les sécheresses pluviométriques se sont bien amplifiées en Basse

Casamance. Les extrêmes positifs des indices sont enregistrés en 1956 (2,13) et 1958 (2,78) (graphique 8) parce qu'à là, la sécheresse n'était pas encore installée.

À cette période, une humidité forte pouvait être pressentie dans toute la zone d'étude. Elle est accompagnée d'excédents positifs de quantités de pluies au niveau des postes de Bignona, Diouloulou et Tendouck. De plus, la sévérité de l'humidité se conjugue avec une hausse des cumuls moyens mensuels par rapport à la normale 1951-1980. Les déficits pluviométriques les plus prononcés sont retrouvés à partir de 1968 qui coïncident à l'année de début après rupture de la série de Bignona.

Les déficits pluviométriques chroniques se répercutent sur les indices d'anomalies à savoir - 2,06 pour la même année. Ils se sont manifestés jusqu'à Ziguinchor (Ndong, 1995). Sur Ziguinchor, à cette période de changements des valeurs de séries pluviométriques, des déficits sévères ont été accusés sur les cumuls annuels en 1980 (692,7 mm) et en 1983 (572,6 mm). Les années 1982, 1983 et 1984 représentent le second point le plus bas de la sécheresse, pratiquement, tous les postes pluviométriques sont déficitaires en Afrique Subsaharienne (Sircoulon, 1986 ; Ndong, 1995 ; Panthou, 2013 ; Bodian, 2014 ; Faye et *al.* 2015).

Après les années d'extrême sécheresse, des pluies inférieures à la période d'avant rupture continue d'être enregistrées systématiquement, mais elles sont partout supérieures à la moyenne 1921-2020. La prorogation des déficits s'aperçoit à travers des variations des précipitations (- 400 ; -340 ; -380) et le p-value ($< 0,1$) extrêmement faible des séries pluviométriques. De plus, les indices standardisés de précipitations (ISP) sont loin des valeurs de la période d'avant rupture ou d'avant sécheresse des années 1980. Par conséquent, l'année 2009 semble retrouver le cours normal pour l'ensemble des postes pluviométriques de la Basse Casamance Septentrionale (ISP = 1,07, graphique 8).



Graphique 8 : résultats du test de Pettitt sur les 3 postes pluviométriques du Département

Tableau 11: années de changements et taux de variations des séries pluviométriques

Variables	Test de Pettitt				
	P-Value	Année de rupture	Moyenne avant rupture	Moyenne après rupture	Taux de Variation
<i>Bignona</i>	0,001	1967	0,88	-0,29	-400
<i>Diouloulou</i>	0,000	1970	0,76	-0,32	-340
<i>Tendouck</i>	<0,0001	1970	0,91	-0,32	-381

À la lecture des résultats des moyennes avant et après rupture, une légère situation de reprise de la pluviométrie est notée dans chaque poste. Ceci nous permet de dire que nous tendons vers un retour de la pluviométrie.

3.2.1.2.2. Analyse de la tendance des séries pluviométrique : appliquée au test de Mann Kendall

Le traitement de données statistiques issues des tests de Mann Kendall permet d'analyser l'évolution de la pluviométrie en Basse Casamance Septentrionale. La caractérisation des tendances de séries pluviométriques donne une analyse fiable des résultats. Les résultats des tests de tendance indiqués dans le tableau 11 montrent une tendance à la baisse avec une significativité de 99,9% pour tous les postes.

Les amplitudes des tendances avec la pente de Sen sont relativement faibles (-0,018 ; -0,015 ; -0,011) partout et négatives, confirmant ainsi la baisse des valeurs de SPI, en phase avec la tendance des déficits chroniques. Les valeurs de tendance des indices ont connu une décroissance importante. Les tendances à la baisse des indices sont plus significatives en 1968, 1980 et 1983 dans tous les postes de la Basse Casamance septentrionale

Tableau 12 : résultat du test de Mann Kendall

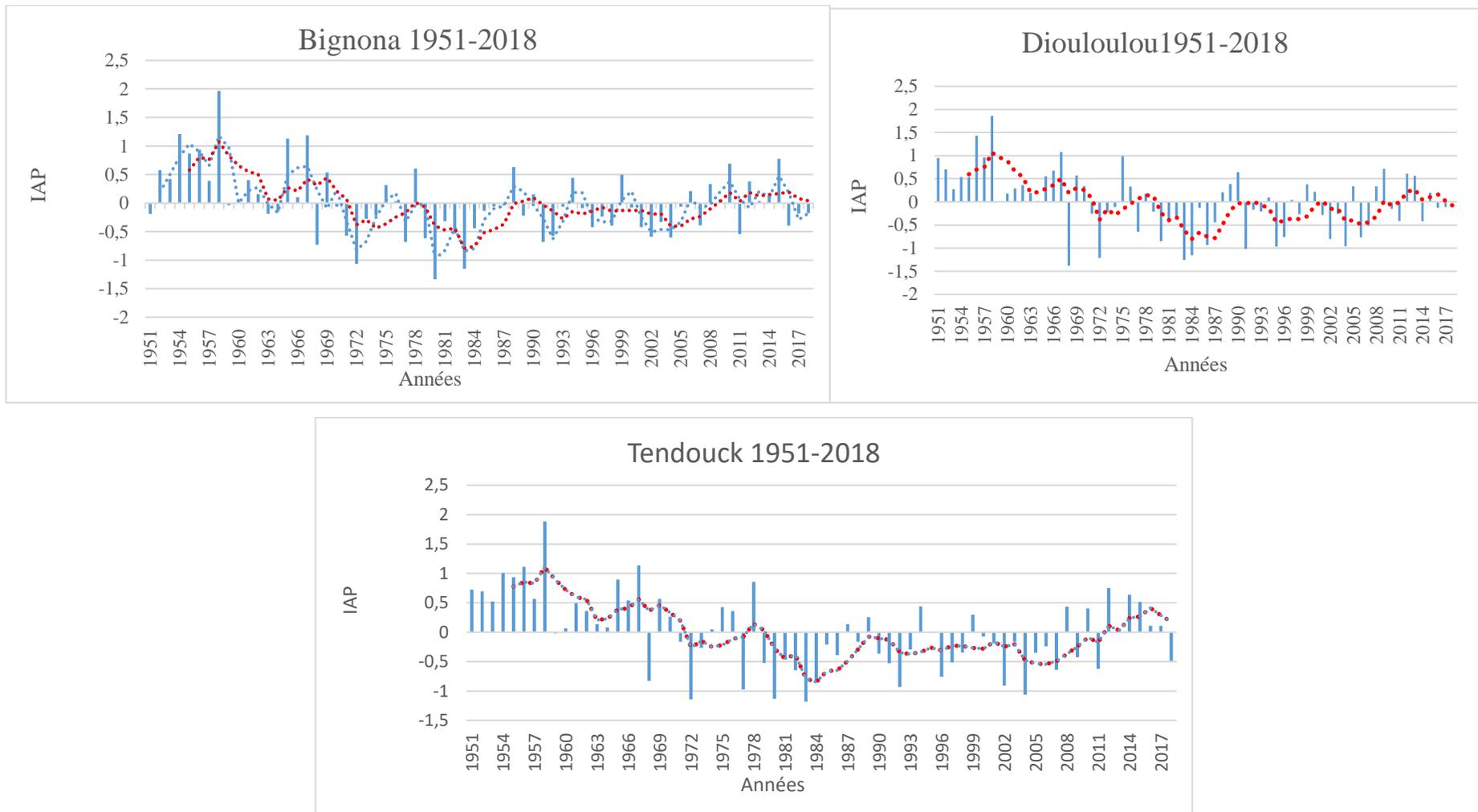
Variables	Test de Mann Kendall			
	P-Value	Taux de Kendall	Pente de Sen	Tendance
<i>Bignona</i>	0,066	-0,154	-0,011	<i>Faible</i>
<i>Diouloulou</i>	0,020	-0,194	-0,015	<i>Faible</i>
<i>Tendouck</i>	0,008	-0,221	-0,018	<i>Faible</i>

3.2.1.3. Étude de la variabilité pluviométrique et des températures par indice

3.2.1.3.1 Caractérisation de la variabilité pluviométrique par l'indice d'anomalie pluviométrique (IAP) et l'indice logarithme de déviations pluviométriques (IDP)

En Basse Casamance Septentrionale, on observe une tendance régressive des indices d'anomalies pluviométriques (IAP). Les résultats des indices montrent les périodes de 1951 à 1960 comme pluvieuses. En effet, de fortes pluies ont été enregistrées avant la fin des années 1960. Au-delà de cette période, une forte cassure de la série est observée, conjuguée d'une variation interannuelle décroissante des indices.

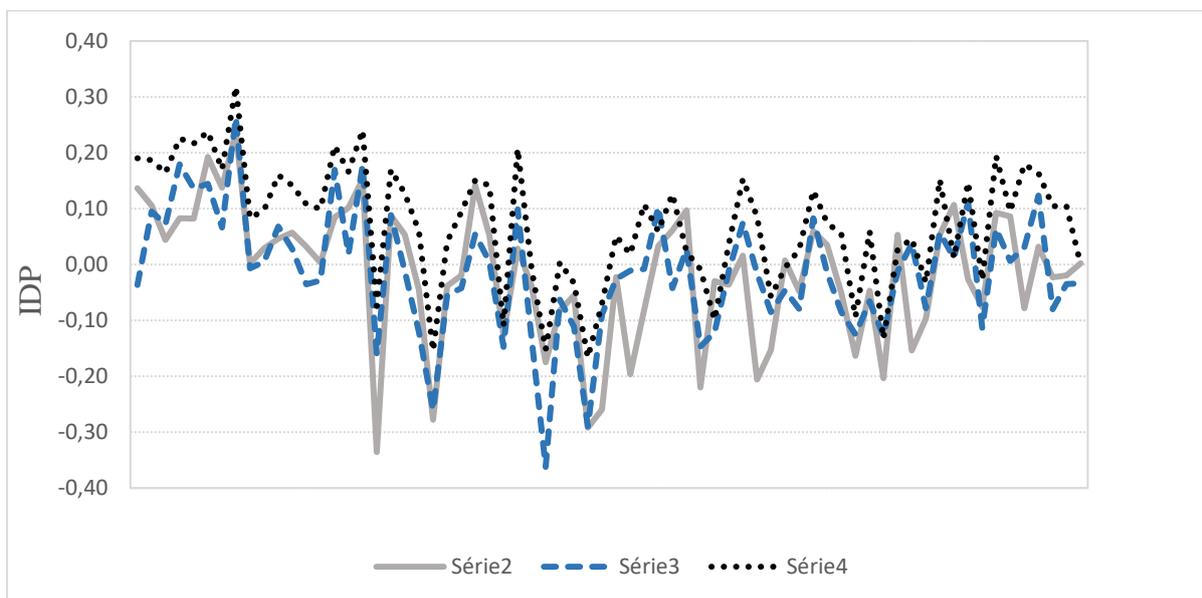
Dans le poste de Bignona, les anomalies pluviométriques faibles ont été enregistrées en 1972 (655,5 mm) ; 1980 (518,7 mm) et 1983 (612,6 mm). De même à Tendouck, une variation de la série est observée en 1972 (712 mm) ; 1980 (716,1 mm) et en 1983 (692,8 mm). Contrairement aux années de pluviométrie faible, les postes pluviométriques ont connu des cumuls annuels forts, notamment en 1956 (1756 mm) ; 1958 (2115 mm) et 1967 (1768 mm). Les postes pluviométriques de la zone connaissent toujours des variations importantes de pluie. Les valeurs des indices sont comprises entre -0,1 et 2. Globalement, la variation se produit du Nord au Sud.



Graphique 9: variabilité des indices d’anomalies pluviométriques à la station de Bignona, Tendouck et Diouloulou

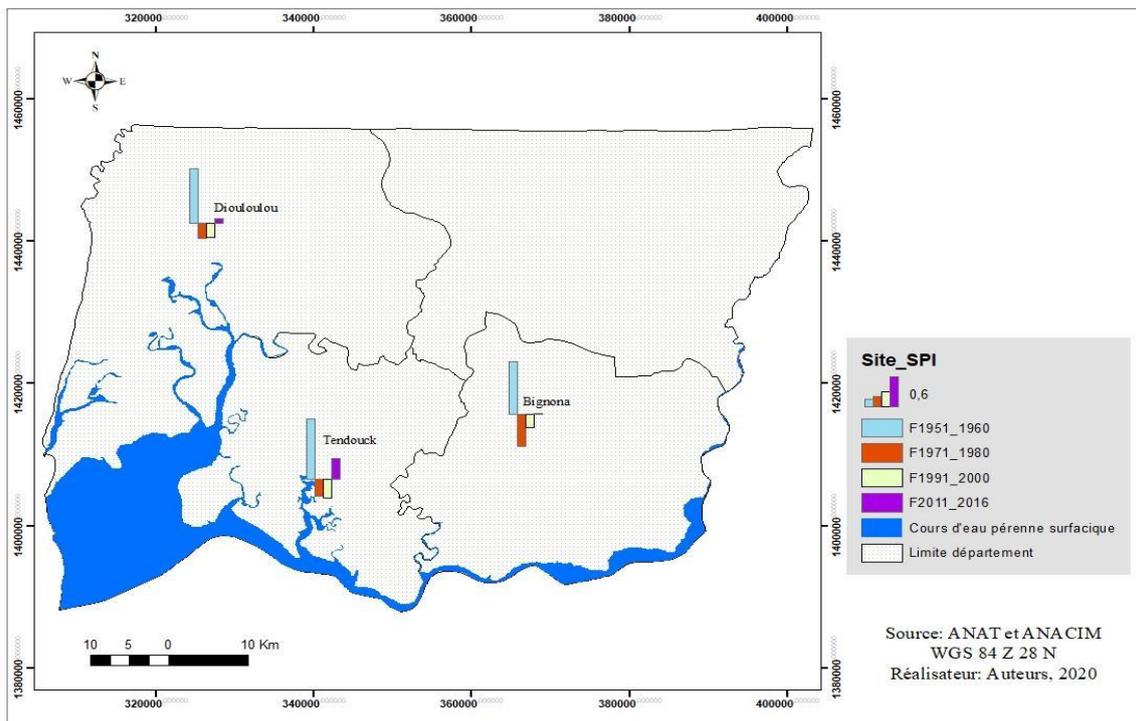
Les analyses montrent plus de détails dans les séries de données pluviométriques validant une possibilité de conforter ces données. Les indices d'anomalies étaient positifs jusqu'au début des années 1970. Les indices étaient presque à une dynamique ascendante.

Les deux premières décennies de la série de données sont modérément humides. Toutefois, les postes de la Basse Casamance Septentrionale montrent une variabilité sur toutes les séries de données pluviométriques. Le graphique 10 montre une tendance descendante entre 1968 et 1985, des données pluviométriques et depuis 1985, comme dans toute l'Afrique de l'Ouest une croissance continue des précipitations.



Graphique 10: indice de déficit pluviométrique à Bignona, Tendouck et Diouloulou

3.2.1.3.2. Étendue temporelle et spatiale des SPI en Basse Casamance septentrionale



Carte 8: évolution spatiale et temporelle des SPI en Basse Casamance Septentrionale

La Carte 8 montre une importante variation des séries de valeurs de SPI au niveau de chaque station. Pendant la décennie (1951-1960) les valeurs de SPI sont toutes restées positives dans toute la zone. Au courant de cette décennie, les fortes précipitations ont été enregistrées avec des cumuls allant de 1505,5 mm à Diouloulou, 1588,1 mm à Tendouck et 1506,17 mm à Bignona. La décennie suivante est moins arrosée. Elle correspond à la décennie 1960 – 1970 avec des cumuls faibles enregistrés, 1289,89 mm à Diouloulou, à Tendouck (1409,8 mm) et à Bignona (1315,08 mm).

Les indices pluviométriques sont au-dessous de 1, même s'ils sont positifs. Au courant de la décennie (1951-1960), les indices normalisés obtenus sont tous positifs et supérieurs à 1. Au poste de Diouloulou, la valeur moyenne décennale est de 1,11 en (1951-1960), 0,4 en (1961-1970), -0,03 en (1971-1980), -0,5 en (1981-1990), -0,4 (1991-2000), -0,4 en (2001-2010) et 0,1 en 2011-2018. Aussi, au niveau du poste de Tendouck les données se présentent comme suit : 1,5 entre 1951-1960, 0,2 en 1961-1970, -0,3 en 1971-1980, -0,6 en 1981-1990, -0,4 en 1991-2000, -0,4 en 2001-2010, et 0,3 en 2011-2018.

Au contraire dans le poste de Bignona, les valeurs des indices normalisés ont évolué en dents de scie. Pendant la décennie 1951-1960, l'indice moyen normalisé est de 1. Également, au courant de la décennie 1961-1970, un indice de 0,4 est enregistré à cette station. De plus, en

1971-1980, un indice de -0,6 est enregistré. Toutefois, au cours de la décennie précédente coïncidant à la première manifestation des épisodes sec en Basse Casamance, les valeurs ont connu une baisse forte. Notamment, en 1981-1990 et 1991-2000, les valeurs sont respectivement de -0,4 et -0,3. Et, la décennie 2001-2010 est aussi légèrement déficitaire (-0,2). Depuis la période sèche qui a frappé toute la Casamance, les quantités de pluies enregistrées restent toujours faibles comparées à celles de la décennie initiale (1951-1960).

Par conséquent, tous les postes pluviométriques de la Basse Casamance Septentrionale avaient connu une chute. Cette baisse s'est manifestée sur les valeurs négatives des indices. Les données de SPI ont tendance à régresser dans pratiquement tous les postes de la zone, caractérisant la présence des années sèches. Même si ces déficits notés confortent l'hypothèse faisant part de la tendance décroissante des quantités pluviométriques en Basse Casamance. La variabilité spatio-temporelle se manifeste plus entre ces données décennales.

3.2.1.4. Analyse de la pluviométrie par rapport aux différentes normales en Basse Casamance septentrionale.

Le tableau 13 révèle que la séquence 1951-1980 a commencé par une décennie (1951-1960) très arrosée en général, suivie d'une décennie normale (1961-1970) et se termine par une décennie sèche (1971-1980).

La période 1961-1990 est caractérisée par l'existence de deux décennies sèches (1971- 1980, 1981-1990).

La troisième période trentenaire est 1971-2000, a la particularité de contenir la séquence de sécheresse la plus intense de la période (1979-1987).

La dernière période, elle, contient également cette séquence sèche, mais aussi les deux dernières décennies (1991-2000, 2001-2010) moins pluvieuses de la série chronologique 1951-2016.

Les différentes normales pluviométriques (1951-1980, 1961-1990, 1971-2000 et 1981-2010).

Tableau 13: caractéristiques moyennes des pluies selon différentes normales (en mm)

Normales \ stations	Bignona	Diouloulou	Tendouck
1951-1980	1294,4	1280,2	1374,2
1961-1990	1141,9	1125,5	1296,5
1971-2000	1099,0	1057,0	1101,0
1981-2010	1131,8	1044,7	1091,2

3.2.2. Analyse des températures

La température constitue un des facteurs les plus importants pour caractériser la situation climatique d'une zone donnée. Elle est également un facteur qui influence l'activité rizicole. Il paraît important d'avoir un aperçu global des tendances qui se dégagent de 1951 à 2016.

Les températures moyennes annuelles et mensuelles minimales et maximales sont calculées à partir des données de la station de Ziguinchor 1951 à 2016. Cette station est choisie parce que les données ne sont pas disponibles au niveau des trois stations du département de Bignona (Bignona, Diouloulou et Tendouck). D'ailleurs, c'est la seule station synoptique de la Basse Casamance qui dispose d'une série plus ou moins longue.

3.2.2.1. Variabilité mensuelle des Températures

La variabilité mensuelle des températures a permis de distinguer les maximas et les minimas. De manière générale, les minimas sont généralement observés en décembre-janvier tandis que les maximas sont enregistrés en mars, avril et mai.

Les plus élevées des températures maximales sont enregistrées en mars, avril et mai, avec des valeurs respectives de 37.5, 38,0 et 38.2 °C. Elles sont supérieures à la moyenne annuelle qui est de 35.1°C. Il faut noter qu'à partir du mois de janvier (33.7), la température augmente progressivement jusqu'à son maximum au mois de mai (38.2°C). Cependant, à partir du juin, les valeurs des températures diminuent progressivement durant toute la saison des pluies (32.7°C en Octobre) avant d'augmenter au mois de Novembre (35.6°C).

Tableau 14 : valeurs extrêmes des températures maximales à Ziguinchor (1951-2016)

Variables	Observations	Maximum	Minimum	Moyenne
Janvier	66	37,1	30,3	33,7
Février	66	39,0	30,8	34,9
Mars	66	40,9	34,1	37,5
Avril	66	41,2	34,8	38,0
Mai	66	42,3	34,1	38,2
Juin	66	40,7	32,8	36,8
Juillet	66	38,5	29,8	34,2
Août	66	38,5	28,8	33,7
Septembre	66	38,2	30,0	34,1
Octobre	66	38,3	27,0	32,7
Novembre	66	39,2	31,9	35,6
Décembre	66	35,3	29,7	32,5
Annuelles	66	39,1	31,2	35,1

En effet, le tableau 13 montre en détail les caractéristiques des températures minimales de 1951 à 2016 à la station de Ziguinchor. Il révèle que les plus importantes des températures minima sont enregistrées pendant la saison des pluies (juin, juillet, août, octobre (23.3°C), et septembre (23.7) contrairement à celle des maxima. Ces températures sont supérieures d'environ de 3°C à la moyenne de la série qui est de 20.8°C. Il faut noter que la plus faible des minima est notée en janvier 1971 avec 13.2°C, tandis que celle plus élevée en septembre 2007 (25.7°C).

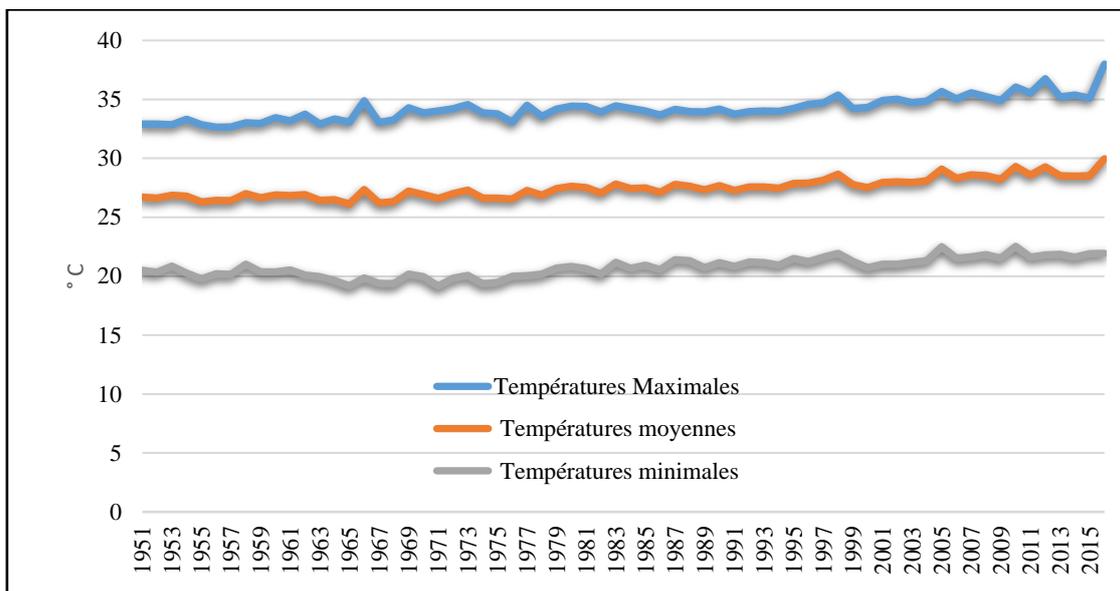
Tableau 15 : valeurs extrêmes des températures minimales à Ziguinchor (1951-2016)

Variables	Observations	Maximum	Minimum	Moyenne
Janvier	66	19,7	13,5	16,6
Février	66	20,3	14,7	17,5
Mars	66	21,0	15,9	18,5
Avril	66	22,7	17,2	20,0
Mai	66	24,7	19,1	21,9
Juin	66	25,2	21,3	23,3
Juillet	66	24,8	21,7	23,3
Août	66	24,7	21,8	23,3
Septembre	66	25,6	21,7	23,7
Octobre	66	24,8	21,8	23,3
Novembre	66	22,8	18,2	20,5
Décembre	66	20,9	13,9	17,4
Annuelles	66	23,1	18,4	20,8

3.2.2.2. Variabilité interannuelle des températures à la station de Ziguinchor

Les températures moyennes annuelles de la station synoptique de Ziguinchor ont été utilisées pour l'analyse de la variation thermique. Les températures moyennes annuelles et mensuelles minimales et maximales sont calculées sur une série de 67 années (1951-2016).

Les résultats ont connu une légère augmentation entre 1970 et 2016. C'est à partir de 1995 que les conditions thermiques ont commencé à augmenter progressivement jusqu'en 2016. Années pendant lesquelles les records des températures de la série chronologique ont été enregistrés avec 38°C. Les températures minimales ont connu une variation entre 1951 et 2014. Elles sont marquées par deux périodes distinctes séparées par une rupture au début des années 1980 notamment en 1983 (21.2°C), soit une augmentation de 0.4 °C par rapport à la moyenne (20.8 °C) de la série. La période 1984-2016 a enregistré les valeurs les plus élevées pouvant atteindre 22.5°C à l'image de l'année 2005 et 2010. L'augmentation de la température chaque année a accentué les conditions d'assèchement dans la zone d'étude. Elle favorise l'évaporation surtout en saison sèche, période pendant laquelle les températures maximales peuvent atteindre 40 °C.

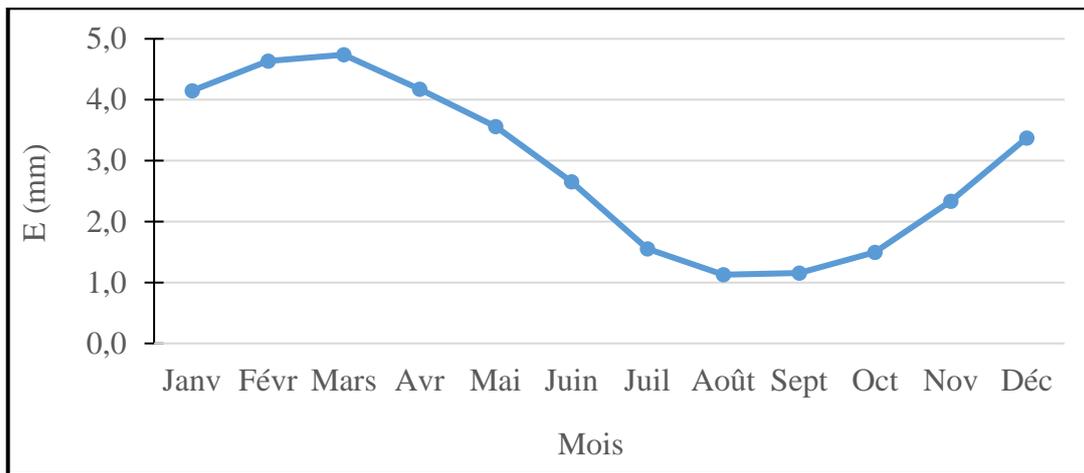


Graphique 11: évolution des températures, station de Ziguinchor de 1951 à 2016

3.2.3. Variation mensuelle de l'évaporation de 1960 à 2019

L'évaporation est un paramètre déterminant dans le domaine de l'agriculture, surtout dans le contexte d'un climat instable. Elle influe sur la remontée de la langue salée, accélère la cristallisation due à la minéralisation du sel. Ces phénomènes (remontée de la langue salée et cristallisation) influent négativement sur les semis qui parfois jaunissent. Elles ralentissent également la croissance de la plante, perturbent le cycle végétatif.

L'observation des moyennes mensuelles de l'évaporation journalière à Ziguinchor, laisse apparaître une évolution unimodale (graphique 12). En effet l'évolution de l'évaporation s'oppose à celle des précipitations puisque c'est pendant l'hivernage (juin à novembre) qu'on enregistre les plus faibles valeurs (2,7 ; 1,6 ; 1,1 ; 1,2 ; 1,5 ; 2,3 mm/jour). À l'opposé, les plus fortes quantités d'eaux évaporées sont enregistrées durant la saison sèche, de décembre à mai. Le maximum se situe en mars (4,7) et le minimum en août (de l'ordre de 1,1 mm/jour).

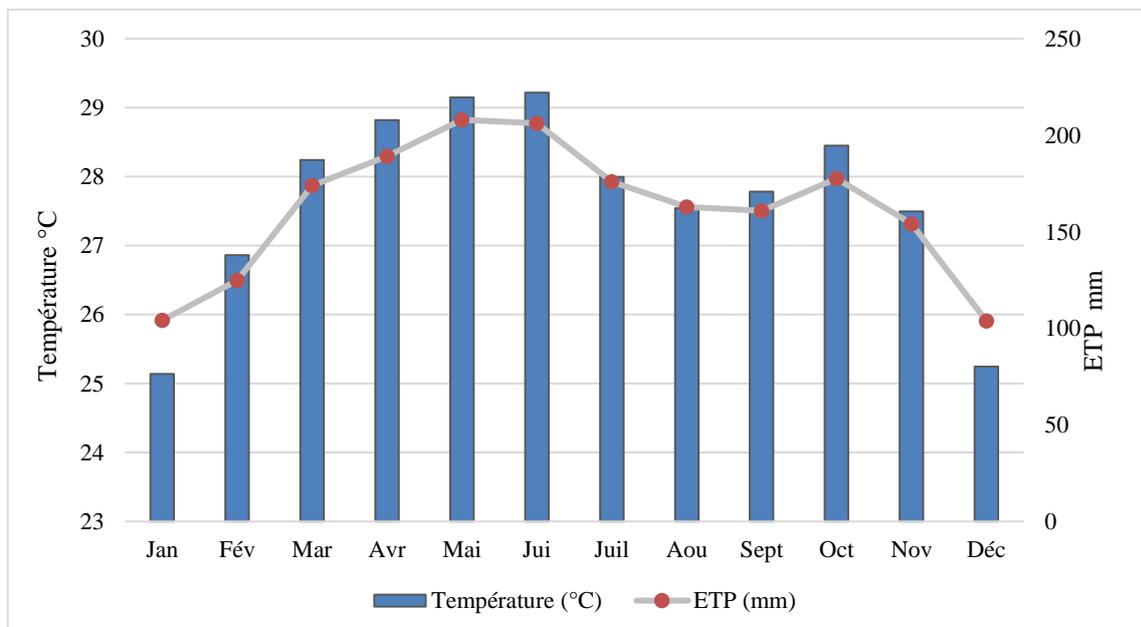


Graphique 12: variation mensuelle de l'évaporation de 1960 à 2019 (mm/jour)

C'est l'ensemble des phénomènes qui transforment l'eau liquide en vapeur d'eau, par un processus purement physique. Les phénomènes d'évaporation interviennent dans le cycle hydrologique dès l'instant où les précipitations atteignent la surface du sol.

3.2.4. Irrégularité de l'évapotranspiration

Les valeurs de l'ETP mensuelle sont en relation avec celles des températures à la station de Ziguinchor. À la période où on observe une hausse des températures, l'évapotranspiration potentielle augmente en même temps. Pratiquement, les mois à températures élevées (avril, mai, et juin) enregistrent respectivement des valeurs d'ETP de 189,8 mm, 208,1 mm et 206,1 mm (graphique 13). Les valeurs deviennent faibles pendant les mois de décembre (103,9 mm) et janvier (104,2 mm) correspondant à la période de fraîcheur à Ziguinchor.



Graphique 13: évolution mensuelle des températures et de l'évapotranspiration potentielle 1960 à 2019 (Sané et al. 2023)

Ce paramètre joue un rôle important dans l'évolution actuelle des écosystèmes de la Casamance, puisqu'il est d'après Saos (1986) responsable en grande partie de l'augmentation de la salinité du fleuve pendant les périodes de déficit pluviométrique par concentration de l'eau de mer. La planche 5 illustre les dépôts de cristaux de sel au niveau des parcelles rizicoles à Birkamading.



Planche 5 : dépôt de cristaux de sel au niveau des parcelles rizicoles à Birkamading

3.3. Discussion

Après avoir démontré la variabilité hydro-climatique avec les tests de tendance et de ruptures, une analyse de statistiques a été effectuée à travers les tests de corrélation et de modélisation statistiques. Les résultats des données confirment l'hypothèse de départ sur le déficit des séries pluviométriques. Les résultats de l'analyse de la série de données pluviométriques (1951-2018) montrent un léger déficit des données interannuelles. Ils confirment les conclusions de l'étude de Vissin et al. 2003, «*la tendance générale des précipitations et des écoulements est à la baisse* ». Les résultats des tests de Pettitt et de Mann Kendall montrent une non-stationnarité des quantités de pluies depuis 1951. Les cassures notées dans les séries au niveau des trois postes prouvent la variation des pluies. Les déficits de pluies restent constants dans la Basse Casamance Septentrionale. Toutefois, il existe de légères alternances entre les différentes années. Notamment, trois périodes qui se sont distinguées après traitement des données statistiques.

La période 1951-1967, essentiellement excédentaire, correspond aux années pluvieuses avant l'installation de la sécheresse. Un groupe d'années humides a été observé jusqu'à la fin de la décennie comme partout en Afrique de l'Ouest (Morel 1995). À la fin des années 1960, un début d'alternance d'années humides à sèches est observé pour toutes les séries de données pluviométriques.

Une longue période déficitaire (de 1968 à 1998) avec quelques années excédentaires. Cette période correspond à celle des années de sécheresse même si certains chercheurs comme Descroix, (2015), Maléki. (2014) ont montré dans leurs études que la situation pluviométrique s'est améliorée en Afrique de l'Ouest depuis les années 1990. L'analyse des indices d'anomalies confirme cette évolution et met en évidence une amélioration de la situation à partir de la décennie 1988-1997. Néanmoins cette amélioration de la situation pluviométrie, ne semble pas revenir à la normale (1951-1960).

En effet, certains auteurs sont dans cette même logique comme Panthou, 2013, dans sa thèse «*Analyse des extrêmes pluviométriques en Afrique de l'Ouest et de leur évolution au cours des 60 dernières années* » a démontré une amélioration de la pluviosité depuis le milieu des années 2000. En 2014, l'étude de Bodian. A, sur l'ensemble du Sénégal a montré une reprise de la pluviosité à partir de 1998 dans la zone soudanienne et durant la décennie 2001-2010 dans la zone sahélienne. Il montre que la reprise est plus manifeste dans les zones soudanienues.

Pour Sambou et *al.* (2018) qui ont étudié la Variabilité spatio-temporelle des pluies de 1932 à 2014 dans le bassin versant du fleuve Kayanga/Geba (République de Guinée, Sénégal, Guinée-Bissau), ont également montré qu'il y a une amélioration des conditions pluviométriques globalement avérée, mais ils restent subjectifs en pensant qu'elle n'est pas manifeste partout. Dans cette même logique, Sané (2017), reste également prudent pour annoncer la fin de la sécheresse en Basse Casamance, il parle de situation « *de non-retour effectif aux conditions pluviométriques normales à excédentaires, comme ce fut le cas durant les années 1950* ».

Les températures ont également connu une augmentation progressive. Elles sont aussi affectées par le changement climatique. Ces deux dernières décennies sont marquées par des températures élevées au point d'affecter les productions agricoles.

Aujourd'hui, les paysans sont conscients de cette reprise de la pluviométrie, mais cette reprise est loin des totaux d'avant les années 1950.

Cependant, jusque-là, il y a certains acteurs locaux pessimistes, qui évoquent la sécheresse ou le déficit pluviométrique pour expliquer les mauvais rendements ou la mauvaise situation économique, la dégradation environnementale. Ce discours est souvent repris par les hommes politiques, parfois même des chercheurs (cités in Descroix, 2015).

Toutefois, il faut noter que la variabilité des conditions pluviométriques intervenues pendant les années de sécheresse a eu des effets négatifs sur l'activité agricole. Elle a accentué la dégradation des rizières qui s'est manifestée par les phénomènes de salinisation, d'acidification entraînant d'importants abandons de parcelles rizicoles jadis exploitées.



Photo 3: Étendue de parcelles rizicoles abandonnées (cliché SANE 2020)

Ces conséquences se font encore sentir, malgré le retour de la pluviométrie qui est indispensable à la riziculture. Les paysans peinent à reprendre normalement leur activité rizicole. La photo 3 montre une étendue de parcelles rizicoles abandonnées.

La riziculture essentiellement pluviale en Casamance plus particulièrement dans le BV de Diouloulou est rendue vulnérable depuis la période charnière de la sécheresse. Ainsi, elle peine aujourd'hui à se remettre à la situation normale où les riziculteurs pouvaient consommer essentiellement leur production pendant 12 mois.

Conclusion

La pluviométrie en Basse Casamance est généralement marquée par une variabilité dans le temps et dans l'espace. Cette variabilité est perceptible à travers sa distribution mensuelle et annuelle. L'analyse de la pluviométrie s'est appuyée sur son évolution interannuelle et décennale. Elle s'est fondée sur les données des stations de Bignona, de Diouloulou et de Tendouck qui possèdent de longues séries pluviométriques (1951-2018). Ce qui permet de faire ressortir de manière plus explicite et d'identifier les périodes humides et sèches.

L'analyse de l'évolution interannuelle des précipitations annuelles révèle une forte variabilité à la fois temporelle et spatiale (matérialisée par l'alternance des anomalies positives et négatives au cours des années). Elle montre généralement, une diminution des cumuls pluviométriques depuis la fin des années 1950 jusqu'au milieu des années 2000, hormis quelques années à pluviométrie normale à excédentaire. Ainsi, la situation de la pluviométrie annuelle est devenue sensiblement normale au cours des dernières années de la série chronologique, années durant lesquelles il y a une prédominance des anomalies positives. La pluviométrie avant rupture aux postes pluviométriques était de 1678 mm contrairement à celle de la période d'après rupture estimée à 989 mm, soit un déficit de quelque 600 mm à combler.

L'une des conséquences de l'instabilité de la pluviométrie, notamment sa diminution combinée aux fortes températures et évaporation des eaux de surface au niveau les rizières où est pratiquée la riziculture est l'abandon des plusieurs parcelles rizicoles affectées par le sel.

Cette péjoration des conditions climatiques en Basse Casamance durant les années de sécheresse a certainement des répercussions sur la dynamique des écosystèmes naturels. Ces conséquences se sont manifestées sur l'évolution des caractéristiques physico-chimiques des sols dont la tendance générale est à la dégradation perceptible à travers la salinisation et à l'acidification, aspect qui fera l'objet d'analyse dans les chapitres qui vont suivre.

CHAPITRE IV : ÉVOLUTION RÉCENTE DES RESSOURCES PÉDOLOGIQUES ET HYDRIQUES DES RIZIÈRES DU BASSIN VERSANT DE DIOULOLOU

Le sol se forme à l'échelle géologique. Les propriétés des sols reflètent les effets du matériau d'origine (fraction minérale), du climat, et du temps pendant lesquels les processus de pédogenèse ont pu avoir lieu.

Le climat joue un rôle dominant pour la formation et les caractéristiques des sols soit directement par l'eau et l'énergie, la végétation (fraction organique) et l'impact de la topographie (environnement sédimentaire).

Les propriétés physiques et chimiques d'un sol sont indissociables. Elles sont en interrelation dans l'évolution d'un sol. La distinction est donc un peu artificielle, mais elle est utile pour structurer la présentation d'une analyse.

Le chapitre 3 a porté sur l'analyse des types de sols de la Basse Casamance plus particulièrement dans le bassin versant de Diouloulou et à l'interprétation des résultats d'analyses physico-chimiques d'échantillons d'eau et de sédiments prélevés.

Cependant, pour les échantillons de sols, les paramètres physico-chimiques mesurés au laboratoire sont le pH, la CE et les éléments chimiques dosés ont porté essentiellement sur l'Azote, le Carbone, le phosphore, les cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ et K^+) et les anions (Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- et NO_3^- , chapitre 1). Il s'agit de déterminer les caractéristiques physico-chimiques des sols, définir les faciès chimiques et des éléments dissous afin de déterminer leurs origines et distribution dans l'espace rizicole du bassin versant.

4.1. Les différents types de sols du Bassin versant de Diouloulou

Plusieurs études pédologiques ont été menés sur du bassin versant de la Basse Casamance auquel fait partie le bassin de Diouloulou (Fauck, 1955, 1971 et 1973 ; Maignien, 1961 et 1965 ; Sakho, 1961 ; Stamesse, 1967 ; Chauvel, et *al.* 1969 ; Chauvel, 1977 ; Vieillefon, 1977 ; Marius, 1979 et 1985 ; Aubrun et *al.* 1986 ; Aubrun, 1988, Boivin, 1991 ; Montoroi, 1996). L'analyse des caractéristiques principales des sols s'est réalisée sur la base de cette bibliographie. Ainsi différentes cartes pédologiques, notamment la carte de Vieillefon et Pereira-Barreto (1986) et celle de la Direction de l'Aménagement du Territoire (DAT) réalisée en 1986.

Différentes unités pédologiques de la Basse Casamance ont été caractérisées par ces auteurs. Ainsi dans cadre de cette étude, six grandes classes de sol sont mises en évidence dans le bassin versant comme dans de nombreux travaux réalisés en Basse Casamance par l'ORSTOM pendant les années 1980. Il s'agit notamment des sols minéraux bruts, des sols peu évolués, des sols ferrugineux tropicaux, des sols ferrallitiques, des sols hydromorphes et des sols halomorphes (carte 10).

Les sols ferrallitiques se sont formés sur le matériau sablo-argileux du Continental Terminal. Ces sols sont profonds (plusieurs mètres) et se caractérisent par leur couleur rouge plus ou moins prononcée et par leur structure pseudo-particulaire. Les variations de couleur sont suffisamment nettes pour que l'on puisse distinguer deux types de sols : les sols rouges « sensu stricto » et les sols orangés. Ces sols caractérisent le début de la ferrallitisation. Ils présentent une structure de pseudo-sables qui paraît spécifique (Montoroi, 1996).

Les propriétés physiques de ces sols sont généralement bonnes avec une grande profondeur et une structure finement polyédrique. Les horizons sont assez uniformes, se différenciant principalement par leur texture un peu plus argileuse vers 50 - 70 cm de profondeur. La transition entre les horizons est très progressive (Montoroi, 1996).

La décomposition des minéraux n'est pas poussée à l'extrême. Les teneurs en alumine libre sont faibles. Ils peuvent contenir des minéraux altérables en quantité encore appréciable. Ces sols ont généralement une faible capacité d'échange cationique et une homogénéité du profil. Ils sont pauvres en limons et riches en fer et en alumine libre. Ils se localisent pour la plupart au sommet des plateaux (Fauck *et al.* 1969 ; Maignien, 1965).

L'horizon supérieur est appauvri en argile et faiblement organique. La teneur en matière organique sous forêt peut atteindre 2.1 %, mais dès qu'ils sont mis en culture, celle-ci décroît pour se stabiliser autour de 1 % (Fauck *et al.* 1969 ; Maignien, 1965).

Les sols ferrugineux tropicaux se localisent sur les plateaux et versants dans la moitié Sud du pays. Ils peuvent être de couleur rouge ou beige. Leur couleur ocre ou beige est due au processus de ferrallitisation des sols rouges qui s'opère par suite de la modification de l'organisation des constituants. Les sols ocre diffèrent des sols beiges par une structure qui s'apparente plus à la structure pseudo-particulaire des sols ferrallitiques. Ils présentent un horizon d'accumulation d'argile (fraction fine). La présence de taches et concrétions ferrugineuses est fréquente. Ils

peuvent aussi être indurés. La kaolinite reste le type d'argile dominant. Ils sont souvent déficients en phosphore assimilable.

Les sols hydromorphes forment une classe regroupant tous les sols dont l'évolution est dominée par la présence d'un excès d'eau par suite, soit d'un engorgement temporaire, de profondeur ou d'ensemble, soit de la présence ou de la remontée d'une nappe phréatique.

Les sols hydromorphes sont situés dans la partie supérieure de la vallée et dans la zone de raccordement du plateau au bas-fond. Ils sont pour la plupart occupés par les rizières de nappe. Ils peuvent présenter des signes de contamination par le sel, notamment dans les horizons inférieurs. Mais, ils sont en général peu salés, sauf lorsqu'ils sont proches du lit du marigot (Montoroi, 1996 ; Vieillefon, 1977).

Ces sols se prolongent dans le bas-fond par des sols dont l'horizon supérieur argileux et organique repose à une profondeur variable sur un matériau sableux, dans la partie haute et moyenne de la vallée, ou argilo-sableux, dans la partie basse. Celle-ci constitue le domaine des sols sulfatés acides (Dacosta, 1989 ; Marius, 1985).

Certaines zones présentent en surface des efflorescences blanches de sulfates d'aluminium, mais dans l'ensemble l'aluminium échangeable est très peu présent. Le pH est généralement acide avec des valeurs situées entre 4 et 6,5. La teneur en matière organique, la capacité d'échange cationique et les bases échangeables sont relativement faibles

Il faut également noter la présence de quelques terrasses résiduelles situées en bordure de vallée ou isolées dans la vallée. Les sols sont limono-sableux en surface et sableux en profondeur. Ils ont l'avantage d'être profonds, mais le manque de maîtrise des conditions de submersion constitue un facteur limitant majeur. Ils sont de type argileux, très riches par endroits et présentent une texture beaucoup plus compacte à cause de l'argile. Ces sols retiennent bien l'eau (bonne capacité de rétention) et supportent bien les cultures de riz pluvial et de maraîchage (Montoroi, 1996 ; Marius, 1985 et Vieillefon, 1977).

Les sols halomorphes sont formés sur alluvions deltaïques. Ils sont argileux et ils présentent aussi des caractéristiques hydromorphes. Ils sont marqués par de fortes teneurs en sels solubles qui précipitent en surface en saison sèche. Ces sols se caractérisent par leur richesse en sels solubles et en sodium échangeable.

Les sols halomorphes comportent une structure non dégradée et sont salins acidifiés sur argiles, sur sables, sur matériaux sablo argileux et à Gley ou pseudo Gley salés. Ils sont potentiellement sulfatés acides (Vieillefon et Pereira-Barreto, 1986 ; Marius, 1985 ; Boivin, 1991). Les sols halomorphes se trouvent généralement aux abords des cours d'eau. Deux catégories de sols halomorphes se distinguent.

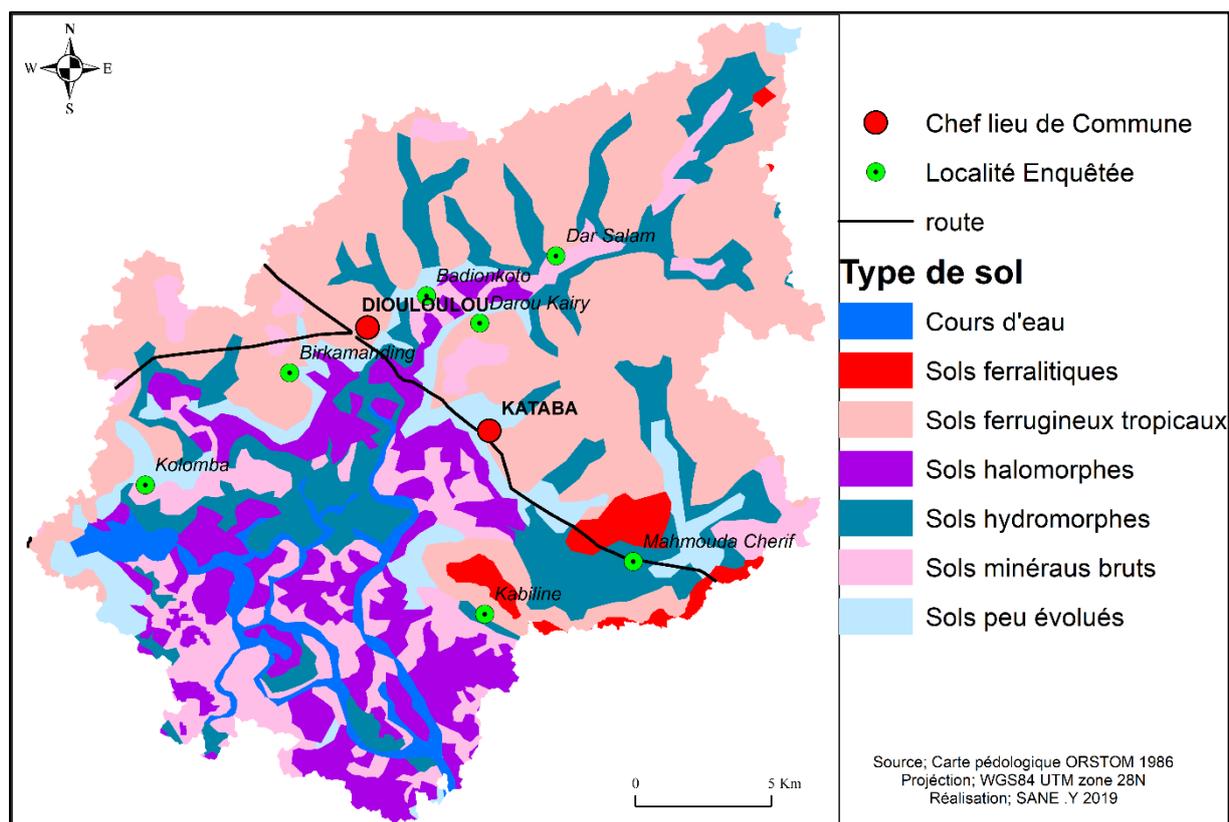
- **Les sols halomorphes humidifiés sur alluvions argileuses** se localisent souvent en arrière des vasières et des tannes dans le fond des vallées ou au pied de coteaux de « terre de barre ». Ces sols sont très humides pendant la majeure partie de l'année. Ils sont généralement exploités pour l'agriculture. La riziculture est la spéculation dominante sur tous ces types de sols.

- **Les sols halomorphes sur alluvions sableuses** qui font partie des sols non lessivés à alcalin dont la caractéristique principale est l'accumulation importante des sels en surface. Ce sont généralement des sols de tannes, sableux souvent « *encroûtés en surface, bariolée de taches rouillées en profondeur* » (Vieillefon, 1977 ; Dacosta, 1989). Ce sont des sols en général salés, qui se caractérisent par une nappe d'eau salée qui stagne dès les premiers centimètres. Elle affleure pendant les périodes pluvieuses. L'influence de l'évaporation accroît la salure et provoque des précipitations de sels sous forme d'une croûte saline en surface. La forte salure qui existe en surface empêche le développement de la végétation (Vieillefon, 1977). Ces sols (tannes) sont dans des conditions environnementales, inaptés à la riziculture. Dans notre espace d'étude, ces sols occupent une superficie de 6954,96 ha, soit 14 %.

Les Sols minéraux bruts reposent sur une cuirasse qui constitue la source des gravillons. Les sols minéraux bruts présentent parfois les caractéristiques d'une évolution ferrallitique.

La grande majorité des surfaces cuirassées semble être constituée par les matériaux résiduels du Moyen glaciaire. Les cuirasses y forment, le plus souvent, de vastes zones planes où la surface du sol est jonchée de gravillons. La cuirasse est souvent ferrugineuse, massive, à induration forte, constituée essentiellement par un squelette rouge sombre ou brun-rouge, parfois à taches noires et cimentant de nombreux gravillons ferrugineux. (Chauvel, 1967). Ces sols sont d'origine marine et fluvio-marine à faciès modal sur plages sableuses actuelles et subactuelles et sur cordons et dunes littorales. Certains sols minéraux bruts sont issus d'apports à faciès hydromorphes sur vases actuelles et sub-actuelles et sur sable des inter-cordons. Ils se trouvent souvent au niveau des dépressions propices à la riziculture.

