
M2 Economie Politique et Institutions Parcours Economie et Evaluation du Développement et de la Soutenabilité (EEDS)

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Présenté et soutenu par :

Julien DIATTA

**DETERMINANTS PEDOLOGIQUES, CLIMATIQUES ET
SOCIOECONOMIQUES SUR LE CHOIX DES AGRICULTEURS DE
LA CASAMANCE ET DU SENEGAL ORIENTAL A CULTIVER LE
RIZ DE PLATEAU**

MEMBRES DU JURY :

EXAMINATEUR :

Viwagbo KINHO, Chercheur associé au CEMOTEV en économie, Expert des problématiques économiques et climatiques de la riziculture

MAÎTRES DE STAGE :

Stéphane GOUTTE, Full Professor, Professeur des Universités -University Paris-Saclay, UMI SOURCE, UVSQ, IRD, France

Maria Camila REBOLLEDO, Crop physiologist and crop modeler, CIRAD

Alain AUDEBERT, Ecophysiologiste, CIRAD

Myriam ADAM, Agronome système, CIRAD - UMR Agap-Institut, National University of Battambang

Abdoulaye DAFF, Directeur technique, SODAGRI, Sénégal

Ninon SIRDEY, Economiste CIRAD, département Es (Environnement et sociétés), UMR MOISA

Tomoé BOURDIER, PhD, Economist, CIRAD, MoISA Research Unit

Année universitaire : 2022-2023

Dédicaces

A toute ma famille et à tous mes amis pour leur soutien et leur encouragement tout au long de mon parcours universitaire. Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux tant allégués, et le fruit de votre soutien infailible.

Merci d'être toujours là pour moi !

“To lose patience Is to lose the battle.”

~Mahatma GANDHI

Remerciements

*Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mes tuteurs de stage, **Stéphane GOUTTE**, Full Professor, Professeur des Universités -University Paris-Saclay, UMI SOURCE, UVSQ, IRD, France ; **Maria Camila REBOLLEDO**, Crop physiologist and crop modeler, CIRAD ; **Alain AUDEBERT**, Ecophysiologiste, CIRAD ; **Myriam ADAM**, Agronome système, CIRAD - UMR Agap-Institut National University of Battambang ; **Abdoulaye DAFF**, Directeur technique, SODAGRI ; **Ninon SIRDEY**, Economiste CIRAD, département Es (Environnement et sociétés), UMR MOISA ; **Tomoé BOURDIER**, PhD, Economist, CIRAD, MoISA Research Unit, Je les remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.*

*J'adresse mes sincères remerciements à tous mes professeurs, spécialement à **Monsieur Vincent GERONIMI**, Professeur en sciences économiques, Directeur de l'UMI SOURCE et Co-Directeur du parcours de Master EEDS à l'Université de Paris-Saclay / Université de Versailles et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs enseignements m'ont apporté un plus.*

*Je remercie toute l'équipe **PhenoMen de l'AGAP Institut au CIRAD** pour leur chaleureux accueil.*

*Un grand merci à mon collègue de bureau **Edgar Steven CORREA PINZON** pour les mois passés ensemble, les échanges et les enseignements reçus.*

*Je remercie à tout le personnel de la **SODAGRI** pour leur chaleureux accueil et guide lors de ma mission terrain.*

À tous ces intervenants et camarades, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.

Liste des sigles et abréviations

AGAP : Amélioration génétique et adaptation des plantes méditerranéennes et tropicales

ANSD : Agence nationale des statistiques et de la démographie, Sénégal

CEC : Capacité d'échange cationique

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

EPIC : Etablissement public à caractère industriel et commercial

Fe : Fer

GIE : Groupement d'intérêt économique

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat

ISRA : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

K : Potassium

N : Azote

Na : Sodium

NASA : National Aeronautics and Space Administration

ODD : Objectifs du développement durable fixés

ONG : Organisation Non Gouvernementale

ONU : Organisation des nations unies

P(Olsen) : Phosphore

PAPSEN : Programme d'Appui au Programme National d'Investissement dans l'Agriculture au Sénégal

pH : Potentiel d'hydrogène

SODAGRI : Société de développement agricole et industriel, Sénégal

TC : Teneur en Carbone

UMR : Unité mixte de recherche

Résumé

Ce document s'interroge sur les déterminants qui peuvent influencer la culture de riz de plateau en Casamance et au Sénégal oriental. L'objectif principal est de comprendre les facteurs climatiques, pédologiques et socioéconomiques qui expliquent la motivation des agriculteurs de cette zone sud du Sénégal à cultiver le riz de plateau.

Pour mettre en évidence cette étude, différents types de données ont été mobilisés. Ces données climatiques (pluie, humidité relative, températures maximales, températures minimales, radiations), pédologiques (potentiel d'hydrogène, phosphore, potassium, azote, sodium, fer, capacité d'échange cationique, teneur en carbone, sable, limon, argile) et socioéconomiques (capital social, foncier, capital humain, capital physique, choix d'activités agricoles, localisation géographiques) ont été collectées par la SODAGRI, l'ISRA BAME et le Cirad, (financement du CRP RICE) et, l'auteur pour des besoins de validation de l'étude. Des données complémentaires de la NASA ont été utilisées aussi.

Différentes méthodes sont utilisées : l'Analyse Factorielle Multiple (ACM) et une analyse de clustering (K-means) sur les composantes principales de l'AFM appliquée aux données climatiques et pédologiques ; la modélisation Logit appliquée aux variables socioéconomiques, et la cartographie pour des analyses spatiales. Les logiciels utilisés sont Excel, STATA 17, R, R-Studio et ArcGis Pro.

Les résultats obtenus indiquent que les facteurs qui pourraient influencer les agriculteurs de la Casamance et du Sénégal oriental à cultiver le riz de plateau sont la localisation géographique, le facteur pédologique, capital humain, capital physique, activités d'existence, foncier et la typologie de sol.

Mots clés : *Riz de plateau, Facteurs climatiques, Facteurs pédologiques, Facteurs socioéconomiques, Casamance, Sénégal oriental*

Abstract

This paper investigates the determinants that may influence upland rice cultivation in Casamance and eastern Senegal. The main objective is to understand the climatic, pedological and socio-economic factors that explain the motivation of farmers in this southern zone of Senegal to grow upland rice.

Various types of data were mobilized to highlight this study. These include climatic data (rainfall, relative humidity, maximum temperatures, minimum temperatures, radiation), soil data (hydrogen potential, phosphorus, potassium, nitrogen, sodium, iron, cation exchange capacity, carbon content, sand, silt, clay) and socio-economic data (social capital, land ownership, human capital, physical capital, choice of farming activities, geographical location) were collected by SODAGRI, ISRA BAME and CIRAD (funded by CRP RICE), and by the author for study validation purposes. Complementary data from NASA were also used.

Various methods were used: Multiple Factor Analysis (MFA) and a clustering analysis (K-means) on the principal components of the MFA applied to climatic and soil data; Logit modelling applied to socio-economic variables, and mapping for spatial analyses. The software used was Excel, STATA 17, R, R-Studio and ArcGis Pro.

The results obtained indicate that the factors that could influence farmers in Casamance and eastern Senegal to grow upland rice are geographical location, soil factor, human capital, physical capital, livelihood activities, land tenure and soil typology.

Key words: Upland rice, Climatic factors, Soil factors, Socio-economic factors, Casamance, Eastern Senegal

Sommaire

Dédicaces.....	2
Remerciements	3
Liste des sigles et abréviations	4
Résumé	6
Abstract.....	7
Sommaire	8
Table des illustrations.....	11
Table des tableaux.....	13
Préambule	14
INTRODUCTION GÉNÉRALE	16
CHAPITRE I : REVUE DE LITTÉRATURE	20
Introduction.....	20
1. Caractéristiques pédoclimatiques du riz de plateau	20
1.1. Effets climatiques sur la culture de riz de plateau.....	20
1.2. Typologies de sols adaptés à la culture de riz de plateau	22
2. Déterminants socioéconomiques à la culture de riz de plateau	24
2.1. Lien entre facteurs socioéconomiques et types de culture de riz	24
2.2. Bref aperçu sur des caractéristiques des agriculteurs de riz de plateau en Casamance observées au cours de la mission de terrain	25
Conclusion.....	25
CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES.....	26
Introduction.....	26
1. Présentation de la zone d'étude et description de l'échantillonnage	26
1.1. Présentation de la zone	26
1.2. Élément référentiel de la localisation des producteurs de plateau dans la zone géographique de l'étude.....	27
2. Collecte, traitements de données et description des échantillonnages	28

2.1. Variables et données pédologiques	28
2.2. Variables et données climatiques	29
2.3. Variables et données socio-économiques.....	32
2.4. Données de rendements.....	34
2.5. Données socioéconomiques supplémentaires de notre enquête de terrain.....	36
3. Méthode d'analyse appliquée à chaque type de facteur.....	36
3.1. Méthode d'analyse appliquée aux rendements et aux facteurs pédoclimatiques	37
3.2. Méthode d'analyse appliquée sur les facteurs socioéconomiques	37
Conclusion.....	38
CHAPITRE III : RESULTATS.....	39
Introduction.....	39
1. L'emplacement des parcelles possédés par les agriculteurs.....	39
2. Résultats des facteurs climatiques	40
2.1. Variation des facteurs climatiques entre 2021-2022	40
2.2. Cartographie des typologies de climat	43
3. Résultats de l'analyse des Facteurs pédologiques	46
3.1. Analyse descriptive des composantes du sols	46
3.3. Cartographie des typologies de sol.....	50
4. Résultats de l'Analyse des données de rendements et variabilité spatiale des rendements	51
4.1. Analyse descriptive des rendements.....	51
4.2. Cartographie de l'échantillon des rendements obtenus en 2022	52
5. Résultats des facteurs socioéconomiques	53
5.1. Analyse descriptive des composantes socioéconomiques.....	53
5.2. Résultats du modèle.....	56
5.2.1. Estimations du modèle logit sans les régions.....	56
5.2.2. Estimations du modèle Logit en intégrant les régions de Sédhiou et Kolda.....	59

5.2.3. Analyse combinée des facteurs socioéconomiques et pédologique sur la culture de riz de plateau	62
6. Résultats et interprétations	63
Conclusion.....	65
CHAPITRE IV : DISCUSSION	66
Introduction.....	66
1. Discussion de nos différents résultats.....	66
1.1. Incitation des cultivateurs à faire du plateau par leur localisation territoriale (en terre haute, partie nord de notre zone d'étude)	66
1.2. Influence de de la pluviométrie (haute fréquence le long du cycle de 100 jours) sur le choix des producteurs à cultiver du plateau (Casamance et Sénégal oriental)	67
1.3. La fertilité et les caractéristiques du sol (pH, éléments majeurs, mineurs et texture) et choix des producteurs à cultiver du plateau (Casamance et Sénégal oriental)	68
1.4. La dotation du ménage en capital social, foncier, humain et physique, ses choix d'activités agricoles et sa localisation géographiques déterminent le choix des producteurs à cultiver du riz de plateau.	68
2. Eléments complémentaire suite à nos entretiens de terrain.....	71
3. Analyse cartographique du lien climat-rendement.....	72
4. Analyse cartographique du lien sol-rendement.....	73
5. Enjeux d'atténuation des impacts négatifs des facteurs limitants la culture de riz de plateau en Casamance et au Sénégal oriental	74
Conclusion.....	75
CONCLUSION GENERALE	76
Références bibliographiques	78
Annexes	81

Table des illustrations

Figure 1 : Variation des rendements de riz dans un site expérimentale an Côte d'Ivoire en fonction des quantités de pluies entre 2017-2020	21
Figure 2 : Variation du rendement en fonction de l'utilisation des intrants (azote (N), phosphore (P) et potassium) et de la texture du sol (trop limoneuse ou moins limoneuse)	22
Figure 3 : Variation de la production de riz (plateau, bas-fond et irrigué) des agriculteurs en Afrique de l'ouest entre usage ou non de NPK dans leurs parcelles.....	23
Figure 4 : Zone géographique de l'étude	27
Figure 5: Visualisation des différents points de sols.....	28
Figure 6 : : Localisation des différentes stations météo en Casamance et au Sénégal oriental	30
Figure 7: Localisation de quelques zones de culture de plateau et de culture de bas-fond, 2022	39
Figure 8 : Variation des nombres de jours de pluie sur les 100 jours après une deuxième pluie utile de 20 mm, 2021-2022	40
Figure 9 : Variation des nombres de jours de pluie supérieur à 20 mm dans les différentes régions en 2021 et 2022.....	41
Figure 10 : Variation moyenne d'indicateurs de la pluviométrie entre les différentes régions, 2021-2022. Indicateurs de la moyenne des pluies supérieures à 20mm sur la période de 100 jours après semis (a 2021 et b 2022) ; Nombre de jours de pluie sur les 100 jours c 2021 et d 2022 ; Moyenne d'humidité relative en phase végétative (e 2021, f 2022) et en phase reproductive (g 2021, h 2022).	42
Figure 11: Variation des températures moyennes entre les phases végétative et reproductive, 2021-2022. Moyenne Température en phase végétative (a 2021 et b 2022), Moyenne Température maximale phase végétative (c 2021 et d 2022), Moyenne Température en phase reproductive (e 2021 et f 2022), Moyenne Température maximale phase reproductive (g 2021 et h 2022), Moyenne des Radiations en phase végétative (i 2021 et j 2022), Moyenne des radiations en phase reproductive (k 2021 et l 2022)	43
Figure 12 : Représentation des typologies de climat en fonction des résultats du clustering des indicateurs du climat.....	46
Figure 13: Variation des données minimales des composantes pédologiques entre les différentes régions. ph : a, Phosphore : b, Potassium : c, Azote : d, Sodium : e, Fer : f, Capacité d'échange cationique : g, Teneur en carbone : h, Argile : i, Limon : j et Sable : k.....	48
Figure 14: Variation des données maximales des composantes pédologiques entre les différentes régions. ph : a, Phosphore : b, Potassium : c, Azote : d, Sodium : e, Fer : f, Capacité d'échange cationique : g, Teneur en carbone : h, Argile : i, Limon : j et Sable : K.....	49

Figure 15: Représentation des différents types de sols en fonction des résultats du clustering	51
Figure 16 : Visualisation des rendements obtenus dans chaque zone en 2022.....	53
Figure 17: Représentation des typologies de climat et les moyennes de rendements de riz de plateau obtenus en 2022	73
Figure 18 : Représentation des typologies de sols et les moyennes de rendements de riz de plateau obtenus en 2022	74

Table des tableaux

Tableau 1 : Composition de la base initiale en nombre de producteurs de riz (plateau et bas-fond) dans chaque région.....	28
Tableau 2 : liste des variables pédologiques.....	29
Tableau 3 : Liste des variables climatiques	31
Tableau 4 : : Résumé des catégories de variables socioéconomiques à l'échelle du ménage (source BDD CRP RICE ISRA/CIRAD/SODAGRI).....	34
Tableau 5 : Description de la base de données 2022 (rendement de riz de plateau).....	35
Tableau 6 : Répartition des nombres de producteurs enquêtés dans les régions de Kolda, Sédhiou et Ziguinchor lors de notre mission de terrain, juillet-août 2023.....	36
Tableau 7: Variables les plus discriminantes issus du clustering des indicateurs du climat 2021 et 2022.....	44
Tableau 8 : Variables sélectionnées pour différencier les zones	45
Tableau 9: Statistiques descriptives des variables pédologiques	47
Tableau 10 : Répartition des individus (points) de sol entre les différentes régions	49
Tableau 11 : Variables les plus discriminants issus du clustering pédologique	50
Tableau 12 : Variations des différentes variables entres les clusters	50
Tableau 13: Production moyenne (en g) des carrés de rendements dans les régions en 2022.....	52
Tableau 14 : Statistiques descriptives de la variable binaire (cultive_plateau)	53
Tableau 15 : Résumé des résultats de la régression logit et les effets marginaux	57
Tableau 16 : Résumé des résultats de la régression logit et les effets marginaux	60
Tableau 17: Répartition des clusters pédologiques de la Casamance.....	63
Tableau 18: Résumé des résultats de la régression logit et effets marginaux sur les variables socioéconomiques et les typologies de sol.....	65
Tableau 19: Résumé des variables sur les trois catégories d'estimations.....	69

Préambule

- **Présentation de l'institution commanditaire de l'étude**

Nous avons mené notre stage (du 03/04/2023 au 20/09/2023) au Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Cirad, Montpellier) au sein de l'Unité mixte de recherche (UMR) Amélioration génétique et adaptation des plantes méditerranéennes et tropicales (AGAP Institut) du département Systèmes biologiques (Bios).

- **Activités, missions, objectif prioritaire et composition du CIRAD**

Le CIRAD est placé sous une double tutelle du ministère de l'Europe et des Affaires étrangères et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation. Les thématiques étudiées par le CIRAD sont la sécurité alimentaire, le changement climatique, la gestion des ressources naturelles, la réduction des inégalités et la lutte contre la pauvreté (CIRAD, 2023). La priorité du CIRAD est la production et transmission de nouveaux savoirs dans le but d'accompagner l'innovation et le développement de l'agriculture avec ses partenaires du Sud. L'objectif prioritaire du CIRAD est de bâtir une agriculture durable, répondant aux normes environnementales, qui sera adaptée aux effets du changement climatique et capable de satisfaire les besoins alimentaires de 10 milliards d'êtres humains d'ici 2050. Il s'engage également à répondre aux défis généraux de la sécurité alimentaire, du changement climatique et des 17 objectifs du développement durable (ODD) fixés par l'Organisation des nations unies (ONU) et de l'accord de Paris sur le changement climatique.

Le réseau partenarial du CIRAD s'étend sur trois continents et des directions régionales avec une collaboration de plus de 100 pays. Il regroupe 200 institutions des pays du Sud. Dans ces pays, sont affectés 200 de ses chercheurs répartis comme suit : 50 % en Afrique, 25 % en Amérique du Sud et 25 % en Asie. En 2018, l'effectif total du CIRAD était de 1650 agents dont 800 chercheurs. L'institution est composée de trois (3) départements scientifiques (Systèmes biologiques (Bios), Environnement et

sociétés (ES) et Performance des systèmes de production et de transformation tropicaux (Persyst)) ; 33 unités de recherche ; 13 directions régionales réparties dans le monde ; plus de 400 doctorants encadrés chaque année ; etc.

- **Projet et commanditaire de l'étude**

Notre recherche est financée par le projet BRIDGE au sein de l'initiative ClimBeR du CGIAR. Le projet BRIDGE (co-Building Resilient climate and water smart farming systems with interdisciplinary and Integrated models and multi-actor Decision and Gange Platforms) vise à tester des stratégies d'adaptation au changement climatique avec un focus sur l'utilisation plus efficiente de l'eau dans les systèmes agricoles. Dans ce contexte le riz de plateau est présenté comme une alternative de production de riz qui permettrait aux agriculteurs de satisfaire la demande en riz tout en cultivant une culture moins consommatrice en eau.