Les sols peu évolués d'apport se trouvent généralement en bordure du plateau du Continental Terminal et occupent la partie supérieure des lits de marigots. Ils résultent d'un important apport récent et actuel, fluvial ou éolien, dans lequel la pédogenèse a été faible ou nulle (Marius, 1985). Ils se développent en générale sur les terrasses supérieures (faciès modaux et lessivés sur terrasses sableuses, les faciès ferrugineux) et sur terrasse colluvions (faciès hydromorphes sur vases argileuses peu organiques et peu pyriteuses), Marius (1985, 1976), Montoroi (1996). Ils représentent 8 % des sols du bassin de Diouloulou, soit 3995,53 ha (tableau 16).



Carte 9: types de sols du bassin versant de Diouloulou

Les sols du bassin versant de Diouloulou sont dominés par des sols ferrugineux tropicaux et hydromorphes avec des superficies respectives de 19657,71 ha (39 %) et 9303,78 ha (18 %). En effet, il y a une présence remarquable des sols halomorphes dans les vallées et minéraux bruts avec des superficies respectives de 6954,96 ha (14 %) et 7416,03 ha (15 %).

Cependant, il faut noter la faible présence des sols peu évolués et des sols ferrallitiques avec de faible pourcentage, soit 8 % (3995,53 ha) pour les sols peu évolués et 2 % (1167,28 ha). Le tableau 16 illustre les superficies des différents types de sols du bassin versant de Diouloulou.

Tableau 16: statistiques des différents types de sols du bassin de Diouloulou (ORSTOM, 1986)

Classe	Superficie (ha)	Superficie (%)
Cours d'eau	2203,78	4
Sols ferralitiques	1167,28	2
Sols ferrugineux tropicaux	19657,71	39
Sols halomorphes	6954,96	14
Sols hydromorphes	9303,78	18
Sols minéraux bruts	7416,03	15
Sols peu évolués	3995,53	8
Total	50699,08	100

4.2. Processus de salinisation

La salinisation est un processus qui se propage dans le temps et dans l'espace en raison de l'accumulation graduelle de sels solubles, quelle que soit leur nature, dans le sol ou en surface du sol (croûtes ou efflorescences salées). Certains sels, en particulier les sels de sodium, favorisent la dispersion des minéraux argileux, dégradent la structure du sol et ralentissent l'infiltration de l'eau (Faye, 2016 ; Ndiaye et *al.* 2008 ; Marius, 1985 ; Noomene, 2011).

La salinisation des milieux naturels, ou salinisation dite « primaire », est manifeste sur tous les continents et sous tous les climats. Les sels, solubles et cristallisés, participent aux cycles telluriques (hydrologiques, biologiques, climatiques...) à des échelles de temps et d'espace variables. L'extension et l'intensification des activités humaines peuvent provoquer une salinisation dite « secondaire » qui accentue la salinisation primaire. Cette salinisation dégrade les sols non salinisés et plus globalement les écosystèmes tout en amplifiant la mort des espèces végétales non halophytes y compris des palétuviers (Montoroi, 1996 ; Faye, 2016 ; Montoroi, 2017).

La salinisation d'un sol est due à la différence entre les flux de solutés entrants (irrigation, remontée par capillarité des nappes) et les flux sortants (percolation vers la nappe liée aux précipitations et/ou à l'irrigation, écoulement de base de la nappe, drainage). En situation de nappe peu profonde et de forte évapotranspiration, la différence entre le lessivage des sels sous l'effet des apports d'eau et leur remontée par capillarité aboutit souvent à une accumulation

dans le profil et un dépôt de sels à la surface du sol (Montoroi, 1996 ; Marius, 1985 ; Ndiaye *et al.* 2008).

La salinisation des terres est à 80 % d'origine naturelle. Elle est dite « salinisation primaire », due aux sels se formant lors de l'altération des roches ou à des apports naturels externes. Alors que 20 % des terres salinisées ont une origine anthropique : « salinisation secondaire ». La salinisation secondaire résulte de l'activité humaine, liée aux pratiques agricoles et en particulier à l'irrigation (FAO, 2008).

4.2.1. La salinisation primaire

Les milieux salés naturels présentent une grande variété de paysages variant entre une salinisation diffuse et une salinisation extrême. Les sols salés s'y développent en relation avec une biodiversité remarquable (halophyte), qui offre des ressources disponibles aux populations locales (saliculture, pastoralisme). De nombreux facteurs naturels génèrent des sels solubles sur la planète terre (altération et dissolution des minéraux contenus dans les sols et les roches, sources géothermales, érosion éolienne, nécrose des êtres vivants), les transportent (pluies, rivières, eaux souterraines, eaux de mer, vents) et les accumulent dans les sols (climats secs, sécheresses temporaires, proximité de la mer dans les zones côtières et deltaïques, présence d'une nappe salée peu profonde, dépôts éoliens (embruns, aérosols), (Montoroi, 1996 ; Noomene, 2011 ; Ndiaye *et al.* 2008).

La salinité primaire s'explique par l'accumulation de sels dans le sol ou d'eaux souterraines sur une longue période selon trois processus naturels :

- un processus d'altération des matériaux de base contenant des sels solubles. Il se produit donc une décomposition des roches et une libération des sels solubles de divers types dans le sol. Il s'agit principalement des chlorures de sodium, de calcium et de magnésium, et dans une moindre mesure, les sulfates et les carbonates. Le chlorure de sodium est le sel le plus soluble (Montoroi, 1996 ; Noomene, 2011 ; Ndiaye *et al.* 2008) ;
- un dépôt de sels océaniques effectués par le vent et la pluie sont des sels de l'océan amenés par le vent et déposés par la pluie. Ces sels sont généralement le chlorure de sodium. Il faut préciser que l'eau de pluie contient de 6 à 50 mg / kg de sel, la concentration de sels diminue avec l'éloignement de la côte (Noomene, 2011).
- une intrusion de l'eau de mer dans les nappes près des côtes, due à une inversion du gradient hydraulique à cause de la variabilité climatique ainsi que de la surexploitation des nappes souterraines pendant les épisodes de sécheresse. On assiste alors à la remontée de la nappe phréatique salée près de la zone racinaire des plantes.

Toutefois, il faut noter que les inondations périodiques d'eaux salées le long des fleuves, qui envahissent souvent les zones à topographie basse participent fortement à la salinisation des sols. Ceci est perceptible au niveau des zones côtières où les rives sont soumises aux phénomènes de marée. Ceci explique parfois les inondations périodiques des côtes des deltas et des estuaires. Ainsi, si cette eau n'est pas évacuée à temps par les eaux douces, alors, du fait de l'importance de l'ensoleillement et de la demande évaporatoire, l'eau va disparaître ne laissant que les cristaux de sel qui se déposent sur le sol (Marlet et Job, 2006).

Ainsi dans l'estuaire de la Casamance, ce phénomène est manifeste ; il est souvent envahi par les eaux salées qui peuvent dans certaines circonstances atteindre les vallées. Depuis les années 1990, les précipitations ont augmenté, mais ne le sont jamais suffisamment pour complètement lessiver les eaux du fleuve, des bolon et les sols contaminés par le sel (Drianno, 2016).

L'accumulation de chlorure de sodium dans le sol serait considérable au cours des millénaires. La quantité de sel stockée dans le sol varie en fonction du type de sol, étant faible pour les sols sableux et élevé pour que les sols contiennent un pourcentage élevé de minéraux argileux. Il varie aussi inversement avec la pluviométrie (Noomene, 2011). L'intrusion de l'eau de mer dans les nappes près des côtes peut être également due à une inversion du gradient hydraulique à cause de la surexploitation des nappes souterraines.

4.2.2. La salinisation secondaire

Les activités humaines qui induisent une salinisation dite « secondaire » sont nombreuses : irrigation mal conduite, pratiques d'anciennes techniques d'irrigation, irrigation avec des eaux riches en sels, déforestation intensive, engrais contenant des sels de potassium et d'azote, dépôts atmosphériques près des sites industriels.

La salinisation anthropique accentue la salinisation naturelle, change la composition des eaux naturelles (lacs, rivières, nappes souterraines), dégrade la qualité de l'eau demandée pour satisfaire les besoins domestiques, agricoles et industriels, contribue à la perte de biodiversité et de fertilité des sols, modifie les conditions climatiques locales, crée des problèmes sanitaires et réduit drastiquement les activités agricoles et piscicoles (Montoroi, 2017 ; Marlet et Job, 2006, Lacharme, 2001 ; FAO et ITPS, 2015).⁸

⁸ FAO and ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy

Dans de nombreuses zones irriguées, la nappe phréatique remonte en raison de quantités excessives d'eau appliquées associées à un mauvais drainage. La plupart des projets d'irrigation situés dans des zones semi-arides et arides, les problèmes de salinité du sol ont atteint des proportions graves. Ainsi des systèmes d'irrigation du monde sont pour la plupart infectés par la salinité secondaire surtout que le drainage est mal maîtrisé (Loyer, 1989 ; Ndiaye *et al.* 2008).

En effet, il faut préciser que ce type de salinisation (salinisation secondaire) ne concerne pas le Bassin de la Casamance plus particulièrement le Bassin versant de Diouloulou.

Il faut retenir que la répartition des sels dans les milieux continentaux est une des conséquences du fonctionnement hydrologique et de la capacité du milieu à évacuer les sels vers les zones aval (océans) des fleuves, marigots et des bolongs. L'accumulation locale de sels suppose alors l'existence d'un mécanisme de concentration lié à l'aridité du climat comme c'est le cas en Basse Casamance. C'est donc dans les bassins endoréiques et sous climat aride et semi-aride que les risques d'accumulation de sels sont les plus élevés.

Plus généralement, les sels s'accumulent dans les parties basses (zones à topographie basse) des bassins versants où le drainage naturel est déficient, comme dans les bas-fonds. Même lorsque les cours d'eau ont une puissance suffisante pour drainer les eaux et les sels jusqu'à la mer, les parties basses des paysages, terrasses alluviales ou autres peuvent être localement salées en raison de la présence d'une nappe superficielle (Montoroi, 1996 ; Noomene, 2011 ; Ndiaye *et al.* 2008 ; Marius, 1985).

4.2.3. Évolution de la salinité des eaux de surface dans l'estuaire de la Casamance

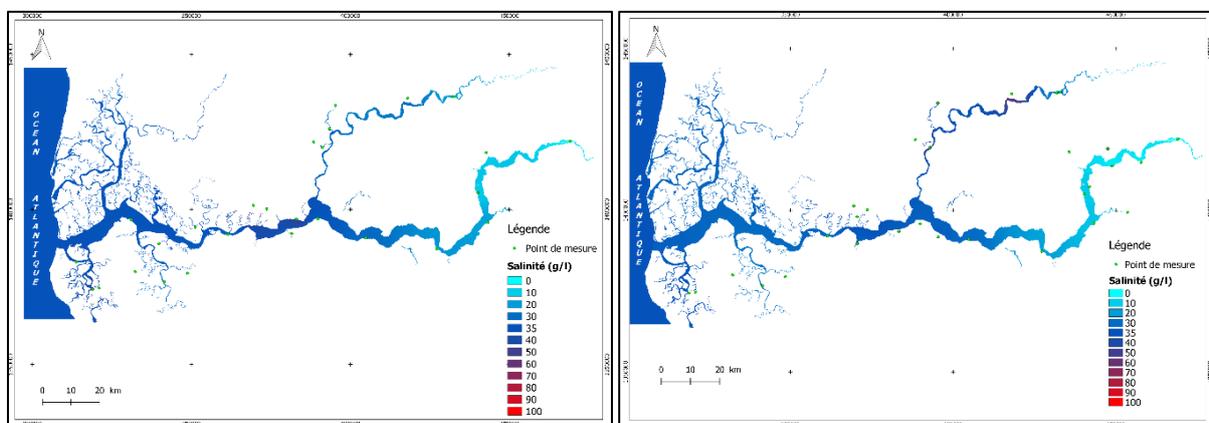
Le fleuve Casamance entaille les plateaux gréseux mio-pliocène du "Continental terminal" et s'élargit en aval en un vaste estuaire. C'est dans cette zone estuarienne que la Casamance reçoit ses principaux affluents qui sont, d'amont vers l'aval : le Soungrougrou, le marigot de Bignona, le marigot de Baïla et de Diouloulou pour la rive droite ; le marigot de Guidel, le Kamobeul bolon, le Nyassa et l'Ourong bolon pour la rive gauche. Sur ces marigots se greffent plusieurs chenaux de marée dont les rives sont généralement couvertes par la mangrove. Tous ces affluents sont soumis à l'influence de la marée sur la plus grande partie de leurs cours (Pimmel, 1984). L'élévation du niveau océanique peut faciliter l'entrée d'eau de salinité océanique et permettre un dessalement relatif des fonds d'estuaires.

Les estuaires de la Casamance et du Saloum ont vu leur salinité croître vers « l'amont », une grande partie de l'année, contrairement aux estuaires des grands fleuves (Sénégal et Gambie)

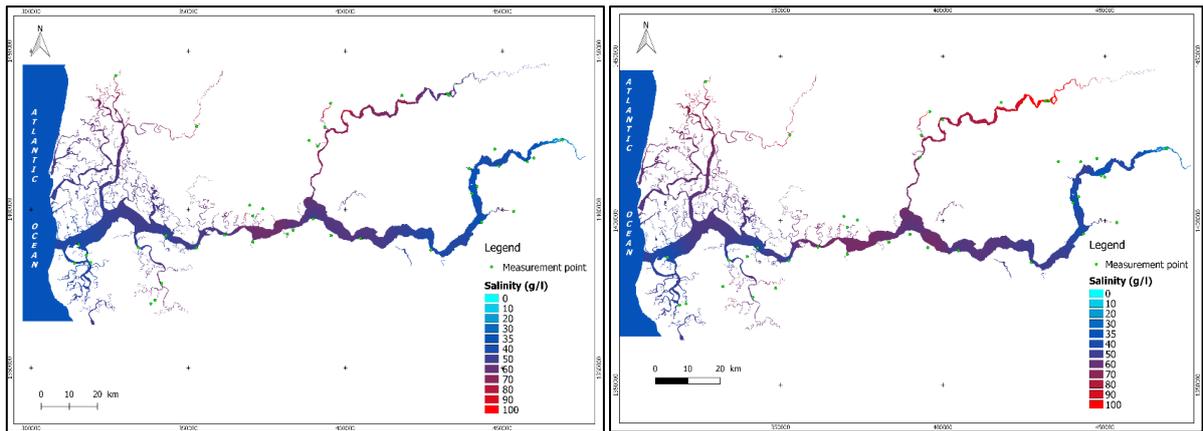
avec quelques ruptures (pic) par endroit surtout dans les bolons (sites à topographie très faible). Il faut noter que pendant la saison des pluies, la salinité est poussée par le rejet d'eau douce provenant des petits bassins du fleuve Casamance et Soungrougrou vers l'aval (Descroix *et al.* 2020).

Ainsi, les valeurs de salinité sont plus faibles en saison des pluies et plus élevées en saison sèche dans les bolons tributaires que dans le cours principal de l'estuaire de la Casamance. Il faut noter que parfois les progressions (croissante et décroissante) de la salinité dans le bassin de Casamance sont par endroit interrompues par une valeur faible. Cette rupture observée de l'évolution de la salinité est souvent liée à la diversité des heures de mesure. Elles sont souvent occasionnées par les fluctuations de la marée et au lieu de mesures influant sur la température. Il est important de constater que les eaux de l'estuaire de la Casamance sont plus ou moins dessalées en saison des pluies. Ce dessalement permet notamment le développement de la riziculture dans les bas-fonds protégés (Descroix *al.*, 2020).

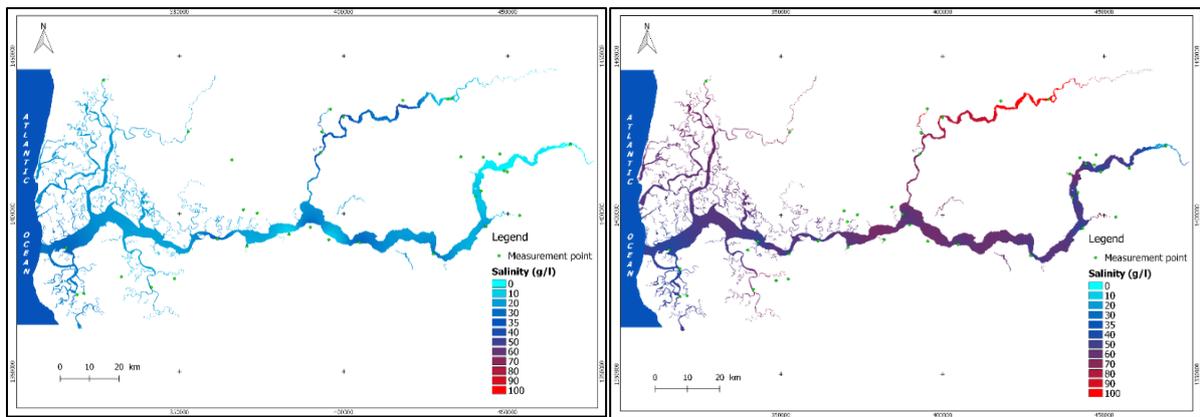
En effet, dans l'ensemble de l'estuaire de la Casamance les eaux du cours principal, des affluents et des bolong ont une salinité élevée pendant la majeure partie de l'année. En fin de saison sèche, les eaux sont souvent hyper salées avec des valeurs susceptibles de doubler, voire tripler celles de l'eau de mer (35 g/l). Ce qui confirme le fonctionnement hydrologique du fleuve Casamance en estuaire inverse (carte 13).



Carte 11 : salinité dans l'estuaire de la Casamance en novembre 2016 et 2017 (Descroix *et al.*, 2020)



Carte 12: salinité dans l'estuaire de la Casamance en mai 2017 et mai 2018 (*Op. cit*)



Carte 13: salinité de l'estuaire de la Casamance en novembre 2018 et mai 2019 (*Op. cit*)

Le tableau 17 illustre l'évolution de la salinité dans l'estuaire de la Casamance en 1977–1979 (Marius, 1985) et en 2015–2019 en g/l.

Tableau 17: évolution de la salinité dans l'estuaire de la Casamance (Marius, 1985 ; LMI PATEO, 2019)

Période	Janvier 1978	Mai 1978	Novembre 1978	Mai 1979	Novembre 2015	Mai 2016	Novembre 2016	Mai 2017	Novembre 2017	Mai 2018	Novembre 2018	Mai 2019
Baila	46	76	6	68	8	60	18	82	18	88	16	75
Pointe St Georges	44	48	30	56	/	/	/	41	35	40	31	43
Etomé	41	93	4	91	3	88	5	99	15	90	8	100
Guidel	53	89	0	88	/	50	16	65	32	65	17	55
Marsassoum	42	68	20	66	/	/	35	65	45	65	35	62
Kandialo	16	60	0	52	/	/	31	75	59	87	43	101
Sedhiou	8	30	5	33	/	/	10	35	9	38	10	45
Diopcounda	1	14	0	15	/	/	4	21	2	25	0	11
Diaroumé	30	60	13	63	/	/	20	56	27	120	10	126

Au regard des résultats du tableau 17, les valeurs de salinité mesurées l'estuaire par Marius en 1978 et 1979 sont moins importantes que celles mesurées ces dernières années (de 2015 à 2019) pour chaque point de mesure. Cela donne à penser que malgré le rétablissement des précipitations (Descroix, 2018), la salinité n'a pas complètement diminué après le « *pic* » de la sécheresse, au cours des années 1980.

Elle est probablement due à la forte augmentation de la salinité provoquée par le deuxième pic de la sécheresse (1983-1985) et la faiblesse de la topographie. Le rétablissement des précipitations depuis les années 1990 (Descroix, 2018), n'a pas été suffisant pour achever une véritable désalinisation.

En effet, la comparaison des valeurs de salinité mesurées à différents points de l'estuaire de la Casamance des deux périodes (1978 -1979 et 2016 - 2019) permet de constater une différence : Les valeurs minimales de salinité sont plus prononcées au cours de la première période, ce qui s'explique en partie par le fait qu'au cours de la deuxième période, seules deux mesures par année sont effectuées.

La salinité augmente entre la première (1978 -1979) et la deuxième période (2016 - 2019) dans toutes les vallées supérieures (Baila Bolon à Baila, Soungrougrou à Diaroumé et Kandialo, et Casamance à Diopounda). Elle diminue seulement à la station de Guidel et reste à peu près égale dans les bassins moyens (Sédhiou dans le fleuve Casamance, et Marsassoum dans le Sougourougou) et dans les vallées inférieures (Étomé et Pointe St George). Il faut noter que les rizières de la Basse Casamance y jouxtent les différents bolons. Jusqu'aux débuts des années 1970, marquées par la dégradation des conditions pluviométriques, les paysans ne connaissaient pas la salinisation rizicole de telle ampleur. Les paysans cultivaient du riz jusqu'au pied de la mangrove ou jusqu'aux abords du cours d'eau (planche 6) où les sols sont susceptibles d'être salés en permanence (Pélissier, 1966). Les quantités de pluies reçues étaient suffisantes pour soutenir l'écoulement du fleuve sur une longue période de l'année et repousser les eaux salées jusqu'à l'océan. Donc même, avec la remontée capillaire des eaux salées en saison sèche et l'envahissement des rizières par la marée, les rizières arrivaient à être dessalées pendant l'hivernage par les eaux de pluie en combinaison avec les techniques d'aménagements et culturelles des riziculteurs.

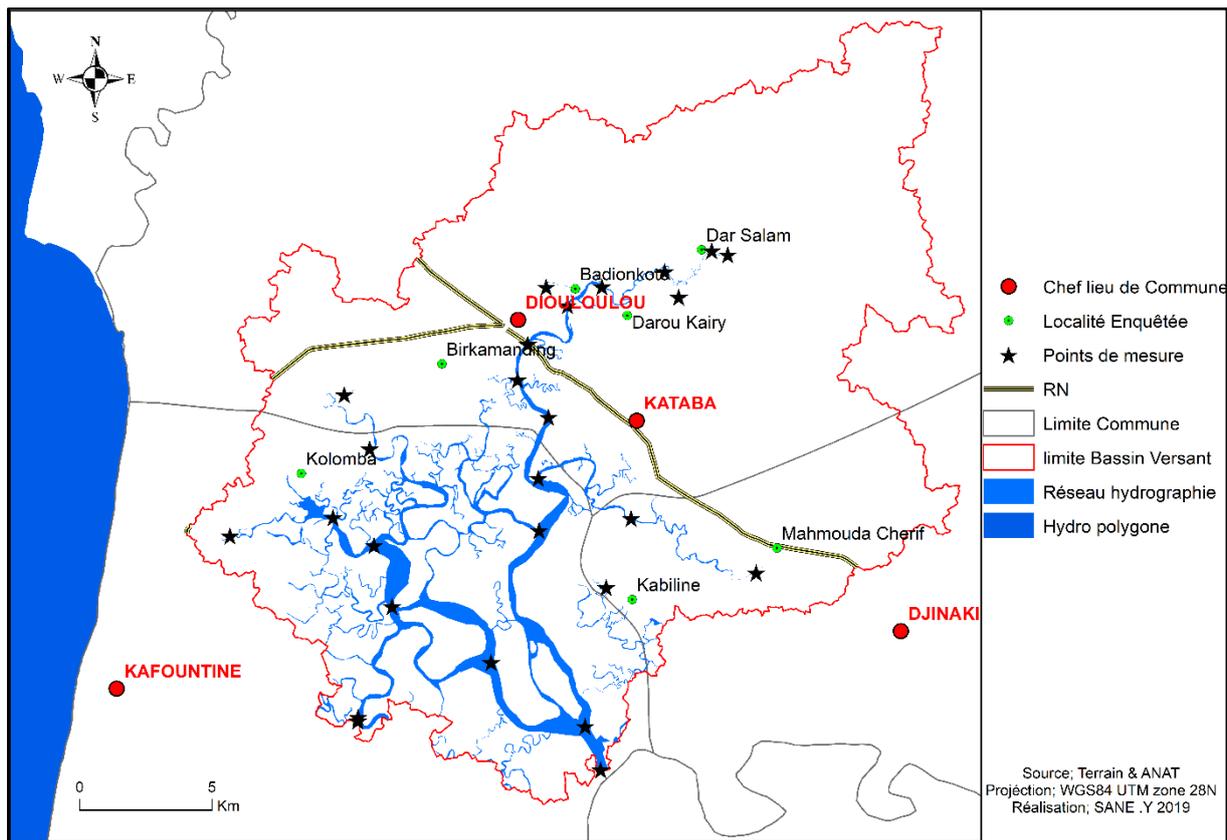
Cependant, cet équilibre s'est rompu depuis la baisse prononcée de la pluviométrie des années 1970-1990 (Dacosta, 1987). Malgré le retour de la pluviométrie des dernières décennies (Descroix et *al.* 2015), le dessalement des eaux et des sols n'est pas encore effectif. Ce défaut de dessalement des sols des rizières et des eaux des bolons, finit par compromettre l'activité rizicole en Basse Casamance en général et dans le Bassin de Diouloulou en particulier.



Planche 6: : culture du riz près de la mangrove ou du cours d'eau (Sané 2020)

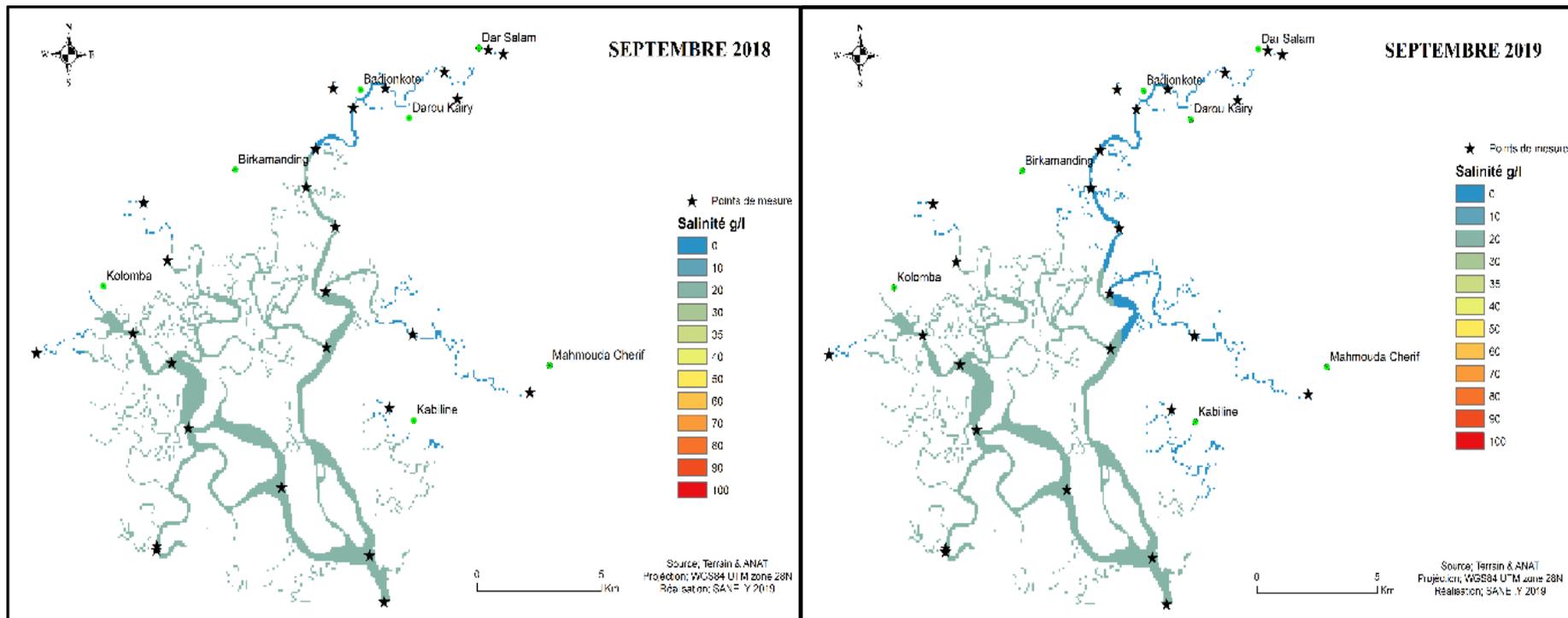
4.2.3.2. Variabilité de la salinité dans le bolon du Bassin versant de Diouloulou

Le fonctionnement du bassin versant de la Casamance est identique à celui de ses sous-Bassins en général et plus particulièrement à celui de Diouloulou. Ainsi, dans le bassin versant de Diouloulou deux campagnes de mesure de salinité par année et sur deux ans (2018 et 2019) sont effectuées sur le Bolon (carte 14).

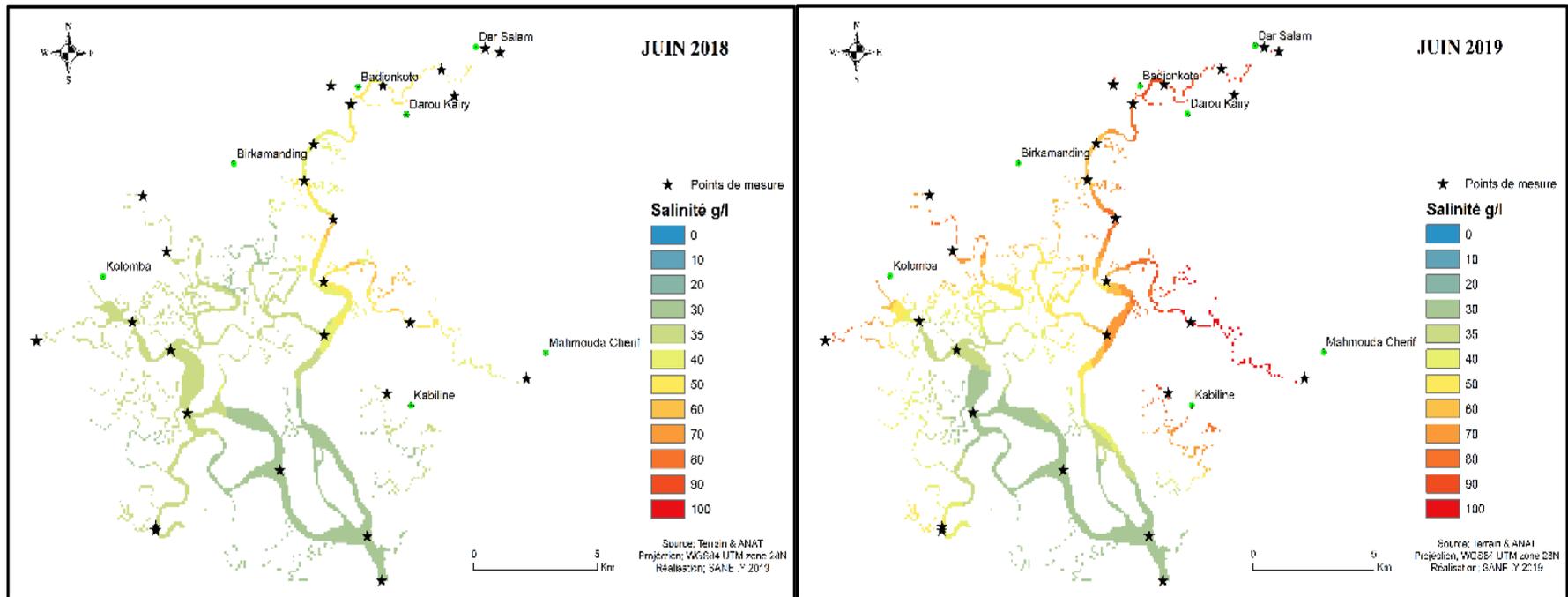


Carte 14 : points de mesures de salinité dans le Bassin versant de Diouloulou

Les résultats ont montré qu'en saison des pluies, les eaux se dessalent progressivement dans le bassin versant où les valeurs de salinité varient entre 9 g/l et 23 g/l en septembre 2018 et 8 et 24 g/l en septembre 2019 (tableau 18). La salinité diminue pendant cette période, parce que l'eau des pluies est mélangée à l'eau salée du marigot. Néanmoins, cette eau douce ne parvient pas dans la *ria* de l'Estuaire. Du fait de la faiblesse de la topographie, et de l'importance des évaporations, l'eau de mer pénètre dans le bolong et remplace rapidement les eaux douces arrivées de la terre ferme (Thior et *al.* 2019).



Carte 15: salinité du bolon de Diouloulou en septembre 2018 et 2019



Carte 16: salinité du bolon de Diouloulou en juin 2018 et 2019

Cependant, en saison sèche, contrairement à l'hivernage, la salinité augmente dans tout le Bolon. Les valeurs de salinité mesurées en fin de saison sèche varient entre 97 g/l en juin 2018 et 99 g/l en juin 2019. Elles augmentent d'amont en aval et dépassent la valeur moyenne des eaux de mer qui est de 35 g/l. Cela s'explique en général par les fortes évaporations des eaux de surface, la faiblesse de la pente dans cette partie de l'estuaire de la Casamance et l'absence d'apports d'eaux douces.

Tableau 18: évolution de la salinité des eaux du bolon dans le Bassin de Diouloulou en g/l

Localité	CoordX	CoordY	Sept 2018	Sept 2019	Juin 2018	Juin 2019
Badionkoto	327562	1444465	12	8	78	94
Birkamading	319933	1440377	9	14	42	55
Colomba	320893	1438313	23	24	89	98
Darou Khairy	332566	1444083	20	17	95	96
Darsalam	333814	1445848	18	16	98	90
Kabiline1	326861	1442290	18	15	69	73
Kabiline2	329828	1433040	12	9	97	99
Mahamouda Chérif	335492	1433593	14	13	89	99
Moyenne			16	15	82	88

Source : Sané 2019

Il faut également noter que pour ces deux campagnes de mesure de salinité dans le bolon du marigot de Diouloulou, une salinité moyenne de 16 g/l est enregistrée en septembre 2018 et de 16 g/l en 2019. Contrairement en juin où la salinité enregistrée est de 82 g/l en 2018 et de 88 g/l en 2019. L'importance de la salinité des eaux en saison sèche contribue de manière significative à la salinisation des sols de certaines vallées rizicoles plus particulièrement dans les zones localisées à proximité du marigot, du fait de l'envahissement des eaux en marée haute.

4.3. Processus d'acidification

L'acidification s'exprime par une élévation du taux d'acidité des sols. Ceci consiste à la baisse du pH. Cette baisse peut avoir une incidence négative sur les rendements des cultures. Cela veut dire que les plantes exigent impérativement un taux plus ou moins élevé du pH pour aboutir à une production satisfaisante des cultures. Sous les effets entre autres, des pluies et du climat humide, des activités d'origine microbienne, les sols ont tendance à s'acidifier naturellement (Loyer, 1989 ; Vieillefon, 1977).

Cependant, cette acidification peut être accentuée davantage par certaines activités d'origine anthropique responsables de l'émission des polluants et par certaines pratiques agricoles qui emploient à outrance l'engrais azoté ammoniacal.

En effet, l'acidification des sols peut être accentuée naturellement en fonction du type de roche mère, du climat et de la végétation. Tous ces facteurs biologiques ont une influence ostensible sur le niveau de l'acidité des sols. Si la roche sous-jacente n'est pas riche en éléments nutritifs et le climat de la région concernée est marqué par l'abondance des pluies, les sols deviennent de plus en plus acides. En outre, l'humus, riche en acide organique, constitue le résultat de la décomposition inachevée des végétaux morts, ce qui provoque une accélération de l'acidification du sol. En plus, lorsque l'acidité est faible ($\text{pH} = - 5.5$), le phénomène de l'acidification favorise la précipitation des minéraux contenant de l'aluminium qui peuvent s'avérer toxiques pour les plantes (Lacharme, 2001).

Au-delà de l'acidification naturelle, l'homme est à l'origine de l'émission des polluants azotés et soufrés qui se transforment par la suite en acides nitriques et sulfuriques dans l'atmosphère. Sous l'action des vents, ces acides parcourent parfois des milliers de kilomètres avant de se transformer en dépôts acides. Ces dépôts finissent sous forme de poussières ou de pluies acides. De même, l'agriculture moderne qui dépend de l'utilisation des fertilisants d'origine industrielle (engrais) augmente considérablement l'acidité des sols. En effet, l'absorption par le sol des engrais ammoniacaux amène à une production des protons ce qui peut induire une potentielle acidité (Lacharme, 2001).

En Casamance, l'acidification des sols est également due au déficit hydrique. Dans la région et avant la sécheresse, les sols de mangrove étaient dans leur majorité, des sols potentiellement sulfatés acides. Ces sols sont caractérisés par l'importance de leurs composés en sulfures. Un potentiel d'oxydoréduction très bas grâce à un état de submersion permanent, expliquant le maintien du soufre sous forme réduite (Marius, 1985 ; Vieillefon, 1977).

À la faveur de la chute du niveau des nappes, les sols se sont oxydés. Alors que l'oxydation des sols potentiellement sulfatés acides aboutit à la formation de sols sulfatés acides. Ainsi, au cours de cette transformation, les composés sulfurés s'oxydent en produisant de l'acide sulfurique. Donc le pH des sols sulfatés acides chute et peut « *descendre jusqu'à 2* » (Le Brusq et al. 1987).

La presque totalité des sols soumis quotidiennement aux marées a connu cette évolution ces dernières années au niveau de la mangrove non submergée en amont de Ziguinchor.

Mais il y a plus grave en raison de la brutalité des conditions d'oxydation, de nouvelles formes d'acidité se sont développées. Ce sont des formes d'acidité très toxiques pour les végétaux « avec des pH pouvant être inférieurs à 3 » (Le Brusq et al. 1987 ; Marius, 1985).

La dégradation climatique (période de sécheresse) est la cause d'une salinité accrue et d'une acidité qui continue à s'accroître, en relation avec l'abaissement des nappes et l'oxydation des sulfures (Prade et al. 1990 ; Loyer et al. 1988). Il faut noter qu'après la construction des barrages anti-sel et mini-barrages en Casamance par différents projets, la dynamique d'inondation de l'essentiel des bas-fonds est devenue saisonnière. Ainsi, il s'est produit une modification du régime hydrologique des cours d'eau, donc celle d'inondation des sols bas-fonds (vallées). En saison sèche, les sols de l'amont subissent souvent des épisodes d'exondations prolongées favorables aux processus d'acidification liés à l'oxydation des sédiments pyriteux. En saison des pluies, la submersion des sols crée temporairement de nouvelles conditions réductrices (Montoroi, 1996). Cela est également à l'origine des catastrophes provoquées par les barrages comme celui de Guidel et Affiniam, qui ont provoqué l'inondation prolongée de milliers d'hectares de rizières et de tannes.

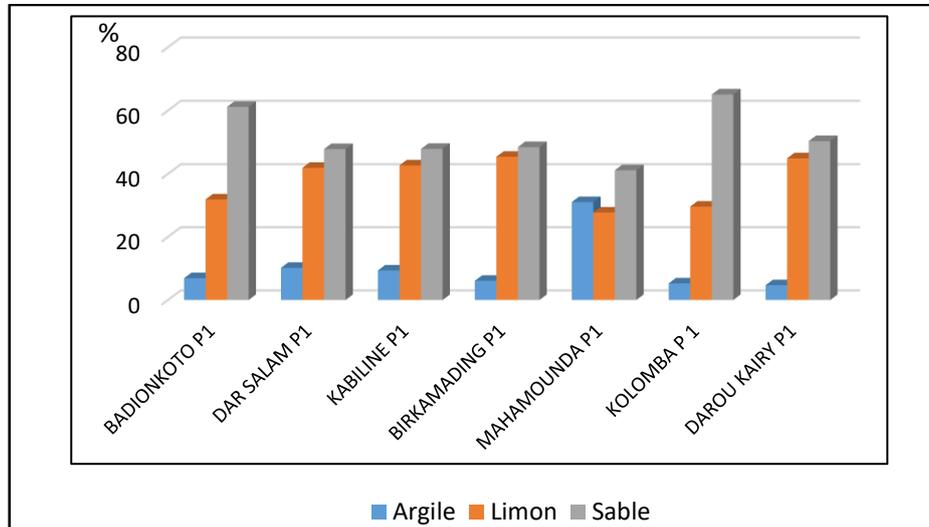
4.4. Les Caractéristiques physiques des sols des vallées rizicoles du Bassin Versant de Diouloulou

Les échantillons analysés sont prélevés sur deux séquences morpho-pédologiques des rizières correspondantes aux rizières amont et aval de la vallée, considérées comme les plus vulnérables. Le prélèvement des échantillons des sols est effectué dans des vallées de 7 villages selon un transect. Il est réalisé dans les 25 premiers cm du profil, soit un total de 14 échantillons, c'est-à-dire deux échantillons par village. Ce niveau de prélèvement (entre 0 et 25 cm) correspond environ au volume racinaire du riz et au maximum de pénétration du Kadiandou (Sy, 2009).

4.4.1. La texture des sols des rizières amont

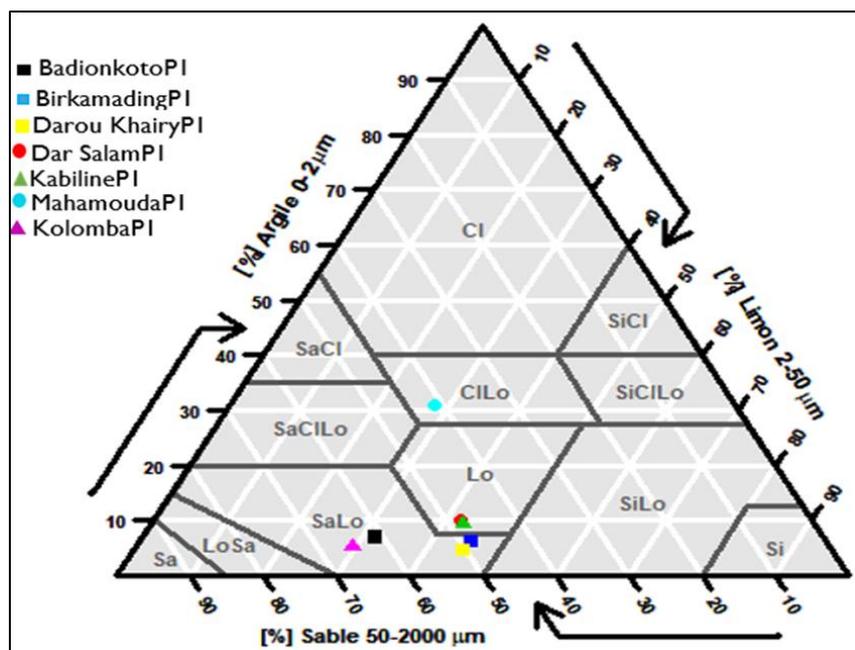
Les résultats de l'analyse granulométrique des sols des rizières amont montrent une prédominance de la fraction sableuse. Les plus importantes proportions de sables sont enregistrées à Badionkoton P1, Colomba P1 et à Darou khairy P1 avec des pourcentages respectifs de 61,2 %, 65,1 % et 50,3% ; contrairement à Dar Salam P1 (48,8 %), Kabiline P1 (47,9 %), Birkamading P1 (48,4 %) et Mahamouda P1 (41,1%). Cette fraction est suivie de celle limoneuse pour l'essentiel des échantillons avec des proportions plus ou moins importantes notamment avec des valeurs de 31,8% à Badionkoton P1, 41,9 % à Dar salam P1, 42,7 % à Kabiline P 1, 45,4 % à Birkamading P1, 29,6% à Colomba P1 et 50,3 % à Darou

khairy P1. La 2^e fraction dominante reste donc les limons, à l'exception de Mohamouda 1 où l'argile domine avec 31 % contre 27,7 % pour les limons (figure 10). La figure 10 illustre la granulométrie d'échantillons prélevés des rizières en amont des vallées du Bassin versant de Diouloulou.



Graphique 14: granulométrie d'échantillons des rizières amont des vallées du BV de Diouloulou

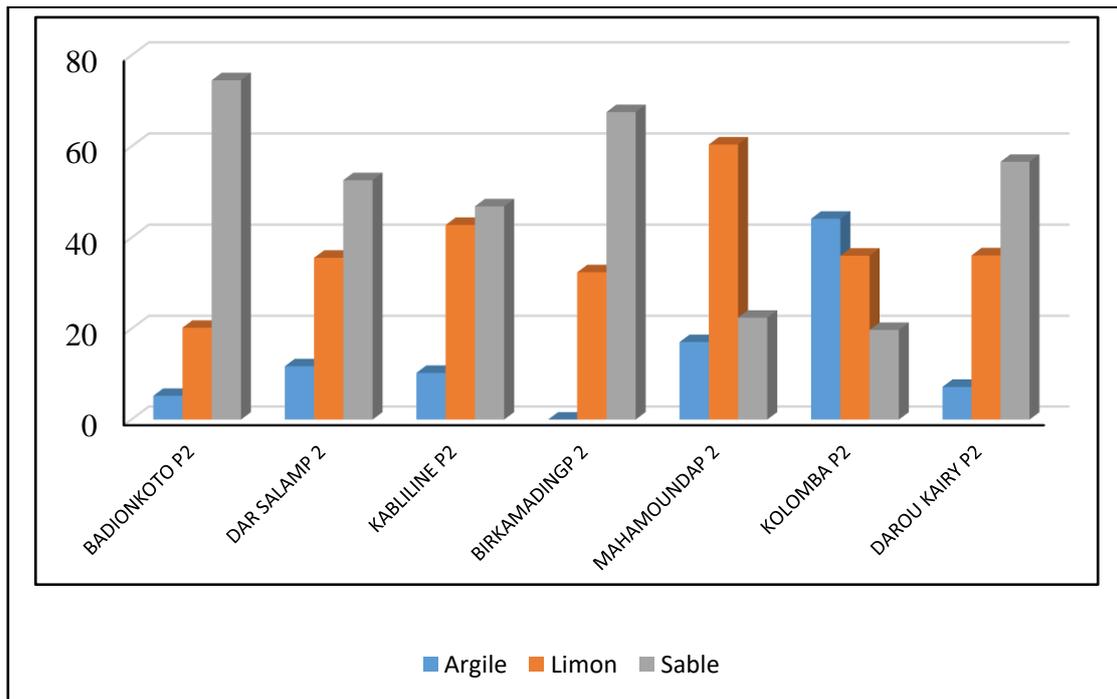
Il faut souligner que la plupart des échantillons étudiés dans cette toposéquence (rizières amont) sont généralement pauvres en argiles et ont un faciès limono-sableux notamment à Badionkoto P1, Birkamading P1, Darou Khairy P1 et à Kolomba P1. Par contre, à Dar Salam P1 et à Kabiline P1, le faciès est limoneux et limono-argileux à Mahamouda P1 (graphique 15).



Graphique 15: diagramme triangulaire des classes texturales des sols des rizières en amont des vallées du Bassin versant de Diouloulou

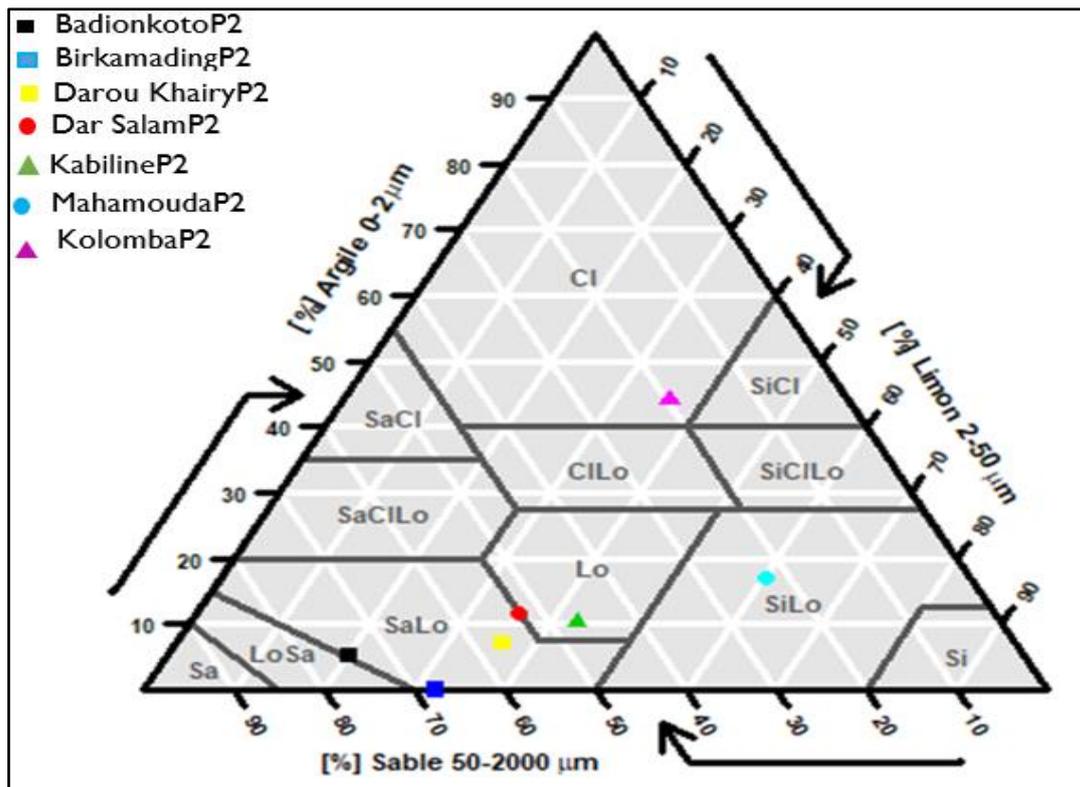
4.4.2. La texture des sols des rizières aval

La granulométrie des sols des rizières aval montre globalement une prédominance de la fraction sableuse. Elle indique des zones où la fraction sableuse dépasse 50 % : Badionkoto P2 (74,5%), Dar Salam P2 (52,62%), Birkamading P2 (67,5%), et Darou Khairy P2 (56,6%), tandis qu'à Mahamouda P2 ce sont les limons qui dominent avec 60,4% et les argiles à Kolomba P2 (44,1%). Il faut noter que l'essentiel des échantillons traités indique un faible taux d'argile (graphique 16).



Graphique 16 : granulométrie d'échantillons prélevés des rizières en aval des vallées du Bassin versant de Diouloulou

Les résultats indiquent qu'à ce niveau de la toposéquence les rizières présentent plusieurs faciès granulométriques : limono-sableux, d'une part, comme à Badionkoto P2, Birkamading P2, Darou Khairy P 2, Dar Salam P2, et, d'autre part, d'un faciès limoneux, limoneux fin, et argileux pour respectivement Kabiline P2, Mahamouda P2 et Kolomba P2 (graphique 17).



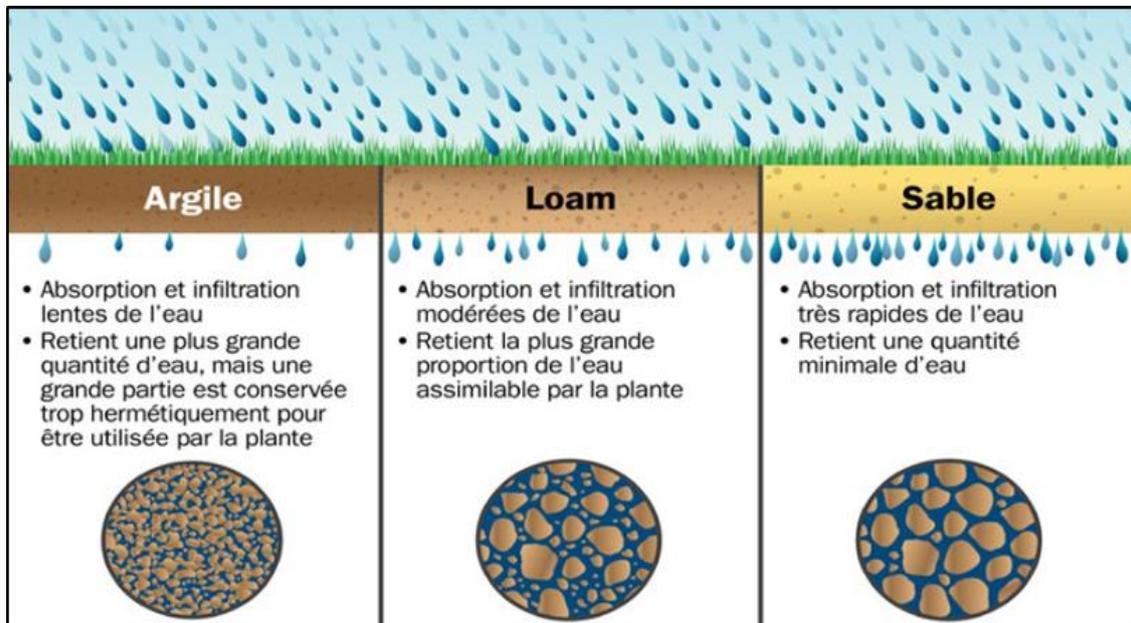
Graphique 17: diagramme triangulaire des classes texturales des sols des rizières en aval des vallées du Bassin versant de Diouloulou

Pour l'essentiel des échantillons analysés, le taux des fractions grossières diminue d'amont en aval des rizières : des rizières hautes, situées vers le plateau, aux rizières basses à proximité du réseau de drainage (marigot). Cette distribution spatiale s'explique généralement par la pression exercée sur la végétation des versants qui n'assure plus la protection des rizières. Ceci a entraîné un apport de sable du plateau vers la séquence morphologique basse, ce qui traduit une dégradation progressive des terres du plateau (érosion), rendant vulnérable celles des rizières (ensablement).

Les sols des rizières situées en amont des vallées s'assèchent très vite, avant l'arrivée à maturité du riz cultivé. La vitesse d'absorption et de rétention de l'eau dans le sol diffère selon la texture du sol. Ainsi, un sol argileux a une grande capacité de rétention et de conservation d'eau utilisable par les plantes. Les sols limoneux quant à eux, ont une capacité d'absorption et d'infiltration d'eau modérée. Ils retiennent une proportion importante d'eau assimilable par les végétaux (Munroe, 2018). Cependant, les sols sableux ont une vitesse d'absorption et d'infiltration élevée et retiennent une faible quantité d'eau (texture poreuse), graphique 18.

Par ailleurs, la texture de ces sols sableux favorise également la remontée capillaire à partir de la nappe salée, en saison sèche si des mesures de protection ne sont pas prises (paillage du sol,

labour post-récolte). C'est ce qui explique qu'en amont de certaines vallées du Bassin de Diouloulou, les sols sont par endroit salés, rendant souvent les parcelles rizicoles incultes. Cependant les sols sableux sont très perméables à l'eau et à l'air du fait de leur porosité texturale (espacement entre les particules), entraînant une bonne aération, un bon drainage du sol, mais souvent pauvre en matière organique.



Graphique 18 : caractéristiques de drainage et de rétention d'eau des principales classes de texture de sol (Munroe, 2018)

4.5. Les Caractéristiques chimiques des sols du Bassin Versant de Diouloulou

4.5.1. Les propriétés acido-basiques des sols des vallées du bassin versant de Diouloulou

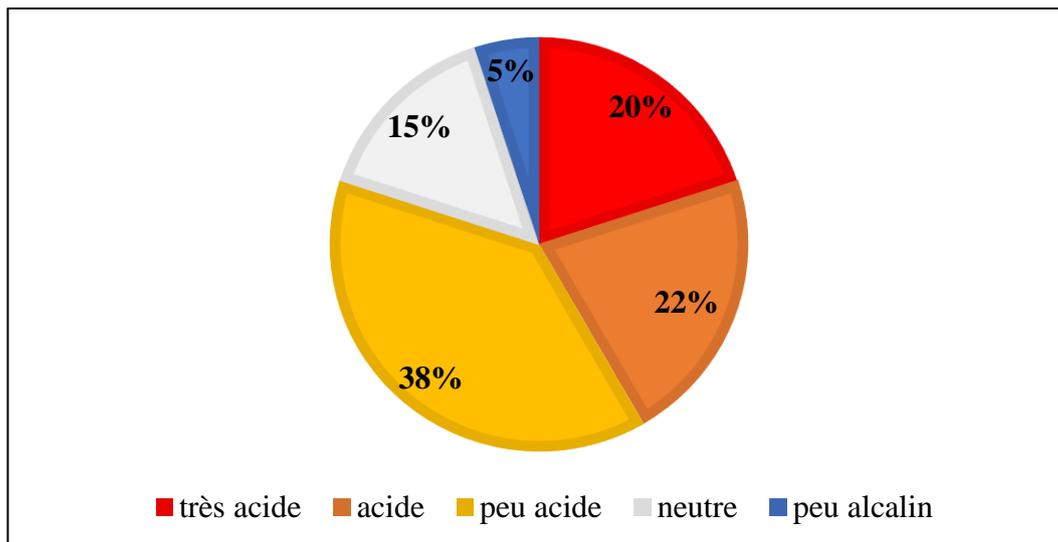
Le pH détermine souvent le comportement physique (stabilité de la structure, résistance à la battance, etc.), chimique (fonctionnement de la CEC, assimilabilité du phosphore, biodisponibilité des oligo-éléments et micro éléments, etc.) et biologique (humification et minéralisation des matières organiques) du sol. La valeur du pH est soumise à des variations spatiales. Elle varie avec la localisation du site, avec l'état hydrique du sol, la température, la présence ou non d'une culture en période de croissance active ou avec les saisons.

La valeur minimale du potentiel hydrogène des échantillons des sols est de 3,4 et celle maximum est de 8,5 avec une moyenne globale de 5.5 et un écart type 1,03 (tableau 19).

Tableau 19 : statistiques descriptives des pH et CE des sols du bassin versant de Diouloulou

Variable	Observations	Minimum	Maximum	Moyenne	Écart-type
pH	60	3,700	8,500	5,563	1,038
CE (µS)	60	203,000	21100,000	5791,367	4898,291

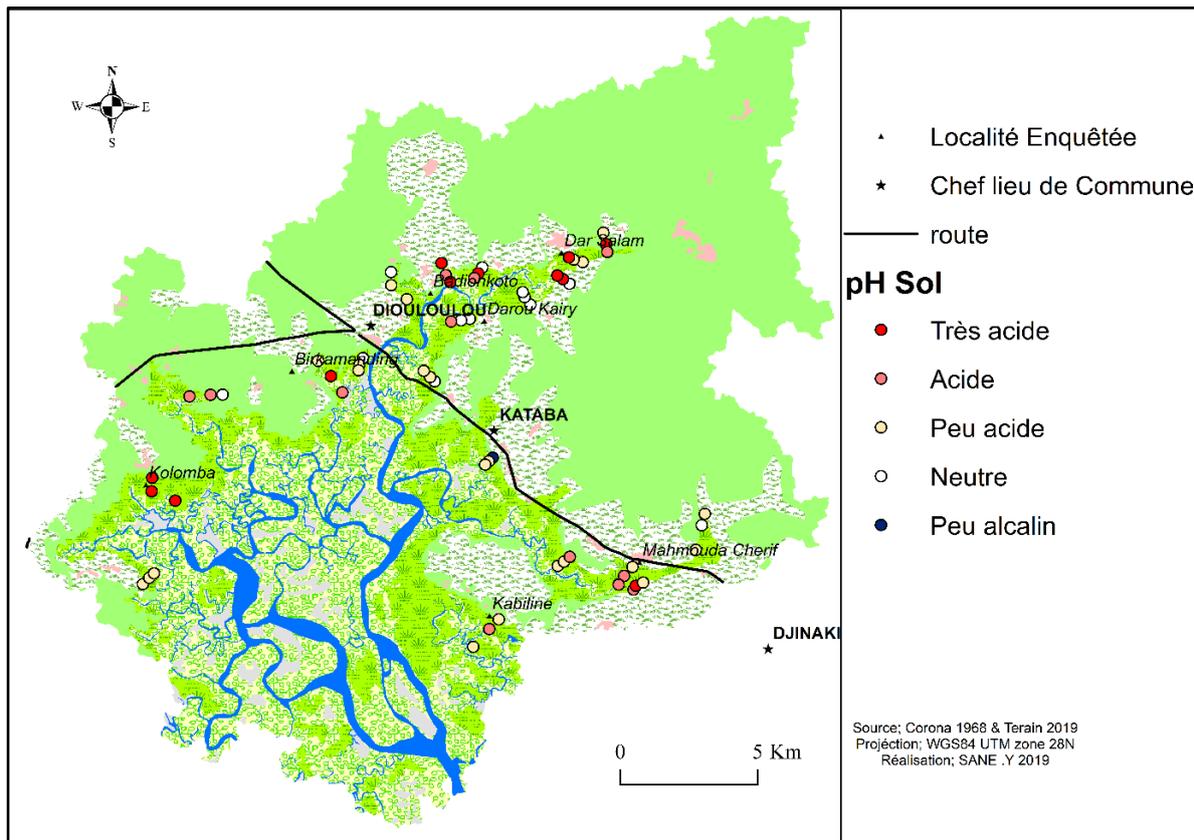
D'après le tableau d'interprétation du statut acido-basique des sols du PNUD/FAO (tableau 19), la plupart des échantillons des sols analysés sont acides. Ainsi, les analyses des pH de 60 échantillons ont révélé que les 20 % sont très acides avec des valeurs de pH comprises entre 3 et 4,5 (figure 15), 22 % acides et 38 % peu acides. Cependant, 15 % des échantillons prélevés sont neutres et 5 % alcalins (graphique 19).



Graphique 19: pourcentage des échantillons selon leur degré d'acidité

En outre, la répartition spatiale du niveau d'acidité des sols dans les rizières n'est pas homogène dans tout le BV ; les sols sont très acides à acide par endroit comme à Kolomba ou Birkamanding.

Cependant, la carte 19 montre que dans la plupart des vallées, l'acidité du sol varie de l'amont à l'aval donc une variation horizontale. Les sols sont plus acides au niveau médian et aval qu'en amont des vallées. Ceci est plus perceptible dans les vallées rizicoles de Mohamouda Chérif, Darou Khairy, Colomba, Kabiline, Birkamading, Badionkoto.



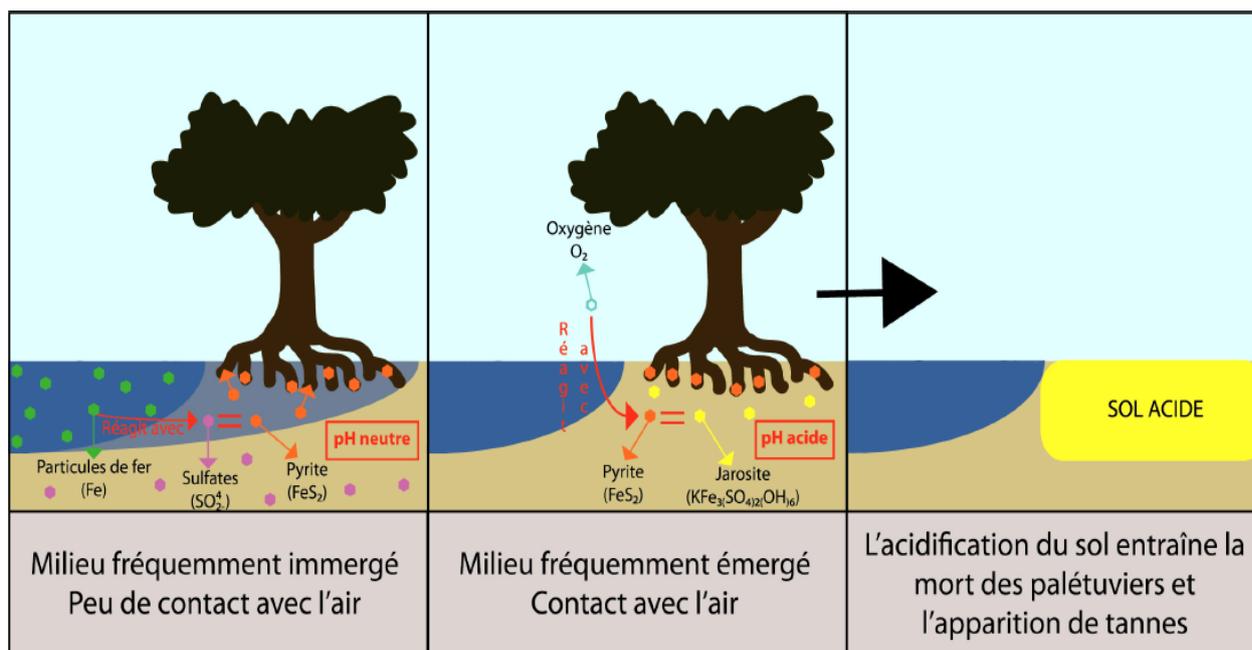
Carte 17: représentation spatiale des échantillons en fonction du degré d'acidité des sols

On parle souvent d'un pH optimum pour chaque type de plante ; mais en fait, le pH ne répond pas à une exigence physiologique de la plante. Mais le pH agit sur les propriétés physiques et chimiques, biologiques du sol pour favoriser l'alimentation minérale des plantes et par conséquent leur développement. D'ailleurs, les plantes s'accoutument le plus souvent d'un écart de pH atteignant une unité (INP, 1972).

En ce qui concerne (la riziculture) le riz, tolère jusqu'à un pH compris entre 5 et 8 (tableau 20). Au-delà de ces unités (pH compris entre 5 et 8) ou en dessous de celles-ci, les rendements diminuent progressivement jusqu'à parfois entraîner la mortalité des plantes. Ainsi, 42 % de nos échantillons ont un pH en dessous de cet intervalle (5 et 8).

Tableau 20 : niveau de tolérance des spéculations à l'acidité du sol

N°	Spéculations	Limites pH tolérés	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>	<u>10</u>	<u>11</u>	<u>12</u>	<u>13</u>	<u>14</u>
1	Riz	5,0 - 8,0					-	-	-	-						
2	Maïs	6,0 - 7,0						-	-							
3	Sorgho	6,0 - 7,5						-	-							
4	Blé	6,5 - 8,0						-	-	-						
5	Canne	6,5 - 8,5						-	-	-						
6	Pomme de terre	6,0 - 7,0						-	-							
7	Haricot	6,5 - 8,0						-	-	-						
8	Patate douce	6,0 - 6,5						-								
9	Gombo	6,5 - 7,0						-	-							
10	Agrumes	6,0 - 8,0						-	-	-						
11	Mil	6,0 - 7,2						-	-							
12	Igname	5,5 - 7,0					-	-	-							
13	Arachides	6,5 - 7,5						-	-							
14	Niébé	5,5 - 7,0					-	-	-							
15	Coton	6,6 - 7,5					-	-	-							



Graphique 20: processus d'acidification des sols (adapté de Marius, 1986)

L'acidification diminue la disponibilité des éléments essentiels aux plantes et, parfois, au contraire, en solubilise d'autres qui deviennent toxiques aux plantes. Elle ralentit la décomposition de la matière organique et, par conséquent, affecte le potentiel de fertilité des sols tout en réduisant l'activité biologique et enzymatique des micro-organismes du sol (Doucet, 2006).

4.5.2. La salinité des sols des rizières du bassin versant de Diouloulou

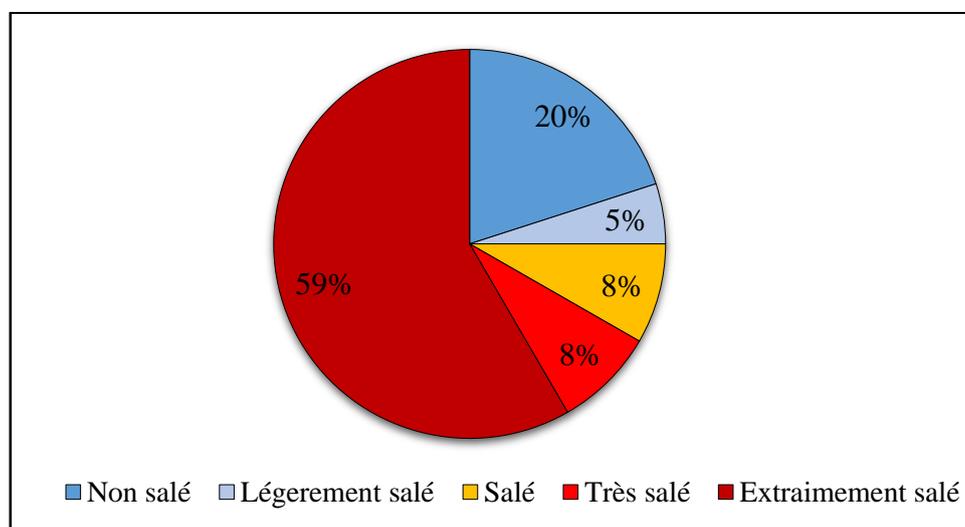
Les résultats de notre analyse de sol montrent que la valeur minimale de la conductivité électrique des échantillons de sols est de 203 $\mu\text{S}/\text{cm}$ avec une valeur maximale de 21 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, soit une moyenne de 5 791,367 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et un écart type de 4 898,291 (tableau 19).

La salinité des sols du bassin de Diouloulou varie suivant les sites et les zones de prélèvement (amont, médiane et aval). Les sols sont non salés à extrêmement salés. Ainsi, 59 % des échantillons analysés sont extrêmement salés, 8 % très salés, 8 % salés, 5 % légèrement salés et 20 % non salés (graphique 21). La CE oscille entre 203 et 21 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (tableau 19) avec une concentration croissante de l'amont vers l'aval suivant le sens d'écoulement des eaux de surface.

Tableau 21: classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durand (1983)

Classe	CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$) à 25 °C	Qualité des sols	Effet sur le rendement
Classe I	0 à 500	Non salé	Négligeable
Classe II	500 à 1000	Légèrement salé	Diminution du rendement des cultures sensible au sel
Classe II	1000 à 2000	Salé	Diminution du rendement de la plupart des cultures
Classe IV	2000 à 4000	Très salé	Seules les cultures résistantes donnent des rendements
Classe V	Plus de 4000	Extrêmement salé	Seules quelques cultures donnent des rendements satisfaisants

Source : Durand (1983)

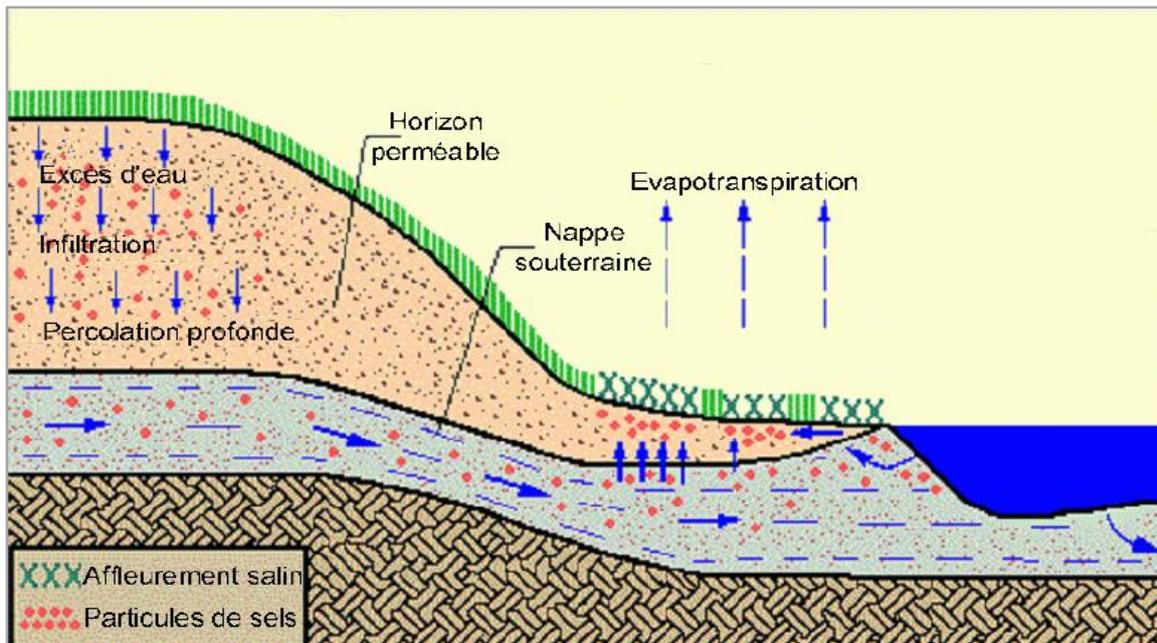


Graphique 21: proportion des échantillons en fonction de leur niveau de salinité

Les résultats obtenus montrent une variation horizontale de la salinité des sols dans le bassin versant de Diouloulou. Les différences de CE des échantillons provenant de différentes topo-séquences des rizières révèlent une variation spatiale de la salinité. Cette variation est un phénomène assez courant qui traduit une dynamique des sels dans les milieux salés (Boivin, 1984). Elle est étroitement liée à la succession des unités géomorphologiques. C'est ainsi que tous les sols situés dans les rizières basses et moyennes inondables par les eaux du marigot de Diouloulou sont caractérisés par une forte salinité exprimée par des Conductivités électriques supérieures à 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, alors que ceux des rizières hautes sont souvent moins salées (carte 19). Ceci montre que dans ces milieux, la variation et le niveau de la salinité seraient essentiellement influencés par la « *topographie et à l'hydrologie, les conditions pédoclimatiques et géochimiques du milieu* » (Boivin, 1984).

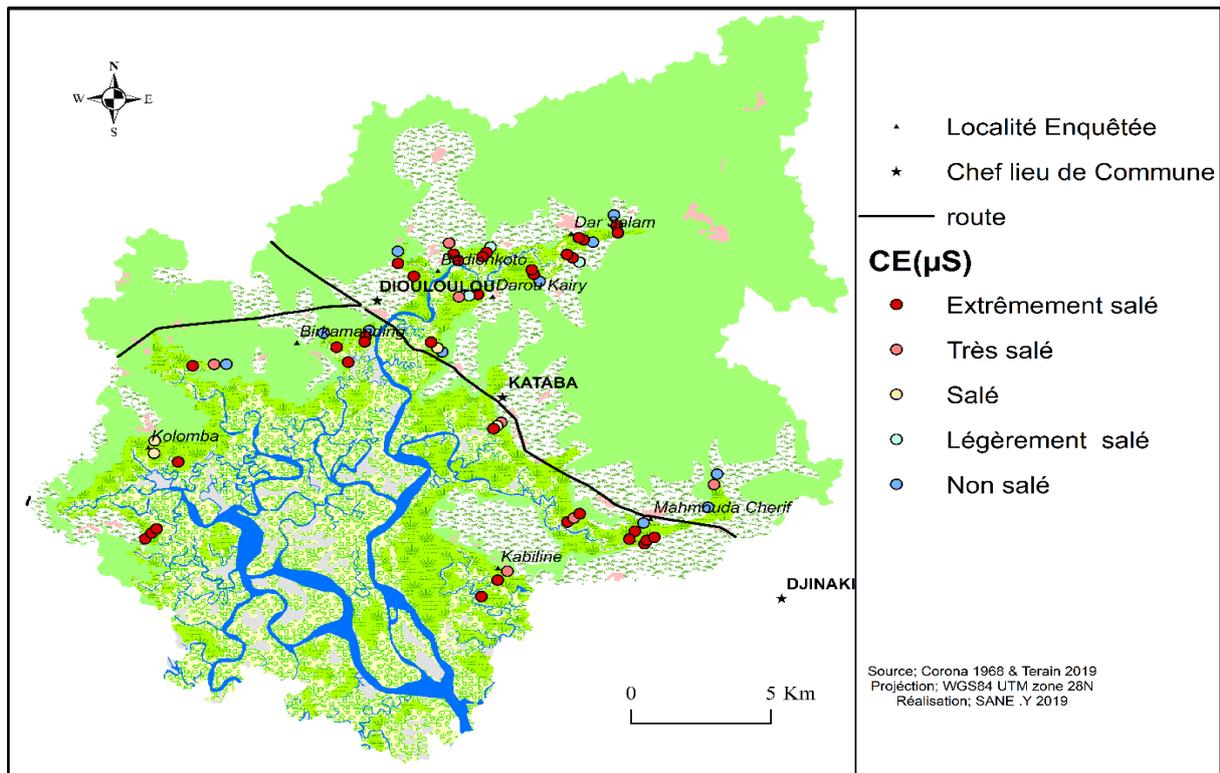
La salinisation des sols des rizières du bassin versant de Diouloulou se fait, d'une part, à travers l'inondation des sols par les eaux salées du réseau hydrographique qui envahissent ces zones basses à l'occasion des grandes marées (processus horizontal) et, d'autre part, par remontée capillaire de la nappe salée en saison sèche (processus vertical, graphique 22).

Il entraîne et explique l'augmentation et la forte salinité des sols des bas-fonds situés à proximité du lit du marigot, donc dans la plupart des cas, la salinité est plus importante dans les rizières situées en aval (bas-fonds) et moins importantes en amont (carte 17).



Graphique 22 : cycle des sels dans le sol (adapté par Lahlou et al. 2000)

La carte 19 montre la distribution spatiale des échantillons de sols et leur degré de salinité. Elle montre que les sols des rizières à proximité des eaux du bolon sont plus salés que ceux plus ou moins éloignés des eaux. Donc il s'avère important et nécessaire de bien gérer l'eau pour éviter un envahissement excessif des eaux du bolon qui sont très salées dans les parcelles rizicoles. Dans ces parcelles (vallées), le riz est souvent affecté par la salinité ou l'acidité du sol. Ceci est perceptible vers la fin de la saison des pluies et à travers le flétrissement des feuilles de riz (planche 7) ou les graines n'arrivent pas à maturité.



Carte 18: représentation spatiale de la salinité des sols dans les vallées du BV de Diouloulou

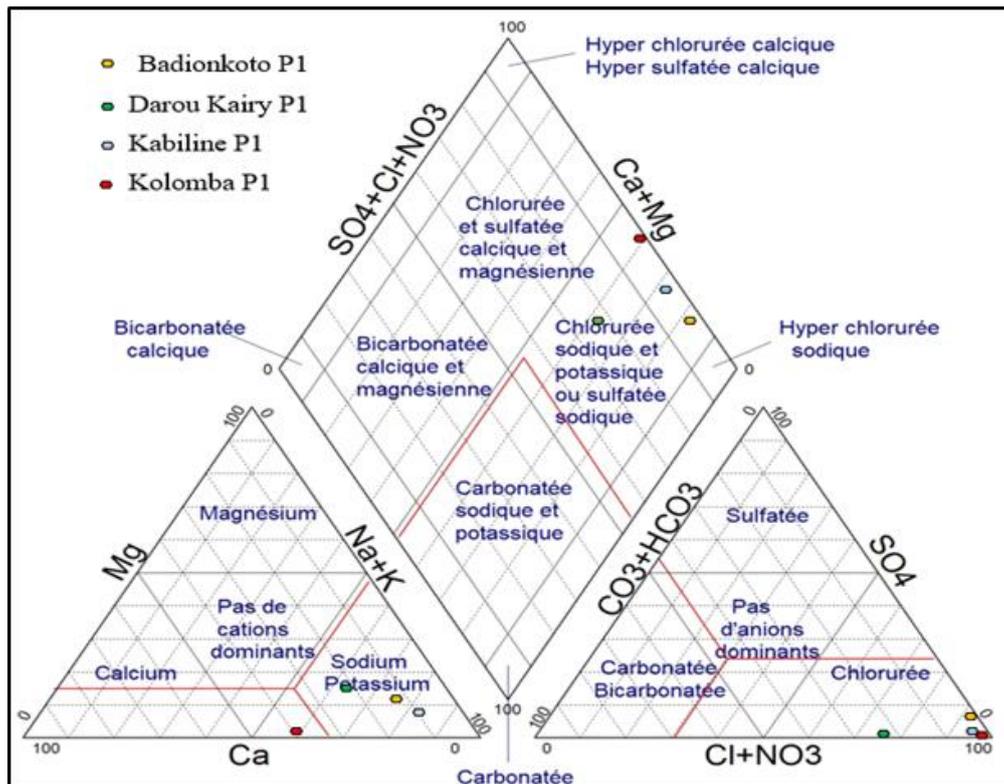
En effet, au regard du tableau de classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durand J. H. (1983), un sol légèrement salé (500 et 1000 μS) entraîne déjà une diminution du rendement des cultures sensibles au sel et une culture dans un sol salé (2 000 et 4 000 μS), seules les cultures résistantes peuvent donner des rendements. Par contre, si la CE est supérieure à 4 000 μS , seules quelques cultures (dont les variétés sont tolérantes à la salinité) donnent des rendements satisfaisants.



Planche 7: parcelle de riz affecté par le sel à Colomba (Sané, 2019)

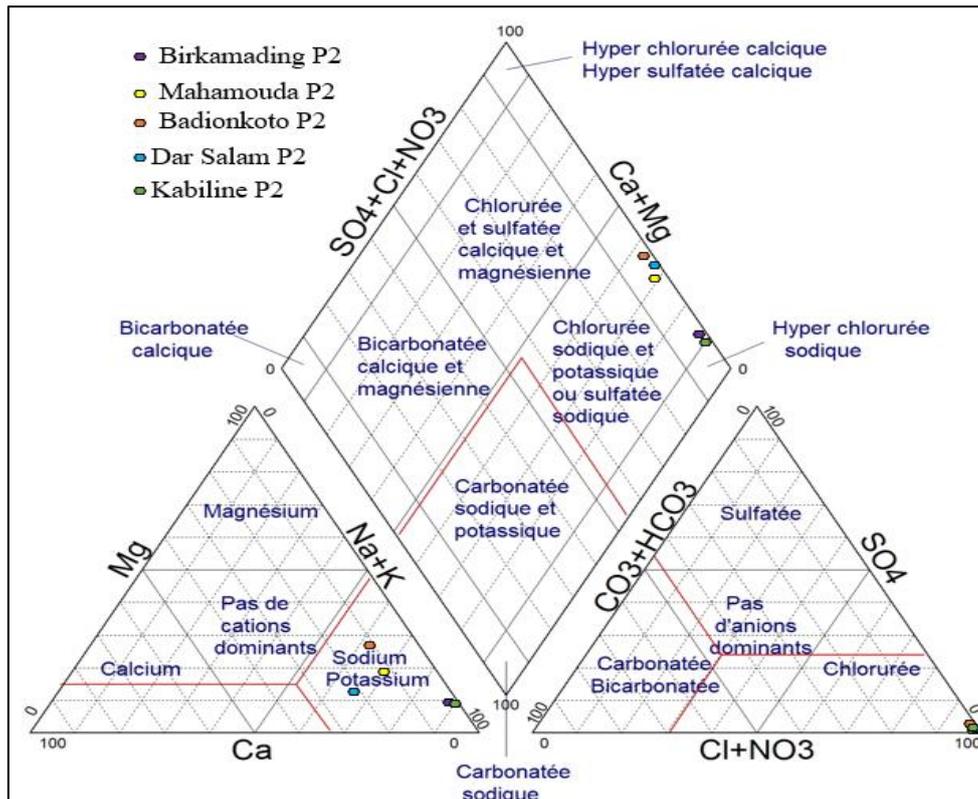
4.5.3. Classification de Piper des échantillons de sédiments du BV Diouloulou

Les rizières amont. La représentation des résultats de l'analyse chimique des sédiments des rizières amont sur le diagramme de Piper montre que les sols sont dominés par un faciès chloruré-sodique et potassique avec une migration vers le faciès hyper chloruré sodique. Le sulfate chloruré est l'anion dominant (100 %). Il n'y a cependant pas un cation dominant, mais plutôt des cations dominants, en l'occurrence le sodium et le potassium (graphique 23).



Graphique 23: diagramme de Piper des sédiments des rizières en amont des vallées du BV de Diouloulou

Les rizières aval. La représentation des résultats de l'analyse chimique des sédiments des rizières aval sur le diagramme de Piper (graphique 24) montre que les sols analysés sont caractérisés par un faciès chloruré sodique et potassique sulfaté sodique avec une légère tendance de migration vers le faciès hyper-chloruré sodique (Birkamanding P2 et Kabiline P2). Les cations sont essentiellement composés de sodium et de potassium, mais il n'y a pas de cation dominant ni d'anions dominants sur l'ensemble des échantillons analysés (graphique 24).



Graphique 24: diagramme de Piper des sédiments des rizières en aval des vallées du BV de Diouloulou

4.5.4. La fertilité des sols dans le Bassin versant de Diouloulou

Le tableau 22 présente les résultats de l'analyse des sols des rizières amont du Bassin versant de Diouloulou. Les analyses chimiques montrent qu'à Badiokoto P1 le sol est très acide (pH, 4), pauvre en carbone (C), en matière organique (MO), en phosphore (P), en potassium (K) et présente un rapport carbone/Azote (C/N) très faible.

À Dar Salam P1, les sols sont très acides (pH, 4,2), mais très riches en C (7,41%), en MO, en N et très pauvres en K. Dans ces rizières, le phosphore est moyennement élevé et le rapport C/N est satisfaisant. À Kabiline P1, le sol est également très acide (pH, 3,8), pauvre en MO, en N et très pauvre en P et en K. Par contre, il est moyennement riche en C et le rapport C/N est satisfaisant. A Birkamading P1, le sol est acide (pH, 4,5), très pauvre en P et en K. Il est également non salé, très riche en C et en N avec un rapport C/N satisfaisant (tableau 22).

À Mohamouda P1 et Kolomba P1, le sol des rizières est acide (pH, 5,2), pauvre en MO, en C, en N, en P et en K. Le rapport C/N est également très faible. Ces sols ont besoin d'amendement organique ou d'engrais pour augmenter leur fertilité. La vallée amont de Darou Khairy (P1) présente un sol moyennement riche en C, pauvre en MO, en N et en P. Mais le rapport C/N est satisfaisant avec une salinité importante et un pH acide (5,1) (tableau 22).

Tableau 22: les caractéristiques physico-chimiques des sols des rizières amont du bassin versant de Diouloulou

Localités	pH eau 1/2,5	CE 1/10 μ S/Cm	C%	MO %	N %	P (ppm)	C/N	(K) (m \acute{e} q/10g)	Granulométrie		
									Argile %	Limon %	Sable %
Badionkoto P1	4	2160	0,176	0,303	0,029	1	6	0,018	6,922	31,895	61,183
			(TP)	(P)	(P)	(TP)	(TF)	(TP)	Limonosableux		
Dar Salam P1	4,2	167	7,41	12,775	0,653	5	11	0,035	10,207	41,944	47,849
			(TR)	(TR)	(TR)	(M)	(S)	(TP)	Limoneux		
Kabiline P1	3,8	685	0,839	1,446	0,086	1,3	10	0,036	9,388	42,7	47,912
			(M)	(P)	(P)	(TP)	(S)	(TP)	Limoneux		
Birkamading P1	4,7	242	5,07	8,741	0,451	2,2	11	0,014	6,089	45,429	48,482
			(TR)	(R)	(TR)	(TP)	(S)	(TP)	limonosableux		
Mahamounda P1	5,3	123	0,351	0,605	0,044	1,8	8	0,008	31,071	27,764	41,165
			(P)	(P)	(P)	(TP)	(TF)	(TP)	argilo limoneux		
Kolomba P1	3,4	963	0,39	0,672	0,048	1,8	8	0,006	5,268	29,631	65,101
			(P)	(P)	(P)	(TP)	(TF)	(TP)	limonosableux		
Darou Kairy P1	5,1	8340	0,819	1,412	0,085	2,8	10	0,008	4,691	44,945	50,364
			(M)	(P)	(P)	(TP)	(S)	(TP)	limonosableux		

Tableau 23: caractéristiques physico-chimiques des sols des rizières aval du bassin versant de Diouloulou

Localités	pH eau 1/2,5	CE 1/10 μ S/Cm	C %	MO%	N %	P (ppm)	C/N	K (m \acute{e} q/100 g)	Granulométrie		
									Argile%	Limon%	Sable%
Badionkoto P2	3,6	4700	2,925	5,043	0,266	7	11	0,03	5,23	20,231	74,539
			R	R	(TR)	M	(S)	TP	limono-sableux		
Dar Salam P2	3,2	4450	3,9	6,724	0,35	0,12	11	0,041	11,76	35,618	52,622
			R	R	(TR)	TP	(S)	TP	limono-sableux		
Kablliline P2	6,2	2130	1,17	2,017	0,115	1,18	10	0,059	10,284	42,814	46,902
			M	M	(M)	TP	(S)	TP	Limoneux		
Birkamadin g P2	3,8	8340	0,936	1,614	0,095	1,3	10	0,057	0	32,433	67,567
			M	P	(M)	TP	(S)	TP	limono-sableux		
Mahamoun P2	3,8	2280	1,716	2,958	0,162	0,6	11	0,072	17,084	60,462	22,454
			R	M	(R)	TP	(S)	TP	limoneux fin		
Kolomba P2	3,5	371	3,218	5,547	0,291	1,4	11	0,008	44,177	36,068	19,755
			R	R	(TR)	TP	(S)	TP	Argileux		
Darou Kairy P2	4,1	108,9	0,878	1,513	0,09	1,1	10	0,031	7,202	36,137	56,661
			M	P	(P)	TP	(S)	TP	limono-sableux		

Lire : C = Carbone, MO = Matière organique, N = Azote, P = Phosphore, Ca = Calcium, Mg = Magnésium, Na = Sodium, K = Potassium, CEC = Capacité d'échange cationique, TS = Taux de saturation, ppm = partie pour mil, meq = milliéquivalent, g = gramme, S = satisfaisant, TF = trop faible, TR = très riche, R = riche, M = Moyen, P = pauvre, TP = très pauvre.

Les résultats d'analyse des sols des rizières aval du bassin montrent que les sols sont globalement plus ou moins riches sauf par endroit où le sol est pauvre en nutriments (tableau 23). C'est ainsi qu'à Badiokoto P2, Dar salam P2 et Kolomba P2, le sol est riche en C, en MO, en N, un rapport C/N satisfaisant, mais très pauvre en potassium. A Badiokoto P2, la teneur en P est moyenne mais très faible à Dar salam P2 et à Kolomba P2 (tableau 23).

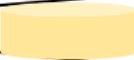
Dans les rizières de Kabiline P2, le sol est moyennement riche, en MO, en C et en N avec un rapport C/N satisfaisant. Par contre, il est pauvre en P et en K. Quant à Mohamouda P2, les résultats d'analyse ont montré que le sol est riche en C, en N et moyennement riche en MO avec un rapport C/N satisfaisant, mais très pauvre en P et en K avec un pH faible (3,4). A l'aval de la vallée de Birkamading (Birkamading P2), le sol limono-sableux est très salé (8 340 $\mu\text{S}/\text{Cm}$), acide, moyennement riche en MO, en N et le rapport C/N est satisfaisant. Cependant, ce sol est pauvre en MO, en P et en K (tableau 23).

Enfin, à Darou Khairy P2, les résultats (tableau 23) révèlent un sol acide, mais non salé. Il est moyennement riche en C avec un rapport C/N satisfaisant. Par ailleurs, il est pauvre en MO, en N, en P et en K.

4.5.4.1. La capacité d'échange cationique des sols du Bassin versant de Diouloulou

Connaître la valeur de la CEC est indispensable pour une bonne interprétation des teneurs en éléments cationiques échangeables (K, Ca, Mg, Na). Le niveau de la CEC oriente également les choix stratégiques en termes de fertilisation potassique et magnésienne (calcul des doses et fréquences d'apports, (Lamant, 2018)). Elle représente le nombre de sites compensables des complexes organo-minéraux. Plus un sol est riche en argiles (fractions fines) et en matière organique (MO), plus sa CEC est importante. Elle décrit la fraction de nutriments en solution dans le sol assimilable par les végétaux (acides faibles tels les ions calcium, les ions magnésium...). La CEC peut aussi exprimer la capacité d'un sol à résister aux variations de pH (pouvoir tampon). Un sol trop acide fixe des ions H^+ au lieu des autres cations du sol et conduit, si l'acidité est très forte, à la défloculation des complexes argilo-humiques. La capacité d'échange cationique dépend du pouvoir d'absorption. Ainsi, un sol à faible capacité d'échange cationique retient fermement ses cations sur le complexe absorbant, et les échanges entre ce dernier sont réduits (Doucet, 2006). « *En général, les sols acides sont considérés comme pauvres. En effet, la fertilité augmente avec l'accroissement de la somme des bases échangeables et avec le taux de saturation du complexe par les bases* » (Doucet, 2006).

Tableau 24: éléments d'interprétation de la valeur de la CEC des sols (Lamant 2018)

C.E.C en cmol/kg	1 à 8	8 à 15	15 à 25	25 à 35
				
	-C.E.C faible	-C.E.C moyenne	-C.E.C élevée	-C.E.C très élevée
	-Sol à dominante sableuse	-Sol à dominante limoneuse	-Sol à dominante limono argileuse	-Sol à dominante argileuse et/ou humifère
	-Échange facile	-Échange assez facile	-Échange peu facile	-Échange difficile

La CEC des sols des rizières amont des vallées du Bassin versant de Diouloulou est variable selon la localité. Le tableau 25 montre à Badiokoto P1, une CEC moyenne ($9 \leq CEC \leq 12$) avec un taux de saturation de 36 %, tandis qu'elle est assez élevée à Dar Salam P1 et à Kabiline P1 avec des taux de saturation respectifs de 23 % et 17 %. A Mahamouda P1, la CEC est également élevée (22 meq/100 g) mais le taux de saturation reste faible de 4 % (tableau 25). Cependant, une faible CEC est enregistrée à Birkamadig P1, à Kolomba P1 et à Darou Khairy P1 avec des taux de saturation respectifs de 28 %, 19 % et 55 %. Ici, le sol est acide à très acide. Le taux de saturation du sol se confond au « *taux de remplissage du filet* ». Ce dernier peut être vide (sol sablonneux sans argile ni matières organiques permettant de retenir les cations), petit, grand (limon, humus), ou déborder (sol très drainant à faible capacité d'échange cationique et important apport d'intrants, (lamant, 2018).

Tableau 25: CEC des sols des rizières des vallées du BV de Diouloulou (Source : données terrain, 2020)

LOCALITÉS	pH eau 1/2,5	S meq/100g	CEC meq/100g	T %
BadionkotoP1	4	4,276	12	36
Dar salamP1	4,2	3,37	14,5	23
KabilineP1	3,8	2,524	15	17
BirkamadingP1	4,7	1,801	6,5	28
MahamoundaP1	5,3	0,771	22	4
KolombaP1	3,4	1,426	7,5	19
Darou kairyP1	5,1	4,368	8	55

Les résultats d'analyse de la CEC dans les rizières aval des vallées du Bassin versant de Diouloulou varient d'une localité à une autre. Selon le tableau d'éléments d'interprétation de la valeur de la CEC des sols de Lamant (2018) (Tableau 24), la CEC est élevée à Kabiline P2 (17 meq/100g) et à Mohamouda P2 (18 meq/100g). Par contre, elle est moyenne à Badionkoto P2 (9,5 meq/100g), Dar Salam P2, Birkamading P2, Kolomba P2 et à Darou khairy P2 (Tableau 26).

Tableau 26: CEC des sols des rizières en aval des vallées du BV de Diouloulou. (Source : données terrain, 2020)

LOCALITÉS	pHeau 1/2,5	S meq/100g	CEC meq/100g	T %
BadionkotoP2	3,6	7,489	9,5	79
Dar salamP2	3,2	3,143	12	26
KablilineP2	6,2	5,171	17	30
BirkamadingP2	3,8	3,787	10	38
MahamoundaP2	3,8	3,771	18	21
KolombaP2	3,5	4,993	8,5	59
Darou khairyP2	4,1	2,883	11,5	25

4.6 Discussion

La texture des sols. Pour l'essentiel des échantillons analysés, le taux des grains grossiers diminue d'amont en aval des rizières, c'est-à-dire qu'il diminue des rizières hautes, situées vers le plateau, vers les rizières basses à proximité du réseau de drainage (marigot). Cette distribution spatiale s'explique généralement par la pression exercée au niveau de la végétation des versants qui n'assure plus la protection des rizières. Ceci a entraîné un apport de sable du plateau vers l'unité topographique basse. Ceci entraîne une érosion progressive des terres du plateau avec comme conséquence l'ensablement des rizières en contrebas.

Les sols des rizières situées en amont des vallées s'assèchent souvent très vite, avant l'arrivée à maturité du riz cultivé (planche 8). La vitesse d'absorption et de rétention de l'eau diffère suivant la texture du sol. Ainsi, un sol argileux a une grande capacité de rétention et de conservation d'eau utilisable par les plantes. Les sols limoneux quant à eux ont une capacité d'absorption et d'infiltration d'eau modérée. Ils retiennent une proportion importante d'eau assimilable par les végétaux (Jake, 2018). Cependant, les sols sableux ont une vitesse d'absorption et d'infiltration élevée et retiennent une faible quantité d'eau.

Par ailleurs, la texture des sols sableux favorise également la remontée capillaire à partir de la nappe salée, en saison sèche, si des mesures de protection ne sont pas prises (paillage du sol, labour post-récolte) (Fall et Sané, 2020). C'est ce qui explique qu'en amont de certaines vallées du Bassin versant de Diouloulou, il existe par endroit, des sols salés, rendant souvent les parcelles rizicoles incultes.



Planche 8 : assèchement précoce de l'eau d'une parcelle avant la maturité du riz à Darou Khairy (Sané, 2019)

Les propriétés chimiques des sols. Les analyses montrent que les sols des vallées du Bassin versant de Diouloulou sont généralement salés avec des valeurs de CE comprises en 108 à 8340 $\mu\text{S}/\text{Cm}$. C'est seulement en amont des vallées de Birkamading, Mohamouda, Dar Salam et en aval de celles de Darou Khairy et de Kolomba qu'ils ne sont pas salés. Une salinité qui peut être liée à l'intrusion des eaux salées du marigot de Diouloulou et à la remontée capillaire de la nappe salée d'autant plus que le site se trouve dans une zone à topographie basse. Ainsi, dès le début de la saison sèche, commencent à apparaître des efflorescences salines à la surface du sol (planche 9, Sané, 2019).



Planche 9 : efflorescences salines dans une parcelle rizicole abandonnée à Mohamouda Chérif
En plus de la salinité, l'acidité est venue accentuer et amplifier la dégradation des sols des rizières déjà vulnérables. Cette dégradation des sols a rendu certaines parcelles rizicoles incultes. L'analyse de la CEC a, dans ce sens, permis une meilleure appréciation de la fertilité des sols du Bassin versant de Diouloulou.

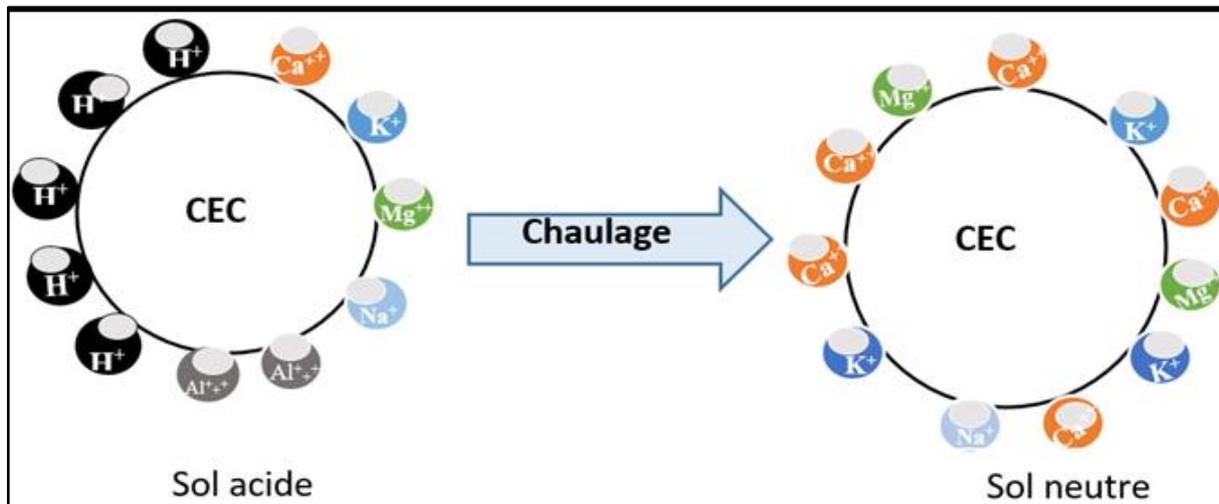
Ainsi, on peut retenir que l'analyse de la CEC des sols des rizières dans le Bassin versant de Diouloulou montre qu'elle est élevée à Mohamouda (P1 et P2), à Kabiline (P1 et P2), moyenne à Badionkotong (P1 et P2), à Dar Salam (P1 et P2), à Birkamading (P2) et à Darou khairy (P2). Par ailleurs, la CEC enregistrée est faible à Birkamading (P1), Kolomba (P1) et Darou Khairy (P1) : au total, le sol est globalement acide.

Dans un sol non acide, le calcium domine de sorte que l'échange qui a eu lieu entre la solution du sol, qui peut être enrichie par les engrais, et le complexe argilo-humique se fait principalement entre les ions de calcium et les autres ions positifs (Mg^{++} , K^+ , NH_4^+ , Na^+ , etc.).

Par contre, dans un sol acide, comme celui du Bassin versant de Diouloulou, le complexe argilo humique y fixe beaucoup d'ions H^+ et peu d'autres ions (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , NH_4^+ , Na^+ , etc.). L'application de chaux dans un sol acide force le déplacement ou l'échange des ions H^+ pour

permettre aux autres ions de se fixer sur le complexe argilo-humique et permettre une importante réserve nutritive du sol (Doucet, 2006).

La capacité d'échange d'un sol est saturée quand tous les ions hydrogène ou protons H^+ sont remplacés par des cations tels que Ca^{2+} , Mg^{2+} et K^+ , aussi appelés cations échangeables. Pour neutraliser les ions H^+ , il faut apporter des radicaux OH^- libérés par la chaux ou les carbonates contenus dans les amendements minéraux basiques. La quantité maximum de cations échangeables qu'un sol peut fixer détermine la CEC (Duchaufour *et al.* 2001, Doucet, 2006).



Graphique 25 : échange cationique, adaptée de Doucet (2006)

Un sel minéral en solution dans l'eau du sol s'y trouve à l'état dissocié, scindé en deux ions : l'anion, chargé négativement et le cation, chargé positivement. Les cations sont des éléments minéraux qui s'échangent facilement entre la solution du sol et le complexe ou capacité d'échange cationique (CEC). Ils sont aussi absorbés par les racines qui utilisent cette réserve de cations pour s'alimenter. Ils sont ainsi considérés biodisponibles pour la plante (Duchaufour *et al.* 2001). Le complexe argilo-humique possède la propriété de retenir à sa surface les cations de la solution du sol (on parle aussi du pouvoir adsorbant). L'humus a un pouvoir adsorbant quatre fois plus important que celui des argiles (*Op cit*). L'hydrogène est le cation le plus énergiquement retenu par la CEC, si l'acidité du sol est forte, les ions H^+ déplacent les autres cations et occupent les sites d'adsorption sur la capacité d'échange cationique (Doucet, 2006), (graphique 25).

Conclusion

Le bassin versant de Diouloulou regorge d'importantes potentialités rizicoles. L'étude a permis de montrer que les sols des rizières dans le bassin sont globalement salés et acides. Ils ont une texture à dominante limono sableuse et sont pour la majeure partie pauvre en argile.