Ce stage cherche à contribuer à la caractérisation des exploitations de riz de plateau en Casamance, notamment connaître les obstacles et avantages pour la culture de riz de plateau dans la région.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

- **Contexte de l'étude**

Le Sénégal est l'un des plus grands pays consommateurs de riz en Afrique de l'Ouest. Au niveau national, le pays est très dépendant du riz pour les besoins alimentaires des consommateurs. La consommation moyenne annuelle en riz d'un sénégalais est de 78,1 kg par habitant (Bamba et al., 2021) pour une consommation nationale de 1,3 million de tonnes en 2021 et 1,7 million de tonnes en 2022 (Sene.News, 2022). Entre 2014-2018, la production moyenne nationale annuelle en riz était de 915 713 tonnes occupant une part majoritaire de 42 % de la production céréalière nationale (Agence nationale des statistiques et de la démographie, ANSD Sénégal, 2022). Cette forte dépendance en riz des populations sénégalaises a poussé le gouvernement sénégalais à accentuer ses efforts agricoles afin d'atteindre l'autosuffisance en riz en intensifiant ses politiques rizicoles. L'une des stratégies à long terme est d'atteindre, au niveau national, l'autosuffisance en riz (riz irrigué et riz pluvial) d'ici 2035 (Gérardeaux et al., 2021).

Au Sénégal, le riz est cultivé en grande partie dans la vallée du Fleuve Sénégal et dans les régions Sud du pays (Casamance et Sénégal oriental). La zone Sud abrite d'importantes activités agricoles saisonnières et l'une des activités les plus importantes dans cette étendue du territoire est la riziculture. Une des principales cultures vivrières et créatrice d'opportunités économiques pour les producteurs, les transformateurs, les commerçants et autres acteurs de la filière, la riziculture dans cette partie sud du Sénégal joue un important rôle à la fois économique et social. Quatre (4) types de culture de riz sont pratiquées entre ces différentes régions. Il s'agit de la culture de riz de plateau (pratiquée dans des terres non inondables dans les plaines, sur les collines ou sur les plateaux), de la culture de riz de bas-fond (en zones basses où les eaux de ruissellement s'accumulent et permettent de submerger les sols), de la culture de riz de nappe (pratiquée en zones situées entre les parcelles de bas-fond et de plateaux) et de la culture de riz de mangrove (sols en proximité ou récupérés de la mangrove). Il existe aussi la culture de riz irrigué. Cette riziculture est pratiquée par la SODAGRI dans l'Anambé. C'est un espace aménagé avec des systèmes d'irrigation qui permette de contrôler le besoin en eau des plantes. Si la riziculture de bas fond est traditionnellement pratiquée par les ménages agricoles, la riziculture dite « de plateau » est plus récente.

Depuis les années 80, la superficie du riz de plateau en Afrique a augmenté, contrairement à l'Asie ou l'Amérique latine (Saito et al 2018). Le riz cultivé en plateau pousse en conditions aérobie (comme le blé ou le maïs) ; contrairement au riz de bas-fond ou irrigué qui pousse en conditions anaérobiques (avec une lame d'eau). Ainsi une des contraintes majeures du riz de plateau est la disponibilité d'eau (pluviométrie) et la fertilité des sols (Husson et al 2022).

En Afrique sub-saharienne ; les faibles rendements du riz de plateau sont dus en partie à des facteurs liés au climat (baisse des précipitations), à la qualité du sol (zones à sols pauvres ou salins), à la gestion de la culture (faible utilisation d'intrants, de variétés traditionnelles à faible rendement (Asai et al 2021) mais aussi aux caractéristiques des producteurs (moyens limités, manque d'équipements agricoles, manque de formation sur les techniques de culture, etc.) (Arouna et al 2021). En Casamance et au Sénégal oriental, la culture de riz de plateau enregistre des rendements moindres par rapport à la culture de riz de bas-fond dans plusieurs zones. Dans certaines régions (Ziguinchor, Kolda et Kédougou par exemple), les rendements en riz de plateau sont en général faibles et varient entre 1 à 2 T/ha. (Gérardeaux et al., 2021).

Dans les régions Sud du Sénégal, la culture de riz est généralement une activité de type familial caractérisée par de faibles rendements (1,5 à 2 tonnes/ha) contrairement aux rendements obtenus par exemple dans la vallée du fleuve Sénégal où la moyenne se situe autour de 6 à 8 tonnes/ha (Agence nationale des statistiques et de la démographie, Sénégal, 2022). Face aux effets du changement climatique (baisse des précipitations par exemple) et aux flux réguliers d'exode des jeunes qui ont tendance à quitter leurs villages, par exemple, pour de nouveaux horizons, les terres agricoles de certaines localités deviennent inexploitable (parcelles non fertiles par manque d'entretien, main d'œuvre insuffisante...) (Sané et al., 2018) (Barry et al ,2018) et cela pourrait affecter le choix des agriculteurs à investir massivement sur la culture de riz de plateau.

Afin d'intensifier la culture de riz de plateau en Casamance (Kolda, Sédhiou et Ziguinchor) et au Sénégal oriental (Tambacounda et Kédougou), les producteurs de ces différentes zones reçoivent un accompagnement de plusieurs institutions (nationales, internationales, ONG...) ou acteurs spécialisés. L'une des institutions les plus actives dans ces zones est la Société de développement agricole et industriel (SODAGRI) du Sénégal, institution publique pilote de la culture de riz de plateau en Casamance. Créée en 1974, elle a pour principale mission de satisfaire la demande alimentaire qui ne cesse de croître du fait de l'accroissement démographique du pays. Les différentes stratégies adoptées par cette institution sont : (i) le suivi et l'évaluation du développement rural intégré, (ii) la maîtrise d'ouvrage des infrastructures et des aménagements hydro-agricoles, (iii) le soutien aux producteurs (appui-conseil, formation...), (iv) la veille à la pérennité des aménagements structurels et collectifs et, (v) la gestion et la maîtrise efficace de l'eau.

- **Problématique et questions de recherches**

A l'instar de certains effets du changement climatique, d'autres facteurs comme l'insuffisance de l'usage d'intrants ; l'irrégularité des cycles pluviométriques ou l'ensablement des terres peuvent

affecter aussi les rendements de riz de plateau (Del Villar et Dia, 2019), et donc influencer le choix des agriculteurs à cultiver ce type de riz. Pour comprendre au mieux les déterminants qui peuvent affecter le choix des agriculteurs de la Casamance (Kolda, Sédhiou et Ziguinchor) et du Sénégal oriental (Tambacounda et Kédougou), nous centrons notre étude sur trois principaux aspects : le climat, la pédologie et les caractéristiques socioéconomiques des producteurs. Autrement dit, nous cherchons à répondre à la question suivante : ***en quoi les facteurs pédologiques, climatiques et socioéconomiques influencent-ils le choix des agriculteurs de la Casamance et du Sénégal oriental à cultiver le riz de plateau ?***

Pour répondre à cette question, nous avons avancé un objectif général, des objectifs spécifiques et des hypothèses de recherche.

- **Objectifs et hypothèses de recherche**

L'**objectif général** de notre recherche est de comprendre les facteurs climatiques, pédologiques et socioéconomiques qui expliquent la motivation des agriculteurs de la Casamance et du Sénégal oriental à cultiver le riz de plateau. Dans ce sens, **en objectifs spécifiques**, nous allons étudier différents facteurs qui permettent d'expliquer ce choix, identifier les particularités de chaque zone en fonction de ces différents facteurs, mais aussi présenter un aperçu des rendements obtenus entre les différentes régions en 2022.

Dans ce sens, pour répondre à notre objectif de recherche, nous émettons les hypothèses suivantes :

-H1 : La localisation territoriale de la parcelle (en terre haute, partie nord de notre zone) influence les agriculteurs à cultiver le riz de plateau

-H2 : La pluviométrie (haute fréquence le long du cycle de 100 jours) influence le choix des producteurs à cultiver du plateau (Casamance et Sénégal oriental)

-H3 : La fertilité et les caractéristiques du sol (pH, éléments majeurs, mineurs et texture) influencent le choix des producteurs à cultiver du plateau (Casamance et Sénégal oriental)

-H4 : La dotation du ménage en capital social, foncier, humain et physique, ses choix d'activités agricoles et sa localisation géographiques déterminent le choix des producteurs à cultiver du riz de plateau.

Afin de tester ces hypothèses, nous avons mobilisé plusieurs types de données qui sont des données secondaires et spatialisées (pédologie, climat), des données primaires socioéconomiques quantitatives, des données primaires de rendements et des données primaires qualitatives socioéconomiques.

Notre travail est structuré en quatre chapitres. Le Chapitre I traite la revue de la littérature, le Chapitre II présente les matériels et la méthode de l'étude et le Chapitre III les résultats et le Chapitre IV la discussion.

CHAPITRE I : REVUE DE LITTÉRATURE

Introduction

L'agriculture est une activité qui demande la combinaison de plusieurs facteurs (naturels et humains). Si nous considérons la culture de riz de plateau objet de notre étude, le choix d'un agriculteur lambda à cultiver ce type de riz peut être impacté par plusieurs facteurs en raison des phénomènes naturels (pluviométrie, sécheresse, radiations...) auxquels il est exposé mais aussi des facteurs qui caractérisent sa technicité ou son expérience dans la riziculture. Ces déterminants peuvent être catégorisés en trois (3) groupes que sont : les facteurs climatiques (pluviométrie, température, radiations) les facteurs pédologiques (sols fertiles ou non avec des typologies sablonneuse, limoneuse, argileuse, etc.) et, les facteurs socioéconomiques (expérience de l'agriculteur sur la riziculture de plateau, formation reçue sur les techniques d'itinéraire riz, possession de matériel agricole adapté ou non, etc.). Plusieurs études, citées dans la suite de ce chapitre, ont montré que ces trois différents groupes de facteurs peuvent impacter le choix d'un agriculteur à cultiver le riz de plateau surtout dans les pays de l'Afrique de l'Ouest où les conditions agricoles ne sont pas les plus optimales dans le monde.

1. Caractéristiques pédoclimatiques du riz de plateau

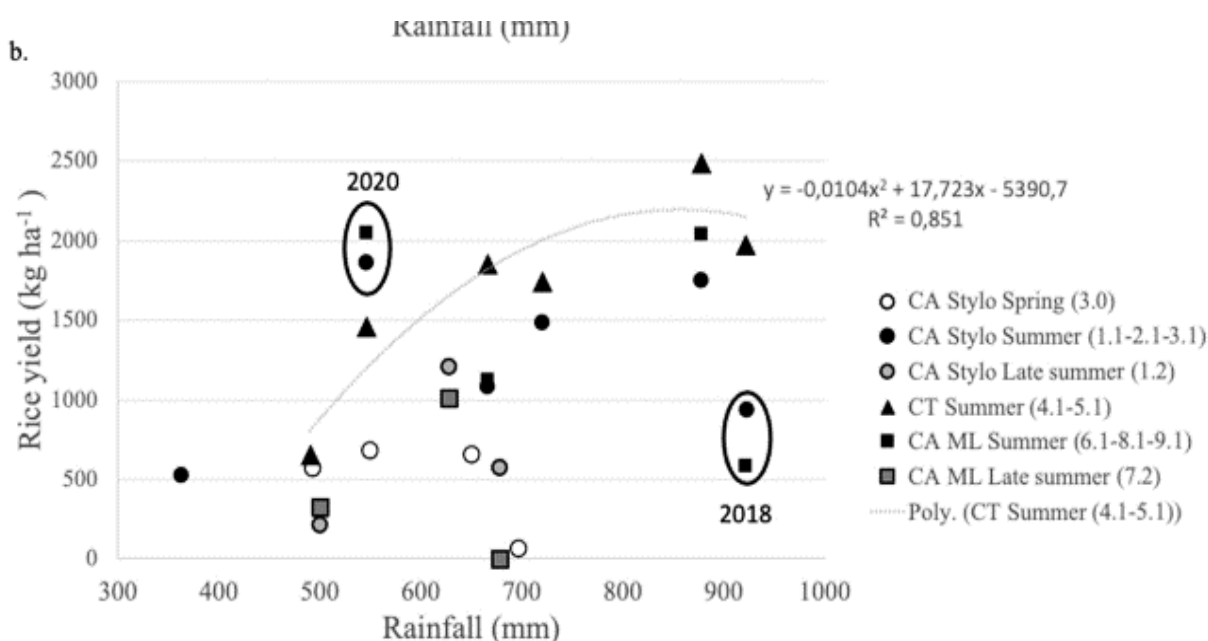
Ces facteurs (précipitations, températures, humidité...) sont les plus importants dans le secteur rizicole en Casamance. En effet, les agriculteurs dans cette partie du Sénégal sont fortement dépendants de ces facteurs dans leurs activités agricoles. Ce sont des éléments très importants mais que l'agriculteur ne peut pas maîtriser du fait de leur caractère naturel. Ces facteurs peuvent être favorables ou non à la culture de riz de plateau et impacter le choix des agriculteurs à cultiver ce type de riz.

1.1. Effets climatiques sur la culture de riz de plateau

Le changement climatique est un phénomène néfaste au secteur agricole. Dans les pays (exemple de ceux de l'Afrique de l'Ouest comme le Sénégal) où ce secteur est fort dépendant de la pluviométrie, les effets du changement climatique (climat sec, sécheresse...) aggravent la rareté de l'eau (élément essentiel pour la culture du riz de plateau). Ce phénomène peut impacter directement ou indirectement les activités rizicoles (Roudier et al., 2011). Par ailleurs, d'autres effets comme l'irrégularité des précipitations saisonnières (par exemple une pluviométrie faible sur plusieurs années consécutives dans une zone), les fluctuations en début de période et leur importance peuvent avoir un

impact négatif sur les rendements de la culture de riz de plateau (Koudahe et al., 2017). Husson et al., 2022, ont démontré qu'une réduction de la pluviométrie cumulée de 900mm à 500 mm (observé entre 2017-2020) provoquait une réduction des rendements de 2t/ha à 0.5 t/ha (Figure 1) pour des cultures de riz de plateau en Afrique de l'ouest. De plus les agriculteurs sont confrontés à une instabilité des pluies en fin de saison rizicole (période hivernale de courte durée), qui peut entraîner une défaillance talles¹ dans la production de biomasse des plantes, un retard de floraison, etc. (Yao et al., 2020). En effet, lorsque la pluviométrie ne couvre pas la période nécessaire (90 à 115 jours) de la production de riz de plateau suite à des précipitations insuffisantes aux différentes phases végétative et reproductive de la plante, cela aura tendance à provoquer un déficit hydrique, qui peut détruire les plantes de riz de plateau (Kouakou et al., 2016).

Figure 1 : Variation des rendements de riz dans un site expérimentale an Côte d'Ivoire en fonction des quantités de pluies entre 2017-2020



Source : Husson et al 2022

Selon le sixième (6) rapport « Impacts, adaptation et vulnérabilité » du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) en 2022, l'Afrique subsaharienne sera confrontée à des températures et à des perturbations pluviométriques de plus en plus intenses au cours du siècle. Ces faits dus au phénomène du changement climatique ont des impacts négatifs sur le

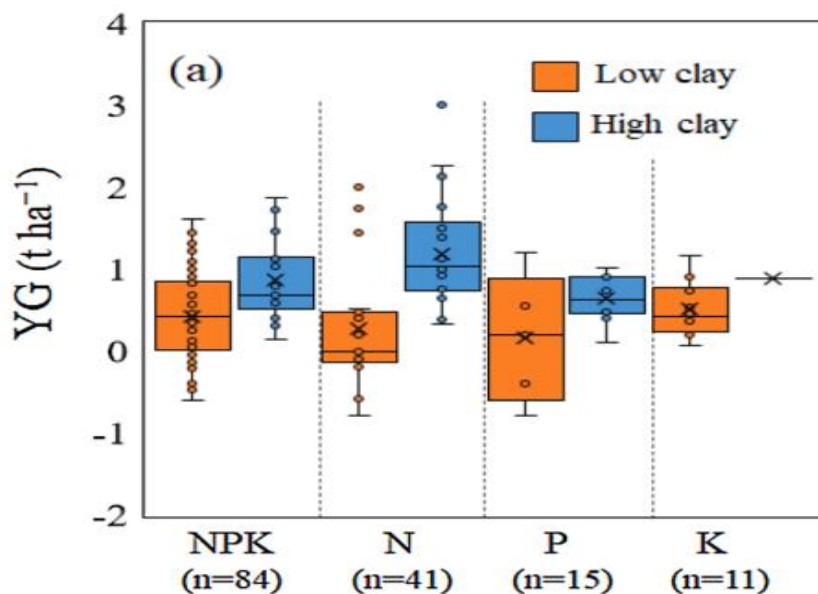
¹ La talle est une branche aérienne sur une plante herbacée. Les talles sont un élément important du système de pousses de la culture et, grâce à la capture et à la répartition du carbone, contribuent au rendement en graines. AquaPortail, 2023

secteur agricole (perte importante de récoltes, dégradation des sols, sécheresse, etc.). Dans ce sens, les températures extrêmes généralement supérieures à 37° C sont des conséquences climatiques qui défavorisent la culture de riz de plateau dans les pays de l’Afrique de l’Ouest comme le Sénégal. En cas de températures extrêmes, le fonctionnement de la plante (échange avec le sol, fonctions physiologiques, etc.) est perturbé, ce qui aura des effets sur la production (Yao et al., 2020), en raccourcissant le cycle de croissance du riz de plateau.

1.2. Typologies de sols adaptés à la culture de riz de plateau

Il existe différentes caractéristiques du sol qui peuvent impacter le choix d’un agriculteur à cultiver le riz de plateau. Le pH est l’un des éléments les plus importants (alcalinité ou acidité du sol) pour ce type de culture. Un sol alcalin a tendance à entraîner un risque de toxicité aluminique des éléments nutritifs comme le phosphore tandis qu’un sol acide présente une insuffisance en certains nutriments essentiels (le phosphore par exemple) pour la plante de riz (Zingore et al., 2014). Une autre caractéristique importante du sol qui peut être favorable à la riziculture de plateau est la texture. La texture désigne les différences de tailles de particules d’un sol. L’état de la texture du sol peut impacter sa capacité de rétention d’eau mais aussi celle des nutriments. Le sol peut être sableux, limoneux ou argileux. Cependant, la texture limoneuse est la plus favorable à l’agriculture du riz de plateau (Nys, 1981), elle permet une meilleure utilisation des intrants comme l’azote. L’argile est aussi une texture très importante dans l’utilisation de l’azote (N), du phosphore (P) et du potassium (K) (Asai et al 2021) (Figure 2).

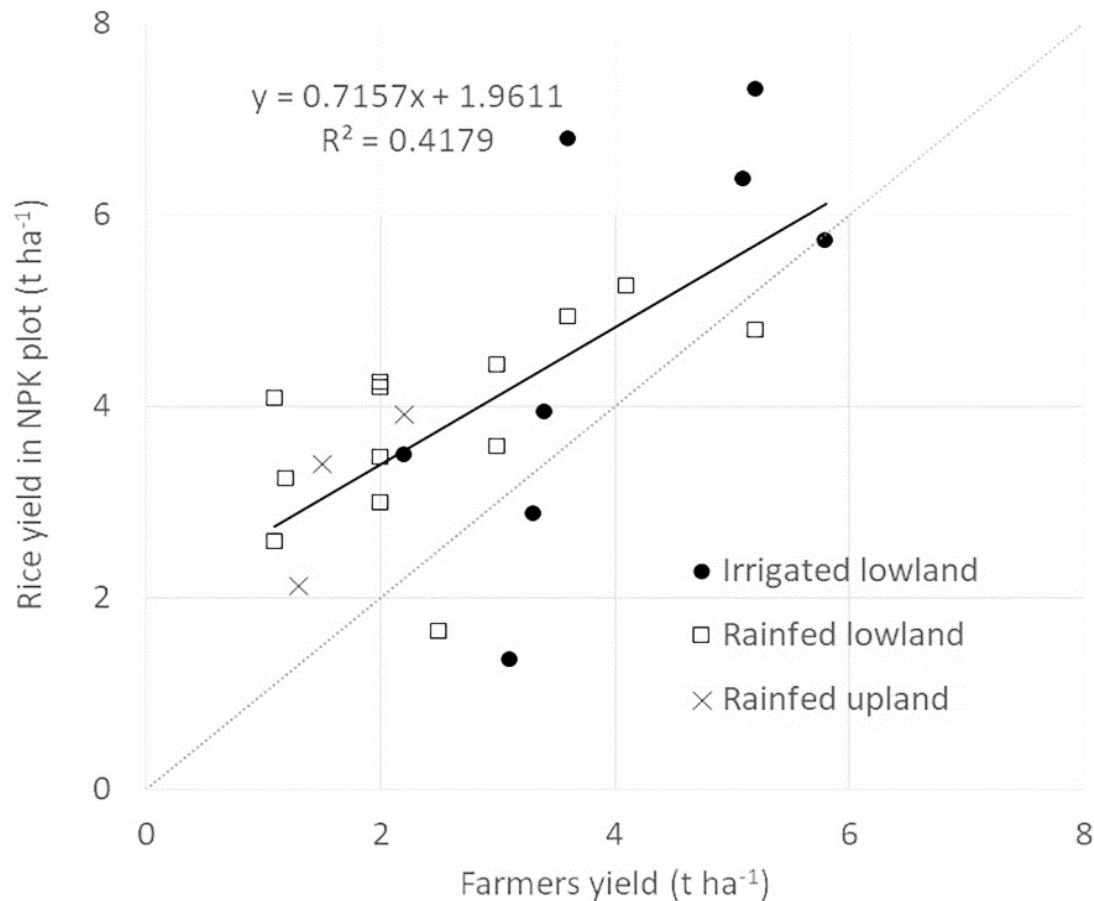
Figure 2 : Variation du rendement en fonction de l’utilisation des intrants (azote (N), phosphore (P) et potassium) et de la texture du sol (trop argileuse ou moins argileuse)



Source : Asai et al., 2021

Enfin, la fertilité du sol est un élément clé à la production de riz de plateau. En Afrique, nous pouvons noter la présence dans les sols, ou par application, des nutriments majeurs tels que l'azote (N), le phosphore (P) et le potassium (K) (Saito et al 2019) (Figure 3). En plus, des éléments mineurs tels que le Phosphore, le calcium et le magnésium sont des éléments déterminant des rendements (Sahrawat et al 1999).

Figure 3 : Variation de la production de riz (plateau, bas-fond et irrigué) des agriculteurs en Afrique de l'ouest entre usage ou non de NPK dans leurs parcelles



Source : Saito et al., 2019

La culture de riz de plateau dans les différentes régions de notre zone d'étude est principalement confrontée à la dégradation de la fertilité des sols, ce qui peut aussi expliquer en partie le choix de faire ou pas du riz de plateau (Bamba et al., 2021). Dans la zone de notre étude (Casamance et Sénégal oriental), la plupart des sols sont faibles en teneurs d'éléments nutritifs et présentent, aussi une capacité de rétention d'eau qui est faible. Les agriculteurs dans cette zone sont souvent confrontés à ce manque de nutriments qu'ils essaient de combler avec de la matière organique ou des engrais minéraux (Lahmar et al., 2011).

2. Déterminants socioéconomiques à la culture de riz de plateau

A l'instar des facteurs climatiques et pédologiques, des facteurs socio-économiques peuvent aussi avoir un impact sur le choix de l'agriculteur à faire de la riziculture de plateau (Jayne et al. 2018).

2.1. Lien entre facteurs socioéconomiques et types de culture de riz

En Afrique de l'Ouest la pluviométrie est une variable très influente sur les activités agricoles (Karambiri et al., 2011). D'autres caractéristiques comme l'âge des producteurs ; l'accès au crédit (Donkor et al 2014) ; la taille des exploitations (Rath et al 2007) peut influencer le choix des agriculteurs de semer du riz de plateau. Au Nigéria, la formation des agriculteurs, la taille du foyer et l'état marital étaient des déterminants du choix de la culture de plateau (Nwibo et al 2012).

Au sud du Sénégal, les cultures de riz de plateau et de bas-fond se développent dans le cadre de l'objectif d'autosuffisance en riz du gouvernement sénégalais. La Casamance est la zone de riziculture traditionnelle au Sénégal. C'est une zone très pluviale et la culture est principalement manuelle et sans usage d'intrants agricoles. Malgré la mobilisation des ressources et les efforts pour améliorer la production de riz, l'insuffisance de la gestion de l'eau, des terres et des cultures restent des freins importants à l'augmentation des rendements. La culture de riz au Sud du Sénégal est également menacée par la pénibilité des activités agricoles. Les agriculteurs sont souvent confrontés à la difficulté des travaux agricoles et au manque de moyens financiers (Sané et al., 2018).

Nous pouvons souligner différents aspects qui peuvent caractériser les agriculteurs de riz de plateau et ceux de riz de bas-fond. Les premiers cités ont souvent beaucoup de terre disponible et adaptée à la culture de plusieurs spéculations (riz de plateau, mil, arachide, arboriculture fruitière, etc.) (Rakotofiringa et al., 2007). Ils sont en général des hommes car cette culture demande beaucoup de force à cause de la lourdeur du matériel utilisé sur tout le processus de production de ce type de riz (Manzelli et al., 2015). En ce qui concerne la culture de riz de bas-fond qui est traditionnellement pratiquée par les femmes, en charge de la production de riz pour la famille (Manzelli et al., 2015), elle est pratiquée dans les terres basses et les parcelles sont petites comparées aux parcelles allouées à la culture de riz de plateau. En Casamance, zone où ce type de riziculture est plus pratiqué au Sénégal, la culture de riz de bas-fond est confrontée à une disponibilité de plus en plus limitée de la main d'œuvre à cause du vieillissement des agriculteurs et de l'exode des jeunes (ce qui réduit le nombre d'hommes disponibles pour des tâches lourdes que demande cette culture), une impossibilité d'usage de la traction animale (culture attelée) car les parcelles de bas-fond (contrairement aux parcelles de plateau) ne sont pas adaptées à ce type de matériel agricole, une mécanisation

pratiquement absente, un coût trop élevé des prestations de services(PAPSEN, 2012). Au Sénégal, les cultivateurs de riz (plateau et bas-fond) sont souvent confrontés à un manque de sensibilisation et de formation sur les itinéraires techniques et sur les stratégies optimales d'exploitation des parcelles disponibles. En plus de ces manquements, des facteurs comme le niveau d'instruction, la distance entre la parcelle et le ménage, l'appartenance à une ethnie et la taille du ménage peuvent avoir des effets négatifs (rendements faibles) sur la production de riz (Ngom et al., 2016) et influencer le choix des agriculteurs de cultiver le riz de plateau ou non.

2.2. Bref aperçu sur des caractéristiques des agriculteurs de riz de plateau en Casamance observées au cours de la mission de terrain

La culture riz de plateau demande un certain nombre de compétences (choix de la période de semis, reconnaissance de variété adaptée à la culture de plateau, technique de fertilisation, etc.), de disponibilité de matériel adapté, de connaissances sur les techniques de culture (de la préparation du terrain à la récolte). Notre mission au Sénégal dans le cadre de cette étude nous a permis de constater que beaucoup d'agriculteurs en Casamance font face à de nombreux problèmes persistants sur leurs activités rizicoles. Ils sont généralement en manque de matériels adaptés (pour pouvoir exploiter plus de surfaces disponibles), de semences, d'intrants agricoles, de formation sur l'itinéraire riz et sur l'usage optimal des intrants. Ces contraintes obligent les ménages à définir leurs propres stratégies de culture en fonction de leurs moyens, avec parfois une assistance de la part des institutions étatiques agricoles (SODAGRI, PAPSEN), des organisations locales (les GIE par exemple) ou internationales (les ONG avec leurs programmes d'appui). Les agriculteurs qui ont bénéficié d'une formation sur la riziculture de plateau ou ceux qui disposent de matériel adapté ont déclaré avoir vu augmenter leurs rendements en riz plateau. Mis à part les facteurs naturels (pluie, températures, etc.), ceci montre l'importance d'innover et de mécaniser ce secteur afin d'améliorer les rendements potentiels des agriculteurs de la zone.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait une revue de littérature sur les facteurs (climatiques, pédologiques et socioéconomiques) afin d'avoir un aperçu de leur impact sur la riziculture de plateau en Afrique et plus particulièrement en Casamance et au Sénégal oriental. Bien qu'il n'existe pas assez de travaux qui mettent en évidence l'influence sur le choix des agriculteurs à cultiver le riz de plateau dans la zone, nous avons pu collecter quelques études qui nous ont permis de mieux comprendre les effets de ces éléments sur le secteur agricole dans la zone. Cette étude nous permettra d'approfondir à notre tour (confirmer ou infirmer) certaines informations relatées dans ce chapitre.

CHAPITRE II : MATÉRIELS ET MÉTHODES

Introduction

Cette partie de notre étude décrit l'approche méthodologique utilisée. Elle souligne les différentes étapes de l'étude par une présentation succincte de la couverture géographique de notre étude ; de la méthode utilisée dans la collecte de données ; du traitement et de l'analyse de ces données et ; des méthodes d'analyse utilisées. Partant de l'objectif général de notre étude (comprendre les déterminants climatiques, pédologiques et socioéconomiques qui expliquent le choix des agriculteurs de la Casamance et du Sénégal oriental à cultiver le riz de plateau), nous focalisons notre analyse de données en retenant trois (3) catégories de facteurs (pédologiques, climatologiques et socioéconomiques). Ces catégories de facteurs regroupent plusieurs variables et les données sont de type secondaire et spatialisé (sol et climat), primaire socioéconomique quantitatif, primaire de rendements et primaire socioéconomique qualitatif. Nos traitements de données et analyses statistiques ont été effectués à l'aide des logiciels Excel, STATA 17, R et R-Studio et nos cartographies ont été réalisées à l'aide du logiciel ArcGis Pro et Excel.

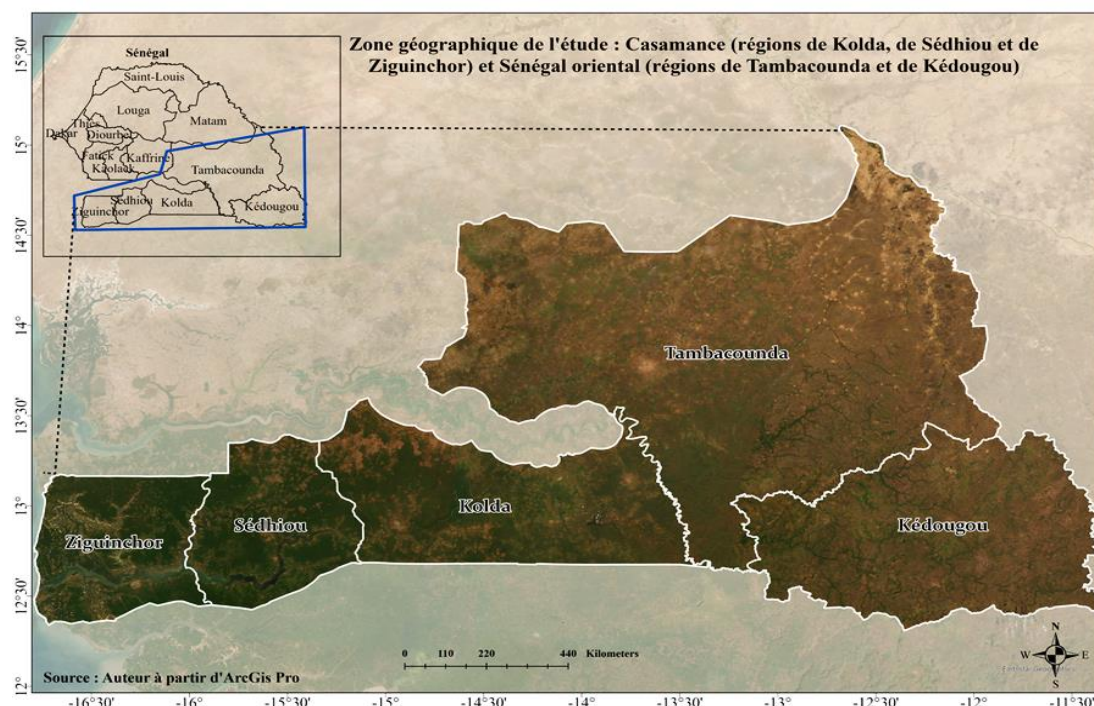
Les différentes données de notre étude sont issues principalement de la SODAGRI (données de rendement, de sol et certaines variables climatiques comme la pluviométrie et les températures pour toute la région de Casamance et Sénégal oriental) ; d'une collaboration entre l'ISRA-Bame et le Cirad, en partenariat avec la SODAGRI et financée par le CRP RICE (données socioéconomiques pour la région de Casamance) ; de la NASA (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>) pour des besoins complémentaires d'autres variables climatiques. En plus de ces différentes sources de données, nous avons aussi collecté des données socioéconomiques lors de notre mission au Sénégal afin de confronter les résultats des analyses quantitatives et qualitatives aux témoignages des agriculteurs de différentes localités et obtenir des éclairages sur leurs motivations à cultiver le riz (plateau, bas-fond ou plateau/bas-fond).

1. Présentation de la zone d'étude et description de l'échantillonnage

1.1. Présentation de la zone

La zone de notre étude est l'ensemble des cinq régions du Sud du Sénégal. Ces régions sont celles de la Casamance (Ziguinchor, Sédhiou et Kolda) et du Sénégal oriental (Tambacounda et Kédougou) (Figure 4). Nous avons retenu ces différentes régions en tenant compte de la disponibilité des données de rendements.

Figure 4 : Zone géographique de l'étude



1.2. Elément référentiel de la localisation des producteurs de plateau dans la zone géographique de l'étude

Le ciblage des agriculteurs de riz de plateau a été facilité par la stratégie de suivi de producteurs de riz (plateau et bas-fond) mis en place par la SODAGRI grâce à ses bases de données de rendements. A travers cette stratégie de suivi annuelle (depuis 2015), un ensemble de données (qualitatives et quantitatives) est collecté chaque saison par des enquêteurs de l'institution auprès de plusieurs agriculteurs et des bases de données sont conçues à l'issue de chaque période agricole pour des besoins d'analyse et de rédaction de rapports. Les rendements de riz (plateau et bas-fond) mesurés dans chaque exploitation constituent le point essentiel de leur stratégie de suivi agronomique. Nous avons sélectionné l'année 2022 pour mener notre étude. Le choix de cette année se justifie par le fait que c'est la seule période où les producteurs de riz de plateau sont représentés sur toutes les régions de la zone d'étude (Tableau 1).

Tableau 1 : Composition de la base initiale en nombre de producteurs de riz (plateau et bas-fond) dans chaque région

Région	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Vide*	Total général
Kédougou								17		17
Kolda	321	402	434	473	527	168		37		2362
Sédhiou	1		706	114	176	55		50	74	1176
Tambacounda							496	35		531
Ziguinchor								35		35
Total général	322	402	1140	587	703	223	496	174	74	4121

Vide : Année non définie dans la base de données*

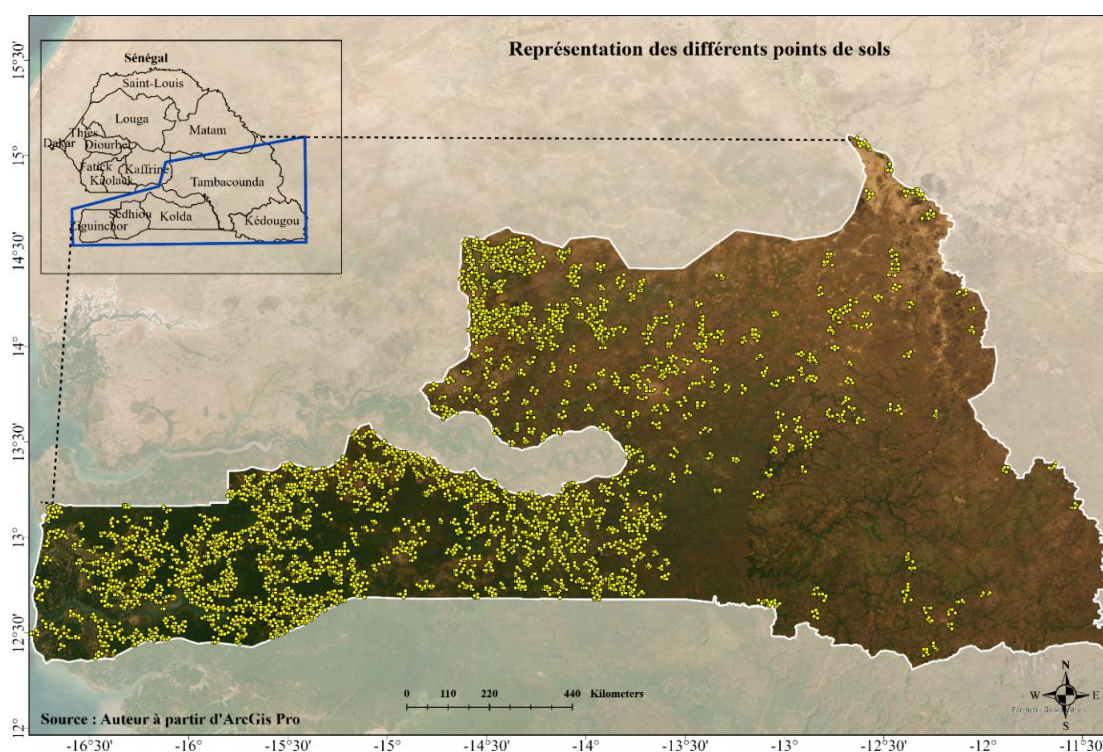
Source : Auteur (Données de la SODAGRI)

2. Collecte, traitements de données et description des échantillonnages

2.1. Variables et données pédologiques

Les données pédologiques ont été obtenues à travers la SODAGRI. Cette base de données regroupe plusieurs composantes ou éléments représentatifs des sols dans les cinq régions de notre étude. La Figure 5 montre les différents points où les caractéristiques des sols ont été définies en 2022 par la SODAGRI.

Figure 5 : Visualisation des différents points de sols



La SODAGRI a établi une base pédologique de dix-huit composantes. Sur ces différentes composantes de la base de données, nous avons sélectionné essentiellement onze (11) variables les plus importantes à la culture de riz de plateau et indicateurs de la fertilité des sols. Ces différents éléments (Tableau 3) sont le potentiel d'hydrogène (pH), cet indicateur est favorable à la production de riz de plateau lorsqu'il est proche à la neutralité (compris entre 6 et 7) (Zingore et al., 2014) ; les éléments majeurs (le phosphore, le potassium et l'azote) présents dans le sol ; les éléments mineurs (le sodium et le fer), le carbone dans le sol (la capacité d'échange cationique et le carbone total) et la texture du sol (le sable, le limon et l'argile).