L'analyse des caractéristiques chimiques a permis de mettre en évidence des faciès à dominances chlorurées sodique et potassique sulfatées sodiques. Pour toutes les vallées étudiées, l'essentiel des cations déterminées sont composés de sodium et de potassium. Ce qui laisse dire que la salinité de ces sols provient en grande partie des eaux du marigot (origine marine) d'autant plus que le bassin se trouve dans l'estuaire de la Casamance proche de l'océan Atlantique et caractérisé par une topographie basse avec un réseau hydrographique très dense. En effet, dans ces vallées rizicoles étudiées, les sols ont dans l'ensemble un niveau de fertilité faible à moyen. Ainsi, ils présentent en majorité en haut des versants comme en bas des vallées rizicoles, une capacité d'échange cationique faible à moyenne excepté à Kabiline et Mohamouda où les sols sont plus ou moins riches en argile.

En outre, les sols des vallées rizicoles du bassin versant de Diouloulou sont affectés par les phénomènes de salinisation et d'acidification à l'instar de ceux de la Casamance depuis les années de sécheresse. Une dégradation qui semble persister, rendant les rizières moins productives, voire incultes malgré le retour progressif de la pluviométrie (Descroix *al.* 2018) et la volonté des paysans à s'activer davantage dans la riziculture. Cette recherche peut contribuer à la connaissance des caractéristiques physico-chimiques de ces sols pour une meilleure mise en valeur.

CHAPITRE V : DYNAMIQUE ET RECOMPOSITION DE L'ENVIRONNEMENT BIOPHYSIQUE ET SOCIAL DU BASSIN VERSANT DE DIOULOLOU

L'Afrique de l'Ouest a connu des changements biophysiques ces dernières décennies qui sont principalement liées à la sécheresse du Sahel de la fin des années 1960 (Descroix et *al.* 2015 ; Mendy, 2018 ; Sané, Sy, et Diéye, 2012). Malgré le retour des précipitations depuis la fin des années 1990 (Descroix et *al.* 2015, Nicholson, 2005 ; Nicholson, Funk et Fink. 2018), la tendance dans la région montre un recul des surfaces boisées et des rizières exploitables (Lambin, Geist, et Lepers, 2003 ; Ouédraogo et *al.* 2010). La jonction entre ces fluctuations biophysiques et les mutations dans la vie socio-économique de l'Afrique de l'Ouest sont à l'origine de la dynamique du paysage (Andrieu et Mering, 2009). Donc la Basse Casamance de manière générale n'a pas été épargnée par les effets de la sécheresse des années 1970-1980 (Sané, 2017, Sané et *al.* 2021).

Le chapitre 5 est consacré à l'analyse de la dynamique des paysages à travers l'occupation des sols afin de mieux apprécier la recomposition biophysique de l'environnement du Bassin versant de Diouloulou. L'accent est mis ici sur la dynamique de l'occupation du sol et les changements spatio-temporels caractérisés par des évolutions des superficies occupées par les classes d'occupation du sol.

Dans le cadre de cette étude, deux niveaux d'échelles d'analyse spatiale sont pris en considération afin de mieux faire ressortir le détail de la dynamique des unités paysagères. Le premier niveau prend en compte l'ensemble du bassin versant. Ce niveau d'échelle permet d'avoir un aperçu global de la dynamique des unités paysagères.

Le second niveau d'analyse est celui du terroir villageois. Cette échelle est considérée comme la plus fine ; elle traduit plus les détails de la réalité de la dynamique paysage des terroirs villageois.

En effet, il faut noter qu'elle est complémentaire à celle du Bassin versant et, elle précise également, mieux le détail des évolutions à un niveau d'appropriation territoriale des paysans. Cette échelle d'analyse qui est le terroir villageois permet aussi de mieux appréhender les mutations intervenues durant une période donnée.

5.1. La dynamique de l'occupation du sol à l'échelle du Bassin versant de Diouloulou

L'analyse de l'occupation du sol du Bassin versant de Diouloulou porte sur les images des années 1968, 1987, 2006 et 2019. Ainsi, l'accent est mis sur six périodes : 1968 - 2019, 1968 – 2006, 1968 – 1987, 1987 – 2019, 1987 – 2006, et 2006 – 2019.

La période 1968 – 2019 révèle globalement que le bâti, les zones de Culture de plateau et de tannes ont connu une augmentation de leurs superficies. Ainsi, la superficie occupée par le bâti est passée de 460,4 ha en 1968 à 1246,9 ha en 2019, soit une augmentation de 786,6 ha (tableau 27) avec un taux d'évolution annuelle de 3,35 % (tableau 27). Les zones de culture de plateau sont passées de 7 498,7 ha en 1968 à 17 437,9 ha en 2019 avec une augmentation 9 939,2 ha et d'un taux d'évolution annuel de 2,60 %. Les tannes ont augmenté de 8 113,4 ha, occupant une superficie de 1 143,0 ha en 1968, soit un taux d'évolution annuelle de 13,92 %.

Cependant, les formations de Mangroves, les Rizières et la Savane arbustive ont connu durant la période 1968-2019, une diminution de leurs surfaces occupées. Ainsi, les superficies des forêts de mangroves ont diminué de 6 523,4 ha avec un taux annuel de régression de -1,31 %. D'autre part, la surface occupée par les rizières est passée de 5 807,6 ha en 1968 à 4145,6 ha en 2019. Les résultats de la cartographie montrent que celle-ci a diminué (-1662,1 ha), soit une croissance régressive annuelle de -0,56 %. L'observation de la carte 20 montre que les rizières ont diminué pour leur majeure partie au détriment des tannes. Donc, plusieurs rizières se sont transformées en tanne. Pour ce qui est de la savane arbustive, les statistiques issues de la cartographie diachronique montrent que celles-ci ont diminué de 10 704,9 ha. Elles sont passées de 22 877,5 ha en 1968 à 12 172,6 ha en 2019, soit une croissance régressive annuelle de -0,92 % (tableau 27).

Tableau 27: dynamique de l'occupation du sol du BV de Diouloulou de 1968 à 2019

Occupation du sol	Superficies en ha		Progression/Régression en ha	Taux d'évolution des statistiques (%)
	1968	2019	1968 – 2019	1968 - 2019
Bâti	460,4	1246,9	786,6	3,35
Cours d'eau	2641,9	2693,1	51,2	0,04
Culture de plateau	7498,7	17437,9	9939,2	2,60
Mangrove	9739,8	3216,4	-6523,4	-1,31
Rizière	5807,6	4145,6	-1662,1	-0,56
Savane Arbustive	22877,5	12172,6	-10704,9	-0,92
Tanne	1143,0	9256,4	8113,4	13,92
Total	50169,0	50169,0		

La période 1968-2006 est également marquée par une augmentation des surfaces du bâti, des zones de culture de plateau et des tannes. Le bâti a augmenté de 602,0 ha. Sa superficie est de 460,4 ha en 1968 et de 1 062,4 ha en 2006 d'un taux de croissance annuel 3,44 %. Les zones cultures de plateau ont aussi connu une évolution progressive entre 1968 et 2006 malgré la sécheresse des années 1980. Les superficies de ces zones de culture de plateau sont passées de 7 498,7 ha en 1968 à 16 908,04 ha en 2006, soit un taux annuel d'évolution de 3,30. En effet, les tannes ont occupé une superficie de 1 143,0 ha en 1968 et 10 062,9 ha 2006 avec une augmentation de 9 256,44 ha et une croissance annuelle de 20,54 % (tableau 28).

Par contre, les superficies de formations de Mangroves, des Rizières et de la Savane arbustive sont passées respectivement de 5 517,6 ha, 4 450,6 ha, 14 201,3 ha en 1968 à 2 308,6 ha, 4226,7 ha et 12 920,7 ha en 2006. Les superficies occupées par la mangrove ont diminué de 6523,4 ha, celles des Rizières de 1 662,1 ha et de 10 704,9 ha pour la savane arbustive avec des taux de régressions annuels respectifs de 2,01 %, de 0,72 % et de 1,15 % (tableau 28).

Tableau 28: dynamique de l'occupation du sol du BV de Diouloulou entre 1968 et 2006

Occupation du sol	Superficies en ha		Progression/Régression en ha	Taux d'évolution des statistiques (%)
	1968	2006	1968 - 2006	1968 - 2006
Bâti	460,4	1062,4	602,0	3,44
Cours d'eau	2641,9	2679,6	37,7	0,04
Culture de plateau	7498,7	16908,0	9409,4	3,30
Mangrove	9739,8	2308,6	-7431,2	-2,01
Rizière	5807,6	4226,7	-1581,0	-0,72
Savane Arbustive	22877,5	12920,7	-9956,8	-1,15
Tanne	1143,0	10062,9	8919,8	20,54
Total	50169,0	50169,0		

La période 1968 – 1987 est marquée par les épisodes de sécheresse, caractérisée par une évolution des surfaces des zones de cultures de plateau, du bâti, et des tannes qui sont passés respectivement de 15 769,7 ha, 920,2 ha et 1 143,0 ha en 1968 à 16 908,0 ha, 1 062,4 ha et 10062,9 ha en 1987 (tableau 29). Ces classes d'occupation du sol (culture de plateau, du bâti, et tanne) ont connu une évolution de 3,44 % pour le bâti, de 3,30 % pour les cultures de plateau (tableau 30).

Par ailleurs, la mangrove, les rizières, savane arbustive ont régressé respectivement de 7 431,2 ha, de -1581,0 ha et de -9 956,8 ha entre ces deux années (1968 et 1987), soit un taux de régression de -2,28 % pour la mangrove, -1,23 % pour les rizières et -2,00 % pour les tannes (tableau 29).

Tableau 29: dynamique de l'occupation du sol du BV de Diouloulou entre 1968 et 1987

Occupation du sol	Superficies en ha		Progression/Régression en ha	Taux d'évolution des statiques (%)
	1968	1987	1968 - 1987	1968 - 1987
Bâti	460,4	920,2	459,8	5,26
Cours d'eau	2641,9	2646,6	4,7	0,01
Culture de plateau	7498,7	15769,7	8271,0	5,81
Mangrove	9739,8	5517,6	-4222,3	-2,28
Rizière	5807,6	4450,6	-1357,1	-1,23
Savane Arbustive	22877,5	14201,3	-8676,2	-2,00
Tanne	1143,0	6663,1	5520,0	25,42
Total	50169,0	50169,0		

La période 1987 – 2019 suit également la même tendance progressive du bâti (de 326,8 ha), des zones de cultures de plateau (1 668,2 ha) et des Tannes (2 593,4 ha), soit une évolution respective de 1,11 %, de 0,05 % et de 0,7 % (tableau 30).

Cependant, les superficies occupées par la mangrove, les rizières et la savane arbustive ont régressé. En effet, la superficie de la mangrove est passée de 5 517,6 ha en 1987 à 3 216,4 ha en 2019, soit une diminution de -4222,3 ha avec un taux de régression de -2,28 %. Pour les rizières, elles suivent cette même tendance régressive de leurs superficies occupées entre 1987 et 2019. Elles ont diminué de -305,0 ha et d'un taux de -0,21 % (1987 et 2019). La savane arbustive a également diminué de -2 028,7 ha entre ces deux dates (1987 et 2019). Sa superficie est passée de 14 201,3 ha en 1968 à 12 172,6 ha en 2019 (tableau 30).

Tableau 30: dynamique de l'occupation du sol du BV de Diouloulou entre 1987 et 2019

Occupation du sol	Superficies en ha		Progression/Régression en ha	Taux d'évolution des statiques (%)
	1987	2019	1987 - 2019	1987 - 2019
Bâti	920,2	1246,9	326,8	1,11
Cours d'eau	2646,6	2693,1	46,5	0,05
Culture de plateau	15769,7	17437,9	1668,2	0,33
Mangrove	5517,6	3216,4	-2301,1	-1,30
Rizière	4450,6	4145,6	-305,0	-0,21
Savane Arbustive	14201,3	12172,6	-2028,7	-0,45
Tanne	6663,1	9256,4	2593,4	1,22
Total	50169,0	50169,0		

La période 1987 – 2006 montre le résultat statistique de la cartographie de l'occupation du sol avec une augmentation des superficies occupées par le bâti (142,2 ha), les cultures de plateau (1138,4 ha) et les tannes (3399,8 ha). Cette évolution a connu une croissance évolutive de 0,81% pour le Bâti, 0,38 % pour les cultures de plateaux et 2,69 % pour les tannes.

Contrairement les surfaces des rizières, de la mangrove et de la savane arbustives qui ont diminué respectivement de -223,9 ha de -3208,9 ha et de -1280,6 ha (tableau 31), soit des taux d'évolution de -3,06 %, de -0,26 % et de -0,47 %.

Tableau 31: dynamique de l'occupation du sol du BV de Diouloulou entre 1987 et 2006

Occupation du sol	Superficies en ha		Progression/Régression en ha	Taux d'évolution annuelle des statistiques (%)
	1987	2006	1987 -2006	1987 -2006
Bâti	920,2	1062,4	142,2	0,81
Cours d'eau	2646,6	2679,6	33,0	0,07
Culture de plateau	15769,7	16908,0	1138,4	0,38
Mangrove	5517,6	2308,6	-3208,9	-3,06
Rizière	4450,6	4226,7	-223,9	-0,26
Savane Arbustive	14201,3	12920,7	-1280,6	-0,47
Tanne	6663,1	10062,9	3399,8	2,69
Total	50169,0	50169,0		

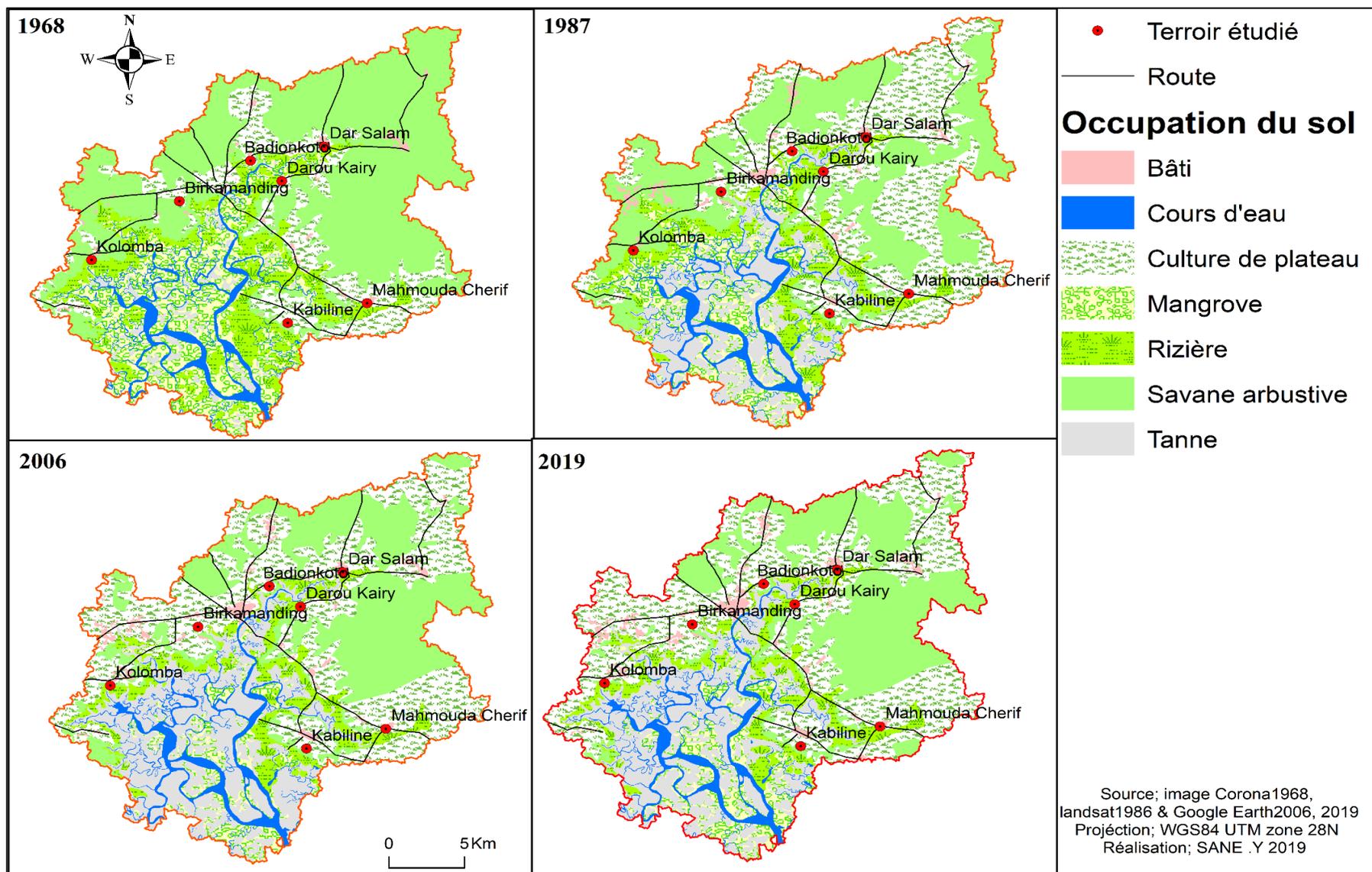
La période 2006 – 2019 coïncide avec le « *retour de la pluviométrie* ». Elle est marquée par une évolution des surfaces du bâti, des cultures de plateau, et de la mangrove. Ces classes d'occupation du sol ont eu des taux de croissance successifs de 1,34 % (bâti), de 0,24 % (Culture de plateau) et 3,02 % (mangrove). Leurs superficies sont passées de 1 062,4 ha pour bâti, de 16908,0 ha pour les cultures de plateau et 2 308,6 ha pour la mangrove en 2006 à 1 246,9 ha (bâti), 17437,9 ha (culture de plateau) et 3216,4 ha (mangrove) en 2019.

Par contre, il y a toujours une régression des surfaces des rizières (-81,1 ha) et de la savane arbustive (-748,1) avec un taux de régression de respectivement de -0,15 % et de -0,45%.

En outre, il faut noter cette fois-ci une régression des surfaces de tanne d'une superficie de -806,5 ha, soit un taux de régression annuel de -0,62 % (tableau 32).

Tableau 32 : dynamique de l'occupation du sol du BV de Diouloulou entre 2006 et 2019

Occupation du sol	Superficies en ha		Progression/Régression en ha	Taux d'évolution des statistiques (%)
	2006	2019	2006 -2019	2006 -2019
Bâti	1062,4	1246,9	184,5	1,34
Cours d'eau	2679,6	2693,1	13,5	0,04
Culture de plateau	16908,0	17437,9	529,8	0,24
Mangrove	2308,6	3216,4	907,8	3,02
Rizière	4226,7	4145,6	-81,1	-0,15
Savane Arbustive	12920,7	12172,6	-748,1	-0,45
Tanne	10062,9	9256,4	-806,5	-0,62
Total	50169,0	50169,0		



Carte 19: dynamique de l'occupation du sol du BV de Diouloulou de 1968 à 2019

5.2. La dynamique de l'occupation du sol à l'échelle des terroirs villageoise du Bassin versant de Diouloulou

L'analyse de la dynamique à l'échelle des terroirs permet de mieux comprendre les dynamiques environnementales dans les villages concernés notamment Kabiline, Darou Khairy, Dar Salam. Elle met aussi en exergue les principales activités et les orientations économiques actuelles des populations de ces différents terroirs du Bassin versant.

À l'échelle du terroir, l'analyse s'est basée sur l'évolution des superficies occupées par les unités paysagères des terroirs sur six (6) périodes : 1968 – 2020, 1968 – 2004, 1968 – 1987, 1987 – 2020, 1987 – 2004 et 2004 – 2020.

5.2.1. État d'occupation du sol du terroir de Kabiline

Kabiline est un village situé dans le bassin versant de Diouloulou, Commune de Djinaki. Il compte une population de 19 520 hbts et est composé de deux grands quartiers : Kabiline 1 et Kabiline 2. L'agriculture constitue l'activité principale des ménages dont la riziculture est bien développée.

La cartographie de la dynamique de l'occupation du terroir de Kabiline montre d'importantes mutations spatiales. Pour mieux apprécier ces dynamiques, l'accent est mis sur l'évolution des superficies occupées par les classes d'occupation du sol.

La période 1968 – 2020 est marquée par une évolution progressive de certaines classes d'occupation du sol comme le Bâti, la savane arbustive et les tannes. Elles ont évolué respectivement de 7,71 ha, de 0,79 ha, et 3,61 ha. Le bâti a connu une importante évolution entre 1968 et 2020 avec un taux annuel de 15,71 %. Ceci peut être dû à l'augmentation de la population. Quant à la savane arbustive et la tanne, leur taux d'évolution annuel est moins important, soit un taux respectif de 0,001 % et 3,71 % (tableau 33).

Par ailleurs, les rizières exploitées, les cultures de plateau et la mangrove ont connu une tendance régressive avec des taux d'évolution annuels respectifs de -1,17 %, - 0,68 % et -1,04 % (tableau 34).

Les rizières exploitées sont abandonnées ou substituées par les tannes et la mangrove. Dans cet exercice cartographique, les vergers ne sont pas pris en compte et les rizières abandonnées de 1968.

Tableau 33 : dynamique de l'occupation du sol du terroir de Kabiline 1968 - 2020

Occupation du sol	Superficie en ha		Progression/Régression en ha	Taux d'évolution annuel des statistiques
	1968	2020	1968 - 2020	1968 - 2020
Bâti	0,94	8,66	7,71	15,71
Culture de plateau	1175,30	760,26	-415,04	-0,68
Savane arbustive	595,96	596,75	0,79	0,001
Eau	351,39	346,39	-5,00	-0,03
Mangrove	1021,53	468,23	-553,29	-1,04
Tanne	480,57	1383,33	902,75	3,61
Rizière exploitée	1653,07	646,47	-1006,60	-1,17
Rizière abandonnée		388,21	388,21	-
Verger		425,52	425,52	-
Total	5278,77	5278,84		

La **Période 1968 – 2004** est caractérisée par une régression des surfaces de mangrove, des cultures de plateaux et des rizières exploitées et une augmentation des superficies du Bâti, des tannes, et de la savane arbustive.

Les rizières exploitées ont régressé de -1 044,65 ha, soit un taux annuel de -1,76 %. En effet, les superficies des cultures de plateau ont diminué de -210,54 ha avec un taux d'évolution annuel de -0,50 % et celle de la mangrove de -801,96 ha, soit un taux annuel de -0,05 %.

Par ailleurs, les superficies du Bâti, des tannes, et de la savane arbustive ont augmenté respectivement de 1,88 ha, 8,13 ha et 0,64 ha. Les taux d'évolutions annuels de ces classes d'occupation sont de l'ordre de 5,52 % pour le Bâti, de 8,13 % pour les tannes, et de 0,64 % pour la savane arbustive (tableau 34).

Tableau 34: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Kabiline 1968 - 2004

Occupation du sol	Superficie en ha		Progression/Régression en ha	Taux d'évolution annuel des statistiques
	1968	2004	1968-2004	1968 - 2004
Mangrove	1021,53	219,56	-801,96	-2,18
Eau	351,39	345,39	-6,00	-0,05
Culture de plateau	1175,30	964,76	-210,54	-0,50
Bâti	0,94	2,82	1,88	5,52
Tanne	480,57	1887,02	1406,45	8,13
Savane arbustive	595,96	732,85	136,89	0,64
Rizière exploitée	1653,07	608,42	-1044,65	-1,76
Rizière abandonnée	0,00	681,28	681,28	
Verger		91,75	91,75	
Total	5278,77	5278,84		

La Période 1968 – 1987 suit la même tendance que celle de 1968 – 2004, une régression de la mangrove (-553,29 ha), des cultures de plateau (-140,54 ha) et des rizières exploitées (-1048,15 ha) avec des taux d'évolution négative annuels respectifs de -2,85 %, de -0,63 % et de -0,03%. Contrairement à l'évolution négative, des superficies du Bâti (1,88 ha), des tannes (902,75 ha) et de la savane arbustive (157,64 ha) ont connu une évolution positive avec des taux d'évolution annuels de 10,45 % pour le bâti, 0,10 % pour les tannes (tableau 35).

Tableau 35: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Kabiline 1968 - 1987

Occupation du sol	Superficie en ha		Progression/Régression en ha	Taux d'évolution annuel des statistiques
	1968	1987	1968-1987	1968 - 1987
Classe				
Mangrove	1021,53	468,23	-553,29	-2,85
Eau	351,39	346,39	-5,00	-0,07
Culture de plateau	1175,30	1034,76	-140,54	-0,63
Bâti	0,94	2,82	1,88	10,45
Tanne	480,57	1383,33	902,75	0,10
Savane arbustive	595,96	753,60	157,64	0,01
Rizière exploitée	1653,07	604,92	-1048,15	-0,03
Rizière abandonnée	-	676,38	676,38	
Verger	-	8,40	8,40	
Total	5278,77	5278,84		

La période 1987 – 2020, l'espace villageoise de Kabiline, est marquée par d'importantes mutations spatiales. Ainsi, les résultats cartographiques montrent qu'une faible diminution des surfaces de végétation de mangroves (-0,30 ha), de culture de plateau (-0,01 ha), de la savane

arbustive, des tannes (-1,00 ha) et des rizières abandonnées (-288,17 ha) avec des taux d'évolution annuels négatives relativement faibles (tableau 36).

Quant aux classes d'occupation du sol comme le Bâti, les rizières exploitées et les vergers, leurs superficies ont connu une progression respective de (5,84 ha), de (41,55 ha) et (417,12 ha) (tableau 37). Les rizières exploitées qui étaient en diminution progressive ont cette fois-ci augmenté au détriment de celles abandonnées qui à leur tour ont diminué. Ceci s'explique par les efforts consentis par les paysans pour la récupération des rizières salées jadis abandonnées.

Tableau 36: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Kabiline 1987 - 2020

Occupation du sol	Superficie en ha		Progression/Régression en ha	Taux d'évolution annuel des statistiques
	1987	2020	1987 - 2020	1987 - 2020
Mangrove	468,23	467,93	-0,30	-0,002
Eau	346,39	347,39	1,00	0,01
Culture de plateau	1034,76	760,26	-274,50	-0,01
Bâti	2,82	8,66	5,84	6,27
Tanne	1383,33	1382,33	-1,00	-0,002
Savane arbustive	753,60	596,75	-156,85	-0,63
Rizière exploitée	604,92	646,47	41,55	0,21
Rizière abandonnée	676,38	388,21	-288,17	-1,29
Verger	8,40	425,52	417,12	150,48
Total	5278,84	5278,84		

La période 1987 – 2004, entre ces deux dates (1987 et 2004), les résultats de la cartographie montrent une régression des surfaces de mangrove qui sont passés de 468,23 ha en 1987 à 219,56 ha en 2004, soit une baisse de -248,67 ha et un taux d'évolution annuel de -3,12 %. Les cultures de plateau et la savane arbustive ont vu également leur superficie diminuer respectivement de 70,00 ha et 20,75 ha, soit un taux d'évolution annuel de -0,40 % et -0,16 %.

Par ailleurs, les superficies des rizières exploitées ont augmenté de 3,50 ha, soit un taux d'évolution annuel de 0,03 %. En effet, les tannes, les rizières abandonnées et les vergers connaissent également une augmentation de leur superficie (tableau 37).

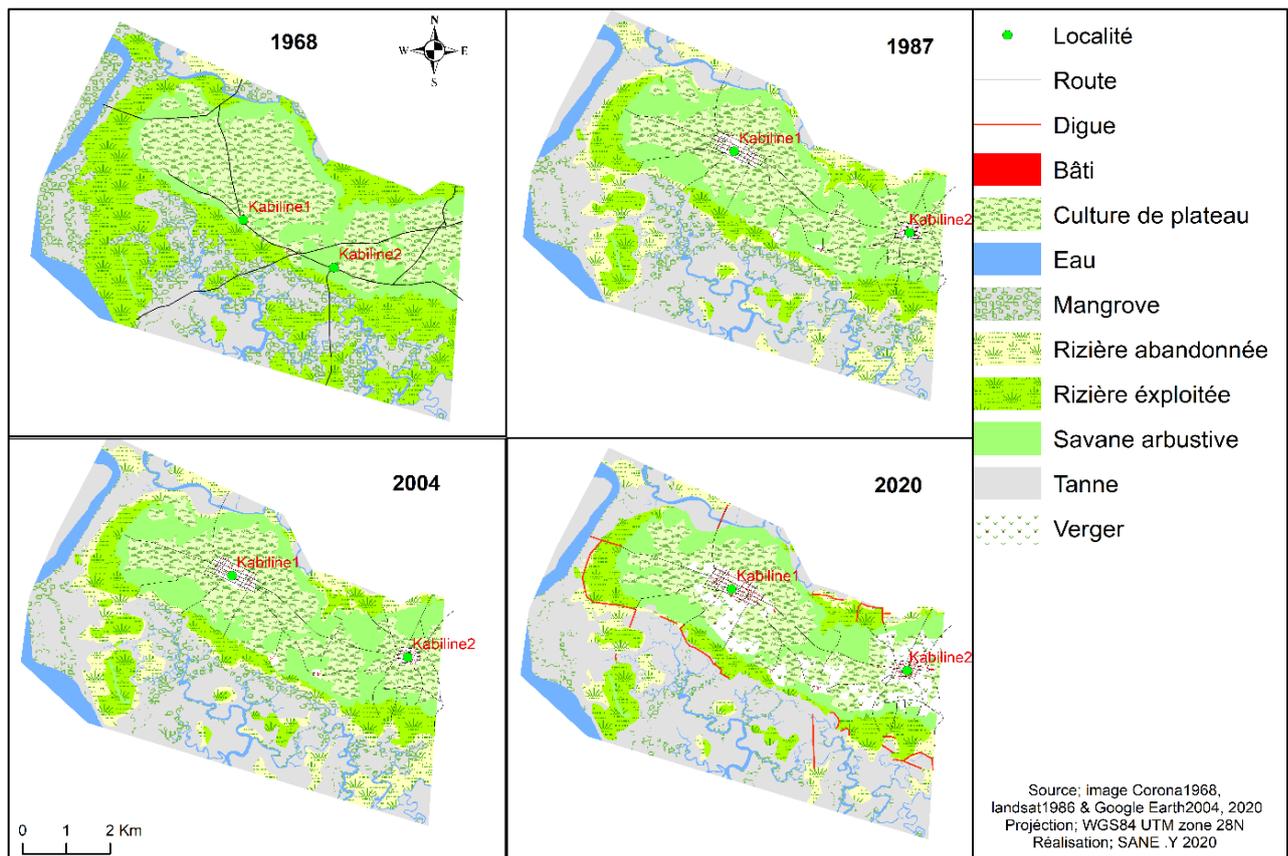
Tableau 37: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Kabiline 1987 - 2004

Occupation du sol	Superficie en ha		Progression/Régression en ha	Taux d'évolution annuel des statistiques
	1987	2004	1987 - 2004	1987- 2004
Mangrove	468,23	219,56	-248,67	-3,12
Eau	346,39	345,39	-1,00	-0,02
Culture de plateau	1034,76	964,76	-70,00	-0,40
Bâti	2,82	2,92	0,10	0,21
Tanne	1383,33	1887,02	503,69	2,14
Savane arbustive	753,60	732,85	-20,75	-0,16
Rizière exploitée	604,92	608,42	3,50	0,03
Rizière abandonnée	676,38	681,28	4,90	0,04
Verger	8,40	91,75	83,35	58,37
Total	5278,84	5278,84		

La période 2004 – 2020 est qualifiée de « postes sécheresse » où les paysans manifestent une volonté de redynamiser la riziculture surtout dans le village de Kabiline. Ainsi, les résultats de la cartographie montrent une évolution positive de la mangrove, des rizières exploitées, des vergers et du Bâti au détriment des rizières abandonnées, des tannes, de la savane arbustive et des cultures de plateau (tableau 38).

Tableau 38: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Kabiline 2002 - 2020

Occupation du sol	Superficie en ha		Progression/Régression en ha	Taux d'évolution annuel des statistiques
	2004	2020	2004 - 2020	2004 - 2020
Bâti	2,82	8,66	5,84	12,94
Culture de plateau	964,76	760,26	-204,50	-1,32
Savane arbustive	732,85	596,75	-136,10	-1,16
Eau	345,39	346,39	1,00	0,02
Mangrove	219,56	468,23	248,67	7,08
Tanne	1887,02	1383,33	-503,69	-1,67
Rizière exploitée	608,42	646,47	38,05	0,39
Rizière abandonnée	681,28	388,21	-293,07	-2,69
Verger	91,75	425,52	333,77	22,74
Total	5278,84	5278,84		



Carte 20 : dynamique de l'occupation du sol du terroir villageois de Kabiline 1968 – 2020

5.2. 2. État d'occupation du sol du terroir de Darou Khairy

Darou Khaïry est un village situé dans la commune de Kataba 1, Département de Bignona, région administrative de Ziguinchor, Sud-ouest du Sénégal. Cette localité compte 677 habitants selon l'ANSD (2013). Elle est principalement composée des groupes sociolinguistiques diola et mandingue. L'activité rizicole y occupait une place importante et cela s'illustre à travers la présence d'une grande vallée.

La période 1968 – 2020 l'analyse des résultats de la cartographie de l'occupation du sol montre une évolution des classes d'occupations du sol, qui se manifeste une augmentation des superficies occupées par des cultures de plateau (44,9 ha), du Bâti (2,1 ha), et des tannes (178,7 ha), soit un taux d'évolution annuel de 0,6 %, de 4 %, 23,9 % (tableau 39).

Cependant, il y a une baisse des superficies de mangrove (-145,7 ha), de la savane arbustive (-154,9 ha), et des rizières (-119,7 ha). Ces classes d'occupation du sol ont un taux d'évolution annuel négatif de -1,9 % pour la végétation de mangrove, -1,8 % pour la savane arbustive et -1,4 % pour les rizières exploitées (tableau 39).

Tableau 39 : dynamique de l'occupation du sol du terroir de Darou Khairy 1968 - 2020

Occupation du sol	Superficie en ha		Progression en ha 1968 - 2020	Taux d'évolution annuel des statistiques
	1968	2020	1968 - 2020	1968 - 2020
Mangrove	146,2	0,5	-145,7	-1,9
Eau	29,1	39,0	9,9	0,7
Culture de plateau	147,0	191,9	44,9	0,6
Bâti	1,0	3,1	2,1	4,0
Tanne	14,4	193,1	178,7	23,9
Savane arbustive	168,7	13,9	-154,9	-1,8
Rizière exploitée	159,2	39,5	-119,7	-1,4
Rizière abandonnée		73,8	73,8	-
Verger		110,9	110,9	-
Total	665,7	665,7		-

La période 1968 – 2004 : cette période suit la même tendance que celle de 1968 – 2020 avec augmentation des superficies de culture de plateau (65,7 ha), du Bâti (1,4 ha) et des Tannes (178,7 ha) avec des taux d'évolution annuels respectifs de 1,24%, de 3,88% et 34,76%. Cependant, quant à la mangrove, à la savane arbustive et aux rizières, elles ont connu une évolution négative avec des taux d'évolution annuels respectifs de -2,77%, de -2,24% et de -1,77% (Tableau 40)

Tableau 40: évolution statistique de l'occupation du sol du terroir de Darou Khairy 1968 et 2004

Occupation du sol	Superficie en ha		Progression en ha 1968 - 2004	Taux d'évolution annuel des statistiques
	1968	2004	1968 - 2004	1968 - 2004
Mangrove	146,2	0,1	-146,1	-2,77
Eau	29,1	32,9	3,8	0,36
Culture de plateau	147	212,7	65,7	1,24
Bâti	1	2,4	1,4	3,88
Tanne	14,4	194,6	180,2	34,76
Savane arbustive	168,7	32,2	-136,5	-2,24
Rizière exploitée	159,2	57,3	-101,9	-1,77
Rizière abandonnée		64,7	64,7	
Verger		72,2	72,2	
Total	665,7	665,7		

La période 1987 – 2020 est marquée par une importante mutation de l'occupation du sol. La superficie de la végétation de mangrove est passée de 59,5 ha en 1987 à 0,5 ha en 2020, soit un taux de régression annuel moyenne de -3,00 %.

La superficie des cultures de plateau a également connu une baisse de -34,5 ha avec un taux d'évolution régressif moyenne annuel de -0,46 % ainsi que la savane arbustive et les rizières exploitées ont baissé successivement de -70,3 ha et de -66,3 ha (tableau 41).

Cette situation de baisse de superficies s'est accentuée pour la plupart pendant les années de sécheresse (1970 – 1990) au profit des rizières abandonnées, des tannes, et durant ces dernières années au profit des vergers et du bâti qui ont augmenté de 12,5 ha (rizière abandonnée), de 108,2 ha (tanne), de 106,5 ha (verger) et de 1,4 ha (bâti, tableau 41).

Tableau 41: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Darou Khairy 1987 - 2020

Occupation du sol	Superficie/ha		Progression/ha 1987 - 2020	Taux d'évolution annuel des statistiques (%)
	1987	2020	1987 - 2020	1987 - 2020
Mangrove	59,5	0,5	-59	-3,00
Eau	34,1	39	4,9	0,44
Culture de plateau	226,4	191,9	-34,5	-0,46
Bâti	1,7	3,1	1,4	2,50
Tanne	84,9	193,1	108,2	3,86
Savane arbustive	84,2	13,9	-70,3	-2,53
Rizière exploitée	105,8	39,5	-66,3	-1,90
Rizière abandonnée	61,3	73,8	12,5	0,62
Verger	4,4	110,9	106,5	73,35
Total	665,7	665,7		

La période 1987 – 2004 est aussi marquée par une baisse des superficies de mangrove (-59,4 ha), des cultures de plateau (-13,7 ha), de la savane arbustive (-52 ha) et des rizières exploitées (-48,4 ha). Contrairement à l'augmentation de celle du bâti (0,7 ha), des tannes (109,7 ha), des rizières abandonnées (3,4 ha) et des vergers (67,8 ha, tableau 42). Il faut noter que les vergers ont substitué soit les cultures de plateau ou la savane arbustive. Par contre, les tannes, les rizières abandonnées augmentent au détriment soit, de la mangrove ou des rizières exploitées.

Tableau 42 : dynamique de l'occupation du sol du terroir de Darou Khairy 1968 - 2004

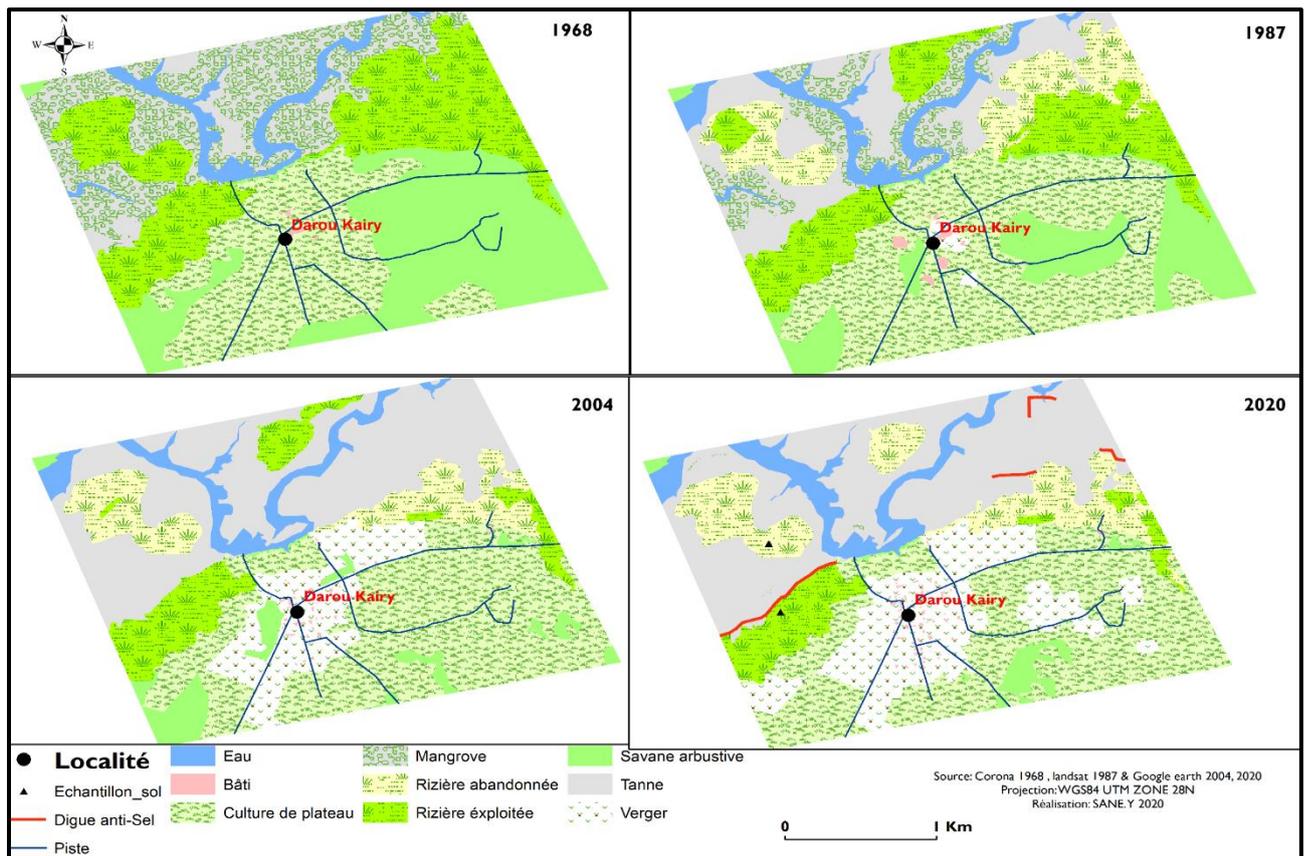
Occupation du sol	Superficie en ha		Progression en ha 1987 - 2004	Taux d'évolution annuel des statistiques (%)
	1987	2004	1987 - 2004	1987 - 2004
Mangrove	59,5	0,1	-59,4	-5,9
Eau	34,1	32,9	-1,2	-0,2
Culture de plateau	226,4	212,7	-13,7	-0,4
Bâti	1,7	2,4	0,7	2,4
Tanne	84,9	194,6	109,7	7,6
Savane arbustive	84,2	32,2	-52	-3,6
Rizière exploitée	105,8	57,3	-48,4	-2,7
Rizière abandonnée	61,3	64,7	3,4	0,3
Verger	4,4	72,2	67,8	90,6
Total	665,7	665,7		

Période 2004 – 2020 où la tendance régressive reste toujours maintenue pour les cultures de plateau (-20,8 ha), la savane arbustive (-18,3 ha), les rizières exploitées (-17,9 ha) et une tendance progressive des du bâti (0,7 ha), des rizières abandonnées (12,5 ha) et les vergers (38,7 ha, tableau 43).

En effet, les résultats montrent que durant cette période, la mangrove a évolué de 0,4 ha au détriment des tannes qui ont régressé de -1,5 ha. Ceci peut s'expliquer par les efforts de reboisement et à la régénération naturelle de celle-ci à la suite du retour timide de la pluviométrie de ces dernières années.

Tableau 43 : dynamique de l'occupation du sol du terroir de Darou Khairy 2004 - 2020

Occupation du sol	Superficie en ha		Progression en ha 2004 - 2020	Taux d'évolution annuel des statistiques (%)
	2004	2020	2004 - 2020	2004 - 2020
Mangrove	0,1	0,5	0,4	25,00
Eau	32,9	39	6	1,16
Culture de plateau	212,7	191,9	-20,8	-0,61
Bâti	2,4	3,1	0,7	1,82
Tanne	194,6	193,1	-1,5	-0,05
Savane arbustive	32,2	13,9	-18,3	-3,55
Rizière exploitée	57,3	39,5	-17,9	-1,94
Rizière abandonnée	64,7	73,8	12,5	0,88
Verger	72,2	110,9	38,7	3,35
Total	665,7	665,7	-	-



Carte 21: dynamique de l'occupation du sol du terroir villageois de Darou Khairy 1968 - 2020

L'analyse diachronique du terroir villageois de Darou Khairy de 1968 à 2020 a montré que l'environnement biophysique a connu des mutations importantes (carte 21). En effet, les superficies rizicoles ont régressé de -119,7 ha contrairement à celles des tannes et des rizières abandonnées qui ont augmenté respectivement de 178,7 ha et 73,8 ha. L'extension des tannes constitue un indicateur de dégradation des rizières et de la mangrove.

Par ailleurs, au niveau du plateau et du Bassin versant de la vallée se développent des activités extra-rizicoles notamment l'arboriculture fruitière, d'où l'importance des vergers qui croissent aux dépens des zones de cultures pluviales. Cela peut s'expliquer par la reconversion d'un nombre important de riziculteurs (78 % des enquêtés) qui ont opté pour l'arboriculture (agrumes, anacardes et manguiers), un secteur plus rentable. Ainsi, les superficies des vergers augmentent progressivement entre 1968 et 2020 et atteignent 110,9 ha en 2020.

5.2.3. État d'occupation du sol du terroir de Dar Salam Cherif

Dar Salam Chérif est un village du Sénégal situé en Basse Casamance. Il fait partie de la commune de Kataba 1, dans l'arrondissement de Kataba 1, le département de Bignona et la région de Ziguinchor. Dar salam Chérif est un foyer religieux fondé en 1913 par Cheikh Mahfouz Ould Cheikh Abba (Aidara, 2019, chef de village).

Dans ce village, plusieurs activités génératrices se développent : la riziculture, l'arboriculture (agrume, mangue, Anacarde), le maraîchage, l'exploitation forestière (bois de chauffe, bois d'œuvre), la saliculture, la pêche artisanale. C'est aussi un village où la religion islamique occupe une place importante dans la vie socioculturelle des populations. Ainsi, depuis le début des années de sécheresse (1970), l'espace du terroir villageois a connu des dynamiques spatio-temporelles. L'analyse diachronique de la cartographie de la dynamique spatiale de cette espace de 1968 à 2020 a permis de mieux apprécier l'évolution qu'a connu le terroir.

La période 1968 – 2020 est caractérisée par une évolution régressive des surfaces de mangrove (-14,93 ha), de rizière exploitée (-52,84 ha) et de la savane arbustive (-71,04 ha), soit un taux d'évolution annuel des statistiques respectives de -1,89 %, -1,68 % et -1,68 % ; et une progression des surfaces de cultures de plateau (19,93 ha), du Bâti (4,16 ha) des rizières abandonnées (41,58 ha), des vergers (52,62 ha). Les rizières exploitées ont un taux d'évolution annuel de 0,36 % pour les cultures de plateau et 7,17 % pour le bâti (tableau 44).

Tableau 44: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Dar Salam 1968 - 2020

Occupation du sol	Superficie en ha		Progression en ha 1968-2020	Taux d'évolution annuel des statistiques
	1968	2020	1968 - 2020	1968 - 2020
Mangrove	15,23	0,30	-14,93	-1,89
Eau	2,28	2,27	-0,01	-0,01
Culture de plateau	107,40	127,33	19,93	0,36
Bâti	1,12	5,28	4,16	7,17
Tanne		20,52	20,52	
Savane arbustive	95,33	24,29	-71,04	-1,43
Rizière exploitée	60,42	7,58	-52,84	-1,68
Rizière abandonnée	-	41,58	41,58	-
Verger	-	52,62	52,62	-
Total	281,78	281,78		

La période 1968 – 2004 est marquée par une évolution progressive d'un taux d'évolution annuel de -2,76 % pour la végétation de mangrove, de -1,87 % pour la savane arbustive et de -2,15 % pour les rizières exploitées (tableau 45).

Cependant, cette période est marquée par une augmentation des superficies des cultures de plateau (20,60 ha), du Bâti (2,11 ha), des vergers (46,15 ha) et des rizières abandonnées (39,38 ha).

Tableau 45: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Dar Salam 1968 - 2004

Occupation du sol	Superficie en ha		Progression en ha 1968 - 2004	Taux d'évolution annuel des statistiques
	1968	2004	1968 - 2004	1968 - 2004
Mangrove	15,23	0,07	-15,15	-2,76
Eau	2,28	2,07	-0,21	-0,25
Culture de plateau	107,40	128,01	20,60	0,53
Bâti	1,12	3,22	2,11	5,25
Tanne		18,01	18,01	-
Savane arbustive	95,33	31,14	-64,19	-1,87
Rizière exploitée	60,42	13,67	-46,74	-2,15
Rizière abandonnée	-	39,38	39,38	-
Verger	-	46,15	46,15	-
Total	281,78	281,72		

La Période 1968 – 1987, les résultats de la cartographie, qui coïncident avec la sécheresse révèlent une augmentation des surfaces des cultures de plateau (9,5 ha), de tanne (16.9 ha), du Bâti (0,5 ha) et des rizières abandonnées (19,86 ha).

Par ailleurs, il faut noter que jusqu'en 1987 les arbres fruitiers (manguiers, citronniers, orangers) qui existaient dans cette localité étaient destinés à la consommation et se localisaient autour des maisons. Cependant, les rizières exploitées sont passées de 60,42 ha à 39,69 ha de 1968 à 1987, soit une baisse de -20,73 ha au détriment des rizières abandonnées et des tannes. La végétation de mangrove et la savane arbustive ont baissé respectivement de -15,22 ha et de -10,00 ha (tableau 46).

Tableau 46: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Dar Salam 1968 - 1987

Occupation du sol	Superficie en ha		Progression en ha 1968 - 1987	Taux d'évolution annuel des statistiques
	1968	1987	1968 - 1987	1968 - 1987
Mangrove	15,23	0,01	-15,22	-5,26
Eau	2,28	2,18	-0,10	-0,23
Culture de plateau	107,40	116,90	9,50	0,47
Bâti	1,12	1,62	0,50	2,37
Tanne		16,09	16,09	-
Savane arbustive	95,33	85,33	-10,00	-0,55
Rizière exploitée	60,42	39,69	-20,73	-1,81
Rizière abandonnée	-	19,86	19,86	-
Verger	-		0,00	-
Total	281,78	281,68		

La Période 1987- 2020, l'analyse des résultats de la cartographie montre toujours une baisse des superficies des rizières exploitées (-32,11 ha) et de la savane arbustive (-61,04 ha), soit un taux d'évolution régressive annuel de -2,45 %, -2,17 %, contrairement à la mangrove qui connaît cette fois-ci à une évolution progressive timide de 0,029 ha.

En effet, les cultures de plateau, les tannes, le bâti, les rizières abandonnées et les vergers ont connu une augmentation de leurs superficies. Cette période inclut celle marquée par le retour de la pluviométrie et de la volonté des paysans à redynamiser la riziculture et du développement de l'arboriculture (tableau 47).

Tableau 47: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Dar Salam 1987 - 2020

Occupation du sol	Superficie en ha		Progression en ha	Taux d'évolution
	1987	2020	1987 - 2020	annuel des statistiques
	1987	2020	1987 - 2020	1987 - 2020
Mangrove	0,01	0,30	0,29	159,31
Eau	2,18	2,27	0,09	0,13
Culture de plateau	116,90	127,33	10,43	0,27
Bâti	1,62	5,28	3,66	6,85
Tanne	16,09	20,52	4,44	0,84
Savane arbustive	85,33	24,29	-61,04	-2,17
Rizière exploitée	39,69	7,58	-32,11	-2,45
Rizière abandonnée	19,86	41,58	21,72	3,31
Verger		52,62	52,62	-
Total	281,68	281,78		

La Période 1987 – 2004, les résultats de la cartographie révèlent le début de la régénération naturelle et/ou artificielle de la végétation de mangrove qui avait presque totalement disparu. Celle-ci a augmenté de 0,07 ha, soit un taux d'évolution annuel de 70,80 %. En effet, les cultures de plateau, le bâti, les tannes, les rizières abandonnées ont vu leur superficie augmenter respectivement de 11.10 ha, 1.61 ha, de 1,92 ha, de 19,51 ha. Il est important de noter que durant cette période les paysans ont commencé à s'adonner pleinement à l'arboriculture fruitière : orange, mandarine, mangue, anacarde, etc.