Tableau 2 : liste des variables pédologiques

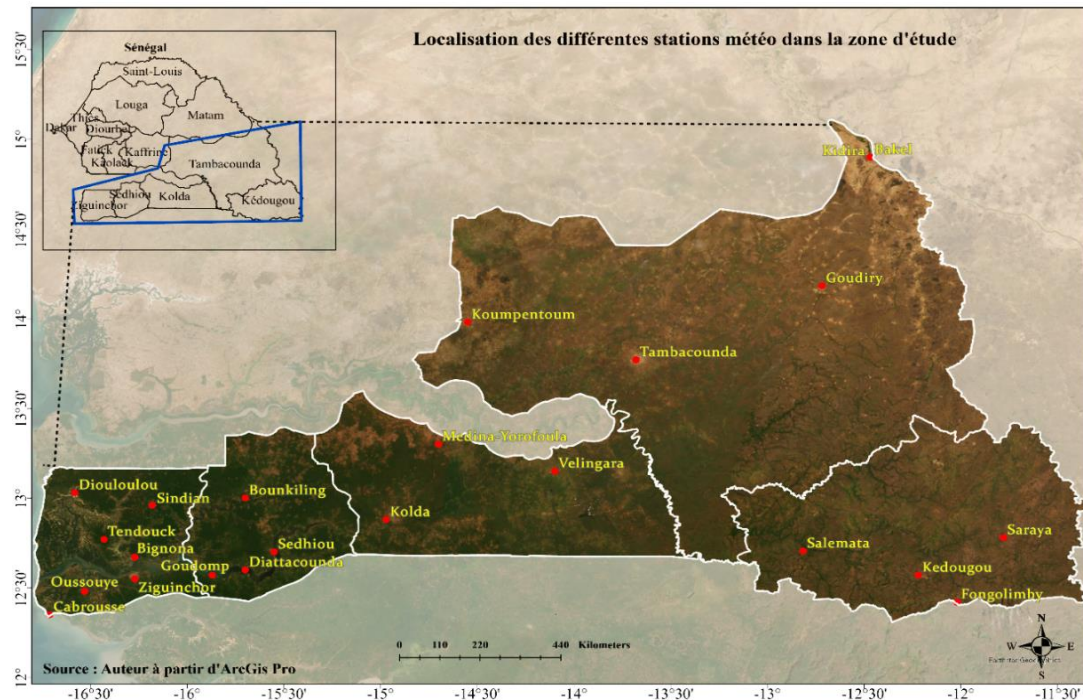
Variables	Notation	Unité	Description de la variable	Source
Potentiel d'hydrogène	pH		Mesure l'acidité, sur une échelle allant de 1 à 14	SODAGRI, 2022
Phosphore	P(Olsen)		Eléments majeurs : nécessaires à la physiologie des plantes en quantité significative	
Potassium	K			
Azote	N			
Sodium	Na		Eléments mineurs : nécessaires à un métabolisme normal pour assurer une bonne croissance des plantes	
Fer	Fe			
Capacité d'échange cationique	CEC		Carbone : élément central de la fertilité des sols	
Teneur en Carbone	TC			
Sable	Sand	%	Texture : indique la teneur relative en particules de différentes tailles, telles que le sable, le limon et l'argile, dans le sol	
Limon	Clay	%		
Argile	Silt	%		

2.2. Variables et données climatiques

Nos données climatiques sont issues de la SODAGRI qui a recueilli des informations (pluviométrie et températures) enregistrées par les différentes stations météo (Figure 6) de la zone de notre étude. Pour des besoins complémentaires de variables comme l'humidité relative et les radiations, nous avons collecté ces différentes données sur le site de la NASA. Pour les données climatiques, nous avons retenu des données de pluie, d'humidité, de températures minimales et maximales et, de radiations. A partir de ces variables, nous avons défini et calculé plusieurs indicateurs représentants le climat. Le Tableau 3 résume ces différents indicateurs. Soulignons que la base de données climat est une base primaire qui a nécessité plusieurs traitements afin de pouvoir exploiter au mieux ces données et de pouvoir définir des typologies de climat spécifique à chaque zone. Les données initiales sont des données journalières, nous avons créé des variables afin de mieux

caractériser les différents stress climatiques présents pendant les 100 jours de la culture de riz dans la région (Delerce et al 2016).

Figure 6 : : Localisation des différentes stations météo en Casamance et au Sénégal oriental



Dans un premier temps, nous avons défini une méthode géostatistique pour affecter aux différents villages, où les informations sur les agriculteurs ont été recueillies, des données climatiques issues des stations météo à proximité. Pour ce faire, avec le logiciel ArcGis Pro, nous avons affiché sur une même carte toutes les stations météo se situant dans notre zone d'étude (Casamance et Sénégal oriental) et les différents villages de notre base de données de rendement. Ceci nous a permis de définir des cercles avec les mêmes diamètres et comme centre, la localisation exacte d'une station météo. Ainsi, lorsqu'un village se retrouve dans un cercle d'une station météo, nous lui affectons les données climatiques de cette station. Cependant, lorsqu'un village se situe sur deux ou plusieurs cercles de stations météo, nous utilisons la moyenne des données entre les stations concernées. Dans un second temps, après avoir affecté à chaque village les données climatiques journalières de nos différentes variables (pluie, moyenne des températures minimales, moyenne des températures maximales, moyenne de l'humidité relative et les radiations), nous avons défini plusieurs indicateurs climatiques liés au cycle de développement de riz (Tableau 3). Les données ont été recueillies sur deux années successives (2021 et 2022). Soulignons que la zone de notre étude a deux saisons par année : une saison dite sèche et une saison des pluies allant en général de mai à octobre et parfois jusqu'à novembre, ce qui nous a permis de retenir cet intervalle de temps pour déterminer certaines variables (la Date de la deuxième pluie $\geq$ à 20 mm enregistrée et la Date de la dernière pluie enregistrée). Dans cette zone, plusieurs agriculteurs de riz de plateau ont tendance à semer après une deuxième pluie utile de 20 mm lorsque le sol est assez humide (Rapports SODAGRI, 2023 et enquête

de terrain auteur, 2023), donc nous avons défini les dates de semis de chaque zone après 3 jours d'une deuxième pluie utile de 20 mm. A partir de la date de semis, nous avons retenu une période de 100 jours correspondant à la période de culture de riz. Cette période varie entre 90 à 115 jours, ce qui justifie la période retenue pour certains indicateurs comme le Nombre de jour de pluie sur les 100 jours suivant la deuxième pluie de 20 mm, le Somme des pluies entre la deuxième pluie $\geq$ à 20 mm et les précipitations enregistrées sur les 100 jours suivants, Fréquence de l'intensité des pluies sur les sur les 100 jours suivant la deuxième pluie de 20 mm, etc. Cependant, sur la période des 100 jours nécessaires à la culture de riz, nous nous sommes intéressés à deux phases de la croissance de la plante. La phase végétative qui est de 70 jours à partir de la date de semis et la phase reproductive qui est de 30 jours suivant la phase végétative. Ainsi, à partir de ces différentes informations de base, nous avons pu calculer des indicateurs ou variables représentatives de la pluviométrie, des températures, de l'humidité relative et des radiations.

Tableau 3 : Liste des variables climatiques

	Variables	Appellation	Unité	Période	Source
Dates (début et fin) des pluies	D_Deux_Pluie_Sup_20mm_2021	Date de la deuxième pluie $\geq$ à 20 mm enregistrée	date	mai-novembre	SODAGRI
	D_Dern_Pluie_2021	Date de la dernière pluie enregistrée	date	mai-novembre	
Pluviométrie sur les 100 jours à partir de la deuxième pluie, DP	N_Jour_Pluie_100j_DP_2021	Nombre de jour de pluie sur les 100 jours suivant la deuxième pluie de 20 mm	jours	100 jours	
	S_Pluie_Sup20mm_100_DP_2021	Somme des pluies entre la deuxième pluie $\geq$ à 20 mm et les précipitations enregistrées sur les 100 jours suivants	mm	100 jours	
	N_5_Sec_Deux_Pluie20mm_100j_DP_2021	Nombre de fois où on a 5 jours successifs sans pluie entre la deuxième $\geq$ à 20 mm et les précipitations enregistrées sur les 100 jours suivants		100 jours	
Pluviométrie et sécheresse	Freq_Int_Pluie_100j_DP_2021	Fréquence de l'intensité des pluies sur les sur les 100 jours suivant la deuxième pluie de 20 mm	%	100 jours	
	Freq_Sec_100j_DP_2021	Fréquence du nombre de jour sec sur les sur les 100 jours suivant la deuxième pluie de 20 mm	%	100 jours	
Humidité	M_Hum_Relat_Phase_Veg_2021	Humidité relative moyenne de la phase végétative (1-70 jours après la date de semis)	%	70 jours	NASA
	M_Hum_Relat_Phase_Rep_2021	Humidité relative moyenne de la phase reproductive (71-100 jours après la date de semis)	%	30 jours	
Températures	M_Temp_Max_Phase_Veg_2021	Moyenne des températures maximales de la phase végétative (1-70 jours après la date de semis)	°C	70 jours	SODAGRI
	M_Temp_Min_Phase_Veg_2021	Moyenne des températures minimales de la phase végétative (1-70 jours après la date de semis)	°C	70 jours	
	M_Temp_Max_Phase_Rep_2021	Moyenne des températures maximales de la phase reproductive (71-100 jours après la date de semis)	°C	30 jours	
	M_Temp_Min_Phase_Rep_2021	Moyenne des températures minimales de la phase reproductive (71-100 jours après la date de semis)	°C	30 jours	
	Freq_M_Temp_Max_Sup33°C_100j_DP_2021	Fréquence des températures maximales supérieures à 33°C sur les 100 jours suivants la deuxième pluie de 20 mm	%	100 jours	
	Freq_M_Temp_Min_Inf24°C_100j_DP_2021	Fréquence des températures maximales inférieures à 24°C sur les 100 jours suivants la deuxième de pluie de 20 mm	%	100 jours	
Radiations	M_Rad_100j_DP_2021	Moyenne des radiations entre la deuxième pluie $\geq$ à 20 mm et celles enregistrées sur les 100 jours suivants	W/m2	100 jours	NASA
	M_Rad_Phase_Veg_2021	Moyenne des radiations de la phase végétative (1-70 jours après la date de semis)	W/m2	70 jours	
	M_Rad_Phase_Rep_2021	Moyenne des radiations de la phase reproductive (71-100 jours après la date de semis)	W/m2	30 jours	

2.3. Variables et données socio-économiques

Ces données sont issues des enquêtes réalisées par l'ISRA BAME et le Cirad, en partenariat avec la SODAGRI, grâce au financement du CRP RICE. C'est une base de données primaire (2021) qui regroupe plusieurs informations socioéconomiques et foncières de 712 ménages cultivateurs de riz (plateau et bas-fonds). Contrairement aux bases de données qui touchent toutes les régions de la zone d'étude, cette base regroupe seulement les trois (3) régions de la Casamance (Kolda, Sédhiou et Ziguinchor). Dans chaque région, les ménages producteurs ont été sélectionnés dans 20 villages tirés au sort dans 2 communes à Ziguinchor et Kolda, et trois communes à Sédhiou.² Cette base de données est composée de plusieurs sections à savoir les informations préliminaires d'enquêtes (région, département, village...), l'identification du ménage agricole (prénom et nom de famille du chef de ménage, sexe...), les caractéristiques démographiques et socio-économiques du ménage (ethnie du chef de ménage, religion, taille du ménage...), les activités rizicoles depuis le début de l'hivernage, le type d'équipements agricoles possédés par le ménage, les équipements ménagers, les animaux possédés par le ménage, l'alimentation du ménage, les coordonnées GPS, les spéculations cultivées, la formation, les intrants agricoles, etc.

A partir de ces différentes informations, nous nous sommes intéressés au capital social (dont la participation à une OP par exemple), au capital humain (la composition du ménage, la formation) au capital physique (score de richesse, matériel, animaux de trait), au capital foncier (surface totale disponible), aux activités d'existence (élevage, culture de contre saison, verger, et autres surfaces), et à la localisation (zone). Ces capitaux nous ont permis de regrouper différentes variables par catégorie. Nous nous sommes retrouvés avec 14 variables ou catégories de variable socioéconomiques comme le montre le Tableau 4 ci-dessous. Les différentes variables obtenues sont :

- **La Zone**, regroupant les régions de Kolda et Sédhiou
- **La composition totale du ménage**, regroupe en nombre les membres totaux du ménage de 5 ans et plus.
- **Le Score de richesse**, calculé à partir d'équipements domestiques (motos, vélos, télévisions, téléphones portables, réfrigérateurs, ventilateurs, gazinières, fours traditionnels), l'accès à l'eau, l'accès à l'électricité, la solidité des murs. Ce score de richesse a été construit à partir

² Le nombre de villages tirés au sort dans chaque commune a été calculé de manière à être proportionnel au nombre de villages qu'elles contiennent. Le processus d'échantillonnage permet d'avoir une répartition équilibrée des ménages dans les trois régions, mais une représentativité des communes selon leur taille dans chaque région. Un tirage aléatoire de 12 ménages par village a ensuite été effectué à partir de la liste exhaustive des ménages de chaque village. Plus d'information sur l'échantillonnage dans le rapport de projet « **Etat des lieux de la riziculture pluviale en Casamance** » (2022)

d'une Analyse des Correspondances Multiples (ACM) (qui permet de mettre en évidence les relations entre variables catégorielles ou binaires) effectuée sur 11 variables binaires. L'ACM recherche l'allongement maximum du nuage de points, c'est-à-dire la droite qui se trouve la plus proche de tous les points simultanément et qui détermine ainsi des axes qui permettent de discriminer les observations vis-à-vis des variables choisies. Les variables retenues concernent la possession d'équipements domestiques (motos, vélos, télévisions, téléphones portables, réfrigérateurs, ventilateurs, gazinières, fours traditionnels), l'accès à l'eau, l'accès à l'électricité, la solidité des murs. Chaque variable est égale à 1 lorsque le ménage possède l'équipement/a accès à l'eau/électricité et 0 sinon. Les coordonnées des observations sur les trois premières composantes représentant 46% de l'inertie totale ont été utilisées pour calculer le score de richesse. Ce score a ensuite été normalisé pour être compris entre 0 et 1. Plus le score de richesse est proche de 1 plus le ménage est doté en équipement et a accès à l'eau/électricité.

- **Les Equipements agricoles** qui regroupent la possession ou non d'au moins un motoculteur, un tracteur, un semoir, une batteuse, une charrette, une charrue ou une sarceuse), la possession ou non d'animaux de trait (bovin, ânes ou chevaux).
- **La possession** ou non de bovin d'élevage, de chèvres ou de moutons.
- **Une variable dite formation** (si le ménage a au moins un membre qui a suivi une formation sur l'itinéraire technique du riz au cours des 3 dernières années) et une variable sur la participation à une Op (organisation de producteurs) d'au moins un membre du ménage.
- **Les parcelles de contre saison** en variable binaire (si le ménage pratique des cultures de contre saison, la variable prend la valeur 1 et 0 sinon) et la surface totale disponible en Ha (surfaces de riz emblavé, surfaces de riz non emblavé, les surfaces hors-riz et les surfaces en plantation).
- **La surface des plantation** (cette variable prend la valeur 1 si la surface plantation est supérieur à 0) et une variable quantitative sur la surface des parcelles hor-riz.

Tableau 4 : : Résumé des catégories de variables socioéconomiques à l'échelle du ménage (source BDD CRP RICE ISRA/CIRAD/SODAGRI)

Catégories	Variables	Description de la variable	Type de variable	Signe attendu	Unité d'observation	Source
Localisation	Kolda	Région	Binaire	+	Ménage	BDD CRP RICE (ISRA/CIRAD)
	Sédhiou	Région	Binaire	+		
Capital humain	s2q4_personnes	Taille du ménage	Comptage	+		
	formation	Au cours des 3 dernières années, avez-vous, ou un membre de votre ménage, reçu une formation sur l'itinéraire technique du riz ? ? 1= oui, 0 = non	Binaire	+		
Capital social	s5q5_1_membresgp_re	Participation au moins à une Op = oui, 0 = non	Binaire	+		
Capital physique	equip_index4	Score de richesse calculé à partir de variables sur l'habitat et équipements domestiques	Indice	+		
	Equipement_agricoles_rec	Si le ménage a au moins un motoculteur, ou tracteur, ou semoir, ou batteuse ou charrette ou charrue, ou sarcluse	Binaire	+		
	Animaux_de_trait_rec	Animaux de trait = 1, si bovin =1 et/ou âne/chevaux = 1 ; 0 sinon	Binaire	+		
Activités d'existence	Bovin_elevage	Bovin d'élevage oui/non	Binaire	+		
	Chevres_et_moutons	Chèvres et moutons oui/non	Binaire	+		
	s4q1_nombre_cs	Pratiques de cultures de contre saison 1= oui, 0 = non	Binaire	+ /-		
	surfembla_au21_men	Surface emblavée des parcelles hors-riz (en Ha)	Quantitative	-		
Foncier	Surface_total_disponible	Surface totale disponible = surface riz emblavé, rizières non emblavées, surface de cultures annuelles hors-riz, plantations (en Ha)	Quantitative	+		
	surfplant_arbres_men_bin	Supériorité ou non des surfaces de plantations par rapports aux surfaces allouées à la culture de riz de plateau	Binaire	+		

2.4. Données de rendements

Les données de rendement ont été obtenues par le biais de la SODAGRI. Nous avons eu à notre disposition plusieurs bases de données primaires de rendement (de 2015 à 2022, (Tableau 1)). Nous avons retenu les données de rendement de l'année 2022. Ces données de rendement ont été collectées auprès de 51 producteurs entre les différentes régions de la zone de notre étude. Sur ces cinq régions, 26 villages sont représentés avec des proportions différentes en termes de nombre de villages par région et de nombre de producteurs par village. Le Tableau 5 résume notre échantillon et la répartition du nombre de cultivateurs de riz de plateau recensés dans chaque village. Cependant, on constate que la région de Tambacounda est la région la plus représentée en nombre de village (16) et d'agriculteurs (20). La région la moins représentée en nombre d'agriculteurs enquêtés (3) est la région de Ziguinchor, sur trois (3) villages différents. Nous avons apporté plusieurs traitements (qualitatif et

quantitatif) et des corrections aux différentes bases avant de se lancer sur les analyses de données. Les traitements qualitatifs réalisés concernent en une vérification des informations enregistrées sur ces différentes bases de données. Nous avons pu relever et corriger un certain nombre d'erreurs comme les noms des villages qui étaient mal orthographiés. Nous avons corrigé cette anomalie en se référant à la base de données administrative des différentes localités du Sénégal (SNG_Localités, 2017). Cette base de données regroupe tous les noms de village et leurs coordonnées géographiques et, les sections administratives (Régions, départements, arrondissements, communautés rurales et villages) auxquelles ces villages appartiennent. Cette correction nous a permis de retrouver toutes les coordonnées géographiques des différents villages de notre base de données de rendement car sans ces informations nous ne serions pas en mesure d'identifier la zone exacte où les données de rendement sont issues pour pouvoir faire notre analyse cartographique.

Tableau 5 : Description de la base de données 2022 (rendement de riz de plateau)

Régions	Villages	Nombre de producteurs par zone	Nombre de village représenté dans chaque région
Kédougou	Darsalam	5	2
	Ethiolo	3	
Kolda	Sare Yeroyel	7	1
Sédhiou	Diannah Ba	2	4
	Diannah Malary	2	
	Ndiama	7	
	Oudoucar	2	
Tambacounda	Bala	3	16
	Cisse Counda	1	
	Dougue	1	
	Kahene	2	
	Kodiam	1	
	Koudy	2	
	Koumare	1	
	Malem Niani	1	
	Massembe	1	
	Issira Thiarene	1	
	Ndiobene I	1	
	Ndiobene II	1	
	Patoulane Ouolof	1	
	Sinthiou Barinabe	1	
	Sinthiou Dioulde	1	
	Soutouta	1	
Ziguinchor	Diourou	1	3
	Kartiack	1	
	Koubalan	1	
Total général		51	26

Source : SODAGRI, 2023

2.5. Données socioéconomiques supplémentaires de notre enquête de terrain

Au cours de notre stage, nous avons eu l'occasion de réaliser une mission de terrain. L'objet de cette mission était de recueillir plusieurs informations, auprès des producteurs de riz dans la zone de notre étude, comme les raisons qui les poussent à cultiver le riz de plateau, ou le riz de bas-fond ou encore à pratiquer les deux types de riziculture à la fois ; les contraintes rencontrées dans la pratiques des deux types de riziculture; la possession d'animaux de trait ou non ; la possession d'équipements agricoles ; le fait d'avoir bénéficié d'une formation sur la culture de riz ou non ; le type de parcelles possédées (plateau et/ou bas-fond) et leurs surfaces, l'usage ou non d'intrants agricoles (engrais et herbicide), le mode d'accès à ces intrants et aux semences, l'emplacement de l'exploitation (proche si c'est inférieur à 1 km et lointain si c'est supérieur), le mode de financement de la riziculture (par banque, mutuel de crédit ou autre), l'accès à l'information climatique et, les types de variétés utilisées et les raisons de l'usage de ces variétés. Ceci nous a permis de confronter les études et analyses théoriques réalisées et la réalité du terrain. Nous avons visité au total 15 villages dont 7 villages dans la région de Kolda, 3 villages dans la région de Sédhiou et 5 villages dans la région de Ziguinchor. Sur l'ensemble de ces villages, nous avons enquêtés 54 producteurs de riz dont 37 qui cultivent seulement du riz de plateau et 13 qui cultivent seulement du riz de bas-fond (Tableau 6). Nous développerons l'analyse dans la partie discussion de ce travail pour plus de clarifications sur les enseignements tirés et les conclusions retenues.

Tableau 6 : Répartition des nombres de producteurs enquêtés dans les régions de Kolda, Sédhiou et Ziguinchor lors de notre mission de terrain, juillet-août 2023

Région	Basfond	Plateau	Plateau/Bas-fond	Nombre de producteurs enquêtés	Nombre de village visité
Kolda	5	23	1	29	7
Sédhiou	0	8	1	9	3
Ziguinchor	8	6	2	16	5
Total	13	37	4	54	15

Source : Auteur, 2023

Ainsi, dans la section suivante, nous allons montrer les différentes méthodes d'analyse appliquées aux différents facteurs de notre étude.

3. Méthode d'analyse appliquée à chaque type de facteur

Dans cette section, nous montrons les différentes méthodes d'analyse appliquées à chaque facteur pour répondre à notre problématique de recherche, à savoir les déterminants qui impacteraient le choix des agriculteurs à cultiver le riz de plateau.

3.1. Méthode d'analyse appliquée aux rendements et aux facteurs pédoclimatiques

Les variables de rendement, caractéristiques de sol et climat ont été analysées avec le logiciel R studio et le Plugin Factominer de R (Husson et al., 2010). Avec R, nous avons fait une Analyse de la Variance (ANOVA) pour comparer les moyennes des différents groupes de ces facteurs et de voir s'il existe une différence significative. Les variances obtenues avec le test ANOVA ont montré des différences entre les groupes. Comme les variables sont de type différent en termes de variances, de valeurs minimales et maximales, nous avons réalisé l'agroupement en utilisant ce logiciel. Ainsi nous avons pu faire une analyse factorielle multiple (AFM) puis une analyse de clustering (K-means) sur les composantes principales de l'AFM.

Pour les besoins de cartographie, nous avons utilisé le logiciel ArcGIS Pro avec les options de "symbology" en valeur unique (pour représenter les points de mêmes caractéristiques) ou en valeur différente (pour représenter les points de caractéristiques différentes) et de "raster" pour les "heat map" (ces heat map peuvent aussi se réaliser avec l'option symbology).

3.2. Méthode d'analyse appliquée sur les facteurs socioéconomiques

La méthodologie utilisée pour les composantes socioéconomiques est une modélisation logit. L'objet est d'analyser l'impact des différentes catégories de variables sur la variable cultive_plateau. En d'autres termes, il s'agit d'analyser statistiquement si parmi ces variables, certaines contribuent à expliquer la probabilité qu'un ménage cultive du plateau. Vu les typologies (binaire ou continue) des variables à expliquer et explicatives, nous retenons le modèle logit pour faire notre analyse. Le modèle logit est à la fois un modèle de régression où la variable à expliquer est dichotomique (binaire) mais aussi, c'est une méthode alternative à l'analyse discriminante linéaire.

L'objet est de faire une modélisation de la probabilité que les ménages cultivent du riz de plateau en fonction des variables ou facteurs socioéconomiques de notre base de données. Dans ce sens, cette probabilité peut se présenter sous la forme linéaire qui suit :

$$y_i^* = X_i\beta + \mu_i \quad (1)$$

Où : y_i^* est une variable latente sous-jacente au phénomène de pratiquer la riziculture de plateau ; X_i un vecteur de facteurs observables du ménage ou de l'agriculteur ; β un vecteur de paramètres inconnus associé au vecteur X_i ; et μ_i est le terme d'erreur et on suppose qu'il suit une loi normale $N(0, \sigma)$. On a :

$$Y_i = 1 \text{ si } y_i^* \geq 0 \text{ le ménage cultive du riz de plateau} \quad (2)$$

$$Y_i = 0 \text{ sinon.} \quad (3)$$

Ce qui signifie que Y_i est la variable dichotomique (binaire) à expliquer, qui vaut 1 si le ménage cultive du riz de plateau et 0 sinon.

La caractéristique dichotomique de la variable à expliquer nous a permis de choisir le modèle logit pour faire notre analyse économétrique. Ce modèle suppose que la fonction de répartition F suit une loi logistique.

$$\Rightarrow F(x) = \frac{\exp(x)}{1 + \exp(x)} \quad (4)$$

Dans ces conditions, la probabilité qu'un ménage cultive du riz de plateau est :

$$P(y = 1) = \frac{\exp(xi\beta)}{1 + \exp(xi\beta)} \quad (5)$$

Soulignons qu'avant de retenir les différentes variables catégorielles pour les estimations de notre modèle, nous allons d'abord effectuer une étude de corrélation afin de vérifier s'il existe de fortes corrélations (supérieures à 0,70) entre les variables explicatives. Nous faisons cette analyse pour repérer l'existence de probables colinéarités entre variables explicatives au cas où ces dernières présenteraient des coefficients de corrélation supérieurs ou égaux à 0,7.

Ainsi, après avoir fait notre analyse de corrélation, nous aurons la possibilité de retenir toutes les variables, éliminer ou corriger les colinéarités s'il en existe.

Conclusion

Ce chapitre décrit l'ensemble du travail de collecte de données et méthodes d'analyse réalisé sur plusieurs niveaux afin de mobiliser les différentes informations nécessaires à notre thématique de recherche et de pouvoir répondre à notre problématique. Le chapitre qui suit nous permet de mobiliser les différents résultats obtenus et de faire des analyses approfondies sur les déterminants qui influenceraient les producteurs des régions de Casamance et du Sénégal à cultiver le riz de plateau.

2. Résultats des facteurs climatiques

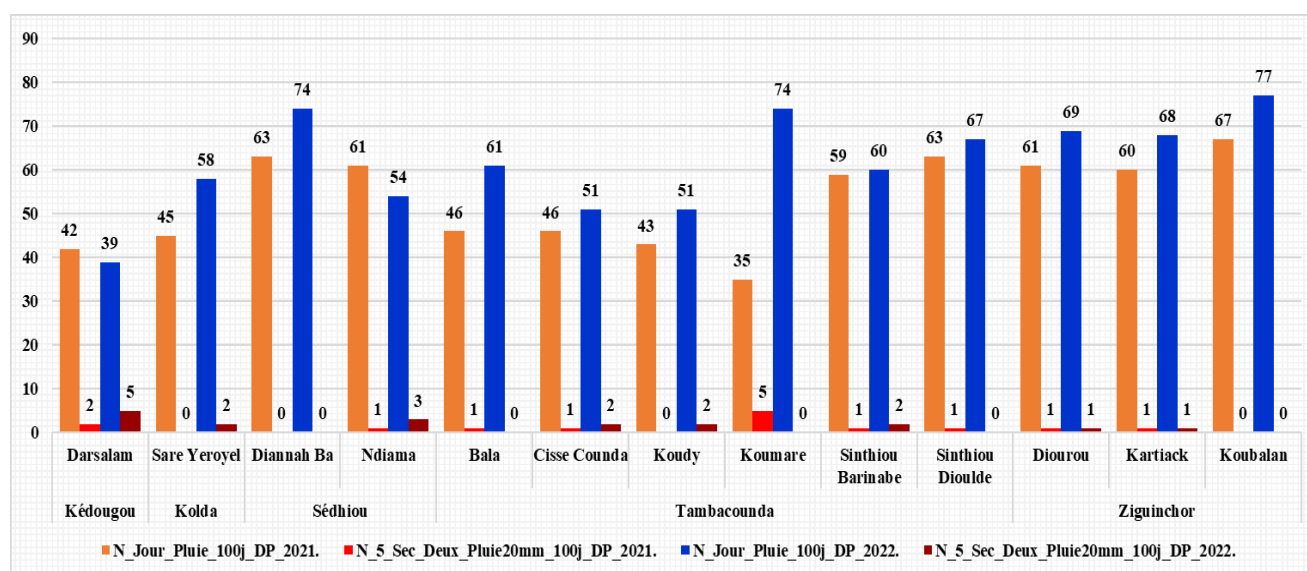
2.1. Variation des facteurs climatiques entre 2021-2022

Rappelons que nous avons retenus deux années (2021 et 2022) pour l'analyse des données climatiques. Cependant, nous avons sélectionné 13 sites (villages) stratégiques pour analyser les données de climats. Ce qui nous a permis de noter sur les deux années une certaine variation entre les différents facteurs climatiques que sont les précipitations, les températures, l'humidité relative, et les radiations.

- **Précipitations et humidité relative**

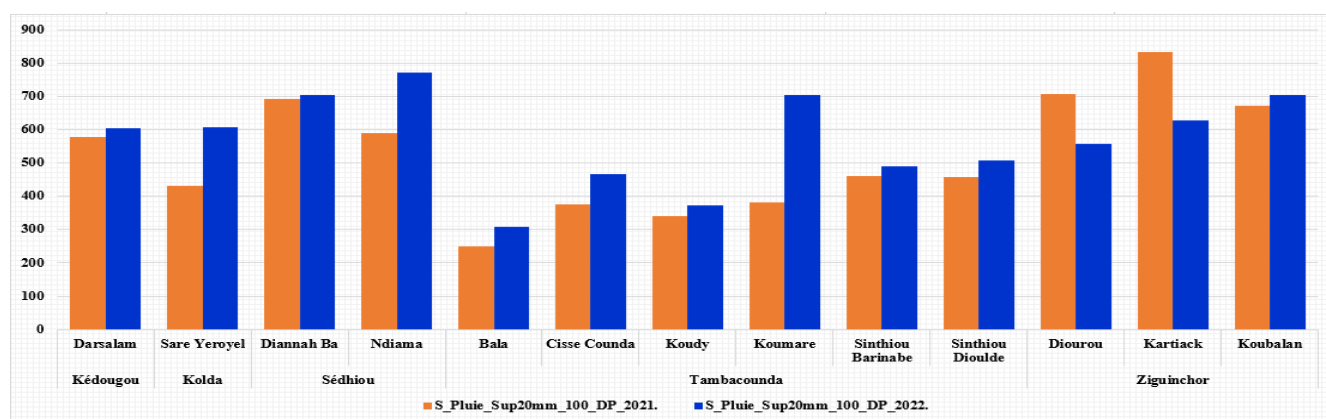
L'année 2022 est marquée par une pluviométrie supérieure à celle obtenue en 2021 sur presque tous les points stratégiques que nous avons sélectionnés pour notre étude sur le climat. Les localités se trouvant à Ziguinchor ont enregistré plus de nombre de jour de pluie (compris entre 67 et 77) sur la période de 100 jours de production après leur deuxième pluie utile de 20 mm (Figure 8). Cependant, si nous considérons cette même région, la somme des pluies obtenues en 2021 (600 à 830 mm) reste supérieure à celles de 2022 (500 à 700 mm) contrairement aux autres régions où le nombre de jours de pluie sur les 100 jours en 2022 est supérieur à la celui enregistré en 2021, de même que la somme des pluies notée en 2022 (Figure 9). Par ailleurs, nous pouvons remarquer les pluies les plus faibles sur les deux années dans presque toutes les localités de la région de Tambacounda (Figure 9). Ces pluies sont comprises entre 200 à 500 mm sur l'année 2021 et entre 300 à 700 mm en 2022.

Figure 8 : Variation des nombres de jours de pluie sur les 100 jours après une deuxième pluie utile de 20 mm, 2021-2022



Source : SODAGRI, 2022

Figure 9 : Variation des nombres de jours de pluie supérieur à 20 mm dans les différentes régions en 2021 et 2022



Source : SODAGRI, 2023

La Figure 10 indique la variabilité de certains indicateurs de la pluviométrie et de l'humidité relative sur les 100 jours (cycle de la production de riz de plateau). Nous pouvons noter sur cette période de 100 jours et sur les deux années (2021-2022) plus de pluies moyennes dans les régions de Ziguinchor, Sédhiou et Kédougou. Les régions de Kolda et Tambacounda présente des fréquences de pluie relativement faibles sur les 100 jours et sur les deux années. Par ailleurs, nous pouvons constater aussi une humidité relative élevée en phase végétative dans les régions de Ziguinchor, Sédhiou, Kolda sur les deux années et Kédougou sur l'année 2022. Ces mêmes régions restent aussi plus humide en phase reproductive sur les deux années. La région de Tambacounda quant à elle présente une faible humidité relative sur les phases végétative et reproductive et sur les deux années. Cela peut s'expliquer par les faibles pluies enregistrées dans cette région en 2021 et en 2022.

Figure 10 : Variation moyenne d'indicateurs de la pluviométrie entre les différentes régions, 2021-2022. Indicateurs de la moyenne des pluies supérieures à 20mm sur la période de 100 jours après semis (a 2021 et b 2022) ; Nombre de jours de pluie sur les 100 jours c 2021 et d 2022 ; Moyenne d'humidité relative en phase végétative (e 2021, f 2022) et en phase reproductive (g 2021, h 2022).



Source : SODAGRI, 2023

- **Températures et radiations en phase végétative et en phase reproductive**

La variation des températures et radiations entre les phases végétative et reproductive sur les deux années reste à peu près corrélée négativement avec la pluviométrie. Dans ces deux phases, la région de Tambacounda (à faible pluviométrie) présente des températures maximales plus élevées que les autres régions (Figure 11). Cette région enregistre aussi des radiations plus élevées en phase végétative des plantes.

Figure 11: Variation des températures moyennes entre les phases végétative et reproductive, 2021-2022. Moyenne Température en phase végétative (a 2021 et b 2022), Moyenne Température maximale phase végétative (c 2021 et d 2022), Moyenne Température en phase reproductive (e 2021 et f 2022), Moyenne Température maximale phase reproductive (g 2021 et h 2022), Moyenne des Radiations en phase végétative (i 2021 et j 2022), Moyenne des radiations en phase reproductive (k 2021 et l 2022)



Source : SODAGRI, 2023

2.2. Cartographie des typologies de climat

Pour faire l'analyse des facteurs climatiques sur le choix des producteurs à cultiver le riz de plateau, nous avons utilisé une méthode de clustering afin de caractériser les typologies de climat spécifiques à chaque localité. Nous avons obtenu quatre clusters (Annexe 1). Les résultats obtenus montrent que les indicateurs du Tableau 7 sont les plus discriminants entre les différents clusters.

Tableau 7: Variables les plus discriminantes issus du clustering des indicateurs du climat 2021 et 2022

Variable	Appellation	Eta2	P-value
M_Rad_Phase_Rep_2021	Moyenne des radiations de la phase reproductive (71-100 jours après la date de semis) en 2021	0,9460	0,0000
M_Rad_100j_DP_2021	Moyenne des radiations entre la deuxième pluie $\geq$ à 20 mm et celles enregistrées sur les 100 jours suivants, 2021	0,9403	0,0000
M_Rad_Phase_Veg_2021	Moyenne des radiations de la phase végétative (1-70 jours après la date de semis), 2021	0,8643	0,0003
M_Temp_Max_Phase_Rep_2021	Moyenne des températures maximales de la phase reproductive (71-100 jours après la date de semis), 2021	0,8432	0,0006
S_Pluie_Sup20mm_100_DP_2021	Somme des pluies entre la deuxième pluie $\geq$ à 20 mm et les précipitations enregistrées sur les 100 jours suivants, 2021	0,8183	0,0011
Freq_M_Temp_Max_Sup33.C_100j_DP_2021	Fréquence des températures maximales supérieures à 33°C sur les 100 jours suivants la deuxième pluie de 20 mm, 2021	0,8060	0,0015
M_Hum_Relat_Phase_Rep_2021	Humidité relative moyenne de la phase reproductive (71-100 jours après la date de semis), 2021	0,8056	0,0015
M_Hum_Relat_Phase_Veg_2021	Humidité relative moyenne de la phase végétative (1-70 jours après la date de semis), 2021	0,7823	0,0025
Freq_Int_Pluie_100j_DP_2022	Fréquence de l'intensité des pluies sur les sur les 100 jours suivant la deuxième pluie de 20 mm, 2022	0,7528	0,0043
M_Rad_Phase_Veg_2022	Moyenne des radiations de la phase végétative (1-70 jours après la date de semis), 2022	0,7444	0,0050
M_Rad_100j_DP_2022	Moyenne des radiations entre la deuxième pluie $\geq$ à 20 mm et celles enregistrées sur les 100 jours suivants, 2022	0,7217	0,0072
Freq_M_Temp_Max_Sup33.C_100j_DP_2022	Fréquence des températures maximales supérieures à 33°C sur les 100 jours suivants la deuxième pluie de 20 mm, 2022	0,7210	0,0073
M_Temp_Max_Phase_Veg_2021	Moyenne des températures maximales de la phase végétative (1-70 jours après la date de semis), 2022	0,7121	0,0083
Freq_Int_Pluie_100j_DP_2021	Fréquence de l'intensité des pluies sur les sur les 100 jours suivant la deuxième pluie de 20 mm, 2021	0,6900	0,0115
N_Jour_Pluie_100j_DP_2022	Nombre de jour de pluie sur les 100 jours suivant la deuxième pluie de 20 mm, 2022	0,6815	0,0129
N_5_Sec_Deux_Pluie20mm_100j_DP_2022	Nombre de fois où on a 5 jours successifs sans pluie entre la deuxième $\geq$ à 20 mm et les précipitations enregistrées sur les 100 jours suivants, 2022	0,6676	0,0155
Freq_M_Temp_Min_Inf24.C_100j_DP_2022	Fréquence des températures maximales inférieures à 24°C sur les 100 jours suivants la deuxième de pluie de 20 mm, 2022	0,6366	0,0228
N_Jour_Pluie_100j_DP_2021	Nombre de jour de pluie sur les 100 jours suivant la deuxième pluie de 20 mm, 2021	0,6013	0,0339
Freq_M_Temp_Min_Inf24.C_100j_DP_2021	Fréquence des températures maximales inférieures à 24°C sur les 100 jours suivants la deuxième de pluie de 20 mm, 2021	0,5821	0,0413

Parmi ces différentes variables les plus discriminantes, nous en avons sélectionné sept (7) pour caractériser les typologies de climat. Nous choisissons deux variables qui discriminent le plus la température, deux variables qui discriminent le plus les radiations, deux variables qui discriminent le plus la pluie et une variable pour l'humidité. Le tableau ci-dessous indiquent les différentes variables retenues avec leurs moyennes dans les différents clusters sur les deux années.