En revanche, les rizières, la savane arbustive continuent de régresser au profit des rizières abandonnées et des tannes dans les bas-fonds et du bâti, des vergers, des zones de culture de plateau au niveau du plateau (tableau 48).

Tableau 48: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Dar Salam 1987 - 2004

Occupation du sol	Superficie en ha		Progression en ha 1987 - 2004	Taux d'évolution annuel des statistiques
	1987	2004	1987 - 2004	1987 - 2004
Mangrove	0,01	0,07	0,07	70,80
Eau	2,18	2,07	-0,11	-0,29
Culture de plateau	116,90	128,01	11,10	0,56
Bâti	1,62	3,22	1,61	5,84
Tanne	16,09	18,01	1,92	0,70
Savane arbustive	85,33	31,14	-54,18	-3,74
Rizière exploitée	39,69	13,67	-26,01	-3,86
Rizière abandonnée	19,86	39,38	19,51	5,78
Verger	-	46,15	46,15	-
Total	281,68	281,72		

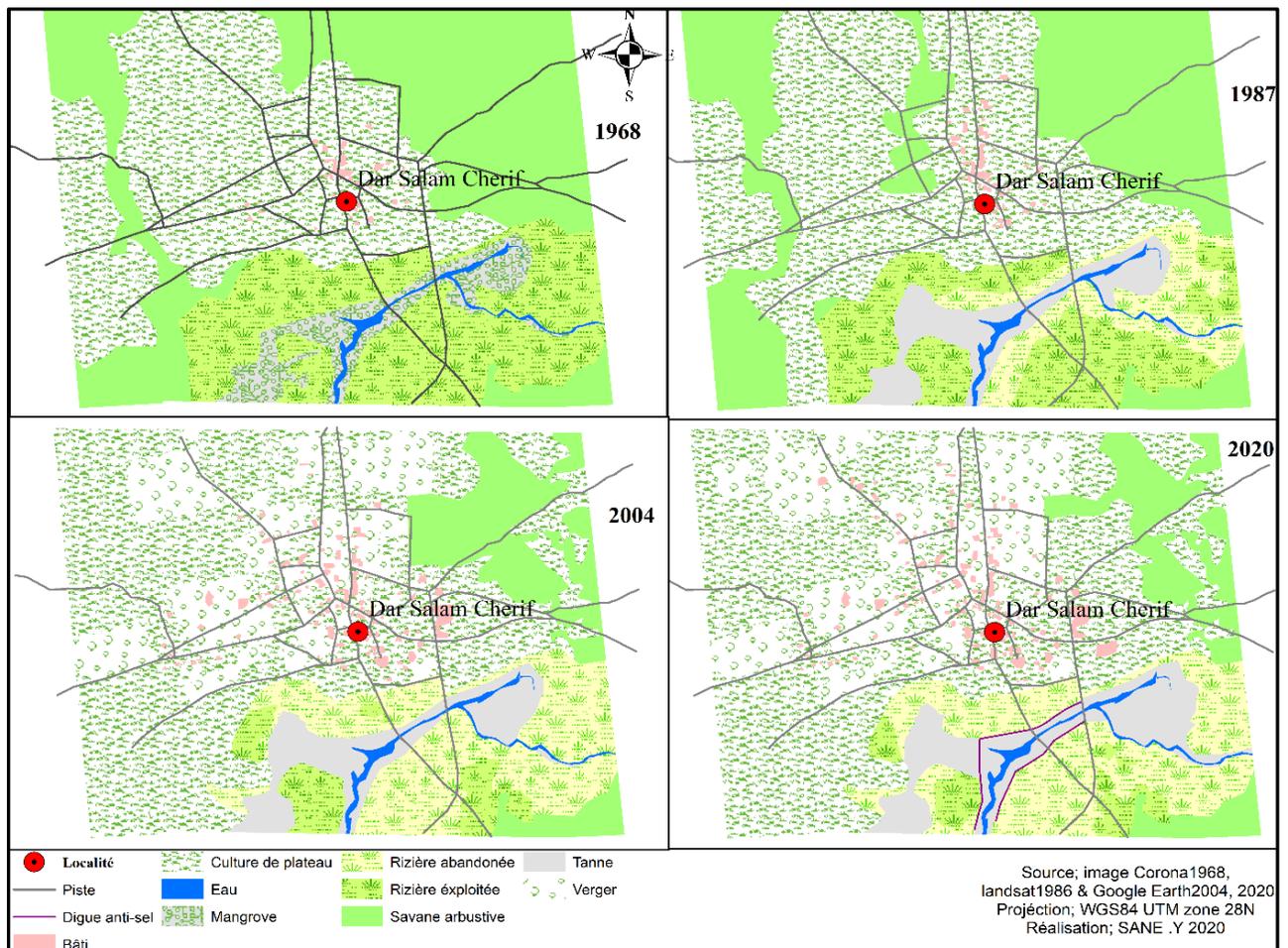
Période 2004 – 2020 : Malgré le « *retour timide de la pluviométrie* » et la volonté des pouvoirs publics et des paysans de la basse Casamance à redynamiser la riziculture, les superficies des rizières exploitées et de la savane arbustive et des cultures de plateau continue à diminuer respectivement de -6,10 ha et de 6,85 ha et -0,67 ha, avec un taux d'évolution annuel faible de -2,79 % pour les rizières exploitées, de -1,38 % pour la savane arbustive et -0,03 %.

En revanche, au même moment, l'espace du terroir villageois connaît une augmentation des superficies de 0,3 ha pour la mangrove, de 2,05 ha pour le Bâti, de 2,52 ha pour les tannes, de 2,20 ha pour les rizières exploitées et de 6,47 ha pour les vergers (tableau 49).

Tableau 49 : dynamique de l'occupation du sol du terroir de Dar Salam 2004 et 2020

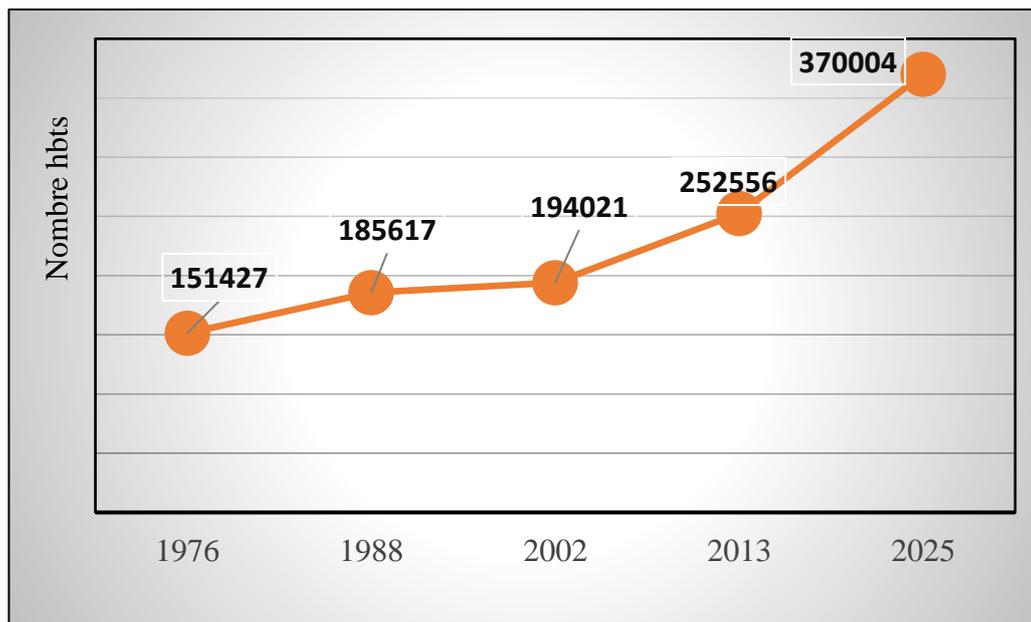
Occupation du sol	Superficie en ha		Progression en ha 2004 - 2020	Taux d'évolution annuel des statistiques
	2004	2020	2004 - 2020	2004 - 2020
Mangrove	0,07	0,30	0,23	19,43
Eau	2,07	2,27	0,20	0,60
Culture de plateau	128,01	127,33	-0,67	-0,03
Bâti	3,22	5,28	2,05	3,98
Tanne	18,01	20,52	2,52	0,87
Savane arbustive	31,14	24,29	-6,85	-1,38
Rizière exploitée	13,67	7,58	-6,10	-2,79
Rizière abandonnée	39,38	41,58	2,20	0,35
Verger	46,15	52,62	6,47	0,88
Total	281,72	281,78		

La carte 21 illustre la dynamique de l'occupation du sol du terroir villageois de Dar Salam Cherif de 1968 à 2020.



Carte 22: dynamique de l'occupation du sol du terroir villageois de Dar Salam Chérif de 1968 à 2020

En résumé, il faut retenir que les résultats de la cartographie montrent globalement une tendance progressive du bâti, et des cultures de plateau pour toutes les périodes considérées (carte 22). Ceci peut être expliqué d'une part par la dégradation du développement de l'activité rizicole et l'augmentation continue de la population dans le département de Bignona qui est passé de 151 427 hbts en 1976 à 252 526 hbts en 2013 et 370 004 hbts en 2035 (graphique 26).



Graphique 26: évolution de la population du département de Bignona de 1976 à 2013 (DPS 1976, 1988 ; ANSD, 2002, 2013)

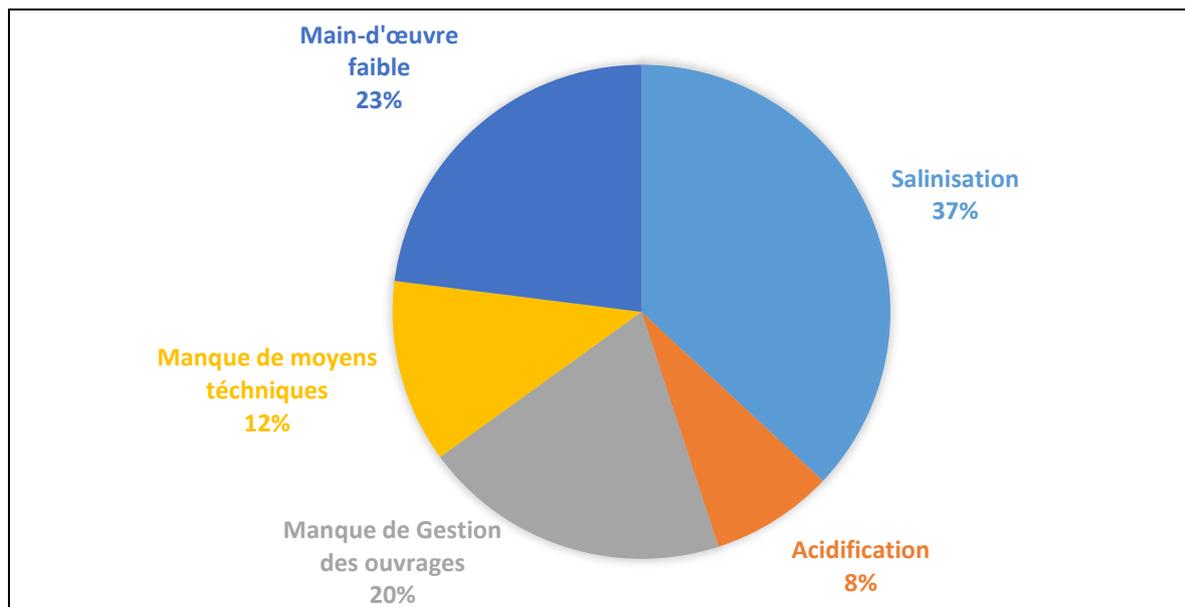
Et d'autre part, par le développement de l'arboriculture. Il faut noter qu'au niveau des terroirs du bassin versant de Diouloulou l'arboriculture fruitière, a occupé une place importante dans l'activité des paysans durant ces dernières décennies (planche 10).

La pression exercée par la population du Bassin versant sur la savane arbustive pour la conquête de nouvelles terres de cultures et surtout pour la plantation des anacardiés et d'agrumes constitue un élément majeur de la dynamique des paysages agraires dans le Bassin versant de Diouloulou. En effet, la cartographie diachronique a montré que le paysage agricole du Bassin versant de Diouloulou a connu une dynamique remarquable entre 1968, et 2020 marquée par la régression des superficies de rizières exploitées au profit des rizières abandonnées et des surfaces de tannes et par la naissance et la progression des vergers d'anacardiés, d'agrumes et des zones d'habitation sur les zones de cultures de plateau et sur la savane arbustive. Par conséquent, les activités agricoles, notamment les cultures de céréales sèches (riz, mil, sorgho, maïs) et arachidiés, connaissent une baisse durant ces dernières décennies (2000- 2010, 2010-2020) au profit de l'arboriculture d'anacarde et d'agrumes (orange, mandarine, citron, mangue).



Planche 10: verger d'agrumes dans le village de Colomba (Sané, 2020)

Cependant, les superficies des rizières et de la savane arbustive ont connu des diminutions pendant toutes les périodes analysées. Ceci peut expliquer la dégradation que ces espaces ont subie, marquée par la combinaison de plusieurs facteurs tels que : la salinisation, l'acidification, à la faiblesse de la main-d'œuvre, au manque de moyen technique et de gestion des ouvrages hydro-agricoles.



Graphique 27:: contraintes de mise en valeur des parcelles rizicole dans le Bassin versant de Diouloulou (source : Sané enquête)

En effet, les résultats d'enquête montrent que 37 % des ménages interrogés pensent que la sous exploitation des rizières (rizières abandonnées) est liée à la salinisation, 23 % à la faiblesse de la main-d'œuvre, 20 % au manque de gestion des ouvrages hydroagricoles, 12 % au manque moyens techniques (mécanisation quasi absente dans certains terroirs) et 8 % à l'acidification (graphique 27).

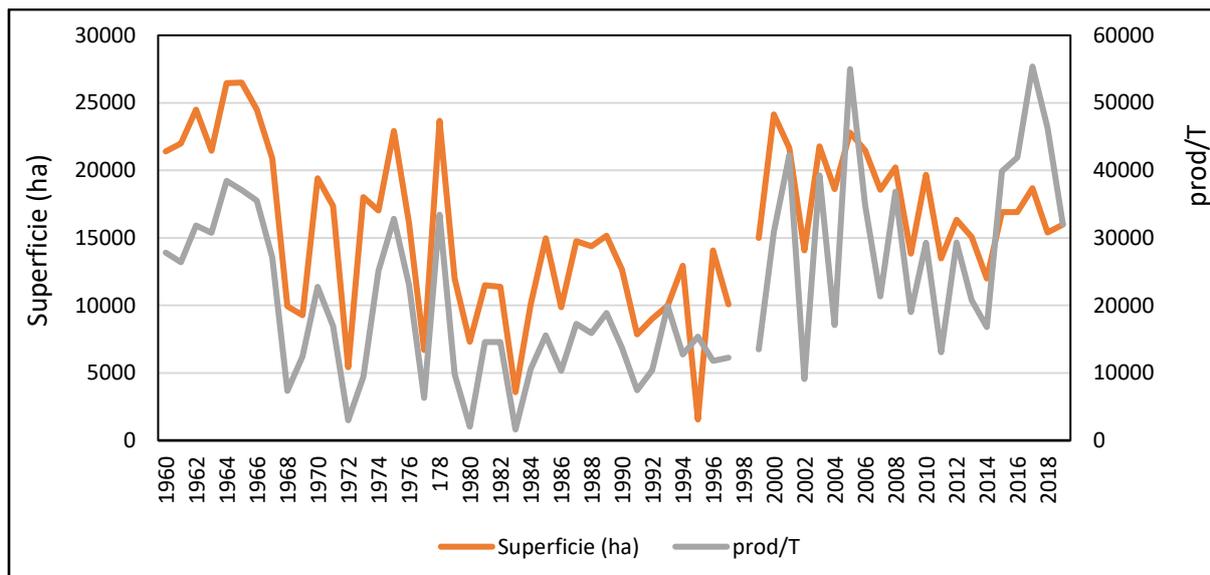
La dégradation de la végétation dans le bassin versant de Diouloulou est due généralement à divers facteurs, notamment la coupe du bois d'œuvre, du bois de chauffe la carbonisation du charbon de bois, les feux de brousse (BA, 2019 ; Diémé *et al.* 2021), la conquête de zones boisées pour de nouveaux champs de cultures et/ou de verger d'agrumes, de mangue ou d'anacardes, etc. (planche 11). Il faut également noter que dans ces nouveaux vergers, il est souvent pratiqué d'abord dès les premières années, en même temps la culture pluviale en saison des pluies et le maraîchage en contre-saison.



Planche 11: défrichage dans une zone boisée pour l'installation d'un verger à Badionkoto (Sané, 2020)

Par ailleurs, durant la période de sécheresse, la plupart des rizières se sont dégradées sous l'effet de la combinaison de plusieurs facteurs dont : la salinisation, l'acidification, l'assèchement de certaines rizières favorisant ainsi l'abandon de beaucoup de parcelles rizicoles et l'avancée des tannes (planche 11) (Sané *et al.* 2021, BA, 2019). Aujourd'hui, avec le retour de la pluviométrie (Descroix, 2018 ; Sané, 2017), la volonté de l'État et des paysans « à retourner à la terre » pour atteindre l'autosuffisance alimentaire, il y a dans certaines localités du bassin Versant de Diouloulou un effort de récupération de parcelles rizicoles jadis abandonnées du fait de la salinisation, l'acidification, du manque de main-d'œuvre et dans une certaine mesure du manque d'eau (assèchement précoce des parcelles). Ceci est perceptible dans le village de Kabiline où les superficies des rizières exploitées sont passées de 608,42 ha en 2004 à 646,47 ha en 2020, soit une progression de 38,05 ha.

A l'échelle du département (Bignona) les emblavures rizicoles ont augmenté de même que les productions et les rendements pendant ces dernières décennies après une chute pendant la période 1970-1990 (graphique 28).



Graphique 28:: évolution de la production rizicole dans le département de Bignona de 1960 à 2019 (source : DAPSA, 2020)

Selon la population, aujourd’hui, dans certaines vallées du bassin versant de Diouloulou les parcelles rizicoles qui étaient susceptibles d’être salées et abandonnées à cause d’un certain nombre de facteurs sont récupérées avec un grand effort de dessalement et de mécanisation.



Planche 12 : avancée des tannes au détriment des rizières à Darsalam (Sané, 2020)

5.3. Discussion

L'analyse diachronique de l'occupation du sol a permis d'observer les transformations de l'espace. Elle a permis d'appréhender les mutations des unités d'occupation du sol dans le bassin Versant de Diouloulou entre 1968 et 2020. Ceci confirme certaines études (GRDR et al., 2017 ; Sané, 2017 ; Sané *et al.*, 2017) qui montrent que la Basse-Casamance a connu d'importantes mutations environnementales et socio-économiques. Ces mutations sont perceptibles à travers un recul important des parcelles rizicultivables.

Cette diminution des parcelles rizicoles s'est accentuée pendant la période de sécheresse entre 1968 – 1987 (-1581,0 ha). La dynamique de l'environnement biophysique en Basse-Casamance a provoqué un recul des parcelles rizicoles (Sané *et al.* 2018).

À l'échelle des terroirs, la cartographie a montré dans la plupart des villages étudiés, une diminution progressive des surfaces rizicultivables au profit des surfaces de rizières abandonnées, des tannes et des surfaces de mangrove. Par contre, dans certaines localités, pendant la période 2004-2020 où les paysans manifestent une volonté de redynamiser la riziculture (Sané *et al.* 2021, BA, 2019, Mendy, 2018) surtout dans le village de Kabiline, les résultats de la cartographie montrent une évolution progressive des rizières exploitées, des de la mangrove, vergers et du Bâti respectivement au détriment des rizières abandonnées, des tannes, de la savane arbustive et des cultures de plateau.

Il faut noter que les surfaces de tannes qui étaient en perpétuelle augmentation pendant la période des années sèches ont vu leurs superficies diminuer au profit bien évidemment de la mangrove. Il se produit une reconquête des surfaces dégradées (tannes) par la mangrove (Andrieu et Mering, 2010). Les superficies de mangrove ont augmenté entre 2006-2020 contrairement à celles des tannes qui ont diminué à l'échelle du bassin versant et des terroirs villageois. Ainsi, ces nouvelles colonies de végétation de mangroves sont souvent favorisées par les efforts de reboisement que les populations ont effectué durant ces dernières décennies (Séne, 2018).

Au-delà des reboisements de mangroves effectués par les populations et les ONG, il faut noter dans une certaine mesure une régénération naturelle de celle-ci (Diéye, 2013, Andrieu et Mering, 2010, BA, 2019). Ce constat est fait dans tous les secteurs visités. La régénération naturelle des *Rhizophora* s'active dès que la submersion quotidienne par la marée est assurée (Marius, 1985). De même des initiatives de reboisement sont plus couronnées de succès lorsqu'elles sont réalisées dans les secteurs de balancement des marées. Selon les propos du

chef de village de Colomba, « *Aujourd'hui, avec l'amélioration des conditions pluviométriques, il y a eu de la régénération naturelle des forêts de mangrove. Nous avons constaté des parties où la mangrove a poussé naturellement. Elle commence à reprendre ses anciennes colonies* ». Donc, c'est ce qui a fait que durant ces dernières décennies, la surface de forêt de mangrove a connu une augmentation 907,8 ha et d'un taux d'évolution annuel de 3,02% entre 2006 et 2019).



Planche 13: végétation de mangrove à Kabiline (Sané, 2020)

En outre, l'arboriculture fruitière constitue une activité bien développée dans le bassin versant de Diouloulou. Elle génère des revenus considérables (Sané, 2020) permettant aux ménages de subvenir à leurs besoins alimentaires quotidiens. L'arboriculture est la principale activité d'adaptation face à la crise rizicole dans les villages du bassin versant. Selon le chef de Colomba, « *cette activité a commencé à prendre de l'ampleur à partir des années 2000* ». Durant les années 1968, certes, il y avait des arbres fruitiers, mais ces arbres étaient plantés autour des maisons et étaient destinés exclusivement à la consommation.

Conclusion

Les dynamiques observées dans le BV de Diouloulou sont liées à une combinaison de facteurs, qu'ils soient environnementaux et anthropiques. Il s'agit entre autres de la salinisation et de l'acidification des terres rizicoles, du manque de main-d'œuvre rizicole et de moyens financiers et techniques et des défaillances dans la gestion des ouvrages hydro-agricoles. Ceci a entraîné dans la plupart des terroirs villageois du BV de Diouloulou, une sous-exploitation des vallées rizicoles. Beaucoup de riziculteurs sont obligés de se réorienter vers d'autres activités génératrices de revenu telles que l'arboriculture, l'exploitation du sel, la transformation de l'huile de palme alimenter l'exode rural ou à l'émigration.

Chapitre VI : POLITIQUES DE REDYNAMISATION DE LA RIZICULTURE ET STRATÉGIES DE DIVERSIFICATION DES SOURCES DE REVENUS DES PAYSANS

Bien que produit parfois à faible échelle, le riz constitue une denrée stratégique majeure dans les options de politiques publiques de l'État. Ainsi, depuis des années, des investissements en infrastructures hydro-agricoles ont été consentis par l'État pour le développement de la culture du riz en Basse Casamance confronté aux effets des changements climatiques et aux déficits de main-d'œuvre rizicole. La plupart d'entre elles n'ont pas donné de résultats comme prévu. Aujourd'hui, avec le retour de la pluviométrie, des stratégies sont développées pour redynamiser la riziculture.

6.1 Historique de la mise en valeur rizicole

Avant les épisodes de sécheresse, la Casamance était concernée par un climat favorable (il faut préciser que la période 1950-1967 était elle-même spéciale ; très humide) et fait depuis longtemps l'objet d'un intérêt particulier pour les questions rizicoles. Afin de réaliser son potentiel et de développer une riziculture plus productive, l'aménagement des rizières devient un impératif. Ceci est à l'origine de la mise en valeur des terres occupées par la mangrove, où le « riz salé » est cultivé depuis plus de 500 ans (Sané *et al.* 2017).

En effet, les zones de mangroves pouvaient être défrichées sans causer de problèmes particuliers de droits d'utilisation des terres. Les agriculteurs diolas qui occupaient ces terres hostiles maîtrisent parfaitement l'eau, rendant fertiles des vasières difficiles à produire (Pelissier, 1966). Des parcelles rizicoles ingénieusement disposées sont soit près du village ou loin de celui-ci. La récolte est suffisante pour assurer la survie de ces populations. L'excédent est stocké en préparation pour l'année occasionnelle ou pour les fêtes rurales et les besoins du commerce (troc). Les mangroves fournissent en cette période des ressources supplémentaires.

Cependant, à partir des années 1970 - 1980, la sécheresse est venue bouleverser la donne, rendant certaines rizières inexploitable (salinisation, acidification, manque d'eau, etc.). Ainsi, plusieurs espaces rizicoles sont abandonnés ; les productions et les rendements ont considérablement diminué. Au même moment, une demande croissante de riz au niveau national est observée. L'État a mis en place une politique de développement de ces terres après

l'indépendance. Au départ, le problème était l'utilisation de méthodes traditionnelles à plus grande échelle et l'ajout de technologies plus efficaces, notamment en termes de drainage, afin de mieux dessaler le sol. L'expérience a été menée entre 1963 et 1975, et s'est malheureusement soldée par un échec en raison d'une méconnaissance de ces processus d'acidification des sols (ILACO, 1967).

Afin de mieux maîtriser la gestion des ressources en eau de la vallée affluente du fleuve Casamance, il est prévu de construire des barrages dont les principes de fonctionnement sont calqués sur les principes utilisés par les agriculteurs des bassins versants rizicoles. L'idée est d'introduire de l'eau salée pendant les périodes de marée et de sécheresse pour éviter l'acidification et drainer l'eau dessalée du sol rizicole pendant la saison des pluies. Le système de porte battante assure ce principe de fonctionnement, permettant à l'eau de passer dans les deux sens. Plusieurs projets ont démarré dans les années 1970 - 1980 comme les barrages de Guidel et d'Affiniam qui ont été mis en service respectivement en 1983 et 1987.

Les résultats du suivi du barrage de Guidel indiquent que le système de gestion initialement proposé a été modifié. La terre en amont étant acidifiée (Barry, 1988 ; SOMIVAC, 1988), elle doit désormais être exploitée en barrage étanche au sel. La situation climatique s'est détériorée dans les années 1980. La petite vallée qui s'étend jusqu'au plateau continental s'est rapidement détériorée. Afin d'empêcher la progression impitoyable de l'eau salée, les gens ont commencé à construire de petites digues de sel avec un soutien financier extérieur. Ouvrage bétonné ou non souvent équipé d'un dispositif d'ouverture, qui permet de stocker les eaux de ruissellement et d'évacuer l'eau qui a lessivé le sol salé au début de la saison des pluies (USAID / SOMIVAC / ISRA. 1985). Le PIDAC était le responsable de la construction et du suivi de 75 de ces petits ouvrages, toutes situées en Basse Casamance. Ils sont complémentaires à d'autres travaux réalisés par la délégation chinoise et l'AFVP.

Ces investissements sont déjà lourds, eu égard aux résultats obtenus en matière de production rizicole. En 1985, le coût de Guidel est estimé à environ 2 milliards de FCFA pour 800 ha de terres salées encore à aménager. Affiniam en a coûté presque environ 6 milliards de FCFA soit 3 fois plus que celui de Guidel sans compter les aménagements pour 5000 ha de terres dégradées (USAID/SOMIVAC/ISRA, 1985). Ainsi, ces grands aménagements n'ont pas pu répondre aux attentes des paysans qui étaient en primo de protéger les rizières contre la salinisation, mais aussi de récupérer les rizières abandonnées.

Ainsi, suite aux échecs de ces grands aménagements, l'État a initié un programme de construction de petits ouvrages (digues anti-sel), avec projet intégré de développement agricole en Casamance (PIDAC) en 1984, en parfaite collaboration avec les villageois. Les paysans participent pleinement aux activités de maintenance et de gestion des ouvrages. Ceci à sembler être un grand succès (Montoroi, 1993). C'est ainsi que plusieurs ouvrages ont été réalisés dans plusieurs vallées de la Basse Casamance notamment dans le Bassin versant de Diouloulou. Mais depuis l'avènement du conflit armé casamançais coïncidant avec la dégradation des conditions climatiques en Casamance, les résultats escomptés sont mis en péril. La Basse Casamance a assisté dès lors, à une désorganisation des forces productives et des conditions de la production rizicole impactant négativement les productions des paysans.

Avec les petits barrages qui demandent des dépenses relativement faibles, moins de 10 millions de FCFA en son temps (1980 – 1990), au moins 100 hectares de terres peuvent être protégés. Dès lors, la demande, parmi les paysans, devient ainsi forte, ce qui a nécessité la réalisation d'un grand nombre d'ouvrages de ce type.

En effet, pour la recherche d'une paix durable dans la région, d'autres programmes et projets de développement comme le projet d'appui au développement rural de la Casamance (PADERCA) ont vu le jour dans le souci de soutenir l'effort de relance des activités socio-économiques à travers l'Agence nationale pour la relance des activités économiques et sociales en Casamance (ANRAC). Il faut également noter le rôle qu'ont joué les organisations non gouvernementales (ONG) notamment le Groupe de recherche et de réalisations pour le développement rural (GRDR) et autres partenaires œuvrant pour le développement rural, au cours de ces dernières années, dans un contexte de conflit armé, pour le maintien des activités rizicoles à travers différentes initiatives de protection et de réhabilitation des systèmes productifs dégradés et d'accompagnement des Organisations paysannes.

Par ailleurs, dans certains cas, certains petits barrages ont relativement bien fonctionné, surtout lorsque les sols sont légers. Il faut toutefois reconnaître que le gain de production n'est pas celui attendu (Montoroi, 1993).

Tout le problème de la gestion des barrages se pose encore avec acuité, car aucune solution n'est idéale et unique. Il s'agit de choisir celle qui présente le moins d'inconvénients sur un milieu déjà bien dégradé. Il est certain qu'un fonctionnement en barrage anti-sel s'impose maintenant en saison sèche pour sécuriser les rizières douces et limiter la dégradation chimique des sols. La mise en valeur des terres amont est plus que jamais à l'ordre du jour.

C'est un travail de longue haleine, qui nécessite la mobilisation de moyens humains et matériels importants.

La stratégie actuelle de développement agricole en Basse Casamance doit abandonner les objectifs initiaux qui consistaient en un accroissement des terres emblavées et des rendements. Elle doit d'abord viser la sécurisation de la production rizicole et la réhabilitation de terres dégradées, quand cela est techniquement et économiquement possible.

6.2 Lever des contraintes de mise en valeur des parcelles rizicoles

La salinisation et l'acidification sont les contraintes majeures de l'exploitation des terres rizicoles de la Basse Casamance. Les moyens pour lutter contre elles existent, mais nécessitent une maîtrise de la ressource en eau, ce qui est loin d'être aisé dans une région si plate même si s'il y a au moins 1500 ans que les Bainoucks, les diolas, les pepels, les floups et les manjaques maîtrisent ces techniques. De nombreux travaux ont été réalisés dans cette région afin d'apporter des solutions techniques satisfaisantes.

6.2.1 La lutte mécanique : digues anti-sel et micro-barrages

Pour lutter contre la salinisation qui a considérablement réduit les superficies rizicoles de Basse Casamance, des aménagements hydro-agricoles ont été mis en place dans les années 1980-1985. Deux types d'aménagements ont ainsi vu le jour pour combattre les effets de la salinité. D'une part, des grands projets de barrages anti-sel (Affiniam et Guidel) ont été construits, d'autre part, à l'instar des populations locales et des organismes de développement, de petits ouvrages anti-sel ont été édifiés pour arrêter l'entrée des eaux salées à l'intérieur des petites vallées alluviales. Force est de constater que malgré tous les aménagements réalisés, la salinisation et l'acidification des terres rizicoles s'observent toujours dans toute la Basse Casamance et progressent dans le temps et dans l'espace, affectant même les zones de terrasse jusque-là épargnées.

Face à ce problème, les riziculteurs de Basse Casamance en général et du bassin versant de Diouloulou en particulier, ont développé des stratégies pour préserver leur production. L'abondance des précipitations permet en effet de maintenir un équilibre propice à cette céréale, sur des terres naturellement salées par des intrusions marines dans les nappes souterraines. Cette stabilité est toutefois rompue par la sécheresse des années 1970 - 1980 dans le pays (Montoroi et Fall, 2017). La concentration de sel dans les sols, insuffisamment lessivés par les pluies, augmente au point d'affecter les rendements ou de compromettre la production.

Pour lutter contre cette dégradation de leurs terres, les paysans ont mis en place des outils spécifiques il y a longtemps. Côté mer et mangrove, ils ont bâti des digues pour empêcher la progression de la langue salée. Côté terre, ils ont édifié des petits barrages et des réservoirs, vers lesquels sont canalisées les eaux des pluies (planche 14). La ressource ainsi précieusement capitalisée peut-être entièrement mobilisée pour créer une lame d'eau douce dans les rizières.



Planche 14: : des drains pour faciliter l'évacuation des eaux (Cliché Sané 2020)

Grâce à ces efforts, déployés à l'échelle de la parcelle ou de la vallée, certains paysans sont parvenus à récupérer certaines parcelles rizicoles jadis abandonnées et à maintenir leur activité. Ces infrastructures sont néanmoins difficiles à maintenir en état, il faut sans cesse les consolider, les réparer ou les reconstruire. Une autre limite des aménagements mécaniques reste leur efficacité partielle.

Au-delà des digues traditionnelles construites par les populations elles-mêmes, des digues modernes (construites avec des engins) ou des digues traditionnelles améliorées (construites par les populations avec des outils rudimentaires, mais avec une assistance technique des ONG) ont été construites.

Ces digues ont généralement deux fonctions : il s'agit d'une fonction anti-sel (digue anti-sel), la digue protège ou isole une étendue de terre de l'avancée des eaux salées et d'une fonction de retenue (digue de retenue), elle freine l'eau dans sa course et étend la nappe d'inondation sur une plus grande superficie cultivable. Elles sont souvent équipées de micro-barrages.

En effet, les micro-barrages permettent simplement de stopper l'écoulement de surface, mais n'agissent pas sur l'écoulement souterrain (planche 15). Quant aux digues anti-sel, elles souffrent de l'absence d'un dispositif de drainage adapté permettant d'évacuer les eaux chargées de sel après lessivage. Ainsi, toute stratégie mécanique d'aménagement des terres rizicoles du bassin versant de Diouloulou devra au préalable répondre aux questions suivantes : comment canaliser l'eau de pluie pour lessiver les sels et favoriser le drainage des eaux salées

? Comment drainer les couches superficielles et maintenir l'hydromorphie des couches profondes afin d'éviter l'oxydation de la pyrite et l'acidification des sols ?



Planche 15: quelques méthodes de lutte mécanique dans le bassin versant de Diouloulou : endiguement et micro-barrage (Cliché Sané, 2020)

Le problème principal du drainage demeure la définition d'un calendrier de travail pour les activités à mener. Une erreur d'appréciation peut nuire à l'efficacité des aménagements. Il faut donc choisir le bon moment pour évacuer les eaux chargées de sel en ouvrant les vannes : une ouverture tardive entraîne la « *resalinisation* » du profil après évaporation de l'eau et une ouverture précoce ne permet pas un lessivage conséquent des sels. Une fois que les terres sont préservées des principaux facteurs de dégradation, des mesures d'accompagnement, ou stratégies de lutte complémentaires doivent être entreprises pour une meilleure expression de leur fonction de production dans la durabilité.

6.2.2 La lutte agronomique ou culturale

Il s'agit de limiter les pertes d'eau par remontée capillaire et évaporation. Pour ce faire, le travail du sol en surface et sa couverture par une couche de paille s'avère efficace.

6.2.2.1 Le labour superficiel du sol

L'étude des états de surface a permis de mieux comprendre le mode de fonctionnement de la composante superficielle des sols acides et salés du Bassin versant de Diouloulou. Elle a en particulier révélé les contraintes majeures qui se posent au site et qui constituent un obstacle aux stratégies de récupération.

Une de ces contraintes demeure la cristallisation du sel en surface au niveau des zones dénudées, notamment dans les localités de Dar-Salam et Darou khairy, Colomba entre autres. Ce phénomène résulte en général des remontées capillaires d'eau salée à partir de la nappe, favorisées par l'intense évaporation pendant une longue période de l'année (janvier à juin). Il a été démontré que la récupération de ces sols acides et salés devra d'abord s'attaquer à l'influence

de l'eau salée provenant de l'estuaire (pendant les marées hautes) ou de la nappe. L'endiguement permet donc de régler simplement une partie du problème en réduisant l'invasion marine (composante horizontale). Pour ce qui est de la nappe salée (composante verticale), la solution pourrait partiellement résider dans le labour superficiel du sol. Ce travail du sol crée en général une rupture dans la remontée de l'eau salée.

La zone de discontinuité ainsi créée entre l'horizon labouré et l'horizon sous-jacent constitue un tampon, sorte de barrière empêchant l'eau chargée de sel d'accéder à la surface du sol.

Le dessalement des terres est un problème auquel sont confrontés un bon nombre de pays (Montoroi et Fall, 2017). Des techniques ancestrales ont peut-être donné des résultats convaincants. Cependant, le dessalement en zone de mangrove est un exercice délicat, dans la mesure où le substrat est particulièrement fragile. Il est parfois illusoire de dessaler ces sols qui se trouvent être constamment sous l'influence des eaux marines. Un dessalement superficiel peut être considéré comme suffisant pour une reprise satisfaisante des plants de riz au repiquage dans ces rizières de la Basse Casamance et plus particulièrement du Bassin versant de Diouloulou. La culture billonnée (Planche 16), traditionnellement pratiquée par les paysans diolas, facilite ce processus (Barry et Posner, 1985 ; Sané, 2017). Il faut préciser qu'un réseau de drainage bien adapté est, en général, un complément indispensable pour évacuer les sels dissous dans le sol des parcelles rizicoles.



Planche 16 : labour au « kadiandou » et repiquage du riz dans la vallée de Kabiline (Cliché Sané, 2020)

6.2.2.2 Introduction de la mécanisation de la riziculture dans Bassin versant

La tendance à la professionnalisation concerne en premier lieu la production semencière, mais l'État dans sa politique de développer la riziculture, met l'accent sur la mécanisation dans la production par le biais de la distribution de batteuses et motoculteurs, ainsi que des tracteurs,

subventionnés à hauteur de 60%. Cependant, ces distributions semblent progresser très lentement. De même, la distribution des décortiqueuses afin d'améliorer la qualité des grains transformés et les quantités de riz de consommation commercialisées.

En effet, la dotation de l'entente de Diouloulou en matériel agricole (tracteurs, motoculteurs, batteuses, décortiqueuses, etc.) a contribué à l'allègement des travaux agricoles des hommes et femmes dans l'arrondissement de Kataba 1 (planche 17). Ceci a également contribué de manière significative à l'augmentation des emblavures. Dans certaines localités comme Kabiline où plusieurs parcelles jadis abandonnées à cause de la salinisation ou du manque de main-d'œuvre sont aujourd'hui remises en culture. Par exemple pour les multiplicateurs de semence, le paiement de certains des travaux peut s'effectuer en nature après la récolte et le surplus de la production est acheté. Ce qui règle en partie le problème de financement des travaux rizicoles. Le tableau 50 fait état des activités du matériel et les modalités de paiement.

Tableau 50 : activités de services rendues et modalités de paiement

Matériels agricoles	Types d'activités	Prix et modalités de Paiement pour les membres de l'EGAD	Prix et modalités de paiement pour les autres
Tracteurs	labour	20000 Francs CFA/ha et jour payable après la Commercialisation des semences.	25000 Francs CFA/ha Payé automatiquement après la prestation de service.
Motoculteurs	Labour	10 000 Francs CFA/ha payable après la vente des semences produites.	12500 Francs CFA/ha payé au comptant après la prestation de service.
	Transport (Fumure, sables, bois, etc.).	3000 Francs CFA/Chargement payé au Comptant	3000 Francs CFA par Chargement payé après service rendu.
Batteuses	Battage du riz	500 Francs par sac de 50Kg battu payable en argent ou en nature après la commercialisation des semences.	500 Francs CFA/sac de 50kg payés comptant
Décortiqueuses	Décorticage du riz paddy	1000 Francs CFA pour un sac de 40 kg de paddy payé sur place	1000 Francs CFA pour un sac de 40 kg payé sur place

Source : Dembo Diédhiou vice-président de l'EGAD.



Planche 17: opération de labour au tracteur à Kabiline (Cliché Sané 2020)

6.2.3 Le reboisement de la mangrove

Comme en Basse Casamance, le BV de Diouloulou avait connu une dégradation de la végétation de mangrove durant les années de sécheresse.

La dégradation de la mangrove serait un facteur qui peut accroître les risques de salinisation des rizières, car celle-ci joue un rôle de protecteur non négligeable dans la lutte contre la salinisation. C'est ainsi que plusieurs programmes de reboisement ont été initiés dans le Bassin versant de Diouloulou par certaines ONG en parfaite collaboration avec les paysans. Il y a eu aussi la participation des services des eaux et forêts en collaboration avec Millenium Challenge Account (MCA) dans cette activité de reboisement. Il y a également une forte implication de l'Aire marine protégée (AMP) d'Abéné dans ces activités de reboisement. Le choix des propagules reboisées est plus porté sur le genre *Rhizophora*. Ceci se justifie par le fait que cette espèce est rustique et régénère plus facilement et très rapidement dans la terre argileuse. La Planche 16 illustre les Reboisements de la mangrove à Colomba.



Planche 18 : reboisement de la mangrove à Colomba (La Fédération Régionale des Groupements de Promotion Féminine de la région de Ziguinchor) (Cliché SANE, 2020)

6.2.4 L'amendement des terres rizicoles par l'engrais naturel

L'épandage de fumier, des feuilles mortes, compost, coques d'arachide, résidus de cultures, sciure de bois, les bouses de vaches, les fientes de poules, la cendre pendant la saison sèche ou à l'approche de l'hivernage, est une technique pratiquée par certains riziculteurs du bassin versant Diouloulou (planche 19). Le principe de base est simple : il s'agit de lutter contre la salinisation des sols, c'est favoriser le lessivage des sels, le remplacement de l'ion sodium (Na^+) par un autre cation (le Ca^{2+} par exemple) qui modère le milieu. Cette technique s'est révélée très efficace dans la récupération des terres salées par les paysans. En effet, la matière organique favorise le lessivage des sels à travers les acides organiques qui fixent les ions sodium et les entraînent avec les eaux de pluie (Ngom, 1999). L'épandage du fumier dans les parcelles rizicoles était beaucoup pratiqué avant et au début des années de sécheresse, période pendant laquelle il y avait une main-d'œuvre jeune et abondante. Par ailleurs, celle-ci est aujourd'hui moins appliquée sauf dans quelques rares localités où les paysans tentent de maintenir cette pratique.



Planche 19: collecte de fumier organique (feuilles de manguiers et bouses de vache) pour la fertilisation des rizières à Kolomba (Cliché Sané, 2020)

6.2.5. L'accès aux intrants (engrais, semences certifiées et améliorées)

L'utilisation de semences certifiées et améliorées se fait dans le but d'accroître la production rizicole. Ces semences sont pour la plupart certifiées et adaptées aux actuelles perturbations climatiques et aux problèmes environnementaux.

En effet, dans le Bassin versant de Diouloulou, l'acteur le plus dynamique dans la facilitation aux paysans à l'accès aux intrants est l'Entente de Diouloulou avec comme partenaire principale le PPDC et aujourd'hui la SODAGRI.

En plus du PPDC, l'Entente a également un vaste réseau de partenaires tels que :

- Collectivités locales : les 4 communes de Kataba 1
- Services déconcentrés de l'État : DRDR, SDDR, CADL, sous-préfecture de Kataba 1
- Agences et institutions : ISRA, ANCAR, Lycée agricole de Bignona, EAUX ET FORÊTS, SODAGRI, Centre de formation technique de Baila, CNFTAGR, CICR
- Projets /programmes : Naatal Mbay, USAID KAWOLOR, PRGTE, ONGS : FONGS, SOS FAIM, COOSPE.
- Associations : CRCR, ASDCOD, AJAC, CLCOP, ASCE, APAD DIOULOULOU, FRGPF, ASAPID, CADP
- Structures de financement : CNCAS,

Tous ces partenaires participent de manière directe ou indirecte à la redynamisation de la riziculture (accès gratuits ou subventionnés aux intrants, production de semences, mécanisation, formation, encadrement, transformation, lutte contre la salinisation, vulgarisation des nouvelles technologies (planche 20), choix variétal selon la topo-séquence des sols, etc.)



Planche 20: parcelle de diffusion des informations climatique à Kabiline (Cliché SANE 2020)

Ainsi, ce sont ses différents partenaires qui lui fournissent des semences gratuites ou subventionnées, en fonction des variétés demandées par la population. Différentes variétés distribuées sont répertoriées tel que : BG 90/2, WAR, Tox728-1, BW248-1, WAP 56-50, DJ, IRAT 10, ROK 5, NERICA, SAHEL. Avec ces variétés les rendements peuvent atteindre 1,80 tonne à l'hectare (tableau 52). La semence est vendue aux riziculteurs à 100 fr CFA le kg et est rachetée après la récolte à 250 Fr le kg par l'entente de Diouloulou. L'Entente fournit aussi des intrants subventionnés (Tableau 52).

Tableau 51: : production de semence en 2018

Variétés	Niveau à produire	Superficie (ha)	Rendement (T /ha)	Production (T)
BG90/2	Base	43.6479	1.69	73.76
	R1	62.6305	1.69	105.84
WAR	BASE	17.671	1.65	29.15
	R1	121.4174	1.65	200.33
Tox 728-1	Base	1.2	1.77	2.124
	R1	11.872	1.77	21.013
BW248-1	Base	3.15	1.86	5.85
	R1	5.106	1.86	9.42
WAP 56-50	R1	0.38	1.26	0.47
DJ	Base	0.1485	1.57	0.23
	R1	4.53	1.57	7.11
IRAT 10	R1	0.4	1.25	0.5
ROK 5	Base	5.106	1.52	7.76
	R1	14.159	1.52	21.52
NERICA	Base	1.36	1.37	1.86
	R1	3.6915	1.37	5.05
SAHEL	Base	1.15	1.54	1.77
	R1	56.2305	1.54	86.59
Total				580.347

Source : rapport Entente Diouloulou 2018

L'apport d'engrais calcique ou phosphaté permet de remonter le pH des sols acides, De nombreuses études l'attestent de par le monde (Beye, 1973) montre une amélioration très sensible des rendements, lorsque des engrais phosphatés sont apportés. Les formes solubles semblent plus efficaces que les formes naturelles et insolubles. Le phosphate tricalcique de Taïba, phosphate naturel du Sénégal, présente néanmoins des effets significatifs. L'utilisation de coquilles d'huîtres broyées, riches en calcaire, peut constituer une autre source possible

(Boivin, Zante, 1986). Dans ce bassin versant, l'utilisation de l'engrais varie d'une localité à l'autre. Le constat est que l'engrais est plus utilisé dans le village de Kabiline. Dans ce village, la majeure partie des paysans amande leurs rizières avec de l'engrais chimique. Ceci peut s'expliquer par la relation qui existe entre eux l'Entente de Diouloulou. Avec l'Entente de Diouloulou, le sac d'engrais chimique peut coûter 10000 fr CFA. Pendant la campagne 2012, beaucoup de paysans ont bénéficié gratuitement auprès de la SODAGRI de l'engrais bio (« **GREEN OK** »). Il faut noter que dans cette localité beaucoup de paysans évoluent dans la production de semence ; de ce fait, certaines pratiques culturales leurs sont exigés (amendement de l'engrais industriel, respect du calendrier cultural, repiquage à temps c'est-à-dire repiquer les pépinières de riz à deux feuilles).

Par ailleurs, le recours systématique aux amendements se heurte parfois à des considérations économiques. Les charges d'exploitation d'une rizière s'en trouvent sensiblement alourdies pour certains riziculteurs. Donc il, préfèrent de l'engrais naturel qui demande également de moyens de transport ou d'une main-d'œuvre disponible et jeune, mais que le ménage peut faire avec les moyens de bord. Certains pensent que l'engrais chimique diminue progressivement la fertilité du sol.

Tableau 52: accès aux intrants en 2018

Intrants	Quantité (Kg)	Nombre de Bénéficiaires	Nombre de Femmes
Semences	40 000	2881	1424
NPK	75 000	2881	1424
Urée	85 000	2881	1424
Total		2881	1424

Source : Rapport Entente de Diouloulou 2018

Encadré 1 : contexte du partenariat entre le PPDC et l'Entente de Diouloulou

Le Gouvernement du Sénégal a obtenu un crédit de l'IDA pour le financement d'un projet de 40.000.000 USD dont l'objectif est d'offrir des possibilités de génération de revenus pour les jeunes et les femmes dans les zones ciblées de la région de la Casamance. Les activités du projet sont structurées autour de trois composantes :

(i) Appui à la production, post-récolte et mise en marché de produits agricoles.

(ii) Accessibilité rurale.

(iii) Appui à la mise en œuvre du projet

Pour mettre en œuvre ses activités, le PPDC préfère le faire en recourant aux compétences privées par la voie de protocole de partenariat. C'est ainsi qu'un protocole de partenariat est signé en janvier 2016 entre le PPDC et l'Entente de Diouloulou.

Ce protocole a pour objet d'améliorer la productivité et la production de riz en Casamance à travers les axes stratégiques suivants :

- ❖ Consolidation des acquis et les expériences dans la production et la distribution de semences améliorées de riz adaptés en Casamance ;*
- ❖ Accompagnement des producteurs dans le suivi de la production du riz marchand dans le département de Bignona ;*
- ❖ Dotation de la coopérative et de ses membres en moyens de production, matériels et équipements agricoles pour renforcer leurs capacités dans la chaîne de valeur riz local ;*
- ❖ Renforcement du personnel de la coopérative en la dotant de ressources humaines de qualités pour mieux répondre à la demande des membres.*

Dans ce dit protocole, le PPDC s'engage à financer les moyens nécessaires pour la mise en œuvre du programme décrit et présenté sous forme de budget prévisionnel dans la limite du montant global de dix millions de francs (14 000 000) FCFA représentant environ 70-80% du budget. La coopérative Entente de Diouloulou s'est engagée à faire de la multiplication et de la distribution de semence de riz sur 300 ha ainsi que la production de riz marchand sur 5000 ha pour la campagne agricole 2018/2019.

L'entente de Diouloulou est née dans le milieu des années 70, à l'initiative d'un groupement de personnes originaires de Kabiline, voulant mettre ensemble leurs moyens afin de parer aux difficultés du moment : la sécheresse avec ses conséquences et l'exode rural des jeunes. Les objectifs sont : la lutte contre la famine et l'exode rural, la contribution à la santé communautaire, l'allègement des travaux de la femme, la promotion des activités économiques rentables.

Elle est composée de 1274 membres, dont 827 femmes, réparties en 14 groupements. Elle intervient plus dans les communes de Djinaky et de Kataba I. L'Entente de Diouloulou est très active dans la production de semences de riz pluvial.

Source : rapport Entente Diouloulou 2018.

6.3. Blocages techniques et socio-économiques des efforts de mise en valeur des vallées rizicoles dans le Bassin versant de Diouloulou.

Le développement agricole et rural en Basse Casamance est fortement menacé et limité par plusieurs facteurs de différentes natures. Dans les vallées du Bassin versant de Diouloulou, l'environnement et les systèmes de production se dégradent progressivement malgré les efforts déployés. Cette dégradation est perceptible dans la plupart des vallées qui ont été réhabilitées et aménagées pendant les dernières années avec la réalisation d'ouvrages hydro-agricoles (barrages anti-sel, digues de rétention, etc.). C'est ce qui justifie en partie, dans plusieurs localités du Bassin d'étude une réduction progressive des surfaces rizicultivables et par ricochet la baisse des productions.