Tableau 8 : Variables sélectionnées pour différencier les zones

Variables	2021					2022				
	Moyenne par catégorie				Moyenne entre les groupes	Moyenne par catégorie				Moyenne entre les groupes
	C1	C2	C3	C4		C1	C2	C3	C4	
M_Rad_Phase_Rep	6015	—	—	—	6479	—	—	—	—	—
M_Rad_Phase_Veg	—	6982	—	—	6904	—	—	—	6788	6884
Freq_M_Temp_Max_Sup33.C_100j_DP	—	0,16	—	—	0,07	—	—	—	0,07	0,18
M_Temp_Max_Phase_Veg	—	31,22	—	—	30,40	—	—	—	29,86	30,40
Freq_Int_Pluie_100j_DP	—	—	0,38	—	0,26	—	—	0,46	—	0,27
S_Pluie_Sup20mm_100_DP	—	—	—	699,03	520,82	—	—	—	672,52	570,82
M_Hum_Relat_Phase_Rep	0,83	—	—	0,89	0,86	—	—	—	—	—

Les quatre clusters obtenus indiquent des caractéristiques différentes. La Figure 12 illustre ces différentes caractéristiques. Les points en noir sont les individus du cluster 1, les individus du cluster 2 sont représentés en rouge, l'individu du cluster 3 en vert et, les individus du cluster 4 en bleue. Le cluster 1 regroupe deux localités (Cissé Counda et Koudy) de la région de Tambacounda et une localité (Sare Yeroyel) de la région de Kolda. La description de ce cluster (**Annexe 1**) montre que ces zones ont une humidité relative faible de 82,88 % inférieure à la moyenne (86,38 %) de l'humidité relative de toutes les localités, on voit aussi une moyenne faible des radiations (6 015,11 W/m²) en phase reproductive des plantes. Cette moyenne est inférieure à la moyenne des radiations de toutes les localités ou groupes (6 479 W/m²) sur la période des 100 jours de production de riz de plateau et sur la phase reproductive des plantes de riz de plateau. Dans ces zones, le riz de plateau est soumis donc à un faible rayonnement et humidité relative. Le cluster 2 regroupe 4 individus ou villages (Koumare, Sinthiou Dioulde, Sinthiou Barinabe et Bala) de la région de Tambacounda. Ces zones enregistrent une moyenne des radiations élevées en phase en végétative des plantes de 6 982 W/m² (supérieure à la moyenne des groupes qui est de 6 904 W/m²), des fréquences élevées des températures maximales supérieures à 33°C de 15 % en 2021 (supérieure à la moyenne des groupes : 6 %) et de 32,75 % en 2022 (supérieure à la moyenne des groupes : 17,84 %) sur la période des 100 jours de production. Le cluster 3 indique un seul individu ou village (Darsalam) de la région de Kédougou. Cette zone à une fréquence d'intensité de pluie élevée de 46,15 % en 2022 supérieure à la fréquence des groupes. Le cluster 4 quant à lui, regroupe les individus ou villages (Kartiack, Diourou, Koubalan, Ndiama et Diannah Ba) des régions de Ziguinchor et Sédhiou. Ces zones s'identifient par une moyenne élevée de la somme des pluies de 699 mm en 2021 (supérieure à la moyenne des groupes : 520) ; de faibles moyennes des radiations en 2022 de 6 843 W/m² sur les 100 jours de production du riz (inférieure à 6 914 W/m²) et 6 788 W/m² en phase végétative en 2022 (inférieure à la moyenne des groupes de 6 884 W/m²).

- 46

pouvons noter une variation de 0,31 % (Ziguinchor) à 105,53 % (Tambacounda) avec une moyenne égale à 68,00 % et un écart-type de 19,05. Ceci indique aussi une forte variabilité de la teneur en sable entre les différentes localités.

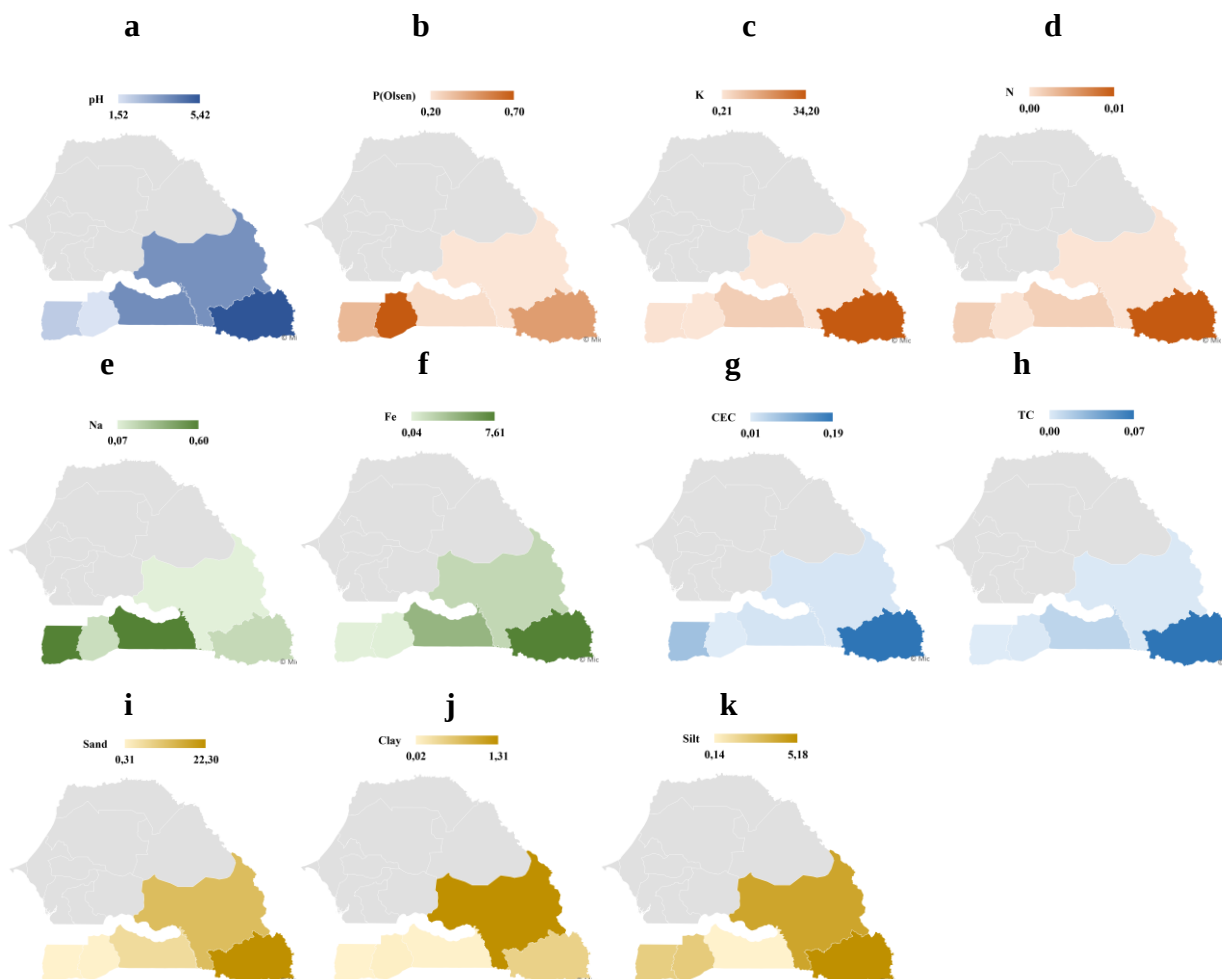
Tableau 9: Statistiques descriptives des variables pédologiques

Variable	Kédougou				Kolda				Sédhiou				Tambacounda				Ziguinchor			
	Mean	Std. dev.	Min	Max	Mean	Std. dev.	Min	Max	Mean	Std. dev.	Min	Max	Mean	Std. dev.	Min	Max	Mean	Std. dev.	Min	Max
pH	6,05	0,27	5,42	7	5,92	0,49	3,89	8,13	5,89	0,60	1,52	9,45	6,05	0,43	3,78	8,58	5,42	0,83	2,17	9,12
P.Olsen	5,05	1,67	0,46	10,90	3,04	1,28	0,23	23,50	6,15	1,84	0,70	28,10	4,05	1,51	0,20	38	3,28	2,05	0,36	43,20
K	75,46	22,73	34,20	191	37,59	16,98	5,77	170,00	30,73	27,00	0,21	708,00	62,91	69,29	0,25	2330	131,17	186,54	0,94	1650,00
N	0,09	0,04	0,01	0,28	0,05	0,03	0,00	0,44	0,04	0,03	0,00	0,29	0,05	0,03	0,00	0,43	0,07	0,04	0,00	0,57
Na	5,75	3,65	0,18	25,80	6,02	2,31	0,60	33,40	97,64	189,26	0,16	3210,00	4,87	4,44	0,07	91,90	1457,30	2204,47	0,60	14711,62
Fe	123,36	55,77	7,61	391	95,12	52,44	4,09	605,00	121,43	128,29	0,13	1107,31	76,01	43,67	1,74	536	158,42	119,39	0,04	974
CEC	7,82	6,38	0,19	33,2	4,77	2,63	0,02	30,60	7,63	16,45	0,01	345,35	4,62	3,43	0,02	36,70	21,55	38,81	0,07	477,20
TC	1,68	0,86	0,07	5,42	0,82	0,48	0,01	7,56	0,70	0,42	0,00	3,35	0,71	0,43	0,00	6,98	1,09	0,83	0,00	8,22
Sand	56,85	7,82	22,30	75,78	65,14	9,84	5,49	91,83	70,94	13,43	0,56	95,57	63,02	8,79	12,22	105,53	68,00	19,05	0,31	94,78
Clay	17,51	10,68	0,45	67,38	10,68	6,25	0,03	70,36	9,61	10,00	0,06	71,37	8,94	5,41	1,31	64,23	15,98	14,35	0,02	78,67
Silt	25,64	5,74	5,18	40,50	24,18	6,60	0,14	52,40	19,45	5,64	2,14	49,15	28,06	5,42	4,09	50,70	16,02	7,36	2	45,40

Source : SODAGRI et calcul de l'auteur

La Figure 13 indique une visualisation de la variation des données minimales entre les cinq (5) régions de la zone de notre étude. Dans l'ensemble, les valeurs les plus petites du pH (1,52), du potassium K (0,21), du fer Fe (0,04), de la teneur en carbone TC (0,00), des pourcentages de sable Sand (31 %) et d'argile Clay (2 %) et de limon Silt (14 %) sont enregistrées dans les régions de Ziguinchor et Sédhiou. Les niveaux les plus petits des autres composantes comme le Phosphore P.Olsen (0,20), l'azote N (0,00) et le sodium Na (0,07) sont notés dans les régions de Kolda et de Tambacounda.

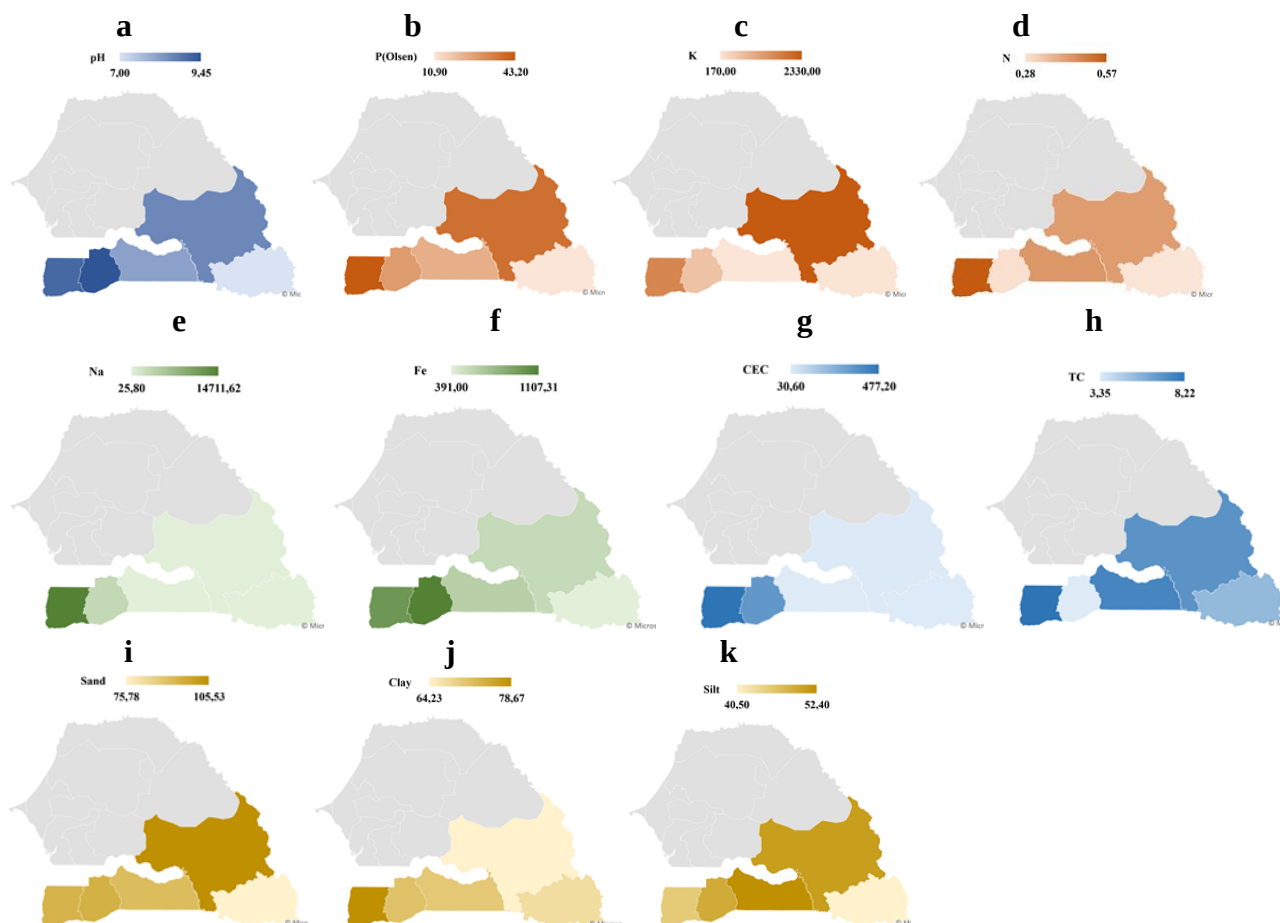
Figure 13: Variation des données minimales des composantes pédologiques entre les différentes régions. ph : a, Phosphore : b, Potassium : c, Azote : d, Sodium : e, Fer : f, Capacité d'échange cationique : g, Teneur en carbone : h, Argile : i, Limon : j et Sable : k



Source : Auteur à partir des données de la SODAGRI, Excel

La Figure 14 indique la variation des valeurs maximales des composantes pédologiques entre les différentes régions. Comme nous pouvons le constater dans l'ensemble, les valeurs les plus élevées de pH (9,45), du P.Olsen (43,20), de K (2 330), de N (0,57), du TC (8,22), du Sand (105,53 %) et du Silt (52,40 %) sont notées dans les régions de Ziguinchor, de Sédhiou, de Kolda et de Tambacounda. Le Na (1 4711,62), le Fer (1 107,61), le CEC (477,20) et le Clay (78,67) sont plus denses dans les régions de Ziguinchor et Sédhiou.

Figure 14: Variation des données maximales des composantes pédologiques entre les différentes régions. pH : a, Phosphore : b, Potassium : c, Azote : d, Sodium : e, Fer : f, Capacité d'échange cationique : g, Teneur en carbone : h, Argile : i, Limon : j et Sable : k



Source : Auteur à partir des données de la SODAGRI, Excel

Le Tableau 10 indique les compositions des individus ou points dans chaque région. Les régions de Tambacounda, de Kolda et de Sédhiou sont les régions où nous avons plus d'individus avec un nombre de 1 625 ; 1 475 et 1 225 respectivement. Les régions de Ziguinchor (750 individus) et de Kédougou (105 individus) sont les moins représentées.

Tableau 10 : Répartition des individus (points) de sol entre les différentes régions

Régions	Observations
Kédougou	105
Kolda	1 475
Sédhiou	1 225
Tambacounda	1 625
Ziguinchor	750
Total	5 180

Source : SODAGRI, 2022

3.3. Cartographie des typologies de sol

Comme pour la méthode utilisée afin de caractériser le climat, nous avons utilisé une méthode de clustering pour caractériser les différentes typologies de sol. Les résultats obtenus (**Annexe 2**) montrent que toutes nos variables pédologiques sont discriminatoires avec des proportions différentes.

Tableau 11 : Variables les plus discriminants issus du clustering pédologique

Variable	Appellation	Eta2	P-value
K	Potassium	0,6473	0,00E+00
N	Azote	0,3599	0,00E+00
Na	Sodium	0,6811	0,00E+00
Fe	Fer	0,4353	0,00E+00
CEC	Capacité d'échange cationique	0,4169	0,00E+00
TC	Teneur en Carbone	0,3773	0,00E+00
Sand	Sable	0,6060	0,00E+00
Clay	Limon	0,5957	0,00E+00
Silt	Argile	0,2919	1,27E-257
pH	Potentiel d'hydrogène	0,2270	4,34E-192
P.Olsen	Phosphore	0,1368	1,59E-109

Nous avons obtenu quatre (4) clusters distincts au total (Tableau 12). Chaque cluster représente une typologie de sol. Pour faciliter la compréhension de la caractérisation des sols, nous avons retenu les éléments de texture de sol (limon, argile et sable). Le Tableau 12 résume leurs variations entre les différents groupes.