6.3.1. Les facteurs environnementaux de blocage de la mise en valeur des vallées rizicoles du Bassin versant de Diouloulou.

La salinisation, l'acidification des sols et, dans une faible mesure, l'ensablement sont les principaux phénomènes observés dans les vallées du bassin versant de Diouloulou. Ce processus de dégradation des terres rizicoles observé après les grandes sécheresses laisse toujours des traces et rend vulnérable l'activité rizicole (tableau 53). La salinité de ces rizières est souvent liée à la remontée de la langue salée ou à l'envahissement des eaux du bolon (Grdr, Sané et al, 2017).

Il faudra noter que dans le cours d'eau du BV de Diouloulou, la valeur de la CE tourne autour de 45 mS/cm en saison des pluies (août 2017) et 65 mS/cm en saison sèche (mars 2018) et 75 mS/cm (juin 2018).

En amont des vallées, il existe par endroit des dépôts de sable au niveau des zones de transition entre les plateaux et les bas-fonds. Ce qui entraîne à ce niveau un recul des rizières vers le plateau et une réduction de l'efficacité de certains ouvrages d'aménagements comme les barrages de retenues et anti-sel. Le tableau 53 fait état des facteurs environnementaux de blocage de la mise en valeur des vallées rizicoles du Bassin versant de Diouloulou.

Tableau 53: facteurs environnementaux de blocage de la mise en valeur des vallées rizicoles du Bassin versant de Diouloulou

Facteurs de dégradation	Vallée	Causes directes et indirectes	Impacts	Constat et entretien
Salinisation	Vallées aménagées et non aménagées	-Avancée de la langue saline dans le réseau hydrographique -Aléas climatiques -Mauvaise entretien et gestion des ouvrages hydroagricoles	-Réduction des superficies emblavées Baisse de productivité de la riziculture -Dégradation de la mangrove -Baisse de la qualité du sol et de l'eau	-Rapporté sur 100% des vallées Visité et par des riziculteurs (entretien)
Acidification	Vallées aménagées et non aménagées Déficit pluviométrique	Déficit pluviométrique Rabattement des aquifères Oxydations des sulfures Barrages anti-sel	Dégradation des formations de mangrove Abandon des rizières	- Rapporté sur 100 % des vallées, (entretien et observation)
Ensablement	Vallées aménagées et non aménagées	Phénomènes érosifs	-Réduction de la superficie cultivable -Dépôt des sable et réduction de la fertilité des sols des bas-fonds Recul des rizières sur les zones de transition entre les plateaux et les bas-fonds. -Réduction de l'efficacité des ouvrages d'aménagements	-Rapporté sur 100 % des vallées, Et par des riziculteurs (entretien)

Source : Sané, 2019

6.3.2. Les facteurs socio-économiques de blocage de la mise en valeur des vallées rizicoles du Bassin versant de Diouloulou.

Suite à la sécheresse des années 1970-1980, l'exode rural des jeunes vers les grandes villes sénégalaises et vers les pays voisins comme la Gambie a entraîné un fort déficit de main-d'œuvre dans le monde rural *en sus* du vieillissement actuel de la fraction active restée sur place (Manzelli, 2015). En effet, ce sont les paysans âgés (40 à 65 ans) surtout qui s'activent dans la riziculture dans les vallées du Bassin versant de Diouloulou.

Cet attachement des paysans âgés à la riziculture est lié en partie à la place culturelle du riz dans la société diola en particulier. En outre, de plus en plus, les jeunes s'orientent vers d'autres activités génératrices de revenus financier telle que : l'arboriculture fruitière et le maraîchage, qui les occupent presque toute l'année.

Ainsi, le manque de main-d'œuvre associé à l'absence d'appuis technique et financier réduit à néant les efforts d'entretien des aménagements hydro-agricoles pour la protection des vallées et la gestion de l'eau (planche 21 et 22).



Planche 21: digues détériorées par manque de renouvellement dans la vallée de Birkamading (Cliché Sané, 2020)



Planche 22: barrage abandonné par manque de renouvellement de la Digue à Karongue (Cliché Sané, 2020)

Plusieurs de ces aménagements ne sont pas entretenus ou sont mal gérés (Planche 21). Beaucoup parmi eux ne sont plus fonctionnels et sont laissés à la merci de la nature (photo24). Aujourd'hui, malgré les efforts consentis en termes d'aménagement des vallées, ces vallées rizicoles sont pour la plupart sous-exploitées (planche 23). Cette sous exploitation est liée :

- d'une part, par manque de main-d'œuvre et de moyens techniques pour le renouvellement des digues, pour les travaux rizicoles, d'organisation pour la gestion des aménagements hydro-agricoles et par un faible niveau d'encadrement des agriculteurs ;

- d'autre part par la divagation des animaux qui constitue un problème complexe difficile à gérer notamment dans les localités de Mohamouda Chérif, Darou, Khairy, Badionkotong et Birkamading. Les paysans sont parfois obligés d'abandonner certaines parcelles parce qu'il n'y a pas assez de main-d'œuvre pour la surveillance.



Planche 23: digue d'environ 1,5km dont la partie protégée des rizières est sous exploitée à Karantaba (Cliché Sane 2020)

Tableau 54: : facteurs socio-économiques de limitation de la mise en valeur des vallées rizicoles du Bassin versant de Diouloulou

Thème	Observation/Entretien	Causes directes et indirectes (Observation/Entretien)	Constats et entretiens
Gestion des ouvrages et de l'eau	-Détérioration des systèmes de gestion de l'eau -Dysfonctionnement des ouvrages -Mauvaise gestion des ouvrages	Manque d'entretien Manque d'organisation pour la gestion des aménagements Faible système de contrôle/appui par les institutions publiques (entretiens)	Observé dans toutes les vallées aménagées visitées Rapporté par les groupes riziculteurs et les autorités locales (entretiens)
Main-d'œuvre	Progressif appauvrissement	-Faible renouvellement générationnel -Vieillesse des agriculteurs (entretiens)	Rapporté par les groupes riziculteurs et les autorités locales (entretiens)
Encadrement et vulgarisation	Faible niveau d'encadrement des agriculteurs, liés presque uniquement aux programmes d'aide nationale et internationale	-Nombre d'encadreurs insuffisant -Faible renouvellement générationnel -Manque de moyens techniques et logistiques, et d'incitations économiques pour les encadreurs -Manque d'appui par les institutions publiques -Manque de suivi des activités de vulgarisation (entretiens)	Rapporté par les groupes riziculteurs et les autorités locales (entretiens)

Source : Sané, 2019

6.3.3. Les facteurs agronomiques de limitation de la mise en valeur des vallées rizicoles du Bassin versant de Diouloulou.

Rappelons dans le BV de Diouloulou, à l'image de son cadre géographique (Basse Casamance), l'utilisation des outils traditionnels tel que le Kajendu pour le labour du sol demeure encore une des limites du développement de l'activité agricole. La mécanisation est très timide. Or, « *la mécanisation représente sûrement un outil technique fondamental pour réduire le temps de travail et augmenter les rendements, accroître les superficies cultivées et faire face à la progressive diminution et efficacité de la main d'œuvre* » (M. Manzelli & al. 2015).

Tableau 55 : synthèse de l'investissement à l'hectare pour la production de semence

Désignation	Unité	Quantité	Prix Unitaire	Montant
Travail du sol	Ha	1	20 000	20 000
Semences	Kg	40	100	4 000
NPK	Kg	150	66	9 900
Urée	Kg	100	64	6 400
Herbicide	Litre	4	10 000	40 000
Sacherie	Nombre	40	300	12 000
Main d'œuvre	Ha	1	61 400	61 400
Autres Charges		1	15 000	15 000
Total des Charges				168 700
Production (FCFA)	kg	1600	250	400 000
Marge brute à l'hectare (FCFA)				231 300

Toutefois, les prix d'achat du matériel agricole, des intrants et des services de prestations sont jugés élevés par les riziculteurs dans un contexte de riziculture de subsistance. Les semences subventionnées arrivent généralement très tard et les paysans sont obligés d'avoir recours à leur récolte dont la conservation n'est pas garantie. Pour respecter le calendrier cultural et éviter les retards, après chaque récolte, une partie du riz est réservée par certains agriculteurs pour la semence de la prochaine campagne. Il faut noter que dans le BV de Diouloulou, la plupart des paysans qui utilisent des semences certifiées, engrais chimique, prestation de service ont recours à l'entente de Diouloulou (encadré 1). Il arrive souvent que la demande soit supérieure à l'offre de prestation surtout quand il s'agit du labour au tracteur. Si la demande de prestation n'est pas très tôt formulée, le paysan risque de ne pas en bénéficier durant toute la saison. Tous ces facteurs combinés constituent une limite sensible à l'exploitation rizicole des vallées du Bassin versant de Diouloulou.

Tableau 56: : facteurs agronomiques de limitation de la mise en valeur des vallées rizicoles du Bassin versant de Diouloulou

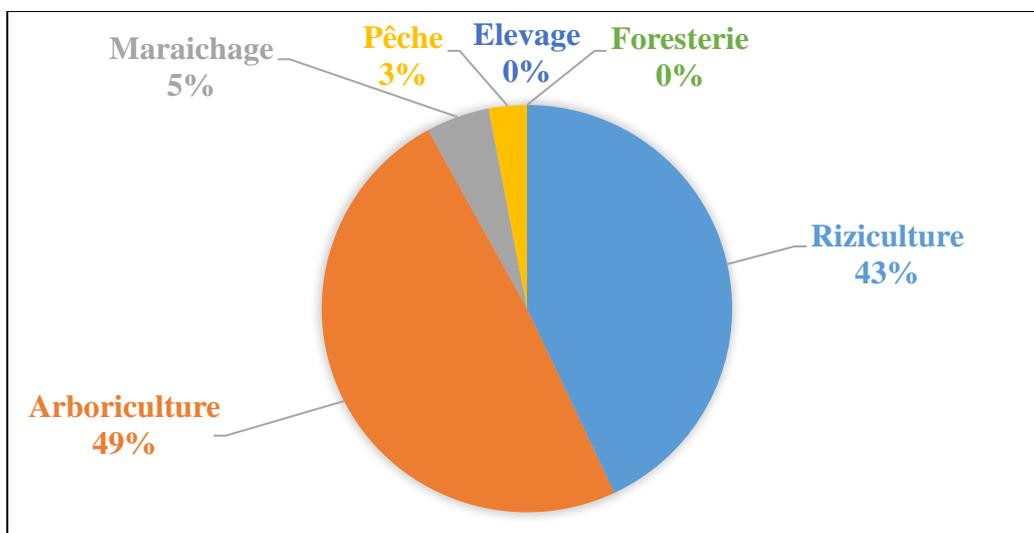
Facteurs	Observation	Causes directes et indirectes	Constat et entretien
Traction animale	Presque pas utilisée dans les vallées Possédée par les hommes,	Division sociale du travail : hommes sur les plateaux, femmes dans les vallées (milieu Mandingue), -Travail du sol par hommes, -repiquage et récolte par les femmes (en milieu Diola). -Sols de bas-fond trop durs, notamment au début de la saison des pluies -Matériel pas bien adaptées à la puissance des animaux et aux travaux à réaliser -Contemporanéité des demandes du service - Parcelles très petites	Observé dans toutes les Vallées visitées, -Rapporté par les groupes riziculteurs et les autorités locales (entretiens)
Mécanisation	-insuffisance de matériels de mécanisation dans les bas-fonds	-Coûts d'achat du matériel ou du service et de fonctionnement élevé -Manque d'une main-d'œuvre spécialisée pour l'utilisation et l'entretien -Mauvaise planification de l'offre de technologies appropriées au milieu local -Parcelles très petites -Contemporanéité des demandes du service	-Observé dans toutes les vallées visitées Rapporté par les groupes riziculteurs et les autorités locales (entretiens)
Opérations culturales	-Préparation du sol inadéquate -Faible désherbage Post-récolte inefficent -Conditionnement et Conservation inefficaces	-Labour presque uniquement manuel -Main d'œuvre insuffisante -Diffusion limitée du semis en ligne -Manque d'outils pour les opérations de post-récolte	- observé dans la majorité des vallées visitées (sauf Kabiline) - Rapporté par les groupes riziculteurs et les autorités locales (entretiens)
Semences	Diffusion limitée de semences de qualités, surtout pour le riz de bas-fond	-Insuffisante production de semences certifiées et/ou améliorées -Faible personnel qualifié, et fonds pour l'évaluation in situ de variétés améliorées et leur vulgarisation, équipements	Rapporté par les groupes riziculteurs et les autorités locales, entente Diouloulou (entretiens)
Intrants	-Faible accès aux engrais	-Disponibilité limitée -Coût élevé -Manque de formation et assistance technique sur leur utilisation rationnelle	-Rapporté par certains groupes de riziculteurs et les autorités locales, entente Diouloulou (entretiens)

Source : Sané 2019

6.4 La diversification des sources de revenus comme alternative

Face aux contraintes difficiles à surmonter dans l'activité rizicole, les paysans diversifient leurs sources de revenus en s'investissant dans des activités, comme l'arboriculture, le maraîchage, la pêche. Ces activités permettent aux populations de subvenir à leurs besoins alimentaires.

En effet, les enquêtes auprès des ménages montrent que 49% de de ces ménages ont comme activité principale l'arboriculture, 43% la riziculture, 5% le maraîchage et 3% la pêche (graphique 29). Ainsi au-delà de ces activités principales, les paysans pratiquent également la saliculture, la foresterie, la transformation de l'huile de palme, etc. Ces activités génèrent aussi des revenus importants pour les ménages.



Graphique 29 : activités principales des ménages interrogés

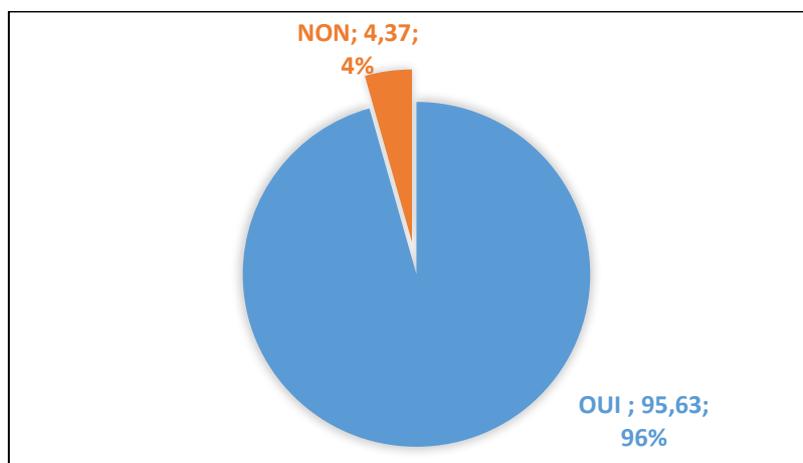
6.4.1 l'arboriculture dans le bassin versant de Diouloulou

L'arboriculture fruitière constitue une des nouvelles principales orientations des paysans. Les paysans s'adonnent de plus en plus à aux activités de plantation d'anacarde, d'agrumes, et de manguiers (planche 24). Ces activités génèrent des revenus importants, et participent aujourd'hui à retenir les jeunes et à en encourager certains à revenir dans le village après plusieurs années d'aventure pour la recherche des meilleures conditions de vie.



Planche 24: arboriculture à Colomba (Cliché Sané, 2020)

Aujourd'hui, chaque concession a, au moins un verger d'agrumes ou de mangues, ou d'anacardes, car comme le soutiennent certains de nos interlocuteurs, « *cela prépare à la retraite du paysan* ». Les résultats d'enquête (graphique 30) montrent que 96% des ménages ont au moins un verger (soit verger d'agrumes, d'anacarde ou de mangue). Il faut noter que selon nos interlocuteurs, dans certains villages les hommes qui étaient partis dans les grandes villes ou à l'immigration pour la recherche de meilleures conditions de vie, reviennent pour défricher les terres de leurs ancêtres pour implanter leurs vergers d'agrumes.



Graphique 30: ménages qui disposent d'au moins un verger

L'arboriculture est l'une des activités génératrices de richesse. Un paysan peut gagner après la récolte jusqu'à plus d'un million de francs CFA (1.000000 Fr CFA).

Les enquêtes auprès des ménages ont montré qu'un paysan peut gagner au maximum 900.000 à 1.000000 FCFA pour les plantations de manguier (2%), mais la majorité (47%) des ménages gagnent 400000 à 500000 Fr CFA. Par ailleurs, les vergers d'anacarde permettent de gagner plus de 1 000 000 FCFA pour 51% des paysans interrogés.

Pour ce qui est des agrumes (« orange, mandarine, pamplemousse, citrons etc. ») un producteur peut gagner par campagne plus de 1000000 fr CFA. Selon les interlocuteurs, 58% gagnent plus de 1000000 Fr CFA, 20% entre 900000 et 1000000 fr CFA et 6% entre 600000 et 700000 Fr CFA (tableau 57). Il faut dire que 95% des ménages vendent leurs productions à bord champ. En général les prix sont négociés par rapport à la taille, au niveau de production du verger ou par nombre de pieds en production. C'est-à-dire le producteur et l'acheteur font une estimation du prix du verger et après c'est l'acheteur qui prend en charge toute la main-d'œuvre qui tourne autour de la récolte.

Les revenus issus de ces activités permettent aux producteurs de répondre à leurs besoins quotidiens tels que l'achat du riz pour l'alimentation, la santé, de scolarité des enfants, des cérémonies culturelles, entre autres.

Tableau 57: Revenus par campagne des ménages issus de quelques activités extra rizicoles dans le Bassin de Diouloulou

Activité Revenus (FCFA)	Manguier	Agrumes	Anacarde
Moins de 100000	10%	0%	1%
100000 à 200000	7%	0,5%	0%
200000 à 300000	6%	1,5%	2%
300000 à 400000	20%	2%	11%
400000 à 500000	47%	3%	1%
500000 à 600000	4%	5%	25%
600000 à 700000	2%	6%	0%
700000 à 800000	1%	1%	0%
800000 à 900000	1%	3%	2%
900000 à 1000000	2%	20%	7%
1000000 et plus	0%	58%	51%

Source : Sané, 2018

6.4.2 Le Maraîchage dans le Bassin versant de Diouloulou

Le maraîchage constitue une activité alternative pratiquée par les populations pour diversifier leurs sources de revenus. Il permet également aux paysans surtout les femmes d'avoir une occupation pendant la saison sèche. Il occupe une place importante dans les activités agricoles,

grâce à l'importance des revenus monétaires qu'il procure aux populations. C'est une activité souvent pratiquée par les femmes. Il est généralement pratiqué dans les blocs maraîchers et dans les vergers (planche 25). Il est considéré pour certains comme une activité d'appoint dans des vergers en saison sèche. Il est bien pratiqué dans les villages du BV de Diouloulou. L'exploitant pratique le maraîchage soit dans sa propre exploitation (individuelle), soit dans une exploitation collective (bloc maraîcher).



Planche 25: quelques spéculations (piment, tomate, chou, Aubergine amère, etc.) à Colomba (Cliché Sané 2020)

Ainsi, plusieurs spéculations (Planche 25) sont produites, il s'agit notamment de l'Aubergine douce (*Solanum melongena* L.), Aubergine amère (*Solanum aethiopicum* L.), Oignon (*Allium cepa* L.), Piment (*Capsicum frutescens* L.), Poivron (*Capsicum annuum* L.), Choux pommés (*Brassica oleracea* L.), Carotte (*Daucus carota* subsp. *Sativus*), Navet (*Brassica rapa* L.), Gombo (*Abelmoschus esculentus* (L.)), Tomate (*Solanum lycopersicum* L.), Concombre (*Cucumis sativus* L.), Oseille (*Rumex acetosa* L.), etc.

La production est d'une part destinée à l'autoconsommation et d'autre part à la vente afin d'assurer la santé, l'éducation des enfants, la dépense quotidienne, etc. Il ressort de l'analyse du tableau 58 qu'un producteur peut gagner 400000 à 500000 fr CFA (2%). La plupart des producteurs gagnent 100000 à 200000 fr CFA (71%) et 21% des producteurs interrogés gagnent moins 100000 fr CFA et 5% entre 200000 et 300000 fr CFA.

Tableau 58 : revenus par campagne des ménages issus de quelques activités extra rizicoles dans le Bassin de Diouloulou

Revenus (FCFA)	Activité	Maraîchage
Moins de 100000		21%
100000 à 200000		71%
200000 à 300000		5%
300000 à 400000		1%
400000 à 500000		2%
500000 à 600000		0%
600000 à 700000		0%
700000 à 800000		0%
800000 à 900000		0%
900000 à 1000000		0%
1000000 et plus		0%

Source : Enquête 2019

Par ailleurs, cette activité connaît aujourd'hui des difficultés, malgré son dynamisme. Au niveau de certains blocs maraîchers, le problème d'accès à l'eau ralentit considérablement le maraîchage. Dans beaucoup de blocs maraîchers, l'eau est puisée manuellement (planche 26) en absence d'installation électrique, solaire ou de panne de celle-ci.

Cependant, le manque de soutien financier et matériel reste une contrainte au développement de cette activité malgré l'appui de certaines ONG dès l'installation des blocs. En effet, les puits des jardins ne sont pas équipés de motopompes ou bien ceux-ci sont en panne, ce qui fait que tout le travail de jardinage est manuel (planche 26). Ainsi, l'entretien de la clôture et des puits est assuré par les femmes à travers les participations individuelles. Il faut noter que les producteurs sont généralement composés de femmes et la plupart d'entre elles ont des âges compris environ entre 40 et 50 ans.



Planche 26: des puits non équipés de motopompe à Bandionkoto (Cliché SANE 2020)

6.4.3 Production de l'huile de Palme dans le Bassin versant de Diouloulou

La production de l'huile de palme occupe une place importante dans les activités économiques des terroirs villageois du Bassin versant de Diouloulou. Dans ces villages les populations s'organisent souvent autour d'un GIE pour valoriser les ressources (palmier à huile) du terroir afin de mieux prendre en charge les besoins de la communauté. D'après le chef du village de Colomba, c'est à partir des années 1980 que les populations ont commencé à s'organiser pour exploiter le palmier à huile. Depuis lors, l'exploitation du palmier à huile *Elaeis guineensis* est assurée par le GIE du village suivant un calendrier. À partir du mois de décembre, une interdiction de coupe des régimes de palmiste est mise en exécution dans tout le terroir, jusqu'au mois de mars, le GIE fait appel à des coupeurs étrangers (main-d'œuvre extérieure) ou les jeunes du village. Ces derniers sont payés à hauteur de 50 FCFA par régime. Les récoltes varient entre 25 000 et 30 000 régimes de palmiers à huile par an et cela peut dépasser ces chiffres en fonction de la production des palmiers, selon le secrétaire du GIE de Colomba.

L'exploitation est collective pendant les deux premières campagnes par an ou une campagne pour certains terroirs (planche 27). C'est après la deuxième campagne qu'elle est individuelle jusqu'à nouvelle interdiction au mois de décembre. Ainsi, c'est cette même organisation que l'on retrouve dans les autres terroirs du Bassin versant. En moyenne un GIE peut gagner 1.470.850 FCFA par an (tableau 59).



Planche 27: exploitation collective de l'huile de palme à Kabiline2 (Cliché SANE 2020)

Cette activité a commencé bien avant les années 1980. Aujourd'hui, ce secteur semble être mieux organisé, par exemple à Colomba, le secrétaire général dispose d'un registre où toutes les activités et productions sont enregistrées. Les statistiques consignées dans le tableau ci-après montrent l'évolution de la production de l'huile de palme de 2010 à 2017 5 (Tableau 59).

Tableau 59: : évolution de la production de l'huile de palme de 2010 à 2017

Année	Nombre de litre	Prix unitaire (FCFA)	Prix total (FCFA)
2010	1741	1000	1741000
2011	1052	1000	1052000
2012	1129	1000	1129000
2013	1698	1000	1698000
2014	1510	1000	1510000
2015	1592	1000	1592000
2016	1540	1000	1540000
2017	1368	1100	1504800

Source : données enquête (Y. Sané et B. D BA 2018)

Pour ce qui est de l'exploitation individuelle, les transformatrices ont également recours à de jeunes coupeurs de régimes de palme. Elles payent aussi 50 fr CFA le régime de palme coupé. Rappelons qu'en hivernage, un régime récolté coûte 100 fca du fait de la difficulté de monter et des risques de glissement. C'est durant cette période que les exploitants individuels sont autorisés à l'exploitation. Ils sont généralement composés de femmes. Le produit ainsi transformé est souvent destiné à la vente ou la consommation du ménage. Elles peuvent gagner individuellement jusqu'à 500000 fr CFA par saison.

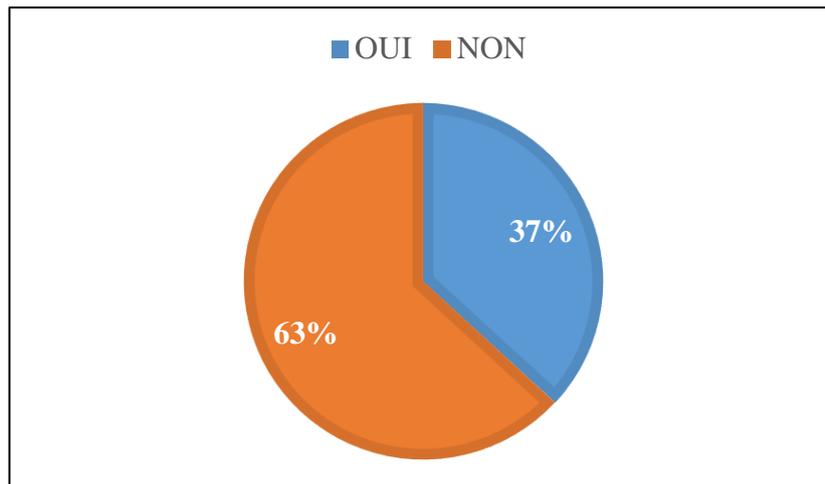


Graphique 31: processus de transformation de l'huile de palme par les GIE des villages de Bandjikaky et de Kabiline (BA, 2020)

Par ailleurs, cette activité est confrontée à des difficultés. Elle demande une main-d'œuvre importante ou des moyens financiers et techniques. Le processus de transformation est long et complexe (graphique 31). Il faut noter que l'activité demande une forte consommation de bois de chauffe. Alors qu'aujourd'hui le bois de chauffe se fait de plus en plus rare et devient plus cher. On observe également la dégradation des palmiers. Aujourd'hui, plusieurs palmiers à huile sont morts et ceux qui résistent, ont vu leur productivité baisser. Le produit devient aujourd'hui de plus en plus rare.

6.4.4 La saliculture dans le Bassin de Diouloulou

La production du sel a longtemps été une activité pratiquée en Basse Casamance. Dans cette région, pour produire du sel, les femmes pratiquaient traditionnellement la saliculture ignigène artisanale (SIA) à partir d'une saumure évaporée par cuisson sur feu de bois de chauffe (planche 28). La saumure est soit prélevée directement dans un puits superficiel creusé près d'un cours d'eau salée, soit obtenue par lixiviation de terres salées récoltées au niveau des aires de grattage près des zones de tannes nues. Cette technique nécessite une importante consommation de bois. Selon une note d'UNIVER-SEL, (2014) pour produire une tonne de sel il faut environ 3 tonnes de bois chauffe. Ce qui est énorme dans un contexte de déforestation. Cette pratique (saliculture ignigène) impose une présence continue de l'exploitant sur le site de cuisson (renouvellement du bois) et s'avère pénible du fait notamment des vapeurs de cuisson (planche 28).



Graphique 32: ménages qui pratiquent la saliculture

L'analyse du graphique 32 montre que dans le Bassin versant de Diouloulou la population pratique la saliculture. La production du sel est considérée pour certains comme une activité de valorisation des terres salées. La filière sel en Casamance reste très prometteuse, car disposant d'un potentiel énorme tant sur le plan ressources humaines que sur la disponibilité de zones propices au développement de la filière. Ainsi les résultats d'enquêtes révèlent que 37% des interlocuteurs pratiquent cette activité. Ces derniers pratiquent soit la saliculture ignigène (planche 28) ou la saliculture solaire. La plupart de ces producteurs font de la saliculture solaire (Planche 29) qui semble être plus facile et rentable.



Planche 28: saliculture ignigène à Dar Salam (Cliché Sané, 2019)

Par ailleurs, les exploitants sont en train d'abandonner cette pratique ancestrale de la saliculture ignigène pour adopter la saliculture solaire initiée dans beaucoup de villages par des ONG (planche 29). Aujourd'hui la saliculture solaire est répandue dans tous les villages du Bassin Versant Diouloulou. En ce qui concerne sa préparation, les saumures sont toujours préparées à partir de la même matière première et de la même manière, les terres salées récoltées sur les aires de grattage, et avec les mêmes outils de lessivage. Cependant au procédé de traitement

avec du bois de chauffe pour en extraire le sel est substitué le traitement sur de petites bâches, les cristallisoirs, où elles sont soumises sous une faible épaisseur à l'action du soleil et du vent et où le sel est récolté.



Planche 29:: saliculture solaire dans le village de Bandiokoto (cliché, Sané, 2019)

En outre, la production issue de cette activité est destinée à la consommation du ménage et à la vente. Elle est généralement vendue au marché local, à Diouloulou, à Kafountine, à Bignona et dans une faible mesure à Ziguinchor. Il se pose parfois un problème d'écoulement.

Par contre, elle génère des revenus importants qui permettent aux ménages d'assurer certaines dépenses quotidiennes, de couvrir certains soins de santé, l'éducation des enfants. Ainsi, en moyenne, un producteur peut gagner jusqu'à 300000 Fr CFA. Il faut noter que jusque-là, il n'y a pas encore de grands producteurs comme ceux du Saloum.

Tableau 60 : revenus par campagne des ménages issus de la saliculture dans le Bassin de Diouloulou

Revenus (FCFA) \ Activité	Saliculture
Moins de 100000	52.63%
100000 à 200000	35,53%
200000 à 300000	11,84%
300000 et plus	0%

Source : Enquête 2018

6.5. Discussions

Les paysans Diola étaient longtemps réputés comme de grands techniciens en aménagement des rizières surtout dans l'élaboration des digues et diguettes qui servent en même temps de gestion de l'eau et de limites des propriétés foncières (Pélissier. 1966 ; Montoroi. 1996 ; Diédhiou, 2001 ; Grdr, 2017 ; Sané, 2017). En effet, les digues et diguettes étaient régulièrement entretenues. Ce système d'aménagement du Diola est certes efficace, mais très pénible.

Il demande une main-d'œuvre importante et jeune, parce que les outils utilisés (« *Kadiandou* », principalement) sont rudimentaires et demandent beaucoup d'énergie (Pélissier. 1966).

Cependant, depuis la sécheresse des années 1970, la Basse Casamance en général et le bassin versant de Diouloulou en particulier, sont confrontées à un déficit de main-d'œuvre. La plupart de la main-d'œuvre jeune a quitté la campagne pour rejoindre les villes à la recherche d'emploi afin de prétendre à de meilleures conditions de vie (Pélissier 1966 ; Manzelli et al. 2015 ; Diop, 2017, Sane, 2008 ; Ba, 2019.).

La Basse Casamance a assisté à une déprise rizicole liée à la pénibilité du travail dans les Bas-fonds (labour, repiquage, récolte etc.), à l'importance du travail de terrassement (construction et entretien des digues), de fertilisation des sols avec de la fumure organique) nécessaire.

Pourtant, pour redynamiser ce secteur, poumon de l'économie locale, l'État, à travers les différents gouvernements qui se sont succédés des indépendances à nos jours et les ONG ont multiplié les programmes et projets dans cette zone (GrDr, 2019). Donc, la Basse Casamance a toujours bénéficié, depuis les indépendances, de projets et programmes d'encadrement de l'État et de ses partenaires pour booster le secteur agricole : la SOMIVAC, la MAC, le PPDC, le PRIMOCA, GRDR, PAM, ISRA, SODAGRI, Entente Diouloulou etc. En lançant ces programmes et projets, l'État et ces partenaires locaux et internationaux visaient en à finir avec les goulots d'étranglement au développement afin de permettre la réduction de la pauvreté par la création d'un environnement favorable à l'augmentation des productions rizicoles, et donc des revenus des populations rurales. C'est ainsi que plusieurs digues et micro-barrages ont été installés dans plusieurs vallées rizicoles, des appuis en intrants ou en matériels, en formation de renforcement de capacité, dans certaines zones ont été effectués afin de résoudre le problème de salinité et de booster la production rizicole.

Malgré ces multiples efforts de la part des paysans et des structures étatiques et ONG la riziculture continue à subir les conséquences de la sécheresse des années 1970- 1990 alors que nous sommes dans un contexte de reprise pluviométrie (Descroix, 2018). Ainsi, sur le terrain les résultats ne répondent pas aux efforts consentis par l'État et ses partenaires. La nature de l'encadrement et son efficacité demeurent floues. Certains problèmes n'ont pas reçu de solutions satisfaisantes, ce qui a pour conséquence un manque à gagner important. De ce fait, une réorganisation de l'État dans sa politique de développement agricole en Casamance s'impose.

Le constat aujourd'hui est que dans beaucoup de vallées le taux d'utilisation des terres après aménagement reste faible. Les parcelles rizicoles gagnées par les ouvrages (digues et vannes) ne semblent pas être conquises. Dans certains cas, les ouvrages sont en mauvais état, notamment

les parties mobiles et métalliques des vannes. Cela ne traduit-il pas une méconnaissance ou non appropriation par les usagers de leurs fonctions hydrauliques ?

Il arrive parfois que dans certains villages un problème de maîtrise du calendrier de gestion de l'eau se pose. Ce qui crée généralement des conflits entre les riziculteurs et les gestionnaires. Certains paysans semblent ne pas avoir besoin d'évacuer les eaux autrement que par la fonction de déversoir de l'ouvrage. La crainte principale de ces derniers est de ne pas arriver à boucler le cycle du riz, leur stratégie est de dire qu'il vaut mieux sécuriser les cultures, la digue protégeant déjà de l'avancée du sel (ils n'ont pas conscience des risques de sursalure en fermant). Selon le Chef du SDDR de Bignona monsieur Diatta : « *Même si l'aménagement protège contre l'intrusion saline, la rétention de l'eau douce dans les casiers nécessite surtout l'amélioration de la structure des sols par apport de matière organique* ». Par contre, certaines infrastructures hydroagricoles sont abandonnées. Ils ne sont plus fonctionnels parce qu'ils ne sont pas entretenus (digues non renouvelées, Vannes rouillées ou cassées, ou vannes fermées hermétiquement). Donc, ils ne jouent plus leurs rôles de régulation (de rétention d'eau douce et de protection d'intrusion d'eau salée). Dans le Bassin versant de Diouloulou, la main-d'œuvre pose toujours problème pour le renouvellement des digues et la mise en valeur des parcelles déjà protégées ou non contaminées par le sel ou l'acide.

Au-delà de ces facteurs, la divagation des bœufs (planche 30) constitue un casse-tête pour les riziculteurs (Sané *al.* 2021). Ce problème est très difficile à régler selon le chef du village de Mohamouda chérif. Les bœufs envahissent les cultures généralement pendant la nuit et il est parfois difficile de les appréhender pour les chasser ou les identifier afin d'interpeller le propriétaire. Ce qui participe à la, sous exploitation des vallées rizicoles du Bassin versant à l'exception de celle de Kabiline. Avec, l'intervention de l'entente de Diouloulou surtout dans la mise à disposition du matériel agricole, des intrants dans le cadre la production de semence, la vallée est bien exploitée et chaque année de nouvelles parcelles sont conquises. Le village est bien organisé du point de gestion de l'eau, des ouvrages, ainsi le phénomène de divagation des animaux (planche 30).



Planche 30: bœufs en divagation dans la vallée de Mohamouda chérif (Cliché, Sané, 2019)



Planche 31: clôture pour protéger les rizières contre la divagation des bœufs à kataba 1

Donc jusque-là, les autres villages du Bassin versant de Diouloulou ne parviennent pas à suivre l'exemple de Kabiline. Les productions rizicoles sont revues à la baisse au risque de ne pas pouvoir couvrir les besoins quotidiens en riz des ménages. Malgré ces conditions, de nombreuses communautés agricoles ont réussi à faire face, en modifiant leurs pratiques, en diversifiant leurs sources de revenus et en adoptant de nouvelles cultures, ainsi que des modes d'occupation des sols susceptibles de rapporter des revenus raisonnables (Toulmin et Guèye, 2003).

Ainsi, les jeunes paysans (forces vives) s'intéressent de moins en moins à la riziculture au profit des activités non rizicoles porteuses de richesse. Ils s'adonnent de plus en plus à d'autres activités moins pénibles et financièrement rentables tels que l'arboriculture et le maraîchage, l'exploitation des ressources forestières, la transformation de l'huile de palme etc. L'arboriculture fruitière est bien développée dans le Sud du pays qui fournit l'essentiel des agrumes (oranges, citrons, mandarine, pamplemousse) et des fruits dits tropicaux (mangue, banane, etc.) (Sané et *al.* 2018). Ces activités leur permettent de subvenir à leurs besoins alimentaires.

La riziculture, malgré le recul, reste le pivot de l'organisation de la vie des populations et mobilise tout le monde. Les autres activités comme l'exploitation de l'huile de palme, la pêche, le sel sont des activités périphériques qui mobilisent des petites entités économiques.

Conclusion

Malgré le retour de la pluviométrie et la volonté de l'État et ses partenaires locaux et internationale de moderniser la riziculture dans la vallée, elle se fait avec des méthodes toujours traditionnelles qui font que les jeunes les acceptent de moins en moins et préfèrent les activités extra rizicoles comme l'arboriculture et le maraîchage. Une telle situation rend incertaines les stratégies adoptées pour un développement de la riziculture dans certains terroirs du Bassin Versant de Diouloulou. La question qui se pose est de savoir : quel est l'avenir de la riziculture dans le terroir villageois du Bassin versant, dans un contexte de développement important d'activités non rizicoles génératrices de revenus et plus rentables ?

CONCLUSION GENERALE

L'étude sur la dégradation des terres rizicoles par salinisation et acidification dans le bassin versant de Diouloulou, en Basse Casamance septentrionale (Sénégal), a permis de montrer que ce bassin est caractérisé par une pluviométrie instable qui contraint souvent les paysans à anticiper et à gérer les risques. Les conditions climatiques en Basse-Casamance durant les années de sécheresse ont certainement eu des répercussions sur la dynamique des écosystèmes naturels. Ces conséquences se sont manifestées par l'évolution des caractéristiques physico-chimiques des sols dont la tendance générale est par la dégradation perceptible à travers la salinisation, l'acidification et l'ensablement dans cette zone à topographie basse.

L'environnement biophysique est caractérisé par la remontée des eaux marines dans tous les marigots du réseau hydrographique du fleuve Casamance notamment celui du BV de Diouloulou et par une salinisation des eaux et des terres rizicoles.

L'étude a montré que les rizières du Bassin versant de Diouloulou regorgent d'importantes potentialités pédologiques qui sont aujourd'hui affectées par les phénomènes de salinisation, d'acidification et d'ensablement. Les sols des rizières sont globalement salés et acides. Ils ont également une texture à dominante limono-sableuse et sont, dans leur majorité, pauvres en argile.

L'analyse des caractéristiques chimiques des sols a permis de mettre en évidence des faciès à dominance chlorurée sodique et potassique sulfatée sodique. Pour toutes les vallées étudiées, l'essentiel des cations déterminés est composé de sodium et de potassium. Ce qui laisse dire que la salinité de ces sols provient en grande partie des eaux du marigot (origine marine) d'autant plus que le bassin se trouve dans l'estuaire de la Casamance proche de l'océan Atlantique et caractérisé par une topographie basse avec un réseau hydrographique très dense. Aussi, les sols des vallées étudiées ont dans l'ensemble un niveau de fertilité faible à moyen. Ainsi, ils présentent au niveau des versants des vallées rizicoles, une capacité d'échange cationique faible à moyen excepté à Kabiline et Mohamouda où les sols sont plus ou moins riches en argile.

Au-delà de ces différents aspects, il se pose avec acuité un problème de main-d'œuvre rizicole. Les jeunes se mobilisent difficilement pour les activités rizicoles dans la plupart des terroirs du Bassin versant de Diouloulou. Cette difficile mobilisation de la main-d'œuvre est induite à la fois par la baisse de la productivité des terres, la pénibilité des travaux rizicoles et le manque de volonté et d'opportunités pour les jeunes en milieu rural.

Les sols des vallées rizicoles du bassin versant de Diouloulou sont donc affectés par les phénomènes de salinisation, d'acidification et d'ensablement à l'instar de ceux de la Casamance depuis les années de sécheresse. Une dégradation qui persiste rendant certaines parcelles rizicoles incultes malgré le retour progressif de la pluviométrie (Descroix *et al.* 2018) et la volonté des paysans de s'activer davantage dans la riziculture.

La riziculture traditionnellement développée dans les zones de bas-fonds (vallées) a connu un bouleversement depuis les années de dégradation des conditions climatiques, environnementales et socioéconomiques (1970 - 1990). Une situation de plus en plus défavorable qui a conduit à la réduction et à l'abandon des rizières cultivables. Aujourd'hui, plus de la moitié de la vallée rizicole de Bassin versant de Diouloulou n'est plus exploitée à cause du déficit de main-d'œuvre, de la salinisation, de l'acidification, etc. Ainsi, la tendance générale dans le Bassin versant est le recul quasi généralisé des terres rizicultivables, dont certaines, insuffisamment entretenues, sont envahies par les eaux salées devenant ainsi moins propices à la riziculture et d'autres sont abandonnées parce qu'il n'y a pas de main-d'œuvre suffisante et adaptée. Les terroirs villageois assistent aujourd'hui à une déprise agricole plus particulièrement rizicole. Les superficies emblavées ont diminué et par ricochet les productions rizicoles.

Pour faire face à cette déprise, des réponses multiples et diverses sont apportées par différents acteurs. Elles sont proposées par l'État, des partenaires au développement, les ONG et les populations locales elles-mêmes. L'intervention de ces derniers dans le domaine de la riziculture s'est matérialisée par la construction d'ouvrages hydroagricoles, la mise à disposition de matériel agricole, de semences et intrants subventionnés, l'encadrement des paysans surtout dans le cadre de la production de semences.

Cependant, les politiques publiques agricoles et d'aménagements hydroagricoles n'ont pas résolu les problèmes auxquels les paysans sont confrontés. Dans ce contexte marqué par une recomposition des terroirs rizicoles et des pratiques agricoles peu adaptées, les politiques rizicoles (aménagements hydroagricoles, projets et programmes de développement rural) ne semblent pas pour le moment donner les résultats escomptés. Les aménagements ne sont pas efficaces ou mal entretenus. Mais, dans certains terroirs comme Kabiline, la riziculture est préservée comme en témoigne l'évolution des superficies des rizières exploitées. Donc l'exemple de Kabiline pourrait être multiplié dans les terroirs du Bassin versant voire dans toute la Basse Casamance.

Malgré le retour de la pluviométrie et la volonté de l'État et ses partenaires locaux et internationaux de moderniser la riziculture dans la vallée, elle se fait avec des méthodes toujours

traditionnelles qui font que les jeunes les acceptent de moins en moins et préfèrent s'adonner à des activités extra rizicoles comme l'arboriculture (anacarde, agrumes, mangue), le maraîchage, etc. Ainsi, les communautés des terroirs villageois du Bassin versant de Diouloulou tentent de répondre à ces changements en modifiant certaines composantes de leurs systèmes d'exploitation. Une telle situation rend incertaines les stratégies adoptées pour un développement de la riziculture locale.

Ce travail présente un certain nombre de limites liées, pour l'essentiel, aux moyens limités qui étaient à notre disposition. Ceci justifie le choix de l'échantillonnage composite qui est basé sur les moyennes des échantillons. Ce qui fait que nous n'avons pu réaliser une cartographie exhaustive des sols acides et salés du bassin versant. La quantification de la production et des rendements rizicoles n'est pas réalisée par contrainte de temps. Ce qui aurait permis de faire une comparaison des rendements et productions entre les zones affectées par la salinité (forte salinité) et l'acidité (très acide) celles qui ne le sont pas.

Par ailleurs, ce travail aura atteint son objectif s'il réussit à attirer l'attention de la communauté scientifique et des décideurs politiques sur la réalité et les risques susceptibles d'être consécutifs de la dynamique actuelle du bassin versant de la Casamance en générale et de Diouloulou en particulier.

À la suite des précédents travaux réalisés en Basse-Casamance, cette thèse apporte une importante contribution dans la compréhension de la salinisation et de l'acidification des rizières et des mutations de l'environnement biophysique en basse Casamance. Ce travail de pédologie, rare depuis les travaux des années 1980-1990 peut être une référence, rafraichissant les résultats issus de recherches de l'ISRA, de l'UCAD et de l'Orstom réalisés au creux le plus prononcé de la sécheresse en Basse Casamance.

La question qui se pose aujourd'hui, est de savoir quel est l'avenir de la riziculture dans les terroirs villageois du Bassin versant de Diouloulou, dans un contexte de développement important d'activités non rizicoles génératrices de revenus et plus rentables ?

Il est intéressant de faire une cartographie des terres salées et acides dans le bassin versant de la Casamance afin d'apporter des réponses concrètes et durables par les décideurs.

L'étude des sols sulfatés acides des bas-fonds du bassin versant de la Casamance serait nécessaire pour une meilleure compréhension de la dégradation des terres rizicoles.

Bibliographie

Albergel, J., Brunet, D., Dubée, G., Montoroi, J.-P., & Zante, P. 1992. Gestion d'un barrage antisel en basse Casamance (Sénégal). In: Carré Paul (Ed.), Usage agricole de l'eau. Paris: ORSTOM, (p. 33-45), (Colloques et Séminaires). Journées Hydrologiques de l'ORSTOM, 6. Montpellier (FRA).

Andrieu, J., 2019. L'évolution de la Mangrove (1979–2019) du Saloum au Geba, par Télédétection ; Communication to the International Colloque Vulnerability of Societies and Environment of Coastal and Estuarine West Africa Held on in Ziguinchor (Senegal) from 19–22 november 2019. in press LMI PATEO Ed/ harmattan, Dakar, Sénégal.

Andrieu J. et Mering C. 2010. Synergie des données LANDSAT et MSG pour une cartographie de la végétation sur le littoral ouest Africain. In : Satellites Grand Champ pour le suivi de l'environnement, des ressources naturelles et des risques, actes de colloque (Clermont-Ferrand), 2010, 15 p., en ligne : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01292401/document>.

Andrieu, J., 2008. Dynamiques des paysages dans les régions septentrionales des Rivières du Sud (Sénégal, Gambie, Guinée-Bissau), Ph.D. Thèse, Université de Paris : Paris, France ; 524p.

ANSD, 2013. Deuxième enquête de Suivi de la Pauvreté au Sénégal (ESPS-II, 2011), Rapport d'étude, 122 p.

ANSD/SRSD. 2015. Situation économique et sociale régionale de 2013, 2015, 126 p.

ASPRODEB (AGEP)-PRIMOCA : 1997, Étude sommaire de Faisabilité de six vallées en moyenne Casamance Juin, 32 pages.

Aubrun A., Marius C., 1980. Étude pédologique de la vallée de Baïla. Organisation et environnement, 6 cartes au 1/20 000e.

BA B. D. 2019. Dynamiques spatio-temporelles des paysages et développement dans le département de Bignona (Basse-Casamance septentrionale, Sénégal), Thèse de 3ème cycle, Département de Géographie, UASZ, 2019, 314p.

BA. C. O., 1997. Migrations et organisations paysannes en Basse Casamance. Une première caractérisation à partir de l'exemple du village de Sue1 (Département de Bignona), 1997, Mémoire de confirmation, Ministère de l'agriculture, ISRA, 78p.

Badiane, L.M., 2016. Gestion hydrologique et spatiale d'un hydrosystème aménagé : le marigot de Bignona. Thèse UGB, 435 p.

Badiane, S., 1986. Impact du barrage anti-sel de Guidel sur la mangrove : 317-320 in L. Le Reste, A. Fontana, A. Samba, eds, *L'estuaire de la Casamance : environnement, pêche, socio-économie*, Dakar, Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 328 p.

Badiane, S., 1984. *Contribution à l'étude de l'écosystème mangrove en Basse-Casamance*, Dakar, Institut Sénégalais de Recherches Agricoles, Mémoire de confirmation CNRF, janv.1984).

Baker L., Herlihy A., Kaufmann P., Eilers J., 1991. Acidic Lakes and Streams in the United States: The Role of Acidic Deposition. *Science*, **252**, 1151-1154.

Barry-Gerard M., Kebe M., Thiam M., 1993. Exploitation des ressources halieutiques côtières dans les eaux sous juridiction sénégalaise » : 291-310, in A.T. Diaw, A. Bâ, P.

Barry B., 1989. Barrage-écluse de Guidel. Historique et problématique de gestion : 183-194, in C.B. Gaye, Deuxièmes journées de l'eau au Sénégal, recueil des communications, Dakar, université Cheikh Anta Diop, DEH.

Barry B., Boivin P., Brunet D., *et al.*, 1989. Évolution des stratégies d'aménagement hydro-agricoles des sols salés en Basse-Casamance » : 104-117, in C.B. Gaye, Deuxièmes journées de Veau au Sénégal, recueil des communications, Dakar, université Cheikh Anta Diop, DEH.

Barry B., 1989. Barrage-écluse de Guidel. Historique et problématique de gestion : 183-194, in C.B. Gaye, Deuxièmes journées de l'eau au Sénégal, recueil des communications, Dakar, université Cheikh Anta Diop, DEH.

Barry B., Boivin P., Brunet D., *et al.*, 1988. Évolution des stratégies d'aménagement hydro-agricole des sols salés en basse Casamance. Communication aux deuxièmes Journées de l'eau au Sénégal « Eau et Développement », 15p.

Barry B., 1988. La Sénégalie du xv^e au xix^e siècle. Traite négrière, Islam, conquête coloniale, Paris, Harmattan, coll. Racines du Présent, 432 p.

Barry B., Posner J.L., 1986. Suivi hydro-agricole du barrage anti-sel de Guidel : 291-306, in L. Le Reste, A. Fontana, A. Samba [eds], L'estuaire de la Casamance : environnement, pêche, socio-économie, Dakar, Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 328 p.

Barry B., Posner J.L., 1986. Bilan de trois années de suivi hydroagricole du barrage écluse de Guidel », in H. Dost [ed.], Selected papers of the Dakar symposium on acid sulphate soils (3^e Symposium international sur les sols sulfatés acides, 6-11 janvier 1986, Dakar), Wageningen, ILRI, 44, 251p.

Barry B., Posner J.L., Le Reste L., *et al.*, 1986. Synthèse des résultats de 3 années de suivi du barrage-écluse de Guidel (Basse-Casamance), Djibelor (Sénégal), Institut sénégalais de recherches agricoles, 51p.

Barry B., 1986. Situations des aménagements hydro-agricoles des sols salés de Basse-Casamance » : p. 241-252, in DSA-CIRAD, Aménagements hydro-agricoles et systèmes de production (Actes du III^e séminaire, 16-19 décembre 1986), Montpellier, DSA-CIRAD, coll. Doc. Syst. Agraires, tome I.

Barry B., Posner J.L., 1986. Suivi hydro-agricole du barrage anti-sel de Guidel : 291-306, in L. Le Reste, A. Fontana, A. Samba [eds], L'estuaire de la Casamance : environnement, pêche, socio-économie, Dakar, Centre Rech. Océanogr. Dakar-Thiaroye, 328 p.

Barry B., Posner J.L., 1985. « Suivi des zones salées en Basse-Casamance », in ISRA, USAID, Deuxième table ronde sur les barrages anti-sel en Basse-Casamance, Ziguinchor, 12-15 juin 1985.

Barry B., Posner J.L., 1985. Effet de la technique de préparation mécanique du sol et des systèmes d'aménagement sur le dessalement d'un sol de tanne, Djibelor (Sénégal), Institut sénégalais de recherches agricoles – Centre de recherches agricoles de Djibelor, 30 p.

Barry B., Posner J.L., 1985. Effet de la technique de préparation mécanique du sol et des systèmes d'aménagement sur le dessalement d'un sol de tanne, Djibelor (Sénégal), Institut sénégalais de recherches agricoles – Centre de recherches agricoles de Djibelor, 30 p.

Baskan, O., Dengiz, O., Gunturk, A., 2016. Effects of toposequence and land use-land cover on the spatial distribution of soil properties. Environmental Earth Science, p. 75 :448.

- Bassene O. A., 2016. L'évolution des mangroves de la Basse-Casamance au sud du Sénégal au cours des 60 dernières années : surexploitation des ressources, pression urbaine, et tentatives de mise en place d'une gestion durable. Thèse de Doctorat en cotutelle internationale Université Jean Monnet de Saint-Etienne (France) - Université Gaston Berger de Saint-Louis (Sénégal), 311p.
- Birkeland, P.W. 1999. Soils and geomorphology. 3rd edition; Oxford University Press, Oxford, England, 448p.
- Bocandé, B., 1849. Notes sur la Guinée Portugaise ou la Sénégalie méridionale, Bull. Soc. Géogr., mai-juin 1849, t. 11, n065-66. 265-350 et juillet -août 1849, t. 12, n 67-68 : p. 57-93.
- Boivin, P., Le Brusq j. Y., 1985. Recommandations concernant l'aménagement du domaine fluvio-marin en Basse Casamance : cas de la vallée de Coubalan, Dakar, Orstom, 5 p.
- Boivin, P., Loyer, j. Y., 1985. Évolution des sols salés de mangrove du périmètre réaménagé de Soukouta 1 au cours de la saison des pluies 1984 (vallée de Guidel-Casamance), Dakar, Orstom, 17 p.
- Boivin, P., Loyer, j. Y., 1989. Mise en valeur des mangroves au Sénégal : rapport final, Dakar, Orstom, 64 p.
- Bosc, P.M. 2005. A la croisée des pouvoirs : une organisation paysanne face à la gestion des ressources, Basse Casamance, Sénégal. Paris : IRD-CIRAD, Collection à travers champs, 310p.
- Bonnefond P., Loquay. A., 1985. Aspects socio-économiques de la riziculture en Basse et Moyenne Casamance, Rapport d'évaluation, République. Français ministère des relations extérieures coopération et développement, 228p.
- Bouboudou, H, Rachida H, Amina O., Alain B. A. D. 2009. Paramètres physico chimiques et flore fongique des sols de rizière Marocaine, Bull. Soc. Pharm. Bordeaux, 2009, 148, p. 17-44.
- Bouland, Diouf P.S. *et al.* 1992. Gestion des ressources côtières et littorales (Actes de l'atelier de Gorée 27-29 juillet 1992), [eds], Gland (Suisse), UICN, 485 p.
- Bourgeat F., 1972. Sols sur socle ancien à Madagascar : types de différenciation et interprétation chronologique au cours du Quaternaire. Paris: ORSTOM, 340 p. (Mémoires ORSTOM; 57). Th. Sci. Nat.: Strasbourg: no AO4085.

Bureau Pédologique du Sénégal, juillet 1994. Étude Pédologique de la vallée de Diégoune, CEE-FED-ILACO-SCET-coopération, 1963 : Aménagements hydro-agricoles en Casamance et Haute Gambie. Casamance continentale. Secteurs chantiers expérimentaux, 26 p.

Brabant P., 2010. Une méthode d'évaluation et de cartographie de la dégradation des terres. Proposition de directives normalisées. *Les dossiers thématiques du CSFD*. N°8. Août 2010. CSFD/Agropolis International, Montpellier, France. 52 pp.

Brunet, D., 1994. Un aménagement hydraulique simple pour la réhabilitation des sols salés : la riziculture en Basse Casamance. *Sécheresse*, 5, pp. 37-44.

Brunet-Moret, Y., 1970. Études hydrologiques en Casamance, Paris, Rapport ORSTOM, 52 p. 103 fig.

Carrillo J., Hugo T., Baye E., 2018. Évaluation de l'aide au développement de la France au Vietnam, (2005-2015), ISSN : 1962-9761, 28p. <https://www.afd.fr/fr/ressources/evaluation-de-laide-au-developpement-de-la-france-au-vietnam-2005-2015>.

Castillon P., Bouthier A., 2011. Principe et mécanismes : Pourquoi les sols s'acidifient ? ARVALIS-Institut du végétal, PERSPECTIVES AGRICOLES - N°374 - JANVIER 2011.

CEE-FED-ILACO., 1965. Aménagements hydro-agricoles en Casamance maritime. Rapport hydrologique sur les vallées de Nyassia et de Guidel.

CINAM-SERESA., 1961. Rapport sur les perspectives de développement au Sénégal, Rapport Régional, Dakar, Ministère du Plan, du Développement et de la Coopération Technique, 8 vol. dont 3 sur la Casamance.

Cissokho D., Coly J. P., Faye C., Diombaty I., 2019. Dégradation des rizières par salinisation à l'heure du changement climatique : une menace à la sécurité alimentaire à Baïla (Basse Casamance). *Revue Agriculture*. 10(2) : p.77 - 83.

Cormier M. C., 1992. Gestion et évolution des espaces aquatiques : La Casamance. Paris, Editions de l'ORSTOM, Collection Études et Thèses, 1992, 583p.

Cormier M. C., 1985. Les jeunes Diola face à l'exode rural cah. Orstom, & Sri. Hum., zd. Xxi, nos 2-3, 1985: pgy-27x.

Conseil régional de Kolda., 2003. Analyse stratégique de l'Environnement de la Région de Kolda DOCUMENT ADDITIF AU PLAN D'ACTION FORESTIER RÉGIONAL (PAFR), 21p.

CSE., 2000. Annuaire sur l'Environnement et les ressources naturelles du Sénégal,

CSE., 2008. Suivi des feux de brousse dans la Zone d'étude du PADERCA (2006-2007), 15p.

Dacosta H. 1989 : Précipitation et écoulement sur le bassin de la Casamance, Thèse de doctorat de 3ème cycle, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Faculté de Lettres et sciences humaines, Département de Géographie, Dakar 1989, 278 p.

Deffontaines J.-P 1973. Analyse du paysage et étude régionale des systèmes de production agricole. In: Économie rurale. N°98,1973.pp.3-13;doi:10.3406/ecoru.1973.2232 http://www.persee.fr/doc/ecoru_0013-0559_1973_num_98_1_2232.

Descroix, L., Sané, Y., Thior, M., *et al.*, 2020. Inverse Estuaries in West Africa: Evidence of the Rainfall Recovery? *Water*, p. 12(3), 647.

Descroix, L. 2018. Processus et enjeux d'eau en Afrique de l'Ouest soudano-sahélienne. <https://books.google.sn/books?id=aRhxDwAAQBAJ>, ISBN281300314X, 9782813003140, Éditions des archives contemporaines, 302p.

Descroix, L., Lalou, R., Bouaita, Y., *et al.*, 2017. Salinité et salinisation de la nappe phréatique du centre du bassin arachidier sénégalais). Colloque International Eau–Société–Climat'2017 (ESC-2017) Hammamet le 2, 3 et 4 oct. 2017.

Descroix L., Diongue N. A., Panthou G., Bodian A., *et al.*, 2015. Évolution récente de la pluviométrie en Afrique de l'Ouest à travers deux régions : la Sénégalie et le bassin du Niger moyen. *Climatologie*.;12 : p. 25-43.

Dessay N. 2006. Dynamique de la végétation et du climat : étude par télédétection de cinq biomes brésiliens, forêt ombrophile dense et ouverte, Cerrados, Caatinga et Campanha Gaúcha. Thèse de l'Université Paris X - Nanterre, 2006, 364 p.

Dia A., 2017. Etude de la consommation des céréales de base au Sénégal, feed the future Sénégal naatal mbay contract aid-685-c-15-00001, Feed the Future Senegal Naatal Mbay Project Economic Growth Office, USAID/Senegal Prepared by l'Initiative Prospective

Agricole et Rurale For RTI International 3040 East Cornwallis Rd. Post Office Box 121294
Research Triangle Park, NC 27709-2194 USA +1 (919) 541-6000, rapport final, 127p.

Diabang S., 2016. Bois-énergie et fumoir au quai de pêche de Kafountine. Mémoire universitaire, UASZ, 153 p.

Dianko, I., 2017. Impact de la salinisation sur les agrosystèmes de mangrove dans la commune de Diembéring. Mémoire de Master de géographie projet PGCEL, UASZ, 132 p.

Diédhiou L., 200. Projets de développement et représentations sociales en Basse Casamance : le DERBAC et le PROGES. Canada : université de Montréal, Thèse de doctorat en sociologie, 426 p.

Diémé A, Fall A.C.A.L., et Sané Y. 2021. Dynamique de la couverture forestière dans la commune de Diouloulou en Basse Casamance (Sénégal). Am. J. Innov. Res. Appl. Sci. 2021; 12(4): Xx-Xx. In Press.

Diémé A., 2018. Demande en bois-énergie et impacts socio-économiques et environnementaux dans la commune de Diouloulou, basse Casamance, Sénégal, Mémoire de Master en Environnement et Développement, UASZ ; 2018, 120 p.

Dièye E. H. B., Diaw A. T., Sané T. et Ndour N., 2013. Dynamique de la mangrove de l'estuaire du Saloum (Sénégal) entre 1972 et 2010. Cybergeog : European Journal of Geography. Doc 629.

Diop A., 2017. Évolution de l'occupation des sols et de la main-d'œuvre rizicole dans le Bandial en Basse Casamance. Sénégal : université Assane Seck de Ziguinchor, mémoire de Master de géographie, 104 p.

Diouf E., 2013. Ouvrages hydrauliques et modèles de gestion de l'eau dans le bassin du fleuve Casamance. Thèse en cotutelle internationale Université Paris Ouest-Nanterre La Défense (France) - Université Gaston Berger de Saint-Louis (Sénégal), 310p.

Diouf, M. B., 1986. Systèmes de culture ; division sexuelle du travail et adaptation à la sécheresse au nord de la Basse-Casamance : la dynamique sociale d'une stratégie paysanne, Djibelor, Institut Sénégalais de Recherches Agricoles-CRA, août 1986, 30 p.

Dobos. A & al., 1994. Amélioration de la fertilité des rizières de Basse-Casamance (Sénégal) en relation avec la gestion des eaux de ruissellement d'un bassin versant : premiers résultats et

perspectives, *Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale* Ed. John Libbey Eurotext. Paris, 1994. p. 289-301

Doucet R. 2006. Le climat et les sols agricoles, 2006 Éd. Berger, Eastman, Québec. Xv, 443 p, 2006.

Drianno, B., 2016. La montée de la langue salée en Basse-Casamance et ses conséquences : vers de nouvelles valorisations potentielles des terres ainsi contaminées ? mémoire de master, M2/MSc in Sustainability and Social Innovation, école des hautes études commerciales de Paris, 144 p.

Duchaufour P., Faivre P., Poulanard J., et Gury J., 2001. Introduction à la science du sol - Sol, végétation, environnement, 2001, 6e édition, dunot: ISBN: 20100483900, 331p.

Durand J.H., 1983. Les sols irrigables, Étude pédologique. Éd. Département de géographie de l'université de Paris – Sorbonne, 389 p, 1983.

Faye C., 2019. Changements climatiques observés sur le littoral sénégalais (Région de Dakar) depuis 1960 : Etude de la variabilité des tendances sur les températures et la pluviométrie, Nature et Technologie, EISSN 2437-0312, pp.65-78.

Fall A. C. A., Sane Y., 2020. Diagnostic des Contraintes de Mise en Valeur rizicole des Sols fluvio-marins du Marigot de Bignona, Basse Casamance, Sénégal, European Scientific Journal January 2020 éditions Vol.16, No.3 ISSN : 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431, Doi :10.19044/esj. 2020.v16n3p359, 2020.

Fall A. A., 2016 : Synthèse des études sur l'état des lieux chaîne de valeur riz en Afrique de l'Ouest : Bénin, Burkina Faso, Mali, Niger et Sénégal. Rapport, 83p.

Fall A. C. A. L., 2017. Sustainable management of coastal saline soils in the Saloum river Basin, Senegal. Int. J. Biol. Chem. Sci. 11(4) : 1903-1919.

Fall A. B., 2015. Impact des cuisinières solaires PCSA dans la conservation des déséquilibres écologiques et sociaux : cas de la commune de Ngaye Mékhé au Sénégal. 24 p.

FAO., 2016. Évaluation des ressources forestières mondiales 2015, 2ème édition, 54 p.

FAO-UNESCO., 1975. Carte mondiale des sols au 1 :5000 000e, volume 1, légende, Préparé par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Unesco – Paris, <http://www.fao.org/3/as360f/as360f.pdf>, 1975 68 p,

FAO., 2017. La transition du secteur du charbon de bois, Rapport, 12 p.

FAO-UNESCO., 1975. Carte mondiale des sols au 1 :5000 000°, volume 1, légende, 68 p.

Faye C.A.T., 2016. Dynamique des tannes du « Haut-Saloum » et mutations socio-spatiales dans l'axe Kaolack-Mbirkilane (Centre Ouest du Sénégal), Thèse de Géographie, UGB, 416p.

Girard M.C., 2010. Traitement des données de télédétection : environnement et ressources naturelles. Édit. Dunod, Paris, 2ème édition, 2010, 553 p.

Ghassemi, I., Jakeman, A.J., Nix, H.A. 1995. Salinisation of land and water resources. Human causes, extent, management and case studies, CAB International, Wallingford Oxon, UK.

Grdr (coord.), Sané T., Diéye E.H.B., Descroix L., 2017. Un littoral en mouvement. Diversité, dynamiques et mutations des territoires frontaliers du sud-ouest du Sénégal et du nord-ouest de la Guinée-Bissau. Paris : GRDR Migration-citoyenneté-développement, 138 p.

Guèye B., 2014. Spécialisation ou diversification ? Perspectives divergentes sur la riziculture irriguée par trois grands barrages dans le Sahel. International Institute for Environment and Development, London, UK. Première édition : Institut International pour l'Environnement et le Développement, (Royaume-Uni), 2014. ISBN : 978-1-78431-060-8, : <http://pubs.iied.org/17568FIIED>.

Guèye M., 2007. Sociétés rurales et développement durable. Transformations récentes des agricultures, stratégies paysannes et soutenabilité des systèmes ruraux en Afrique sahélo-soudanienne : cas du département de Bignona (Sénégal méridional). Thèse de doctorat, Université de Montréal, Département de géographie, Faculté des arts et des sciences. 229 pages.

INP., 1972. Méthodes d'analyses des sols : manuel pratique, 29 p, 1992.

ISSeP., 2014. Méthode d'échantillonnage des sols agricoles, rapport, 2014, 9p. Institut Scientifique de Service Public, Météorologie environnementale, recherche-Analyse, Essais-Expertises.

Kaid Rassou. K., 2009. Étude des interactions entre les eaux souterraines et les eaux de surface dans le bassin côtier d'Oualidia, Thèse de doctorat 3ème cycle, université cadi ayyad, faculté des sciences Semlalia Marrakech, 214p.

Koné B., Diatta S., Sylvester O., *et al.*, 2008. Estimation de la fertilité potentielle des ferrasols par la couleur, canadian journal of soil science, pp 331- 342.- Étude du sol de la région d'Aigrefeuille-sur-Maine (Loire-Atlantique) à partir de la base de données des analyses de terre (INRA) ; Donesol, <https://cdnsciencepub.com/doi/pdf/10.4141/CJSS07119> 18 p.

Lacharme, M. 2001. Mémento technique de riziculture pour la vallée du fleuve Sénégal. Fascicule 5 : La gestion de l'irrigation des rizières. 11 p.

Latham M., 1985. Carte des sols et carte d'aptitudes culturales et forestières à 1/50 000. Pam Ouégoa, Nouvelle-Calédonie. Paris, ORSTOM. (Notice n° 101).

LAHOU A., 1989. Modélisation des circulations transitoire et résiduelle : application à l'estuaire de la Casamance (Sénégal). Paris : ORSTOM, 425 p. (Travaux et Documents Microédités ; 55). Th. : Mécanique, Génie Mécanique, Génie Civil, Université des Sciences et Techniques du Languedoc : Montpellier. 1988/10/07. ISBN 2-7099-0959-6.

Lamant. J., 2018. Croissance végétale, Facteurs naturels, à partir <https://tpecv.wordpress.com/2018/02/10/le-complexe-argilo-humique/> 2018.

Legros I. P., 1978. Recherche et contrôle numérique de la précision en cartographie pédologique. II. Précision dans la caractérisation des sols. Ann. Agron., 29 (6), 583-601.

Loyer, J. Y., Boivin, P., Le Brusq, *et al.*, 1986. Les sols du domaine fluvio-marin de Casamance (Sénégal) : évolution récente et réévaluation des contraintes majeures pour leur mise en valeur. Dakar : ORSTOM, 11 p.

Loyer J. Y., 1983. La mise en valeur des sols des mangroves tropicales en relation avec leurs caractéristiques physico-chimiques. Atelier régional UNESCO-COMAR, Dakar, pp. 42-48.

Maléki.B.H. Kpérkouma W., Komlan B., Koff A., 2014. Analyse de la variabilité temporelle et spatiale des séries climatiques du nord du Togo entre 1960 et 2010, European Scientific Journal April 2014 éditions vol.10, No.11 ; ISSN : 1857 –7881 (Print) e -ISSN 1857-7431

Manzelli M., Fiorillo E., Bacci M., Tarchiani V., 2015. La riziculture de bas-fond au sud du Sénégal (Moyenne Casamance) : enjeux et perspectives pour la pérennisation des actions de réhabilitation et de mise en valeur. *Cah Agric* 24 : 301-312. doi : 10.1684/agr.2015.0772.

Marius C., 1985. Mangroves du Sénégal et de la Gambie : écologie, pédologie, géochimie, mise en valeur et aménagement. Paris : ORSTOM, 357 p. (Travaux et Documents de l'ORSTOM ; 193). Th. : Sci. Nat. Université Louis Pasteur : Strasbourg : 1984/03/30, ISBN 2-7099-0780-1. ISSN 0371-6023

Marius C., 1982. Évolution géochimique et exemple d'aménagement des mangroves au Sénégal (Casamance). *OCEANOLOGICA ACTA*, 1982 No SP, pp. 151-160.

Marius C., 1981. Acid sulphate soils of mangrove area in Senegal and Gambia, *Proceedings Bangkok Symposium on acid sulphate soils*, Publ. ILRI 31, Wageningen, 103-136.

Marius C., Cheval M., 1980. Note sur les sols de la vallée de Guidel. *ORSTOM Dakar*, 32p.

Marius C., 1979. Effets de la sécheresse sur l'évolution phytogéographique et pédologique de la mangrove en Basse Casamance. *Bulletin de l'I.F.A.N.*, T. 41, sér. A, n° 4, pp. 669- 691.

Mballo I., Sy O., Barry B., 2021. Vulnérabilités et stratégies d'adaptation des paysans face aux changements socio-environnementaux en Haute Casamance (Sud-Sénégal), <https://doi.org/10.4000/belgeo.48429>, 23 pages.

Mbodj S., 2008. Conseiller Technique en Aménagement et Environnement » ; in *Une meilleure valorisation des ressources des bas-fonds du Sine Saloum par la GIRE, Expérience du Programme de lutte contre la pauvreté en milieu rural dans le Bassin Arachidier 2004-2007*, 88p.

McKee, T. B., Doesken, N. J., and Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, in: *8th Conference on Applied Climatology*, Am. Meteorol. Soc. Boston, 179–184, 1993.

Mendy V., 2018. Dégradation des agroécosystèmes et problématique de la revitalisation de la riziculture en Basse Casamance, Thèse de doctorat, Université Assane Seck de Ziguinchor, 247 p.

Mering C., Andrieu J., San Emeterio J.L. et Toulouse B., 2010. Analyse spatio-temporelle du couvert végétal au Sahel par télédétection : intérêt d'une approche multiscalaire. In : *Les échelles pour les géographes et les autres*, colloque "Géopoint 2010" (Avignon), P. MARTIN édit., Édit. UMR ESPACE - Groupe Dupont, Avignon, p. 261-267

Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec : Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : Cahier 5, 2010. Échantillonnage des sols, Québec, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Août 2008, Révisé : 5 février 2010, 66p.

Montoroi J.-P. 2017. La salinisation des écosystèmes. De la dégradation insidieuse à la remédiation continue par les hommes. In : *Désertification et système terre. De la (re)connaissance à l'action*. Institut de la Francophonie pour le Développement Durable (IFDD). Liaison Énergie-Francophonie, n°105, pp. 67 - 69.

Montoroi J. P. 1996. Mise en valeur des bas-fonds en Basse-Casamance (Sénégal) ; Fonds documentaire ORSTOM, Agriculture et développement n°10, p. 61 - 73.

Montoroi J.P., 1996a. Gestion durable des sols de la mangrove au Sénégal en période de sécheresse. Dynamique de l'eau et géochimie des sels d'un bassin versant aménagé, Paris, Orstom, coll. Études et Thèses, 263 p.

Montoroi J.P., 1995. Mise en évidence d'une séquence de précipitation des sels dans les sols sulfatés acides d'une vallée aménagée de Basse-Casamance (Sénégal), C. R. Acad. Sci. Paris.

Montoroi J.R., Bouleau A., Millot G., 1994. Caractérisation minéralogique d'efflorescences salines en environnement acide extrême : le cas des sols sulfatés acides de Basse-casamance (Sénégal) » : 27 p., in 15^e réunion des sciences de la terre (Nancy, 26-28 avril 1994), Nancy, ILG, thème 6.

Montoroi J.P., 1994a. « Geochemical behavior of aluminium in saline acid sulfate sods of lower Casamance (Senegal): agricultural consequences for the rehabilitation of rice culture » : 303-304, in 15th World Congress of Soil Science (Acapulco (Mexico), July 1994), Transactions, ISSS, vol. 3b.

Montoroi J.P., 1994b. La dynamique de l'eau et la géochimie des sels du bassin versant de Djiguinoum (Casamance, Sénégal). Conséquences sur la gestion durable de l'écosystème de

mangrove en période de sécheresse, Nancy, université Nancy I (thèse doctorat pédologie), 349 p.

Montoroi J.P. 1993. La riziculture inondée en Basse-Casamance : contribution des petites barrages anti sel à la réhabilitation des bas-fonds chimiquement dégradés par la sécheresse ; ORSTOM, Laboratoire des formations superficielles, 72, route d'Aulnay, 93143 Bondy, France, p 303 - 316.

Montoroi J.P., Albergel J., Dobos A., 1993. Rehabilitation of rice fields in the acid sulphate soils of lower Casamance, Senegal »: p.195-203, in D. Dent, M.E.F. Van Mensvoort [eds], Selected papers of the Ho Chi Minh Ville symposium on acid sulphate soils (Symposium sur les sols sulphatés acides, mars 1992, Viêt-Nam), Wageningen (The Netherlands), ILRI, 53.

Montoroi J.P., Albergel J., *et al.*, 1993. A suitable water management for the rehabilitation of rice culture in the acid sulphate soils of lower Casamance (Senegal): a successful two years experiment »: 195-203, in D. Dent, M.E.F. Van Mensvoort [eds], Selected papers of the Ho Chi Minh Ville symposium on acid sulphate soils (Symposium sur les sols sulphatés acides, mars 1992, Viêt-Nam), Wageningen (The Netherlands), ILRI, 53.

Montoroi J.P., Carn M., Fritz B., *et al.*, 1993. Expérience d'évaporation d'une eau de surface salée et acide de la vallée de Djigouinoum (Basse-Casamance), Dakar, Orstom, 30 p.

Montoroi J.P., Dobos A., Fall M. *et al.*, 1993. La réhabilitation de la riziculture inondée en Basse-Casamance, Orstom-Actualités, 40 : p. 2-7.

Montoroi, J.-P., 1993. Les sols et l'agriculture dans le domaine estuarien de Basse Casamance. In Conservation et utilisation durable, des ressources naturelles du bassin hydrographique de la Casamance (pp. 52-59). G. Grepin, C. Pomerleau, J.-Y. Pirot (éditeurs), AJAC-ZG, ISRA, ORSTOM, UICN, Ziguinchor-Dakar, Sénégal, 1993, https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/b_fdi_33_34/38545.pdf.

Montoroi J.P., 1992b. Les sols et l'agriculture dans le domaine estuarien de la Basse Casamance » : 52-59, in G. Grepin, C. Pomerleau, J.Y. Pirot [eds], Conservation et utilisation durable des ressources naturelles du bassin hydrographique de la Casamance (Annales du séminaire tenu du 22 au 26 octobre 1990 à Ziguinchor (Sénégal)), Dakar, Ajac – ZG, Isra, Orstom, UICN, 167 p.

Montoroi J. R., 1992 c. Étude morpho-pédologique du bassin versant de Djiguinoum, Dakar, Orstom, 74 p.

Montoroi J.P., Albergel J., 1992. « L'intervention des hydrologues et pédologues de l'Orstom en Casamance » : p. 86-98, in G. Grepin, C. Pomerleau, J.Y. Pirot [eds], Conservation et utilisation durable des ressources naturelles du bassin hydrographique de la Casamance (Annales du séminaire tenu du 22 au 26 octobre 1990 à Ziguinchor (Sénégal)), Dakar, AJAC – ZG, Isra, Orstom, UICN, 167 p.

Montoroi J. P., 1991a. Étude du comportement hydrique des sols rouge et beige du bassin versant de Djiguinoum (Basse-Casamance), Campagnes de mesures 1990, Dakar, Orstom, 37 p.

Montoroi J. P., 1991b. Programme MRES n° 121 : « Réhabilitation des sols salés et acides de Basse-Casamance », Dakar, Orstom, rapport final, 16 p.

Montoroi J. P., 1991 c. Aptitudes des sols en agro-foresterie de la zone d'intervention du Projet de protection des forêts Sud de Ziguinchor, Dakar, Orstom, PPFS, 18 p.

Montoroi J. P., 1991d. Aptitudes des sols en agro-foresterie de la zone d'intervention du Projet de protection des forêts Sud de Ziguinchor : p. 87-110, in Inventaire biophysique de la région de Bignona en Basse-Casamance, Ziguinchor, PPFS, Biais McNeil.

Montoroi J. P., Touma J., 1990. Hydrodynamical properties of a matured acid sulphate soil in lower Casamance », in Actes du 14^e congrès international de la science du sol 11-19 août 1990, Kyoto (Japon), p. 1-282.

Montoroi J. R., 1989a. L'intrusion marine et son impact sur l'écosystème casamançais », in UICN, Orstom, Comm. réunion sur la « problématique de la langue salée », 15 février 1989, 10 p.

Montoroi J. R., 1989b. Contribution au rapport final du projet de recherche ATP-PIREN « Étude des transferts d'eau et de solutés dans les sols du domaine fluvio-marin de Basse-Casamance, en relation avec les problèmes d'acidité et de salure », Dakar, Orstom, 5 p.

Montoroi J. P., Peraudeau M., Zante P., 1986. Essai de mesure de la perméabilité des sols de la séquence de Coubalan par la méthode Porchet, Dakar, Orstom, 10 p.

Montoroi J. P., Touma J., Zante P., 1989. Caractérisation hydrodynamique « in situ » d'un sol sableux de la vallée de Katouré (Basse-Casamance), Dakar, Orstom, 36 p.

Montoroi J. P., Zante P., 1989a. Étalonnage d'une sonde neutro-nique en milieu chloruré (vallée de Katouré, Basse-Casamance), Dakar, Orstom, 18 p.

Montoroi J. P., Zante P., 1989b. « La mise en valeur des terres dégradées par la salinisation en Basse-Casamance (sénégal) », in Comm. séminaire Instituto de Ecologia (23-27 octobre 1989, Mexico), Dakar, Orstom.

Mougenot B., 1990. Caractéristiques spectrales des surfaces salées à chlorures et sulfates (Sénégal). 2^{ème} journée de télédétection : Caractérisation des milieux terrestres en régions arides et tropicales. Colloques et séminaires. ORSTOM, Bondy, 49-70.

Mulugeta D., Sheleme B., 2010. Characterization and Classification of Soils along the Toposequence of Kindo Koye Watershed in Southern Ethiopia. East African Journal of Sciences 4 (2) : p. 65-77.

Munroe J., 2018. Manuel sur la fertilité du sol, Publication 611F, 3^e édition, ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAAARO), 256p.

Nascimento *et al* 2015. Ediacaran to Cambrian magmatic suites in the Rio Grande do Norte; Journal of South American Earth Sciences 58 (2015) 281-299.

Nicholson, S.E., Funk, C. and Fink, A.H., 2018. Rainfall over the African Continent from the 19th through the 21st Century. Global and Planetary Change, 165, 114-127. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.12.014>.

Ouédraogo M., Dembélé Y., Somé L., 2010. Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso, Revue Juridique de l'Environnement Volume 21, numéro 2, avril-mai-juin 2010, DOI: 10.1684/sec.2010.0244
Page(s) : 87-96

PADERCA., 2008. Établissement de la situation de référence du milieu naturel en basse et moyenne Casamance rapport final, centre de suivi écologique pour la gestion des ressources naturelles, dt@cse.sn web: <http://www.cse.sn> . rapport final, 201p.

Pages J., Debenay (J.P.) et Le Brusq J.Y., 1987. L'environnement estuarien de la Casamance. Rev. Hydrobio 7. trop., 20 (3-4), pp:191-202.

PAM., 2007 : Rôle et l'Impact de l'Aide Alimentaire en Casamance, juin 2007, rapport, 45p.

Pélissier P., 1966. Les paysans du Sénégal. Les civilisations agraires du Cayor à la Casamance. PhD thesis, Saint-Yriex, Imp. Fabrègue, 939 p.

Poussin J. C., 1999. Effet du système de culture sur la variabilité des rendements dans les sols irrigués sahéliens en voie de salinisation, onzième réunion du groupe de réflexion sur l'étude de la solution du sol en relation avec l'alimentation des plantes (GRESSAP), IRD Dakar / Montpellier, 10p.

Ndiaye O., Diatta U., Abeudje A., *et al.*, 2021. Caractérisation des périmètres maraîchers institués par les groupements des femmes comme stratégie de résilience en zone post conflit (Casamance, Sénégal). *European Scientific Journal*, ESJ, 17(13), 118. <https://doi.org/10.19044/esj.2021.v17n13p118>.

Rafik F., Saber N., Zaakour, F., *et al.*, 2015. Caractérisation physico-chimique et estimation de la stabilité structurale des sols agricoles de la région sidi rahal, sahel (chaouia côtière, maroc). *European Scientific Journal*, ESJ, 11(27). Retrieved from <https://eujournal.org/index.php/esj/article/view/6258>

Ramade F., 2008. Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité 1^{re} édition Dunod, Paris, ISBN 978-2-10-053670- 2, 737 p.,

Reyniers F.N., Truong, B., Bois J.F., *et al.*, 1979. Caractérisation de l'enracinement du riz pluvial in situ avec le phosphore-32, IAEA-SM-235144, [https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_08_09/10092](https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_5/b_fdi_08_09/10092.pdf). pdf, pp 135-167,.

Riquier J., 1966. Définition et classification des sols ferrallitiques de Madagascar. Dans Cahier ORSTOM. Série Pédologie 4(4) :pp. 75-88, 1966, Fonds IRD [FA 18340] ; Bondy ; Montpellier (Centre IRD) ; Niamey (LASDEL), fdi:18340, https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cahiers/PTP/18340.PDF.

Ruellan A., 2010. Des sols et des hommes : Un lien menacé. Nouvelle édition [en ligne]. Marseille : IRD Éditions, 2010 (généré le 25 janvier 2024). Disponible sur Internet : <<https://books.openedition.org/irdeditions/8293>>. ISBN : 978-2-7099-1845-9. DOI : <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.8293>.

Saidi O., 2002. L'analyse du sol : un outil incontournable de gestion de la fertilité des sols, bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA, n°39, 4p.

Sall M., 2015. Les exploitations agricoles familiales face aux risques agricoles et climatiques : stratégies développées et assurances agricoles. Economies et finances. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2015. Français. - NNT : 2015 TOU 2006-3. tel-01342523

Sambou H., 2015. Dynamique de l'occupation du sol et impacts des micro barrages anti-sel sur les activités rizicoles en Basse Casamance (Sénégal), Thèse de doctorat de 3^{ème} cycle, Faculté des sciences et technique Institut des sciences de l'environnement (ISE), UCAD, 2019p.

Sané B., Cissé A., Faye C., et Sané T., 2020. Utilisation de l'indice standardisé de précipitation et d'évapotranspiration (SPEI) de 1950 à 2018 pour caractériser les tendances de la sécheresse sur la Basse Casamance, Revue Espace Géographique et Société Marocaine, n°32, pp. 107-133.

Sané Y., 2016. Impacts de la dégradation des rizières par salinisation et ensablement dans la commune de Tenghory : de et ensablement dans la commune de Tenghory : de Tenghory Transgambienne à Diourou, Mémoire de Master. Université Assane Seck de Ziguinchor ; 102p.

Sané Y., Fall A.C.A.L., Dièye A.B., *et al.*, 2021. Caractéristiques physico-chimiques des sols des vallées rizicoles du bassin versant de Diouloulou, Basse Casamance, Sénégal. Am. J. innov. res. appl. sci. 2021 ; 13(4) : p. 478-487.

Sané T. 2017. Vulnérabilité et adaptabilité des systèmes agraires à la variabilité climatique et aux changements sociaux en Basse- Casamance (Sud-Ouest du Sénégal). Paris : université Paris Diderot - Paris7, université Cheikh Anta Diop, 376 p.

Sané T., Dieye E. B., Solly B., Ba B. D., Thior M., Descroix L., Cormier-Salem M. C., Diakhate M. M., 2021. Vulnérabilité et résilience des socio-écosystèmes littoraux d'Afrique de l'Ouest : état des connaissances actuelles et interrogation sur le devenir du littoral sénégal-bissau-guinéen, Belgeo [En ligne], 1 | 2021, mis en ligne le 09 septembre 2021, consulté le 09 septembre 2021. URL: <http://journals.openedition.org/belgeo/50403>.

Sané T., et Mbaye I., 2007. État des lieux et étude diagnostique de l'environnement de la Casamance. Annales de la Faculté des Lettres et Sciences Humaines, n° 37/B, 2007, 20 p.

Sané Y., Ba B. D., Fall A.C.A.L., *et al.* 2018. Contraintes de mise en valeur des parcelles rizicoles dans le village de Colomba (département de Bignona), Sud du Sénégal, *Journal International Sciences et Technique de l'Eau et de l'Environnement* ISSN (electronic) : 1737 - 9350 ; ISSN (printed) : 1737 - 6688 ; volume III, Numéro 2, p. 134 - 140.

Sène A. M., 2018. Dégradation des rizières des bas-fonds dans un contexte de changement climatique en Basse Casamance (Sénégal). *Revue Espace Géographique et Société Marocaine* 20 : p. 129 - 143.

Servat E. *et al.*, 1998. Identification, caractérisation et conséquences d'une variabilité hydrologique en Afrique de l'ouest et central. *Water Resources Variability in Africa during the XXth Cen Jury Proceedings*, No. 252.

Simler R., 2007. Diagrammes. Laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon, Université d'Avignon, Logiciel d'hydrochimie Multi Langage en Distribution Libre, Avignon.

SY. B. A., 2009. Dégradation des terres rizicoles et baisse des rendements dans la Communauté Rurale de Mlomp (Sénégal), 2009, p. 45-43, 9p, RGLL/07/2009.

SY A. A., 2013. Dynamique sédimentaire et risques actuels dans l'axe Saint-Louis Gandiol, littoral Nord du Sénégal. Thèse de doctorat, UGB, 328 p.

Tavernier R., Maréchal, R., 1958. Cartes des associations de sols de la Belgique, dans *Pédologie*, VIII, pp. p. 134-182, 1 fig. 1 planche, Gand.

- Tessier, M, 2005. Quelques notions de fertilisation, deuxième édition, le site Internet du CDAQ : www.cdaq.qc.ca. 50 p.

Thior M., Sy A. A., Diédhiou S. O., *et al.*, 2019. Estuaire inverse de basse Casamance : Impacts sur la qualité de l'eau et des agrosystèmes en milieu insulaire. *EWASH & TI Journal*, Volume 3, Issue 3: p. 192 - 197.

Tijjani M.A., Hassan, I.M., 2017. Variability of some soil properties along toposequence on a basaltic parent material of Vom, Plateau State, Nigeria. *International Journal of Scientific & Technology Research* 6 (2) : p. 22- 26.

Toulmin C., et Guèye B., 2003. Transformations de l'agriculture Ouest africaine et rôle des exploitations familiales, Dossier no. 123, 103 p.

Touhtouh D., Moujahid Y., Faleh E.M., *et al.* 2014. Caractérisations physicochimiques de trois types de sols du Saïs, Maroc, *J. Mater. Environ. Sci.* 5 (5) (2014), ISSN : 2028-2508, CODEN : JMESCEN, http://webagris.inra.org.ma/doc/moujahid_051419.pdf pp 1524-1534.

Vieillefon J., 1977. Les sols des mangroves et des tannes de basse Casamance (Sénégal): importance du comportement géochimique du soufre dans leur pédogenèse. Mémoires ORSTOM 83, Paris, France, 298 p.

Vissin E. W., boko, M., Perard J., Houndenou C., 2003. Recherche de ruptures dans les séries pluviométriques et hydrologiques du bassin béninois du fleuve Niger (Bénin, Afrique de l'Ouest). Publications de l'Association Internationale de Climatologie, Besançon. VOL 15, pp 368-376.

YAO J., 2003. Méthode d'étude et de recherche en sciences économiques et sociales. Harmattan, 239 p.

Table des matières

DÉDICACE	2
REMERCIEMENT	2
SIGLES ET ACRONYMES	4
RÉSUMÉ	9
INTRODUCTION GENERALE	12
CHAPITRE 1. ÉTAT DE LA QUESTION, FONDEMENT THÉORIQUE ET CONCEPTUEL	17
1.1. Contexte scientifique et institutionnel	17
1.2. Problématique	18
1.3. Justification	23
1.4. Approche écologique et sociale	25
1.4.1. Comment aborder la dynamique des espaces agro écologiques ?	25
1.4.2. Comment aborder les mutations socio-économiques et spatiales ?	25
1.4.3. Approche temporelle	26
1.5. Approche géographique multi échelles	26
1.6. État de l’art	27
1.6.1. Apport des références bibliographiques sur la connaissance de la problématique de dégradation des terres rizicoles.	28
1.7. Objectifs	37
1.8. Hypothèses	38
1.9. Le fondement conceptuel	38
Chapitre II. CADRE MÉTHODOLOGIQUE : PRESENTATION DES METHODES DE TRAITEMENT ET D’ANALYSE	43
2.1. Méthodes et Données pour l’analyse de la situation climatique du BV Diouloulou	43
2.1.1. Les approches méthodologiques	44
2.1.1.1. Utilisation des indices appliqués à la pluviométrie	44
2.1.1.2. Utilisation des tests de tendances pluviométriques	47
2.1.2 Données agricoles	48
2.1.3 Les données de terrain	49
2.1.3.1 Prélèvement d’échantillonnage des sols	49
2.1.3.2. Composition de l’échantillon	50
2.1.3.3 Mesures et analyse au laboratoire	54
2.1. 4. Collecte des données d’enquêtes de terrain	60
2.2. Méthodes et données cartographiques	63
2.2.1. La délimitation du bassin versant de Diouloulou	63
2.2.2. La cartographie de l’occupation du sol	64
2.3. Le traitement et analyse des données	67
Conclusion	71

Chapitre III. CONTEXTE GÉOMORPHOLOGIQUE ET CLIMATIQUE DU BASSIN VERSANT DE DIOULOLOU -----	72
3.1. La géomorphologie du Bassin versant de Diouloulou -----	72
3.1.1. Relief et géométrie du bassin versant de Diouloulou -----	75
3.2. Caractérisation de la tendance hydro climatique actuelle en Basse Casamance septentrionale -----	80
3.2.1. Irrégularités de la pluviométrie -----	81
3.2.1.1. Variabilité de la pluviométrie en Basse Casamance Septentrionale -----	82
3.2.1.2. Ruptures et tendances des séries pluviométriques des différentes postes -----	82
3.2.1.2.1. Détection des ruptures et changements par le test de Pettitt -----	82
3.2.1.2.2. Analyse de la tendance des séries pluviométrique : appliquée au test de Mann Kendall -----	85
3.2.1.3. Étude de la variabilité pluviométrique et des températures par indice -----	86
3.2.1.3.1 Caractérisation de la variabilité pluviométrique par l'indice d'anomalie pluviométrique (IAP) et l'indice logarithme de déviations pluviométriques (IDP) -----	86
3.2.1.3.2. Étendue temporelle et spatiale des SPI en Basse Casamance septentrionale -----	89
3.2.1.4. Analyse de la pluviométrie par rapport aux différentes normales en Basse Casamance septentrionale. -----	90
3.2.2. Analyse des températures -----	91
3.2.2.1. Variabilité mensuelle des Températures -----	91
3.2.2.2. Variabilité interannuelle des températures à la station de Ziguinchor -----	92
3.2.3. Variation mensuelle de l'évaporation de 1960 à 2019 -----	93
3.2.4. Irrégularité de l'évapotranspiration -----	94
3.3. Discussion -----	96
Conclusion -----	98
CHAPITRE IV : ÉVOLUTION RÉCENTE DES RESSOURCES PÉDOLOGIQUES ET HYDRIQUES DES RIZIÈRES DU BASSIN VERSANT DE DIOULOLOU -----	99
4.1. Les différents types de sols du Bassin versant de Diouloulou -----	99
4.2. Processus de salinisation -----	104
4.2.1. La salinisation primaire -----	105
4.2.2. La salinisation secondaire -----	106
4.2.3. Évolution de la salinité des eaux de surface dans l'estuaire de la Casamance ---	107
4.2.3.1. Variabilité du taux de salinité dans l'estuaire de la Casamance -----	108
4.2.3.2. Variabilité de la salinité dans le bolon du Bassin versant de Diouloulou -----	112
4.3. Processus d'acidification -----	116
4.4. Les Caractéristiques physiques des sols des vallées rizicoles du Bassin Versant de Diouloulou -----	118
4.4.1. La texture des sols des rizières amont -----	118
4.4.2. La texture des sols des rizières aval -----	120
4.5. Les Caractéristiques chimiques des sols du Bassin Versant de Diouloulou -----	122
4.5.1. Les propriétés acido-basiques des sols des vallées du bassin versant de Diouloulou ---	122

4.5.2. La salinité des sols des rizières du bassin versant de Diouloulou-----	126
4.5.3. Classification de Piper des échantillons de sédiments du BV Diouloulou -----	130
4.5.4. La fertilité des sols dans le Bassin versant de Diouloulou -----	131
4.5.4.1. La capacité d'échange cationique des sols du Bassin versant de Diouloulou-----	134
4.6 Discussion-----	137
Conclusion -----	140
CHAPITRE V : DYNAMIQUE ET RECOMPOSITION DE L'ENVIRONNEMENT BIOPHYSIQUE ET SOCIAL DU BASSIN VERSANT DE DIOULOULO-----	141
5.1. La dynamique de l'occupation du sol à l'échelle du Bassin versant de Diouloulou-----	142
5.2. La dynamique de l'occupation du sol à l'échelle des terroirs villageoise du Bassin versant de Diouloulou -----	147
5.2.1. État d'occupation du sol du terroir de Kabiline-----	147
5.2. 2. État d'occupation du sol du terroir de Darou Khairy -----	152
5.2.3. État d'occupation du sol du terroir de Dar Salam Cherif -----	156
5.3. Discussion -----	167
Conclusion -----	168
Chapitre VI : POLITIQUES DE REDYNAMISATION DE LA RIZICULTURE ET STRATÉGIES DE DIVERSIFICATION DES SOURCES DE REVENUS DES PAYSANS-----	169
6.1 Historique de la mise en valeur rizicole -----	169
6.2 Lever des contraintes de mise en valeur des parcelles rizicoles -----	172
6.2.1 La lutte mécanique : digues anti-sel et micro-barrages -----	172
6.2.2 La lutte agronomique ou culturale -----	174
6.2.2.1 Le labour superficiel du sol -----	174
6.2.2.2 Introduction de la mécanisation de la riziculture dans Bassin versant -----	175
6.2.3 Le reboisement de la mangrove-----	177
6.2.4 L'amendement des terres rizicoles par l'engrais naturel -----	178
6.2.5. L'accès aux intrants (engrais, semences certifiées et améliorées) -----	179
6.3. Blocages techniques et socio-économiques des efforts de mise en valeur des vallées rizicoles dans le Bassin versant de Diouloulou. -----	184
6.3.1. Les facteurs environnementaux de blocage de la mise en valeur des vallées rizicoles du Bassin versant de Diouloulou. -----	184
6.3.2. Les facteurs socio-économiques de blocage de la mise en valeur des vallées rizicoles du Bassin versant de Diouloulou. -----	186
6.3.3. Les facteurs agronomiques de limitation de la mise en valeur des vallées rizicoles du Bassin versant de Diouloulou. -----	188
6.4 La diversification des sources de revenus comme alternative -----	191
6.4.1 l'arboriculture dans le bassin versant de Diouloulou-----	191
6.4.2 Le Maraîchage dans le Bassin versant de Diouloulou -----	193

6.4.3 Production de l'huile de Palme dans le Bassin versant de Diouloulou -----	196
6.4.4 La saliculture dans le Bassin de Diouloulou -----	198
6.5. Discussions -----	200
Conclusion -----	204
CONCLUSION GENERALE-----	205
Bibliographie-----	208
ANNEXES -----	236

Liste des photos et planche

Photo 1: balance électronique	54
Photo 2: photométrie de flamme ANA-135	56
Photo 3: Étendue de parcelles rizicoles abandonnées (cliché SANE 2020).....	97
Planche 1: prélèvement des échantillons de sols à l'aide d'une tarière	49
Planche 2: conditionnement d'un échantillon dans un sachet plastique	52
Planche 3: conductimètre et refractomètre	53
Planche 4 : granulométrie à diffraction laser « Mastersizer 3000 ».....	54
Planche 5 : dépôt de cristaux de sel au niveau des parcelles rizicoles à Birkamading	95
Planche 6: : culture du riz près de la mangrove ou du cours d'eau (Sané 2020)	112
Planche 7: parcelle de riz affecté par le sel à Colomba (Sané, 2019)	129
Planche 8 : assèchement précoce de l'eau d'une parcelle avant la maturité du riz à Darou Khairy (Sané, 2019)	137
Planche 9 : efflorescences salines dans une parcelle rizicole abandonnée à Mohamouda Chérif	138
Planche 10: verger d'agrumes dans le village de Colomba (Sané, 2020)	163
Planche 11: défrichage dans une zone boisée pour l'installation d'un verger à Badionkoto (Sané, 2020)	165
Planche 12 : avancée des tannes au détriment des rizières à Darsalam (Sané, 2020)	166
Planche 13: végétation de mangrove à Kabiline (Sané, 2020).....	168
Planche 14: : des drains pour faciliter l'évacuation des eaux (Cliché Sané 2020).....	173
Planche 15: quelques méthodes de lutte mécanique dans le bassin versant de Diouloulou : endiguement et micro-barrage (Cliché Sané, 2020).....	174
Planche 16 : labour au « kadiandou » et repiquage du riz dans la vallée de Kabiline (Cliché Sané, 2020).....	175
Planche 17: opération de labour au tracteur à Kabiline (Cliché Sané 2020).....	177
Planche 18 : reboisement de la mangrove à Colomba (La Fédération Régionale des Groupements de Promotion Féminine de la région de Ziguinchor) (Cliché SANE. 2020) ...	178
Planche 19: collecte de fumier organique (feuilles de manguiers et bouses de vache) pour la fertilisation des rizières à Kolomba (Cliché Sané, 2020).....	179
Planche 20: parcelle de diffusion des informations climatique à Kabiline (Cliché SANE 2020)	180
Planche 21: digues détériorées par manque de renouvellement dans la vallée de Birkamading (Cliché Sané, 2020)	186
Planche 22: barrage abandonné par manque de renouvellement de la Digue à Karongue (Cliché Sané, 2020)	186
Planche 23: digue d'environ 1,5km dont la partie protégée des rizières est sous exploitée à Karantaba (Cliché Sane 2020).....	187
Planche 24: arboriculture à Colomba (Cliché Sané, 2020)	192
Planche 25: quelques spéculations (piment, tomate, chou, Aubergine amère, etc.) à Colomba (Cliché Sané 2020)	194
Planche 26: des puits non équipés de motopompe à Bandionkoto (Cliché SANE 2020).....	196
Planche 27: exploitation collective de l'huile de palme à Kabiline2 (Cliché SANE 2020)...	197
Planche 28: saliculture ignigène à Dar Salam (Cliché Sané, 2019)	199
Planche 29:: saliculture solaire dans le village de Bandiokoto (cliché, Sané, 2019)	200
Planche 30: bœufs en divagation dans la vallée de Mohamouda chérif (Cliché, Sané, 2019)203	
Planche 31: clôture pour protéger les rizières contre la divagation des bœufs à kataba 1	203

Liste des Cartes

Carte 1: localisation du Bassin versant de Diouloulou	16
Carte 2: localisation des stations pluviométriques	44
Carte 3 : répartition spatiale des sites de mesures de la salinité et du potentiel hydrogène de l'eau du marigot de Diouloulou	53
Carte 4 : relief du Bassin versant de Diouloulou	76
Carte 5 : transect des coupes topographiques dans le Bassin versant de Diouloulou	77
Carte 6: domaines climatiques du Sénégal (Sagna, 2008)	81
Carte 7: localisation des stations pluviométriques	82
Carte 8: évolution spatiale et temporelle des SPI en Basse Casamance Septentrionale	89
Carte 9: types de sols du bassin versant de Diouloulou	103
Carte 10: Localisation des points de mesure de salinité des eaux du fleuve Casamance (Descroix et al., 2020)	108
Carte 11 : salinité dans l'estuaire de la Casamance en novembre 2016 et 2017 (Descroix et al., 2020).....	109
Carte 12: salinité dans l'estuaire de la Casamance en mai 2017 et mai 2018 (Op. cit)	110
Carte 13: salinité de l'estuaire de la Casamance en novembre 2018 et mai 2019 (Op. cit)....	110
Carte 14 : points de mesures de salinité dans le Bassin versant de Diouloulou.....	113
Carte 15: salinité du bolon de Diouloulou en septembre 2018 et 2019	114
Carte 16: salinité du bolon de Diouloulou en juin 2018 et 2019.....	115
Carte 17: représentation spatiale des échantillons en fonction du degré d'acidité des sols ...	124
Carte 18: représentation spatiale de la salinité des sols dans les vallées du BV de Diouloulou	129
Carte 19: dynamique de l'occupation du sol du BV de Diouloulou de 1968 à 2019.....	146
Carte 20 : dynamique de l'occupation du sol du terroir villageois de Kabiline 1968 – 2020	152
Carte 21: dynamique de l'occupation du sol du terroir villageois de Darou Khairy 1968 - 2020	156
Carte 22: dynamique de l'occupation du sol du terroir villageois de Dar Salam Chérif de 1968 à 2020	161