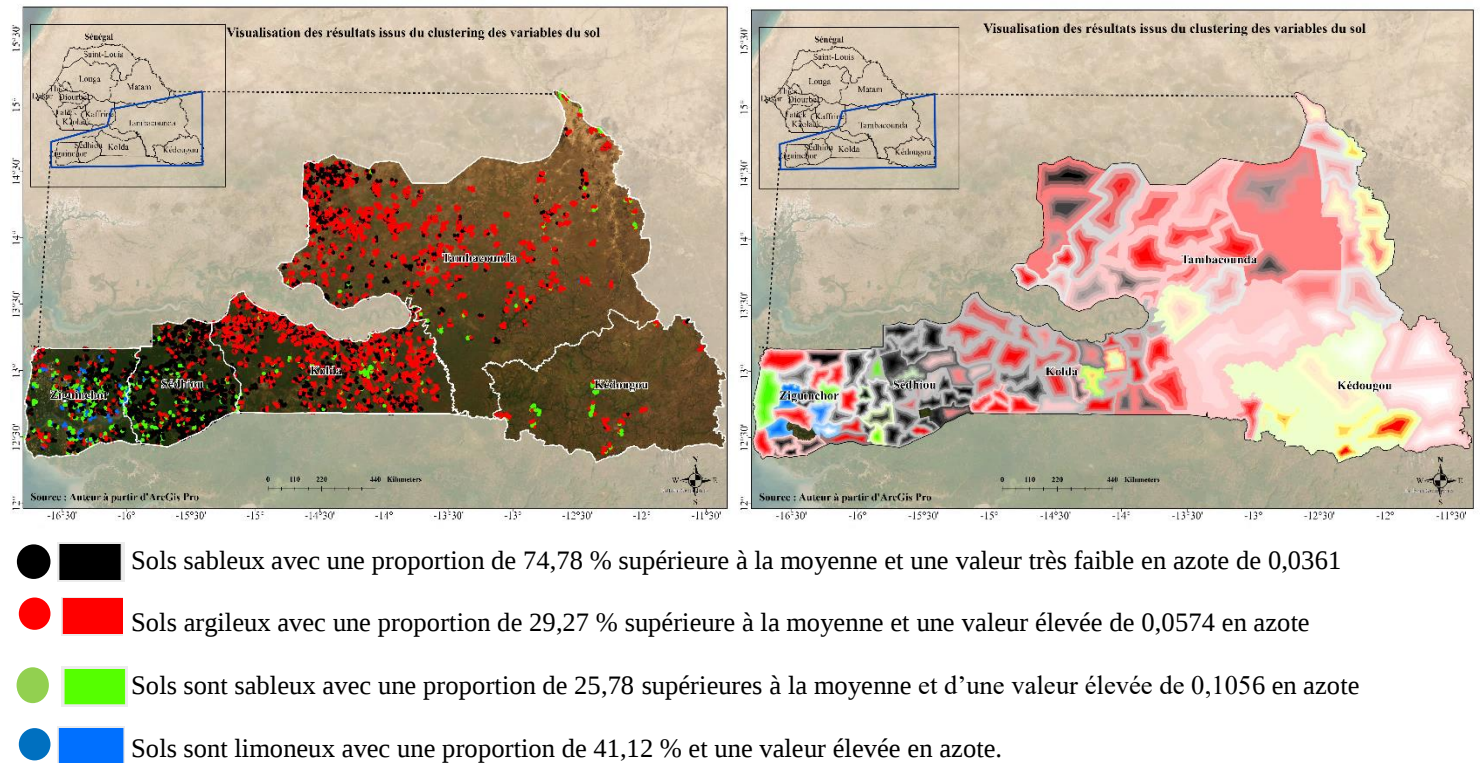
Tableau 12 : Variations des différentes variables entre les clusters

Variables	Moyenne par catégorie				Moyenne entre les groupes
	C1	C2	C3	C4	
Sand	74,78	61,69	44,94	33,78	66,09
K	32,50		104,68	589,15	58,226
P.Olsen	4,44	3,70	5,38	—	4,17
N	0,0361	0,0574	0,1056	0,1010	0,0518
Silt	18,31	27,56	25,78	25,10	23,13
Clay	6,9224	29,2784	—	41,1227	10,7869
Na	95,78	106,18	666,06	6659,78	237,45

Le cluster 1 regroupe plus de points de Sédhiou et Ziguinchor par rapport aux autres points des régions de Kédougou, Kolda et Tambacounda. Ces points (en noir) ou localités se caractérisent par des sols sableux avec une proportion de 74,78 % supérieure à la moyenne (66,09) et ont une valeur très faible en azote de 0,0361. Le cluster 2 (en rouge) enregistre plus d'individus de Tambacounda, Kolda et Kédougou ; et moins d'individus de Ziguinchor et Sédhiou. Ces sols sont argileux avec une

proportion de 29,27 % supérieure à la moyenne et une valeur élevée de 0,0574 en azote supérieure à la moyenne. Le cluster 3 (en vert) regroupe plus d'individus de Ziguinchor et Kédougou et moins d'individus des autres régions. Ces sols sont sableux avec une proportion de 25,78 de supérieure à la moyenne et d'une valeur élevée de 0,1056 en azote. Le cluster 4 (en bleue) regroupe presque que des individus de Ziguinchor (proportions des autres individus des régions très faibles, inférieure à 1 %). Ces sols sont limoneux avec une proportion de 41,12 % et une valeur élevée en azote.

Figure 15: Représentation des différents types de sols en fonction des résultats du clustering



4. Résultats de l'Analyse des données de rendements et variabilité spatiale des rendements

4.1. Analyse descriptive des rendements

Les données de rendements collectées par la SODAGRI, via leur stratégie de suivi des producteurs de riz dans la zone de notre étude, et celles collectées par l'ISRA BAME et le Cirad sont les bases référentielles qui nous ont permis de repérer les différentes localités où nous pouvons trouver des cultivateurs de riz de plateau. Le Tableau 13 montre les statistiques descriptives d'un échantillon de rendements obtenus entre les différentes régions en 2022. Comme nous pouvons le constater, la distribution des producteurs cultivant ce type de riz entre les différentes régions n'est pas homogène. La région de Tambacounda est la plus représentée avec un total d'observations de 20 producteurs de riz de plateau pour une moyenne de rendement de 364 g par carré de rendement (eq.3.9 t/ha) (réf.

Tableau 13 ci-dessous). Dans cette région, les rendements varient entre 200 à 560 g par mètre carré. La région la moins représentée est la région de Ziguinchor avec un nombre d'observations de 3 producteurs sur 3 villages différents. Cette région présente les rendements les plus faibles comparés aux rendements obtenus dans les autres régions. Les rendements obtenus à Ziguinchor sont compris entre 110 et 290 g par carré. Les régions de Sédhiou et de Kolda sont les régions où nous pouvons de bons rendements aussi avec une moyenne de 400 g par carré et 395 g par carré respectivement.

Tableau 13: Production moyenne (en g) des carrés de rendements dans les régions en 2022

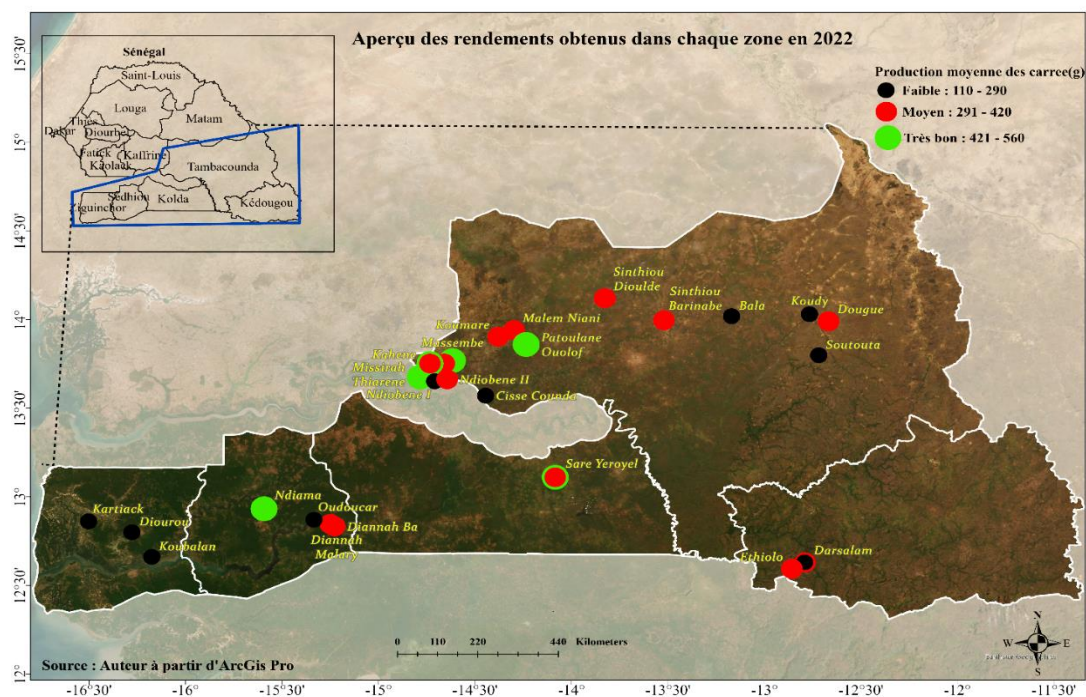
Régions	Min	Mean	p25	p50	p75	Max	Obs	Nombre de villages représentés
Kédougou	275	312	288,5	314,5	332,5	355	8	2
Sédhiou	250	382	300	400	460	510	13	4
Tambacounda	200	364	300	397,5	420	560	20	16
Ziguinchor	110	200	110	201	290	290	3	3
Kolda	280	408	300	395	497	511	7	1
Total	110	333,2	290	350	420	560	51	26

Source : SODAGRI, 2023

4.2. Cartographie de l'échantillon des rendements obtenus en 2022

La Figure 16 indique la moyenne des rendements obtenus dans chaque village. Nous pouvons observer une hétérogénéité spatiale avec les rendements de riz de plateau en 2022. Les meilleurs rendements sont observés à Tambacounda, et les plus faibles à Ziguinchor. Par contre nous n'avons pas pu étudier la variabilité temporelle. En effet, Sané et al. (2018) ont montré qu'il y a une forte variabilité interannuelle des rendements en Casamance qui peuvent être expliquée par plusieurs contraintes (pluviométrie très instable, caractéristiques pédologiques dégradées, main d'œuvre de moins en moins disponible, etc.). Les rendements de riz de plateau obtenus sur plusieurs années successives par un agriculteur dans une zone peuvent aussi inciter ce dernier sur son choix à cultiver le riz de plateau ou non. En effet, lors de notre mission de terrain au Sénégal, plusieurs agriculteurs nous ont fait savoir qu'ils cultivent le riz sur une saison courante en fonction des rendements obtenus sur une saison précédente. Etant donné qu'une bonne productivité (rendement) est l'objectif final que recherche un cultivateur, ce dernier aura tendance à revoir son choix de continuer à cultiver ce riz en fonction des rendements obtenus sur une saison précédente et l'ampleur des risques des facteurs (climats et pédologiques par exemple) auxquels il est exposé.

Figure 16 : Visualisation des rendements obtenus dans chaque zone en 2022



5. Résultats des facteurs socioéconomiques

5.1. Analyse descriptive des composantes socioéconomiques

Notre base de données socioéconomiques (base primaire de l'ISRA BAME et le Cirad, 2023) est une base mixte qui regroupe 712 ménages producteurs de riz de plateau et de bas-fond. Sur l'échantillon total des 712 ménages enquêtés, 137 ménages (soit 19,24 %) cultivent au moins une parcelle de riz de plateau contre 575 ménages qui cultivent uniquement du riz de bas-fond (Tableau 14). Sur les 137 ménages qui cultivent au moins une parcelle de riz de plateau, 10,95 % se situent dans la région de Kolda, 12,41 % dans la région de Ziguinchor et 76,64 % dans la région de Sédhiou, ce qui montre une distribution non homogène entre les trois régions où les données socioéconomiques complètes sont disponibles pour notre étude.

Tableau 14 : Statistiques descriptives de la variable binaire (cultive_plateau)

Variable	Obs	Mean	Std. dev.	Min	Max	Freq.	Percent
cultive_plateau*	712	0,1924	0,3945	0	1	137	19,24

*Les ménages qui cultivent au moins une parcelle de riz de plateau

Source : ISRA BAME, Cirad, 2023

Etant donné qu'on s'intéresse aux producteurs de riz de plateau, nous avons retenu la variable binaire (*cultive_plateau* : le ménage cultive au moins une parcelle de riz en plateau (oui/non)) de notre base socioéconomique comme variable à expliquer. Parmi les différentes variables explicatives, nous avons des variables qualitatives binaires et des variables quantitatives continues. Le Tableau 15 indique les statistiques descriptives des différentes catégories de variables calculées. Pour obtenir ces variables, nous avons d'abord réalisé une étude de significativité des différences de moyennes entre les deux groupes de producteurs qui cultivent ou non du plateau (ttest). Nous avons ensuite retenu les variables qui étaient corrélées significativement à la variable *cultive_plateau*. Ces variables couvrent les différents types de capitaux et catégories de variables pour tester l'hypothèse 4. Ce traitement est réalisé avec le logiciel STATA 17.

Nous pouvons noter que, sur l'échantillon total de 712 ménages, 33,57 % se trouvent dans la région de Kolda, 33,01 % dans la région de Sédhiou et le reste dans la région de Ziguinchor. La moyenne de la taille des ménages est de 12 personnes. 33,99 % des 712 ménages possèdent des équipements agricoles (motoculteur, tracteur, semoir, batteuse, charrette, charrue ou sarceuse) ; 38,76 % possèdent des animaux de trait (bovin, âne ou chevaux) ; 8,29 % des ménages ont au moins un membre qui a suivi une formation sur l'itinéraire technique du riz. En ce qui concerne le foncier, la moyenne de la surface totale disponible pour l'ensemble des ménages de notre échantillon est de 3,37 Ha. Les écart-types obtenus sur ces différentes variables montrent l'existence de forte disparité entre les 712 ménages.

Tableau 15 : Statistiques descriptives des variables socioéconomiques

Catégories	Poids des variables sur la culture de riz de plateau	Description de la variable	N	Moyenne	Ecart-type	Min	Max
Zones	Moins de ménages (10,96 %) qui font du plateau par rapport aux régions de Sédhiou (76,64 %) et Ziguinchor (12,40 %)	Kolda	712	0,3357	0,4726	0	1
	Plus à Sédhiou qu'ailleurs (76% des gens qui font du plateau sont à Sédhiou)	Sédhiou	712	0,3301	0,4706	0	1
Capital humain	Les ménages qui font du plateau sont les plus grands ménages, en particulier plus d'enfants de 5 à 14 ans et plus d'adultes	Taille du ménage	712	12,1770	5,9805	2	51
	Les ménages qui font du plateau ont une participation plus élevée que ceux qui font du basfond	Participation ou non d'au moins un membre du ménage à une formation sur l'itinéraire technique du riz au cours des 3 dernières années	712	0,0829	0,2759	0	1
Capital social	Les ménages qui font du plateau ont une participation plus élevée que ceux qui font du basfond	Participation au moins à une Op	712	0,0562	0,2304	0	1
Capital physique	Les ménages qui font du plateau ont plus accès à l'électricité, à l'eau et ils possèdent plus de d'équipements ménagers mais aussi, ils la structures de leurs habitats est plus moderne	Score de richesse calculé à partir de variables sur l'habitat et équipements domestiques	712	0,4082	0,1859	0	1
	Les ménages qui font du plateau possèdent plus ces équipements agricoles	Si le ménage a au moins un motoculteur, ou tracteur, ou semoir, ou batteuse ou charrette ou charrue, ou sarcluse	712	0,3399	0,4740	0	1
		Animaux de trait = 1, si bovin =1 et/ou âne/chevaux = 1 ; 0 sinon	712	0,3876	0,4876	0	1
Activités d'existence	Les ménages qui font du plateau pratiquent plus l'élevage (chèvres, moutons, ânes, chevaux)	Bovin d'élevage oui/non	712	0,3076	0,4618	0	1
		Chèvres et moutons oui/non	712	0,6938	0,4612	0	1
	Les ménages qui font du plateau ont plus de superficie en culture pluviale hors riz	Surface emblavée des parcelles hors-riz (en Ha)	712	0,7844	1,0272	0	6
	Les ménages qui possèdent plus de parcelles de contre saison	Possession ou non de plus de parcelles de contre saison	712	0,3315	0,4711	0	1
Foncier	Ces éléments caractérisent le potentiel foncier des ménages qui font du plateau. Les ménages qui font du plateau ont plus de surface disponible.	Surface total disponible = surface riz emblavé, non emblavé, hors-riz, plantations	712	3,3679	3,3840	0,001	27,5
	Les ménages qui font du plateau ont des surfaces de plantations supérieures par rapport aux autres cultures	Supériorité ou non des surfaces de plantations par rapports aux surfaces allouées à la culture de riz de plateau	712	0,4874	0,5002	0	1

Source : ISRA BAME, Cirad, 2023

5.2. Résultats du modèle

Nous estimons notre modèle logit en émettant comme hypothèse : « *La dotation du ménage en capital social, foncier, humain et physique, ses choix d'activités agricoles et sa localisation géographiques déterminent le choix des producteurs à cultiver du riz de plateau* ». Nous avons fait des estimations du modèle logit en trois étapes. Une première sans tenir compte des régions de Kolda et Sédhiou, une deuxième, en intégrant ces deux variables et une troisième approche en retenant toutes ces variables et en intégrant dans le modèle des typologies de sols issus d'un nouveau clustering des régions de Casamance. Nous faisons cette approche pour avoir un aperçu sur la significativité des variables explicatives en intégrant ou pas des variables structurelles de localisation du ménage (les trois régions casamançaises et les caractéristiques du sol, à l'aide de la typologie de sol effectuée grâce aux données de la SODAGRI).

5.2.1. Estimations du modèle logit sans les régions

Le R² obtenu de notre estimation de la probabilité qu'un ménage fasse du plateau est de 0,1804. Cela indique que 18,04 % de la variabilité de la culture de plateau est expliquée par les variables explicatives du modèle. Par ailleurs, la statique de likelihood ratio est égale à 125,83. Cette statistique suit une loi de Khi-Deux à 12 degrés de liberté. La probabilité associée vaut 0,000. Au seuil de 5 %, le modèle logit est globalement significatif. Nos variables explicatives ont globalement un effet significatif sur la probabilité que les ménages fassent du plateau.

Pour analyser les résultats du modèle, il faut se baser sur les effets marginaux (le rapport dy/dx du Tableau 16, avec y la variable à expliquer et x une variable explicative). Parmi les variables qui sont sorties significatives, nous avons :

- **Le score de richesse (equip_index4)**, qui indique que pour un effet d'une augmentation de 0,1 par exemple du score de richesse des variables sur l'habitat et équipements domestiques, la probabilité de faire du plateau augmente de 26,02 points.
- **La possession d'animaux de trait (Animaux_de_trait_rec)**, ce résultat indique que la probabilité de faire du plateau lorsque les ménages ont des animaux de trait est de 7,73 points de plus que quand l'on ne possède pas d'autres animaux de trait.
- **La possession de bovins d'élevage (Bovin_elevage)**, la probabilité de faire du plateau lorsque le ménage possède des bovins d'élevage est 5,42 points de moins que lorsque le ménage n'en dispose pas.
- **La possession de chèvres ou de moutons (Chevres_et_moutons)**, les ménages qui possèdent des chèvres et moutons, ont une probabilité de 5,33 points de plus de faire du plateau que les ménages qui n'en ont pas.

- **L'existence d'au moins un membre du ménage ayant suivi une formation sur l'itinéraire technique du riz (formation)**, lorsqu'au moins un membre d'un ménage a eu à faire une formation au cours des 3 dernières années, la probabilité que ce ménage fasse du plateau augmente de 13,33 points de pourcentage par rapport au ménage qui n'en a pas.
- **La possession de plus de parcelles de contre saison (1.s4q1_nombre_cs)** par rapport aux parcelles allouées strictement à la culture de riz de plateau, si le ménage a plus de parcelles de contre saison, la probabilité que ce dernier fasse du plateau augmente de 12,24 points par rapport au ménage qui n'en a pas.
- **La surface totale disponible (Surface_total_disponible)**, la probabilité de faire du plateau si la surface de plantation du ménage est supérieure à 0 est de 9,58 points de plus que lorsque cette surface est nulle.

Ce premier modèle indique que la dotation du ménage en capital foncier (surface totale disponible), physique (animaux de trait, index équipements), social (formation) et la culture de contre saison influence le choix des ménages à cultiver du riz de plateau.