Liste des graphiques

Graphique 1 : du champ au laboratoire (adapté de Monroe, 2018).....	51
Graphique 2 : résumé de la méthode cartographique de l'occupation du sol.....	67
Graphique 3: interface du logiciel R x64 3.4.3 (1) et diagramme texturale triangulaire (2)....	68
Graphique 4 : interface du logiciel Diagramme (1) et diagramme de piper (2).....	69
Graphique 5 : coupe topographique du transect A – B	77
Graphique 6: coupe topographique du transect C – D dans le Bassin Versant de Diouloulou	78
Graphique 7: coupe topographique du transect E – F dans le Bassin Versant de Diouloulou.	78
Graphique 8 : résultats du test de Pettitt sur les 3 postes pluviométriques du Département....	84
Graphique 9: variabilité des indices d'anomalies pluviométriques à la station de Bignona, Tendouck et Diouloulou	87
Graphique 10: indice de déficit pluviométrie à Bignona, Tendouck et Diouloulou	88
Graphique 11: évolution des températures, station de Ziguinchor de 1951 à 2016	93
Graphique 12: variation mensuelle de l'évaporation de 1960 à 2019 (mm/jour)	94
Graphique 13: évolution mensuelle des températures et de l'évapotranspiration potentielle 1960 à 2019 (Sané et al. 2023)	94
Graphique 14: granulométrie d'échantillons des rizières amont des vallées du BV de Diouloulou.....	119

Graphique 15:giagramme triangulaire des classes texturale des sols des rizières en amont des vallées du Bassin versant de Diouloulou.....	119
Graphique 16 : granulométrie d'échantillons prélevés des rizières en aval des vallées du Bassin versant de Diouloulou.....	120
Graphique 17: diagramme triangulaire des classes texturales des sols des rizières en aval des vallées du Bassin versant de Diouloulou.....	121
Graphique 18 : caractéristiques de drainage et de rétention d'eau des principales classes de texture de sol (Munroe, 2018)	122
Graphique 19: pourcentage des échantillons selon leur degré d'acidité	123
Graphique 20: processus d'acidification des sols (adapté de Marius, 1986)	126
Graphique 21: proportion des échantillons en fonction de leur niveau de salinité	127
Graphique 22 : cycle des sels dans le sol (adapté par Lahlou et al. 2000)	128
Graphique 23: diagramme de Piper des sédiments des rizières en amont des vallées du BV de Diouloulou.....	130
Graphique 24: diagramme de Piper des sédiments des rizières en aval des vallées du BV de Diouloulou.....	131
Graphique 25 : échange cationique, adaptée de Doucet (2006).....	139
Graphique 26: évolution de la population du département de Bignona de 1976 à 2013 (DPS 1976, 1988 ; ANSD, 2002, 2013).....	162
Graphique 27:: contraintes de mise en valeur des parcelles rizicole dans le Bassin versant de Diouloulou (source : Sané enquête)	164
Graphique 28: évolution de la production rizicole dans le département de Bignona de 1960 à 2019 (source : DAPSA, 2020).....	166
Graphique 29 : activités principales des ménages interrogés.....	191
Graphique 30: ménages qui disposent d'au moins un verger.....	192
Graphique 31: processus de transformation de l'huile de palme par les GIE des villages de Bandjikaky et de Kabiline (BA, 2020).....	198
Graphique 32: ménages qui pratiquent la saliculture	199

Listes des Tableau

Tableau 1: liste des postes pluviométriques utilisés et période des séries	44
Tableau 2: signification des valeurs de SPI (Faye, 2017)	45
Tableau 3 : classification des séquences de sécheresse selon l'IDP	46
Tableau 4 :classification des séquences de sécheresse selon IAP.....	47
Tableau 5 : le statut acido-basique des sols selon le projet PNUD/FAO.....	59
Tableau 6: classe de la qualité des sols (Durand, 1983).....	60
Tableau 7 : synthèse de la méthode d'échantillonnage (ANSD, 2013).....	62
Tableau 8 : perception des tendances paysagères du bassin versant de Diouloulou.....	66
Tableau 9 : synthèse des données utilisées.....	70
Tableau 10: paramètres morphométriques du Bassin de Diouloulou Source : (Sané (2020)...	79
Tableau 11: années de changements et taux de variations des séries pluviométriques.....	85
Tableau 12 : résultat du test de Mann Kendall.....	86
Tableau 13: caractéristiques moyennes des pluies selon différentes normales (en mm)	91
Tableau 14 : valeurs extrêmes des températures maximales à Ziguinchor (1951-2016)	92
Tableau 15 : valeurs extrêmes des températures minimales à Ziguinchor (1951-2016).....	92
Tableau 16: statistiques des différents types de sols du bassin de Diouloulou (ORSTOM, 1986).....	104

Tableau 17: évolution de la salinité dans l'estuaire de la Casamance (Marius, 1985 ; LMI PATEO, 2019).....	110
Tableau 18: évolution de la salinité des eaux du bolon dans le Bassin de Diouloulou en g/l	116
Tableau 19 : statistiques descriptives des pH et CE des sols du bassin versant de Diouloulou	122
Tableau 20 : niveau de tolérance des spéculations à l'acidité du sol	125
Tableau 21: classe de la qualité des sols selon l'échelle de Durand (1983).....	127
Tableau 22: les caractéristiques physico-chimiques des sols des rizières amont du bassin versant de Diouloulou	132
Tableau 23: caractéristiques physico-chimiques des sols des rizières aval du bassin versant de Diouloulou.....	133
Tableau 24: éléments d'interprétation de la valeur de la CEC des sols (Lamant 2018)	135
Tableau 25: CEC des sols des rizières des vallées du BV de Diouloulou (Source : données terrain, 2020)	136
Tableau 26: CEC des sols des rizières en aval des vallées du BV de Diouloulou. (Source : données terrain, 2020)	136
Tableau 27: dynamique de l'occupation du sol du BV de Diouloulou de 1968 à 2019.....	142
Tableau 28: dynamique de l'occupation du sol du BV de Diouloulou entre 1968 et 2006 ...	143
Tableau 29: dynamique de l'occupation du sol du BV de Diouloulou entre 1968 et 1987 ...	144
Tableau 30: dynamique de l'occupation du sol du BV de Diouloulou entre 1987 et 2019 ...	144
Tableau 31: dynamique de l'occupation du sol du BV de Diouloulou entre 1987 et 2006 ...	145
Tableau 32 : dynamique de l'occupation du sol du BV de Diouloulou entre 2006 et 2019 ..	145
Tableau 33 : dynamique de l'occupation du sol du terroir de Kabiline 1968 - 2020.....	148
Tableau 34: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Kabiline 1968 - 2004.....	149
Tableau 35: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Kabiline 1968 - 1987.....	149
Tableau 36: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Kabiline 1987 - 2020.....	150
Tableau 37: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Kabiline 1987 - 2004.....	151
Tableau 38: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Kabiline 2002 - 2020.....	151
Tableau 39 : dynamique de l'occupation du sol du terroir de Darou Khairy 1968 - 2020.....	153
Tableau 40: évolution statistique de l'occupation du sol du terroir de Darou Khairy 1968 et 2004	153
Tableau 41: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Darou Khairy 1987 - 2020.....	154
Tableau 42 : dynamique de l'occupation du sol du terroir de Darou Khairy 1968 - 2004.....	155
Tableau 43 : dynamique de l'occupation du sol du terroir de Darou Khairy 2004 - 2020.....	155
Tableau 44: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Dar Salam 1968 - 2020.....	157
Tableau 45: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Dar Salam 1968 - 2004.....	158
Tableau 46: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Dar Salam 1968 - 1987.....	158
Tableau 47: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Dar Salam 1987 - 2020.....	159
Tableau 48: dynamique de l'occupation du sol du terroir de Dar Salam 1987 - 2004.....	160
Tableau 49 : dynamique de l'occupation du sol du terroir de Dar Salam 2004 et 2020	160
Tableau 50 : activités de services rendues et modalités de paiement.....	176
Tableau 51: : production de semence en 2018	181
Tableau 52: accès aux intrants en 2018.....	182
Tableau 53: facteurs environnementaux de blocage de la mise en valeur des vallées rizicoles du Bassin versant de Diouloulou.....	185
Tableau 54: : facteurs socio-économiques de limitation de la mise en valeur des vallées rizicoles du Bassin versant de Diouloulou	188
Tableau 55 : synthèse de l'investissement à l'hectare pour la production de semence.....	189
Tableau 56: : facteurs agronomiques de limitation de la mise en valeur des vallées rizicoles du Bassin versant de Diouloulou.....	190

Tableau 57: Revenus par campagne des ménages issus de quelques activités extra rizicoles dans le Bassin de Diouloulou	193
Tableau 58 : revenus par campagne des ménages issus de quelques activités extra rizicoles dans le Bassin de Diouloulou	195
Tableau 59: : évolution de la production de l'huile de palme de 2010 à 2017	197
Tableau 60 : revenus par campagne des ménages issus de la saliculture dans le Bassin de Diouloulou.....	200

Liste des annexes

Annexe 1: Questionnaire : Dégradation des terres rizicoles par salinisation et acidification dans le Bassin du marigot de Diouloulou en Basse Casamance	236
Annexe 2: quelques programmes et projets agricoles en Basse Casamance depuis l'indépendance jusqu'en 2020.....	243
Annexe 3: statiques issue de la cartographie de l'occupation du sol du bassin versant de Diouloulou.....	246
Annexe 4: carte d'occupation du sol du terroir de Mohamouda cherif.....	247
Annexe 5 : carte d'occupation du sol du terroir de colomba.....	249
Annexe 6: statiques issue de la cartographie de l'occupation du terroir de Colomba	250
Annexe 7: carte d'occupation du sol du terroir de Bandiokoto.....	251
Annexe 8: Statistique des classes d'occupation du sol du terroir de Bandiokoto	252

ANNEXES

Annexe 1: Questionnaire : Dégradation des terres rizicoles par salinisation et acidification dans le Bassin du marigot de Diouloulou en Basse Casamance

I. IDENTIFICATION DE L'EXPLOITANT

Village

Oui...../ Non..... /

Date de l'enquête.....

Age

Sexe

Ethnie

Diola...../ Bainouck...../ Balante

Mandingue...../ Manjak.../ Poular.../

Wolof / Sérère / Mancagne.... /

Autres...../

Profession :

paysan/Menagère...../Fonctionnaire

.../Marchand...../Eleveur.../Autre.....

...

1. **Combien de personnes compte le ménage?**

.....
.....

II. ACCES AU FONCIER

2. **Etes-vous propriétaire de la ou des parcelles (s) que vous exploitez ?**

Oui...../ Non...../

3. **Comment l'avez-vous acquis ?**

Héritage..... /

Achat..... /

Emprunt...../

Location...../

4. **Qui a le droit de donner la terre ?**

Chef de ménage...../

Chef de village..... /

Conseil des sages...../

Maire /

Autres à préciser...../

5. **Avez-vous suivi une formation en agriculture ?**

III. ACTIVITES SOCIO-ECONOMIQUES

6. **Quelle est votre activité principale?**

Culture de rente (arachide, mil, sorgho, Niébé etc.....)/

Riziculture..... /

Arboriculture...../

Maraîchage /

Élevage...../

Pêche...../

Foresterie...../

Artisanat...../

Autres...../

7. **Pratiquez-vous d'autres activités?**

Oui.... / Non...../

8. **Si oui lesquelles?**

Agriculture (culture céréalière et culture commerciale)...../

Riziculture /

Arboriculture...../

Maraîchage...../

Élevage /

Pêche...../

Foresterie...../

Artisanat..... /

Autres /

III.1. RIZICULTURE

9. **Quel type de riziculture pratiquez-vous ?**

Riziculture de plateau...../

Riziculture de nappe /

Riziculture inondée..... /

10. **Quelle est la répartition des tâches selon les sexes dans les rizières ?**

- Désherbage/ Femmes/
Hommes...../ Les deux...../
- Apport de fumier:** Femmes.... /
Hommes/ Les deux.... /
- Labour :** Femmes.../ Hommes...../
Les deux...../
- Semis ou repiquage :** Femmes /
Hommes/Les deux..... /
- Sarclage:** FemmesHommes/
Les deux..... /
- Gardiennage :** Femmes.... /
Hommes.... / Les deux...../
- Récolte :** Femmes/ Homme/
Les deux...../
11. **Quelle appréciation faites-vous de la qualité des sols des rizières?**
Bonne...../ Moyenne...../ Mauvaise...../
12. **Avez-vous noté une dégradation des sols des rizières?**
Oui...../ Non...../
13. **Depuis quand avez-vous constaté cette dégradation ?**
Avant les années de sécheresse...../
Pendant les années de sécheresse.... /
Après les années de sécheresse...../
14. **La productivité des sols a-t-elle augmenté ?**
Oui...../ Non..... /
15. **Si oui, à quel rythme ?**
Très faiblement...../
Faiblement..... /
Moyennement...../
Fortement...../
Très fortement...../
16. **La productivité des sols a-t-elle diminué ?**
Oui...../ Non..... /
17. **Si oui, à quel rythme ?**
Faiblement...../
Moyennement...../
Fortement...../
18. **Utilisez-vous Les fertilisants?**
Oui...../ Non..... /
19. **si non Pourquoi?**
Manque de moyens...../
Pas nécessaire..... /
Manque de main-d'œuvre...../
Autres (à préciser)..... /
20. **Si oui, à quelle fréquence?**
Régulièrement...../
Souvent/
Rarement...../
21. **Quel type de des fertilisants utilisez-vous?**
Fumure organique /
Engrais chimique..... /
Autres (à préciser)..... /
22. **Quelle est la quantité d'engrais chimique que vous utilisez par hectare?**
.....
23. **Pratiquez-vous la jachère de régénération dans les rizières?**
Oui/ Non...../
24. **Si oui,) quelle est la durée de la jachère?**
Moins de 2 ans/
2 à 5 ans /
Plus de 5 ans..... /
25. **Si non, pourquoi?**
Manque de terre...../
Pas nécessaire...../
Autres (à préciser).....
26. **Pratiquez-vous le labour?**
Oui...../ Non..... /
27. **Si non, pourquoi?**
Manque de main d'œuvre..... /
Pas nécessaire...../
Autres /
28. **Quel type de labour pratiquez-vous ?**
Plat...../ Billon...../
29. **Quels instruments utilisez-vous pour le travail du sol ?**
Traction animale...../
Fanting...../
Kajendu...../
Motoculteur...../
Tracteur...../
Autres (à préciser)...../
30. **Utilisez-vous des semences certifiées ?**
Oui...../ Non..... /
31. **Si oui, comment l'avez-vous eu ?**
Achat.... / Don .../Réserve personnelle...../
32. **Si achat, les semences sont-elles subventionnées ?**
Oui...../ Non..... /

33. Vous est-il arrivé d'abandonner des parcelles rizicoles?

Oui..... / Non...../

34. Si oui, quelle en était la raison ?

Salinisation..... /

Acidité (boucésabou)...../

Manque de main d'œuvre...../

Toxicité ferreuse...../

Manque d'eau..... /

Baisse de fertilité des sols...../

Ensablement/

Autres (à préciser)..... /

35. Quelles sont selon vous par ordre d'importance les contraintes majeures à la riziculture dans votre localité?

1.....

2.....

3.....

4.....

36. Que faites-vous pour faire face à ces contraintes ?

Construction de digues.../

Construction de drain...../

Amendement avec du fumier organique...../

Sensibilisation...../

Autre (à préciser)..... /

37. Que faites-vous pour protéger et conserver la fertilité de vos sols ?

Fumure minérale..... /

Fumure organique..... /

Enfouissement de paille...../

Autre (à préciser)..... /

38. L'Etat ou les ONG interviennent-ils dans la lutte contre ces fléaux au niveau de votre vallée ?

Oui...../ Non..... /

39. Si non pourquoi ?

.....

40. Si oui quelles sont leurs réalisations ?

Réalisation de digues...../

Construction de mini-barrages...../

Formation/

Don de semences améliorées.... /

Subvention de semences/

Autre (à préciser)..... /

41. Avez-vous une fois reçu une subvention de l'Etat ou des ONG ?

Oui..... / Non...../

42. Si non, pourquoi ?

.....

43. Si oui, dans quel domaine ?

Achat de matériels agricoles.... /

Achat d'engrais.... /

Achat de semences..... /

Autre (à préciser)...../

44. Comment appréciez-vous l'intervention de l'Etat ou des ONG ?

Satisfait.... / Moyennement satisfait.... /

Pas satisfait.... /

45. Avez-vous l'intention d'augmenter les superficies cultivées pour accroître votre production rizicole ?

Oui...../ Non...../

46. Si non pourquoi ?

.....

47. Si oui comment ?

Mécanisation..... /

Construction de drains/

Construction de digues..... /

Autre (à préciser)..... /

48. Etes-vous pour un remembrement du parcellaire rizicole ?

Oui/ Non..... /

III.1.1. Main-d'œuvre rizicole

49. Tous les membres de votre famille participent-elles aux travaux rizicoles?

Oui.... / Non...../

50. Quel est le nombre d'actifs dans les travaux rizicoles?

...../

51. Faites-vous partie d'une association d'entraide pour les travaux rizicoles?

Oui..... / Non...../

52. Faites-vous appel à une main d'œuvre extérieure?

Oui...../ Non..... /

53. Si non Pourquoi ?

- Manque de moyens.....:/
 Pas besoin..... /
54. **Si oui combien avez-vous dépensé en FCFA pour payer cette main-d'œuvre?**
55. **Nettoyage :** Moins de 10000.... /
 Entre 10000 – 20000..... /
 Entre 21000 - 30000..... /
 Entre 31000 - 40000..... /
 Entre 41000 - 50000..... /
 Entre 51000 - 70000..... /
 Entre 710000 - 90000..... /
 Entre 91000 - 100000..... /
 Plus de 100000..... /
56. **Apport de fumier**
 Moins de 10000..... /
 Entre 10000 – 20000..... /
 Entre 21000 – 30000..... /
 Entre 31000 – 40000..... /
 Entre 41000 & 50000..... /
 Entre 51000 - 70000..... /
 Entre 710000 - 90000..... /
 Entre 91000 - 100000..... /
 Plus de 100000..... /
57. **Labour**
 Moins de 10000..... /
 Entre 10000 – 20000..... /
 Entre 21000 - 30000..... /
 Entre 31000 - 40000..... /
 Entre 41000 & 50000..... /
 Entre 51000 - 70000..... /
 Entre 710000 - 90000..... /
 Entre 91000 - 100000..... /
 Plus de 100000..... /
58. **Semis ou repiquage**
 Moins de 10000..... /
 Entre 10000 – 20000..... /
 Entre 21000 - 30000..... /
 Entre 31000 - 40000..... /
 Entre 41000 & 50000..... /
 Entre 51000 - 70000..... /
 Entre 710000 - 90000..... /
 Entre 91000 - 100000..... /
 Plus de 100000..... /
59. **Sarclage**
 Moins de 10000..... /
 Entre 10000 – 20000..... /
 Entre 21000 - 30000..... /
 Entre 31000 - 40000..... /
 Entre 41000 & 50000..... /

- Entre 51000 - 70000..... /
 Entre 710000 - 90000..... /
 Entre 91000 - 100000..... /
 Plus de 100000..... /

60. **Autre à préciser :**

- Moins de 10000..... /
 Entre 10000 – 20000..... /
 Entre 21000 - 30000..... /
 Entre 31000 - 40000..... /
 Entre 41000 - 50000..... /
 Entre 51000 - 70000..... /
 Entre 710000 - 90000..... /
 Entre 91000 - 100000..... /
 Plus de 100000..... /

III.1.2 Autosuffisance en riz

61. **Quelle est votre production annuelle de riz?**

Botte..... / Panier..... / Kg..... /
 Tonne.... /

62. **Au bout de combien de temps consommez-vous votre récolte?**

Moins de 1mois..... / 1 à 2 mois..... /
 3 à 5 mois / 6 à 8 mois /
 9 à 11mois..... / 12 mois et plus..... /

63. **Quelle était la durée de consommation de votre production annuelle avant les années de sécheresse ?**

Moins de 1mois / 1 à 2 mois
 / 3 à 5 mois / 6 à 8 mois
 / 9 à 11mois / 12
 mois et plus..... /

III.2. Habitude alimentaire

64. **Qu'est-ce que vous consommez pour le petit déjeuner ?**

Bouillie.... / Pain.... / Riz.... /
 autre (à préciser).... /

65. **Qu'est-ce que vous consommez pour le déjeuner ?**

Riz.... / Pain..... / Bouillie..... /
 Autre (à préciser) /

66. **Qu'est-ce que vous consommez pour le dîner ?**

Riz.... / Pain..... / Bouillie..... /
 Autre (à préciser) /

67. **Que faites-vous pour résorber votre déficit céréalier ?**

Agriculture (de rente)..... /
 Arboriculture..... /
 Maraîchage..... /

- Élevage...../
- Pêche...../
- Foresterie/
- Artisanat...../
- Autre (à préciser)...../
68. **Quel est le revenu moyen annuel de ces activités au cours des deux dernières années en FCFA ?**
- Agriculture (de rente)/
- Maraîchage...../
- Élevage...../
- Foresterie/
- Pêche/
- Artisanat...../
- Autres (à préciser)...../
69. **Les revenus tirés des autres activités vous permettent-ils de satisfaire l'ensemble des vos besoins vivriers ?**
- Oui...../ Non...../
- III.3. ARBORICULTURE**
70. **Avez-vous un verger ?**
- Oui / Non...../
71. **Si oui quelle est la superficie moyenne de votre verger ?**
- 0 à 1 ha/ 2 à 3ha...../ 4 à 5ha
72. **Quelle est la nature du verger ?**
- Manguiers...../Agrumes...../
- Anacardes.../Autres (à préciser)...
73. **Quel est votre revenu moyen annuel issu de la vente des mangues en FCFA ?**
- Moins de 50000...../
- 50000 à 100000...../
- 100000 à 150000...../
- 150000 à 200000...../
- 200000 à 250000...../
- 250000 à 300000...../
- 300000 à 350000...../
- 350000 à 400000...../
- Plus de 400000...../
74. **Quel est votre revenu moyen annuel issu de la vente des agrumes en FCFA ?**
- Moins de 50000...../
- 50000 à 100000...../
- 100000 à 150000...../
- 150000 à 200000...../
- 200000 à 250000...../
- 250000 à 300000...../
- 300000 à 350000...../
- 350000 à 400000...../
- Plus de 400000...../
75. **Quelle est votre revenu moyen annuel issu de la vente des anacardes en FCFA ?**
- Moins de 50000...../
- 50000 à 100000...../
- 100000 à 150000...../
- 150000 à 200000...../
- 200000 à 250000...../
- 250000 à 300000...../
- 300000 à 350000...../
- 350000 à 400000...../
- Plus de 400000...../
76. **Comment écoutez-vous votre production ?**
- Circuit formel.... / Circuit informel...../
77. **Quelle est le lieu de vente de votre production ?**
- Bord champ..... / Marché Local..... / Kafountine.... / Bignona..... / Ziguinchor...../ Dakar...../ Autres (à préciser).... /
78. **Quelle est la destination des revenus issus de l'arboriculture ?**
- Consommation (dépense quotidienne)...../ Scolarité des enfants...../ Financement des activités rizicoles.... / Autres (à préciser)/
- III.4. MARAICHAGE**
79. **Avez-vous un jardin ?**
- Oui.../ Non.... /
80. **Si oui, quelle est la superficie de votre jardin ?**
- Moins de 0.5ha... / 0.5ha...../1ha...../ Plus d'un ha..../
81. **Quelle est la localisation du jardin ?**
- Plateau.... / Rizières...../
82. **Quelles est la nature de votre production ?**
- Gombo...../ Piment.... / Aubergine africain...../Tomate...../Choux.../ Salade...../ Poivron...../Autre (à préciser)...../
83. **Quelle est la destination de votre production ?**

- Vente...../ consommation.... /
Autre à préciser...../
84. **Si vente, quel est le revenu moyen annuel issu de la vente des produits ?**
Moins de 50000..... /
50000 à 100000..... /
100000 à 150000..... /
150000 à 200000..... /
200000 à 250000..... /
250000 à 300000..... /
300000 à 350000..... /
350000 à 400000..... /
Plus de 400000..... /
85. **Quel est le lieu de vente de vos produits ?**
Bord champ..... / Marché locale..... / Kafountine /
Bignona..... / Ziguinchor..... /
Dakar..... / Autres à préciser..... /
86. **Quelle est la destination des revenus issus de la vente des produits maraichers ?**
Consommation (dépense quotidienne)..... / Scolarité des enfants..... / Financement des activités rizicoles.... / Autres (à préciser)..... /
- III.5. Exploitation forestière**
87. **Collectez-vous des produits forestiers ?**
Oui..... / Non..... /
88. **Si oui quels sont les produits que vous collectez ?**
Made / Ditakh..... / Néré..... /
Régime de palme / Pain de singe... / Autre (à préciser)..... /
89. **Combien gagnez-vous en moyenne par saison en FCFA avec la vente des produits forestiers?**
-10000f..... /
10000 _ 20000f..... /
21000 _ 30000f..... /
50000 et Plus /
90. **Pratiquez-vous la transformation de l'huile de palme ?**
Oui... / Non..... /

91. **Si oui depuis quand pratiquez-vous cette activité ?**
5 – 10ans /
10 – 20ans..... /
20 - 30ans..... /
Plus de 30ans..... /
92. **Quel est votre revenu moyen annuel issu de la transformation de l'huile de palme ?**
Moins de 10000..... /
Entre 10000 – 20000..... /
Entre 21000 - 30000..... /
Entre 31000 - 40000..... /
Entre 41000 - 50000..... /
Entre 51000 - 70000..... /
Entre 710000 - 90000..... /
Entre 91000 - 100000..... /
Plus de 100000..... /
- III.6. EXPLOITATION DE SEL**
93. **Pratiquez-vous la saliculture ?**
Oui.... / Non..... /
94. **Si oui quelle est la destination du sel produit ?**
Consommation..... / Vente..... /
Autres (à préciser)..... /
95. **Si vente, combien gagnez-vous en moyenne annuelle en FCFA?**
-10000f..... /
10000 _ 20000f..... /
21000 _ 30000f..... /
50000 et Plus /
96. **Quelle est la destination des revenus issus de la vente du sel**
Consommation (dépense quotidienne)..... / Scolarité des enfants..... / financement des activités rizicoles.... / Autres (à préciser)..... /
- III.7. ELEVAGE**
97. **Pratiquez-vous de l'élevage?**
Oui.... / Non..... /
98. **Si oui quel type d'élevage pratiquez-vous ?**
Bovin.... / caprin.... / porcin.... /
volaille... /
99. **Si oui quelle est la destination des espèces élevées?**
Consommation..... / Vente..... /
Autres (à préciser)..... /

100. **Si vente, combien gagnez-vous en moyenne annuelle en FCFA?**

-10000f...../

10000 _ 20000f..... /

21000 _ 30000f..... /

50000 et Plus/

101. **Quelle est la destination des revenus issus de la vente du des espèces.**

Consommation (dépense
quotidienne)...../ Scolarité des
enfants...../ financement des activités
rizicoles.... / Autres (à préciser)...../

Annexe 2: quelques programmes et projets agricoles en Basse Casamance depuis l'indépendance jusqu'en 2020

Période	Nom projet, intervention, institution	Régions concernées	Thèmes majeurs	Budget	Bailleurs
1963-1975	ILACO (International Land développement Consultant) des Pays-Bas	Basse Casamance (sud de Ziguinchor : Nyassia, Kamobeul, Guidel, Bignona, Baïla et Tobor...)	Aménagement pour la riziculture inondée	ND	Fond Européen de Développement (FED) – Convention FED 586 SE.
1963-1979	MAC (Mission Agricoles Chinoises)	Arrondissement de Niaguis (Basse Casamance)	Intensification rizicole (culture attelée, variété « améliorée », ...), aménagement hydro-agricoles (dont irrigation par retenue d'eau douce), production maraichère	25 217 664 millions de F-CFA	Taiwan et RPC
1972-1985	PRS-II (Projet Rizicole de Sédhiou)	Moyenne Casamance	Investigation agricole-dont riz (traction attelée divine, fumure chimique, semence améliorées), protection des rizières contre le sel	2 milliards de F-CFA pour PRS (financement PRS 1 : ND)	BIRD/CCCE/SN (16%)
1974-1985	PIDAC I à V (Projet Intérimaire – Projet Intégré de Développement Agricole de la Casamance)	Basse Casamance	Intensification rizicole (aménagements hydro agricoles, traction attelée divine, fumure chimique, semence « améliorées ») diversification des cultures (maïs, maraîchage) et alphabétisation fonctionnelle	« FED (1974-1978 :178 millions de FCFA ; Etat : (1976-1977) : 40 millions de F-CFA ; PNUD (1977-1978) 49 millions de F-CFA ; USAID (1978-1985) : 34,55 millions de Dollars US »	FED-PNUD-USAID
1976-1999	SOMIVAC (Société de Mise en Valeur de la Casamance)	Casamance	Coordination (MAC, PIDAC, projet Guidel et PRS). Objectif : « Maitrise de l'eau et utilisation des facteurs de production ; Développement équilibré entre culture vivrière et industrielles	ND, mais sans doute conséquent (plus de 600 employés permanents au plus fort de son activité, avant l'ajustement structurel)	USAID/SN
1980-1982	Projet barrage écluse de Guidel	Guidel	Réalisation d'un barrage anti-sel pour récupérer des terres salées.	730 millions de F-CFA pour la réalisation du Barrage et 100 millions de F-CFA pour le fonctionnement post réalisation	Fond Africain de Développement (FAD)/CITIBANK
30 nov 1984 avril 1988	Barrage d'Affiniam	Affiniam	Réalisation d'un barrage anti-sel pour récupérer des terres salées. Valorisation agricole en amont et aval de l'ouvrage.	Le coût définitif du Barrage est estimé à 6,6 milliards de CFA dont 845 866 875 F-CFA de contrepartie Sénégalaise	RPC/SN
1987-1999	DERBAC (Projet Autonome de Développement Rural de la Basse Casamance)	Basse Casamance	Aménagement de vallées dites rizicultivables et protection de terres contre la salinisation et le déficit hydrique.	9 181 millions de F-CFA	FAD = 6,500 milliards CFA/SN= 2 milliards CFA/ Investissement bénéficiaires= 600 millions CFA
1988	PRODULAS (Programme d'urgence de Lutte Anti-sel)	Régions de Fatick, Ziguinchor et Sédhiou	Protection et récupération des terres dites rizicultivables	Financements prévus : 7 543 317 800 F pur les régions de Ziguinchor et Kolda (pour les 3 phases). Pour la phase 1 : 2 528 625 000 F CFA pour Ziguinchor seulement (15 000 ha).	Pour la région de Ziguinchor : Banque Islamique de Développement (BID) mais financement réel non connu.

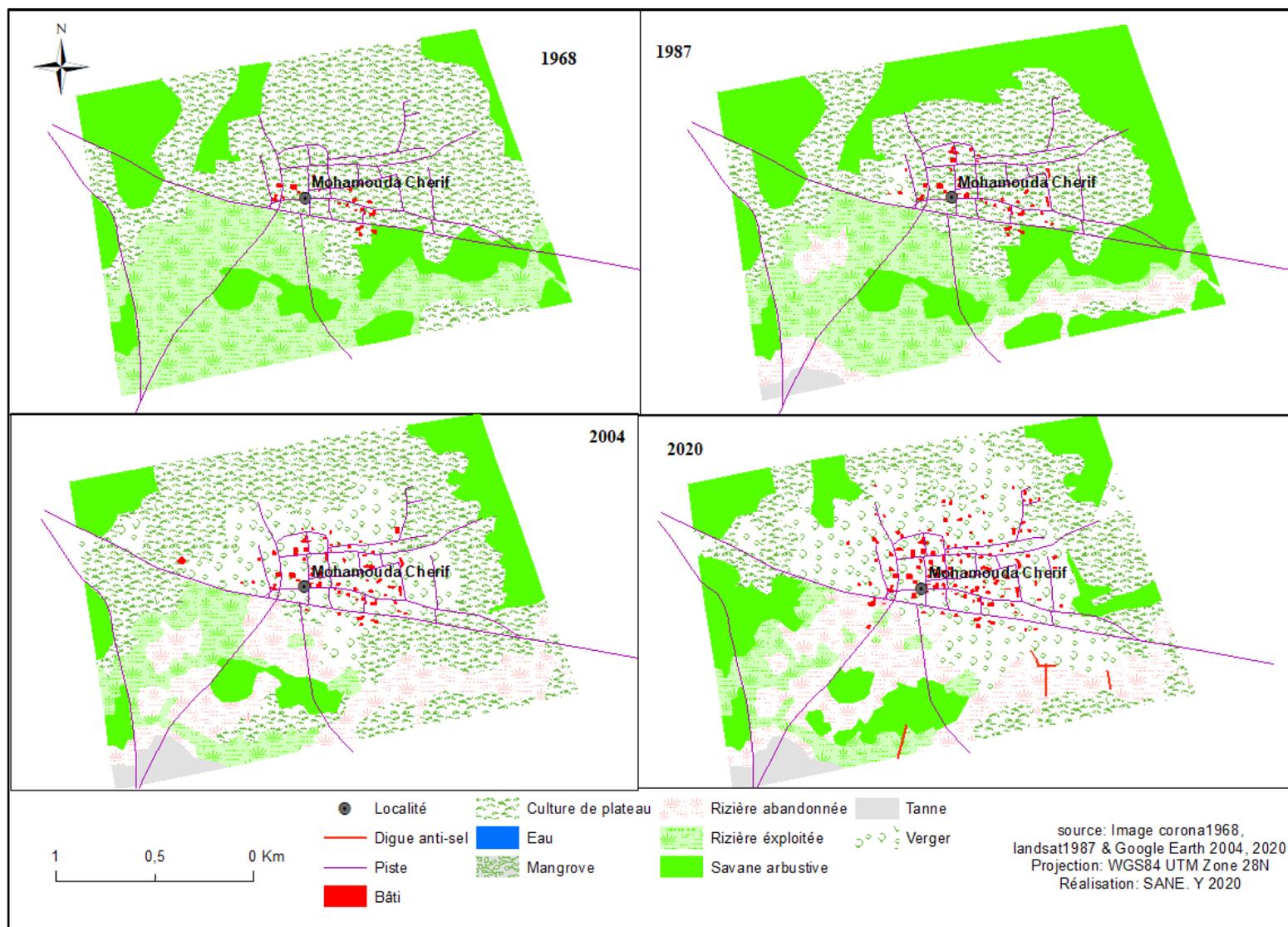
1988-1997	PROGES (Projet de Gestion de l'Eau dans la zone Sud)	Régions de Kolda et Ziguinchor	Accroissement de la production céréalière, notamment rizicole par l'aménagement de vallées dites rizicultivables	Total 6,455 milliards de F-CFA	USAID (6 milliards) /SN (455 millions)
1989	Projet Kamobeul Bolong		Augmentation de la production rizicole	9,483 milliards de F-CFA dont 2,553 milliards de contrepartie Sénégalaise	RP Corée/SN

Période	Nom projet, intervention, institution	Régions concernées	Thèmes majeurs	Budget	Bailleurs
1989-2012	PRIMOCA (Projet Intégré de Développement de la Moyenne Casamance)	Moyenne Casamance (Département de Sédhiou)	Aménagement rural, infrastructures, ... et aménagement de vallées dites rizicultivables	ND (projet arrêté pour détournement)	Italie/SN
1992-2002	Projet de la mise en valeur de la vallée de Guidel	Communautés rurales de Nyassia et Boutoupa Camaracounda	Intensification riziculture, culture de plateau et maraichage (forage équipées) ; réalisation des pistes de production (30 km)	Montant global de 2 077 000 000 F CFA dont une contribution du Sénégal de 478 000 000 de F CFA	CEDEAO/SN
1992-1993	Projet de la mise en valeur de la vallée de Baïla	Arrondissement de Sindian (Baléniane, Leu-Feu, Diélinkine, Kandiadiou, Diakoy Djilacounda, Essom, Guiral et Diaboudior	Protection et récupération des rizières (31 000 ha de terres salées et 5 200 ha de rizières douces)	Montant global de 1,992 milliards de F CFA	BOAD= 1,200milliards de F CFA /SN= 792 millions de F CFA
1996-2004	ENDA -ACAS	Région Naturelle Casamance	Protection et sauvegarde de l'environnement	92 117 000 millions de F CFA	Genève Thiers-Monde (Suisse), IIZ/Horizon 3 000 (Autriche, Luxembourg et Ambassade US)
	CADEF (Comité d'Action pour le Développement Economique et social du Fogni)	Communauté rurale de Sindian, Djibidione et Sindian	Protection et maîtrise d'eau dans les rizières	Coût total construction ouvrages seulement (sans fonctionnement) = 43 500 000 F CFA	Church World Service, Oxfam Canada, FAO, BIAC, FPH, CFD, CIRAD, CIEPAC
	TAARA	Département de Bignona	Désalinisation et rétention d'eau dans les rizières	492 955 Euro	BOAD, FOND, PNIR, PSAOP, APCR, ORSTOM
2000-2009	Grdr	Basse et Moyenne Casamance	Amélioration et rentabilisation des vallées dites rizicultivables	« AECI : 448 millions de F CFA ; SCAC = 84 040 640 F CFA »	AESID, SCAC, MAE, fondation Michelam, CFSI-Fondation de France

2009-2016	PADERCA (Projet d'Appui au Développement Rural en Casamance)	Basse et Moyenne Casamance	Préservation et revalorisation du capital productif eau, sol et forêt	24,75 millions d'US	BAD/SN (18%) /FAD/Gouvernement/Bénéficiaires
2012-2018	PAPSEN (Programme d'Appui au Programme National d'Investissement de l'Agriculture du Sénégal)	Moyenne et Haute Casamance (+ Thies, Diourbel et Fatick. Volet maraîchage)	Réduction précarité sociale grâce à la sécurité alimentaire des populations	6 milliards de F CFA	Italie/SN
2013-2018	PPDC (Projet Pôle de Développement de la Casamance)	Casamance	Augmentation de la productivité agricole dans les filières agricoles et amélioration de l'accessibilité des zones rurales	40 millions de Dollars US	Banque Mondiale/SN
2015-2020	PIIRS (Programme Régional de Renforcement de la résilience à l'insécurité alimentaire et nutritionnelle)	40 communautés rurales des régions de Fatick, Kédougou, Kolda, Matam, Tambacounda et Ziguinchor	Réduction de la pauvreté et amélioration de la sécurité alimentaire et nutritionnelles des ménages ruraux sahéliens	18 300 millions de F CFA	BAD/SN

Occupation du sol	Superficies en ha				Évolution des statiques en ha					
	1968	1987	2006	2019	1968 - 2019	1968 - 2006	1968 - 1987	1987 - 2019	1987 -2006	2006 -2019
Bâti	460,4	920,2	1062,4	1246,9	786,6	602,0	459,8	326,8	142,2	184,5
Cour d'eau	2641,9	2646,6	2679,6	2693,1	51,2	37,7	4,7	46,5	33,0	13,5
Culture de plateau	7498,7	15769,7	16908,0	17437,9	9939,2	9409,4	8271,0	1668,2	1138,4	529,8
Mangrove	9739,8	5517,6	2308,6	3216,4	-6523,4	-7431,2	-4222,3	-2301,1	-3208,9	907,8
Rizière	5807,6	4450,6	4226,7	4145,6	-1662,1	-1581,0	-1357,1	-305,0	-223,9	-81,1
Savane Arbustive	22877,5	14201,3	12920,7	12172,6	-10704,9	-9956,8	-8676,2	-2028,7	-1280,6	-748,1
Tanne	1143,0	6663,1	10062,9	9256,4	8113,4	8919,8	5520,0	2593,4	3399,8	-806,5
Total	50169,0	50169,0	50169,0	50169,0						

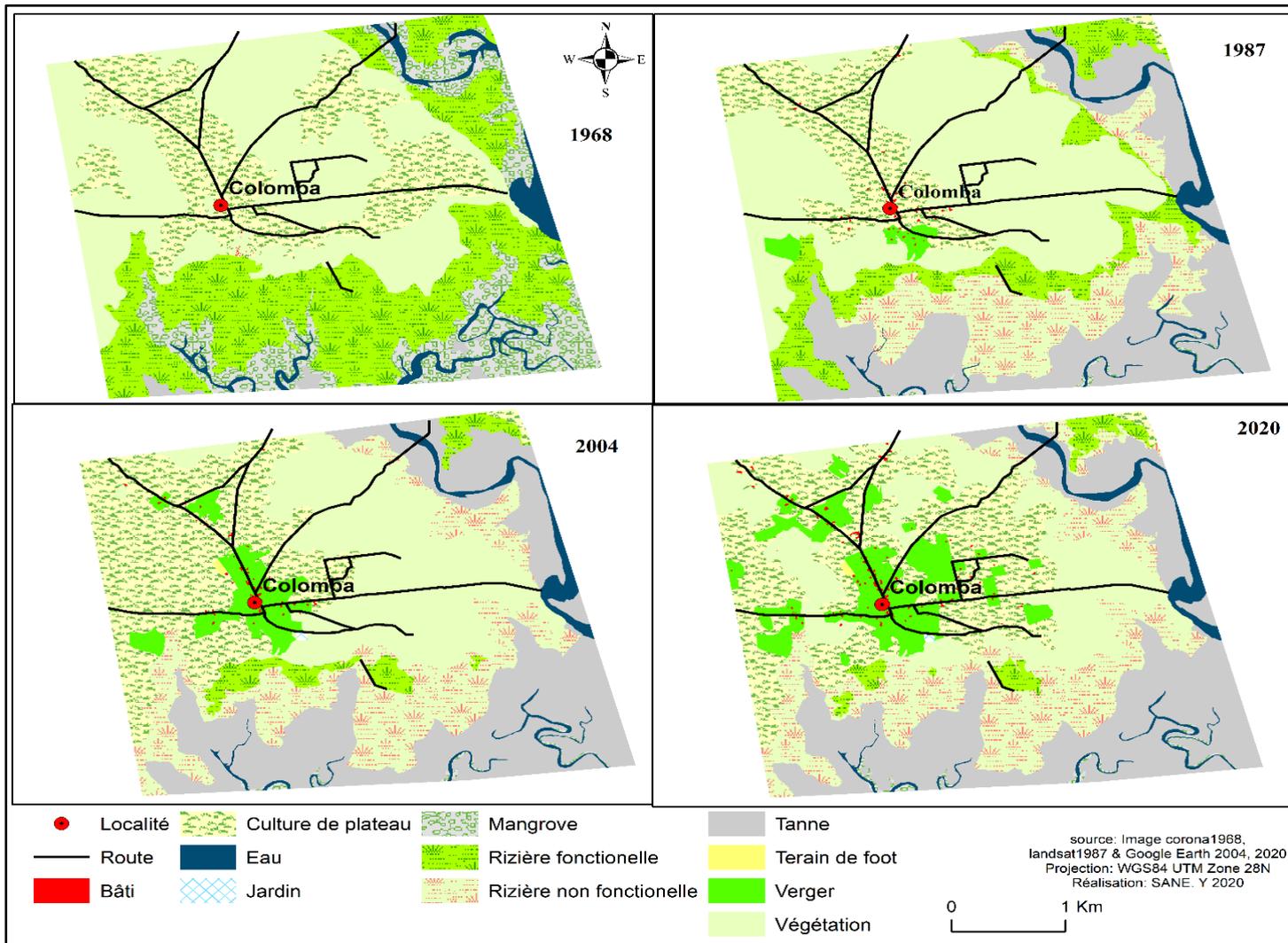
Annexe 3: statiques issue de la cartographie de l'occupation du sol du bassin versant de Diouloulou



Annexe 4: carte d'occupation du sol du terroir de Mohamouda cherif

Occupation du sol	Superficies en ha				Évolution des statiques en ha					
	1968	1984	2004	2020	1968-2020	1968-2004	1968-1987	1987-2019	1987 - 2004	2004 - 2020
Bâti	0,845	1,4674	2,3772	4,3263	3,4813	1,5322	0,6224	2,0139	1,5322	1,9491
Culture de plateau	163,4628	113,6652	134,496	70,3662	-93,0966	-28,9668	-49,7976	-206,7618	-28,9668	-64,1298
Eau	0,3	0,2	0,2	0,29	-0,01	-0,1	-0,1	-0,21	-0,1	0,09
Mangrove	0,5	0,3			-0,5	-0,5	-0,2	-0,8	-0,5	
Rizière fonctionnelle	99,83	71,2381	32,8416	26,8199	-73,0101	-66,9884	-28,5919	-144,2482	-66,9884	-6,0217
Rizière non fonctionnelle		25,2235	53,3785	58,5797	58,5797	53,3785	25,2235	33,3562	53,3785	5,2012
Tanne		3,6703	7,5397	7,5397	7,9397	7,5397	3,6703	3,8694	7,5397	0.4
Savane Arbustive	76,5406	119,8542	45,2144	64,527	-12,0136	-31,3262	43,3136	-131,8678	-31,3262	19,3126
Verger		5,8615	65,4328	109,0302	109,0302	65,4328	5,8615	103,1687	65,4328	43,5974
Total	341,478	341,478	341,478	341,478						

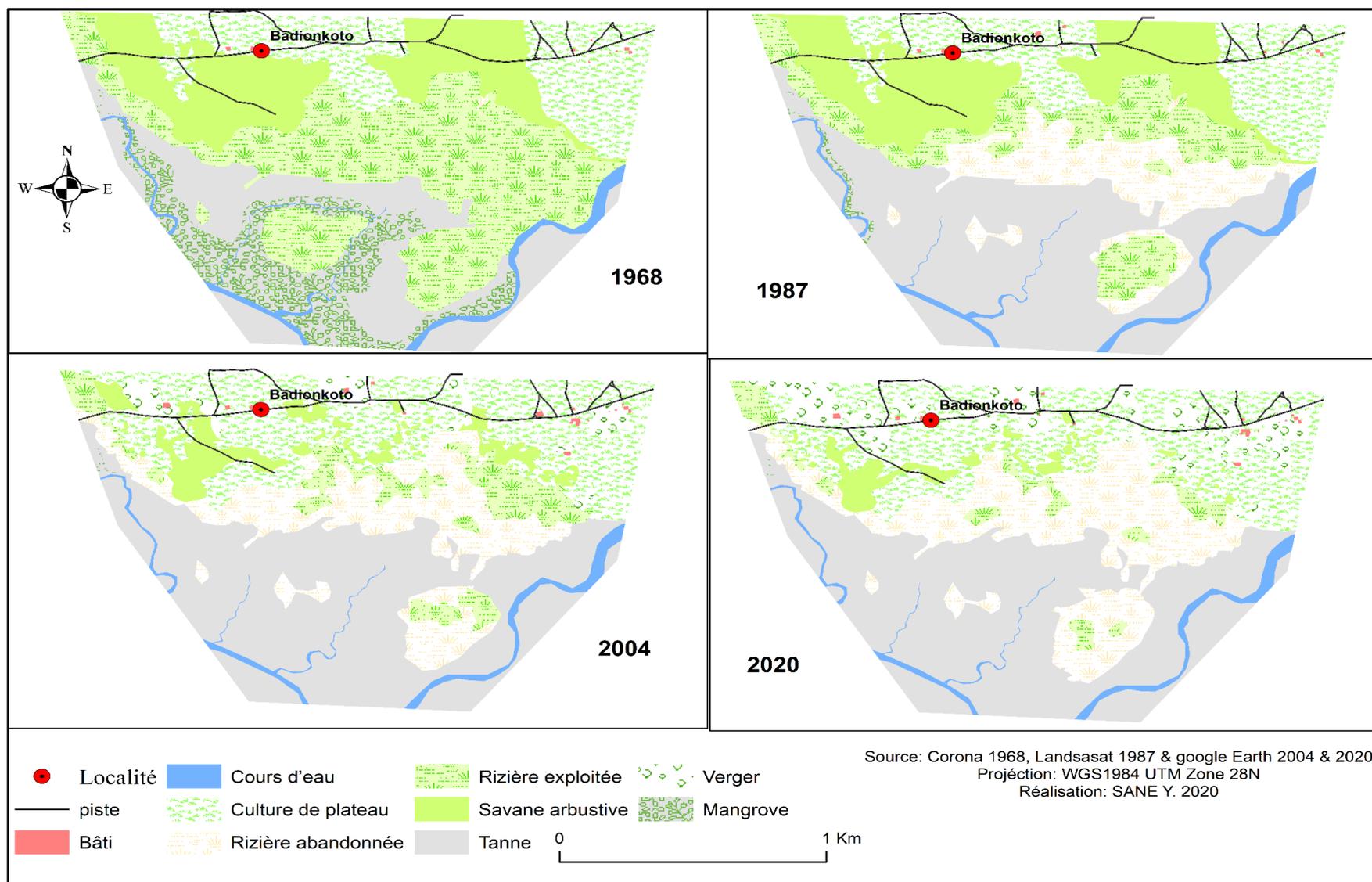
Annexe 5 : statiques issue de la cartographie de l'occupation du terroir de Mohamouda Cherif



Annexe 5 : carte d'occupation du sol du terroir de colomba

Occupation du sol	Superficies en ha				Évolution des statiques en ha					
	1968	1984	2004	2020	1968 - 2020	1968-2004	1968 -1987	1987 - 2019	1987-2004	2004-2020
Bâti	0,18	1,32	1,57	3,83	3,65	1,39	1,14	2,51	0,25	2,25
Culture de plateau	306,10	186,78	331,55	340,48	34,39	25,45	-119,32	153,71	144,77	8,94
Eau	49,82	35,42	35,42	37,02	-12,80	-14,40	-14,40	1,60	0,00	1,60
Jardin			0,75	0,95	0,95	0,75	0,00	0,95	0,75	0,20
Mangrove	209,92	5,45	5,45	6,82	-203,09	-204,46	-204,46	1,37	0,00	1,37
Rizière exploitée	419,85	162,33	51,10	34,07	-385,78	-368,76	-257,52	-128,26	-111,23	-17,02
Rizière abandonnée		211,28	252,82	280,16	280,16	252,82	211,28	68,88	41,54	27,34
Tanne	11,98	338,84	397,45	385,16	373,17	385,46	326,86	46,31	58,60	-12,29
Terrain de foot			0,94	0,94	0,94	0,94	0,00	0,94	0,94	0,00
Savane Arbustive	466,52	507,95	325,53	249,07	-217,45	-140,98	41,43	-258,88	-182,41	-76,47
Verger		15,00	61,74	126,07	126,07	61,74	15,00	111,07	46,74	64,33
Total	1464,37	1464,37	1464,37	1464,37						

Annexe 6: statiques issue de la cartographie de l'occupation du terroir de Colomba



Annexe 7: carte d'occupation du sol du terroir de Bandiokoto

Occupation du sol	Superficies en ha				Évolution des statiques en ha					
	1968	1987	2004	2020	1968 - 2020	1968-2004	1968 -1987	1987 -2019	1987-2004	2004-2020
Bâti	0,20	0,27	0,52	0,47	0,28	0,32	0,07	0,20	0,05	-0,25
Culture de plateau	40,77	40,70	59,81	58,08	17,31	19,04	-0,07	17,38	-21,66	-42,50
Eau	6,03	5,87	5,74	5,74	-0,29	-0,29	-0,16	-0,13	-6,16	-6,03
Mangrove	31,62	1,44	0,08	0,05	-31,57	-31,54	-30,18	-1,39	-32,98	-31,65
Rizière exploitée	76,81	34,10	18,77	8,71	-68,11	-58,04	-42,71	-25,40	-92,14	-86,88
Rizière abandonnée		30,08	38,86	49,09	49,09	38,86	30,08	19,01	8,78	10,23
Tanne	39,38	82,34	90,38	89,29	49,92	51,00	42,96	6,95	-31,34	-40,46
Savane Arbustive	42,08	42,08	14,61	7,44	-34,64	-27,46	0,00	-34,64	-69,54	-49,26
Verger			8,10	18,02	18,02	8,10	0,00	18,02	8,10	9,91
Total	236,88	236,88	236,88	236,88						

Annexe 8: Statistique des classes d'occupation du sol du terroir de Bandiokoto