Tableau 15 : Résumé des résultats de la régression logit et les effets marginaux

Description binaire	Variables	Résultats de la régression Logit				Odds Ratio	Effets marginaux			
		Coef.	Std. err.	T de student	P> z		dy/dx	Std. err.	T de student	P> z
	s2q4_personnes	-0,0073	0,0203	-0,3600	0,7200	0,9928	-0,0009	0,0025	-0,3600	0,7200
	equip_index4	2,0721***	0,6389	3,2400	0,0010	7,9412	0,2602	0,0787	3,3000	0,0010
1 si le ménage dispose d'au moins un motoculteur, ou tracteur, ou semoir, ou batteuse ou charrette ou charrue, ou sarcluse	1.Equipement_agricoles_rec	-0,3041	0,2880	-1,0600	0,2910	0,7378	-0,0373	0,0345	-1,0800	0,2790
1 si le ménage possède des animaux de trait (bovin et/ou âne/chevaux = 1)	1.Animaux_de_trait_rec	0,5937**	0,2842	2,0900	0,0370	1,8107	0,0773	0,0379	2,0400	0,0420
1 si le ménage possède d'élevage de bovin	1.Bovin_elevage	-0,4470*	0,2433	-1,8400	0,0660	0,6396	-0,0542	0,0282	-1,9200	0,0550
1 si le ménage possède des chèvres et moutons, 0 sinon	1.Chevres_et_moutons	0,4417*	0,2597	1,7000	0,0890	1,5553	0,0533	0,0299	1,7800	0,0740
1 si un au moins un membre du ménage a fait une formation au cours des 3 dernières années, 0 sinon	1.formation	0,9058***	0,3461	2,6200	0,0090	2,4740	0,1333	0,0573	2,3300	0,0200
1 si le ménage a plus de parcelles de contre saison, 0 sinon	1.s4q1_nombre_cs	0,9015***	0,2207	4,0900	0,0000	2,4632	0,1224	0,0314	3,8900	0,0000
	Surface_total_disponible	0,1109***	0,0401	2,7700	0,0060	1,1173	0,0139	0,0049	2,8200	0,0050
1 si au moins un membre du ménage participe à une OP	1.s5q5_1_membresgp_re	-0,4637	0,5230	-0,8900	0,3750	0,6290	-0,0528	0,0534	-0,9900	0,3230
1 si la surface de plantation du ménage est > 0, 0 sinon	1.surfplant_arbres_men_bin	0,7543***	0,2541	2,9700	0,0030	2,1262	0,0958	0,0321	2,9900	0,0030
	surfembl_autr21_men	-0,0269	0,1161	-0,2300	0,8170	0,9735	-0,0034	0,0146	-0,2300	0,8170
	_cons	-3,9047	0,3890	-10,0400	0,0000	0,0201				
***Significatif à 1 %			**Significatif à 5 %			*Significatif à 10 %				

➤ Qualité d'ajustement du modèle : Test de Hosmer-Lemeshow

Ce test permet de vérifier si l'ajustement du modèle logit est bon ou pas. L'hypothèse à tester est la suivante :

H0 : l'ajustement au modèle logit est bon

H1 : l'ajustement au modèle logit est mauvais

La probabilité associée au test de Hosmer-Lemeshow est égale à 0,5407 soit 54,07 %. Cette probabilité est supérieure au seuil de 5 % de significativité. On ne rejette pas l'hypothèse nulle. L'ajustement au modèle logit est bon.

⇒ Résultat du Test de Hosmer-Lemeshow du modèle logit sans les régions

```
. estat gof, group(10) table
note: obs collapsed on 10 quantiles of estimated probabilities.
Goodness-of-fit test after logistic model
Variable: cultivate_plateau
```

Table collapsed on quantiles of estimated probabilities

Group	Prob	Obs_1	Exp_1	Obs_0	Exp_0	Total
1	0.0407	2	2.2	70	69.8	72
2	0.0544	0	3.4	71	67.6	71
3	0.0760	3	4.5	68	66.5	71
4	0.0982	6	6.1	65	64.9	71
5	0.1274	8	8.1	63	62.9	71
6	0.1701	12	11.0	60	61.0	72
7	0.2303	17	14.0	54	57.0	71
8	0.3121	18	19.1	53	51.9	71
9	0.4487	31	26.1	40	44.9	71
10	0.9495	40	42.5	31	28.5	71

```
Number of observations =    712
      Number of groups =     10
Hosmer-Lemeshow chi2(8) =    6.96
      Prob > chi2 = 0.5407
```

➤ Pourcentage de prédictions correctes

Nous avons fait une analyse sur les prédictions. Le pourcentage de prédictions correctes avec le modèle Logit est égale à 81,88 %. Donc le pouvoir de prédiction de notre modèle logit est bon.

⇒ **Pourcentage de prédictions correctes du modèle sans les régions**

```
. lstat
Logistic model for cultivate_plateau
----- True -----
Classified |          D          ~D |          Total
-----+-----+-----+-----
      +      |          32          24 |          56
      -      |          105         551 |          656
-----+-----+-----+-----
    Total    |          137         575 |          712
Classified + if predicted Pr(D) >= .5
True D defined as cultivate_plateau != 0
-----
Sensitivity                    Pr( +| D)      23.36%
Specificity                    Pr( -| ~D)     95.83%
Positive predictive value      Pr( D| +)      57.14%
Negative predictive value      Pr(~D| -)     83.99%
-----
False + rate for true ~D      Pr( +| ~D)      4.17%
False - rate for true D       Pr( -| D)      76.64%
False + rate for classified +  Pr(~D| +)     42.86%
False - rate for classified -  Pr( D| -)     16.01%
-----
Correctly classified                                81.88%
-----
```

5.2.2. Estimations du modèle Logit en intégrant les régions de Sédhiou et Kolda

Les résultats de notre estimation de la probabilité qu'un ménage fasse du plateau, lorsque nous introduisons les régions de Sédhiou et Kolda, indiquent un coefficient de détermination R² de 0,2553. Ce qui traduit que 25,53 % de la variabilité de la culture de plateau est expliquée par les variables explicatives du modèle. Par ailleurs, la statique de likelihood ratio est égale à 178,00. Cette statistique suit une loi du Khi-Deux à 14 degrés de liberté. La probabilité associée vaut 0,000. Au seuil de 5 %, le modèle logit est globalement significatif. Nos variables explicatives ont globalement un effet significatif sur la probabilité que les ménages fassent du plateau. Nous avons comme variables significative sur cette nouvelle estimation (Tableau 19) :

- **La région de Sédhiou (Sédhiou)**, qui indique que Pour toutes les autres caractéristiques moyennes, la probabilité de faire du plateau quand on habite à Sédhiou est de 24,10 points de plus que quand on habite ailleurs.
- **La possession d'animaux de trait (Animaux_de_trait_rec)**, son effet marginal indique que la probabilité de faire du plateau lorsque les ménages ont des animaux de trait est de 8,7 points de plus que quand l'on ne possède pas d'animaux de trait

- **L'existence d'au moins un membre du ménage à suivre une formation sur l'itinéraire riz (formation)**, lorsqu'au moins un membre d'un ménage a eu à faire une formation au cours des 3 dernières années, la probabilité que ce ménage fasse du plateau augmente de 13,31 points de pourcentage par rapport au ménage qui n'en a pas.
- **La possession de plus de parcelles de contre saison (1.s4q1_nombre_cs)** par rapport aux parcelles allouées strictement à la culture de riz de plateau, Si le ménage à plus de parcelles de contre saison, la probabilité que ce dernier fasse du plateau augmente de 7,93 points par rapport au ménage qui n'en a pas., En contrôlant pour la localisation du ménage, les variables bovin élevage, index équipement et surface ne sont plus significatives.

Tableau 16 : Résumé des résultats de la régression logit et les effets marginaux

Description binaire	Variables	Résultats de la régression Logit				Odds Ratio	Effets marginaux			
		Coef.	Std. err.	T de student	P> z		dy/dx	Std. err.	T de student	P> z
1 si le ménage est de Kolda, 0 sinon	1.Kolda	0,5459	0,2534	-1,3000	0,1920	0,5459	-0,0671	0,0493	-1,3600	0,1740
1 si le ménage est de Kolda, 0 sinon	1.Sedhiou	5,8554***	1,9688	5,2600	0,0000	5,8554	0,2410	0,0514	4,6900	0,0000
	s2q4_personnes	0,9857	0,0209	-0,6800	0,4990	0,9857	-0,0016	0,0024	-0,6800	0,4980
	equip_index4	2,9425	2,0115	1,5800	0,1140	2,9425	0,1228	0,0774	1,5900	0,1120
1 si le ménage dispose d'au moins un motoculteur, ou tracteur, ou semoir, ou batteuse ou charrette ou charrue, ou sarcleuse	1.Equipement_agricoles_rec	0,9117	0,2745	-0,3100	0,7590	0,9117	-0,0105	0,0339	-0,3100	0,7570
1 si le ménage possède des animaux de trait (bovin et/ou ane/chevaux = 1)	1.Animaux_de_trait_rec	2,0826**	0,6313	2,4200	0,0160	2,0826	0,0870	0,0369	2,3600	0,0180
1 si le ménage possède d'élevage de bovin	1.Bovin_elevage	0,9024	0,2436	-0,3800	0,7040	0,9024	-0,0116	0,0303	-0,3800	0,7020
1 si le ménage possède des chèvres et moutons, 0 sinon	1.Chevres_et_moutons	1,2624	0,3471	0,8500	0,3970	1,2624	0,0261	0,0303	0,8600	0,3890
1 si un au moins un membre du ménage a fait une formation au cours des 3 dernières années, 0 sinon	1.formation	2,7716***	1,0366	2,7300	0,0060	2,7716	0,1331	0,0539	2,4700	0,0140
1 si le ménage a plus de parcelles de contre saison, 0 sinon	1.s4q1_nombre_cs	1,9335***	0,4550	2,8000	0,0050	1,9335	0,0793	0,0294	2,7000	0,0070
	Surface_total_disponible	1,0170	0,0417	0,4100	0,6810	1,0170	0,0019	0,0047	0,4100	0,6810
1 si au moins un membre du ménage participe à une OP	1.s5q5_1_membresgp_re	0,6424	0,3518	-0,8100	0,4190	0,6424	-0,0467	0,0533	-0,8800	0,3810
1 si la surface de plantation du ménage est > 0, 0 sinon	1.surfplant_arbres_men_bin	1,1220	0,3303	0,3900	0,6960	1,1220	0,0131	0,0337	0,3900	0,6970
	surfembl_autr21_men	1,1919	0,1528	1,3700	0,1710	1,1919	0,0200	0,0145	1,3700	0,1700
	_cons	-3,5133	0,4421	-7,9500	0,0000	0,0298				
	***Significatif à 1 %		**Significatif à 5 %			*Significatif à 10 %				

➤ Qualité d'ajustement du modèle : Test de Hosmer-Lemeshow

Ce test nous permet de vérifier si l'ajustement du modèle logit est bon ou pas.

H_0 : l'ajustement au modèle logit est bon

H_1 : l'ajustement au modèle logit est mauvais

La probabilité associée au test de Hosmer-Lemeshow est égale à 0,0841 soit 8,41 %. Cette probabilité est supérieure au seuil de 5 % de significativité. On ne rejette pas l'hypothèse nulle. L'ajustement au modèle logit est bon.

⇒ **Résultat du Test de Hosmer-Lemeshow du modèle logit avec les régions**

```
estat gof, group(10) table
note: obs collapsed on 10 quantiles of estimated probabilities.
```

Goodness-of-fit test after logistic model
Variable: cultivate_plateau

Table collapsed on quantiles of estimated probabilities

Group	Prob	Obs_1	Exp_1	Obs_0	Exp_0	Total
1	0.0307	1	1.7	71	70.3	72
2	0.0415	0	2.6	71	68.4	71
3	0.0492	2	3.2	69	67.8	71
4	0.0586	3	3.8	68	67.2	71
5	0.0776	6	4.8	65	66.2	71
6	0.1282	9	7.1	63	64.9	72
7	0.2482	19	13.0	52	58.0	71
8	0.3951	27	23.0	44	48.0	71
9	0.5238	23	32.2	48	38.8	71
10	0.8491	47	45.6	24	25.4	71

```
Number of observations =    712
      Number of groups =     10
Hosmer-Lemeshow chi2(8) =   13.91
                Prob > chi2 = 0.0841
```

➤ **Pourcentage de prédictions correctes**

Nous avons fait une analyse sur les prédictions. Le pourcentage de prédictions correctes avec le modèle Logit est égale à 84,83 %. Donc le pouvoir de prédiction de notre modèle logit est bon.

Tableau 21 : Pourcentage de prédictions correctes du modèle logit avec les régions

```
. lstat
Logistic model for cultivate_plateau
```

----- True -----			
Classified	D	~D	Total
-----+-----			
+	55	26	81
-	82	549	631
-----+-----			
Total	137	575	712

```
Classified + if predicted Pr(D) >= .5
True D defined as cultivate_plateau != 0
```

Sensitivity	Pr (+ D)	40.15%
Specificity	Pr (- ~D)	95.48%
Positive predictive value	Pr (D +)	67.90%
Negative predictive value	Pr (~D -)	87.00%

False + rate for true ~D	Pr (+ ~D)	4.52%
False - rate for true D	Pr (- D)	59.85%
False + rate for classified +	Pr (~D +)	32.10%
False - rate for classified -	Pr (D -)	13.00%

Correctly classified		84.83%

5.2.3. Analyse combinée des facteurs socioéconomiques et pédologique sur la culture de riz de plateau

Dans cette sous-section, nous nous intéressons de faire une analyse du lien entre facteurs socioéconomiques et facteurs pédologiques sur la culture de riz de plateau à partir des caractérisations de typologie de sol qu'on a obtenues à partir d'une nouvelle analyse de clustering sol en retenant que les régions de la Casamance. Pour pouvoir mener cette étude de combinaison, nous avons affecté à chaque producteur de notre base socioéconomique une typologie de sol. Dans un premier temps, nous avons refait une nouvelle classification pédologique en retenant que les régions de la Casamance (Kolda, Sédhiou et Ziguinchor) où nous avons des informations socioéconomiques (Base des 712 ménages). Puis sur ArcGIS, nous avons affiché simultanément nos différents points de typologie de sol (cluster) sous différentes couleurs et l'emplacement des 712 parcelles des ménages. Ensuite, nous avons affecté à chaque producteur une typologie de sol en fonction du cluster qui lui est le plus proche. Ce qui nous a permis d'obtenir une nouvelle base socioéconomique avec des typologies de sol. Nous avons ensuite sélectionné les identifiants des 712 ménages et les typologies de sol qu'on a combiné avec notre base d'analyse du modèle logit sous Stata (commande merge). Nous obtenons un nouveau

modèle avec l'ajout des typologies de sol et sans modification des anciennes variables de notre modèle logit. Ceci nous a permis d'obtenir de nouveaux résultats.

6. Résultats et interprétations

Les résultats de notre classification pédologique des régions de la Casamance ont montré des résultats similaires de caractérisation du sol avec notre premier clustering de toutes les régions de la zone d'étude. Le cluster (C1) s'identifie par des Sols sableux, phosphoriques et non argileux, le cluster (C2) par des sols sont argileux riches en azote, le cluster (C3) par des sols limoneux et le cluster (C4) par des sols limoneux en faible proportion de sable. La répartition des typologies de sol (clusters) (Tableau 20) montre une différence entre les fréquences. Le cluster C1 a un pourcentage de 40,17 (286 individus au total, 24 à Kolda, 178 à Sédhiou, 84 à Ziguinchor), le cluster 2 a un pourcentage de 53,65 % (382 individus au total, 215 à Kolda, 24 à Sédhiou, 143 à Ziguinchor), le cluster 3 un pourcentage de 4,63 % (33 individus, tous à Sédhiou) et le cluster 4 a un pourcentage de 1,54 % (11 individus, tous à Ziguinchor). Nous pouvons noter une fréquence très faible des clusters 3 et 4 par rapport aux autres clusters 1 et 2. Pour les 137 cultivateurs de plateau, 90 sont dans le cluster 1 ; 43 dans le cluster 2 et 4 dans le cluster 3. Il n'y a pas d'individu qui fait du plateau dans le cluster 4. Cela pourrait signifier qu'un ménage qui un type de sol C4 n'a pas de chance de faire du plateau.

Tableau 17: Répartition des clusters pédologiques de la Casamance

Libellé	Cluster				Total
	C1	C2	C3	C4	
Kolda	24	215	0	0	239
Sédhiou	178	24	33	0	235
Ziguinchor	84	143	0	11	238
Total	286	382	33	11	712
Percent	40,17	53,65	53,65	1,54	100
cultive_plateau	90	43	4	0	137

Le Tableau 18 résume les différents résultats de nos estimations sur les facteurs socioéconomiques et les typologies de sol. Les estimations ont donné un R² de 29,11 %, ce qui signifie qu'une variabilité de 29,11 % de la culture de riz de plateau est expliquée par les variables du modèle. La statistique de LR (likelihood ratio) obtenue est de 201,59 et suit une loi de Khi-Deux à 16 degrés de liberté pour une probabilité nulle, d'où nous pouvons déduire la significativité globale de notre modèle logit au seuil de 5 % sur la probabilité que les ménages fassent du plateau. La qualité d'ajustement du modèle (Test de Hosmer-Lemeshow) a donné une probabilité de 0,8757 supérieure au seuil de 5% de significativité ce qui prouve que l'ajustement du modèle est bon. Le pourcentage de prédictions correctes obtenu est de 84,02 %, d'où nous pouvons déduire que le pouvoir de prédiction de notre modèle logit est bon.

Par ailleurs, les clusters C3 et C4 n'ont pas affiché de résultats (coefficients) sur nos estimations. Cela s'explique par le fait que le C3 a été omis car il est pris comme référence et le C4 parce qu'il prédit parfaitement la probabilité de faire du riz de plateau. Autrement dit, il n'y a pas de variabilité de cultiver du plateau ou pas au sein des ménages qui sont dans le cluster 4. Quant aux clusters C1 et C2, nous avons des coefficients positivement significatif (2,213 et 2,99 ; respectivement).

Les résultats de l'estimation du modèle montrent au total huit (8) variables significatives à des seuils différents. Nous pouvons noter de nouvelles variables qui sont sorties significatives suite à l'intégration de nos typologies de sols dans le modèle. Parmi les variables qui sont sorties significatives, nous avons :

- **Kolda**, qui a un effet marginal de -0,0907. Ceci montre que la probabilité de faire du plateau lorsque le ménage se situe à Kolda diminue de 9,07 points que lorsqu'on est dans une autre région.
- **Sédhiou**, avec un effet marginal de 0,3513. Ce résultat montre que lorsque le ménage se situe à Sédhiou, ce dernier a une chance de 35,13 points de faire du plateau.
- **Le score de richesse**, montre une chance de 17,47 points de faire du plateau quand le ménage est aisé.
- **Les animaux de traits**, avec un effet marginal de 0,072, cela indique que la probabilité de faire du plateau lorsque le ménage a des animaux de trait est de 7,22 points de plus que lorsque le ménage n'en possède pas.
- **La formation**, montre une chance de 11,98 points de plus de cultiver le plateau quand le ménage a au moins un membre qui a suivi une formation que lorsqu'un ménage n'en a pas.
- **La pratique de cultures de contre saison**, indique un effet marginal de 0,0905. Ce qui traduit que lorsque le ménage pratique des cultures de contre saison, il a 9,05 points de plus de chance de faire du plateau.
- **Les sols sableux et phosphoriques (C1)**, indique que lorsque le ménage a des sols de ce type, la chance qu'il fasse du plateau est de 22,97 points de plus que les ménages qui ont des sols limoneux (C3)
- **Les sols argileux riche en azote (C2)**, montre que les ménages qui ont ce type de sol ont une chance de 32,33 points de plus de faire du plateau que les ménages qui ont d'autres types de sol.

Tableau 18: Résumé des résultats de la régression logit et effets marginaux sur les variables socioéconomiques et les typologies de sol

Description binaire	Variables	Résultats de la régression Logit				Odds Ratio	Effets marginaux			
		Coef.	Std. err.	T de student	P> z		dy/dx	Std. err.	T de student	P> z
1 si le ménage est de Kolda, 0 sinon	1.Kolda	-0,85522*	0,48497	-1,7600	0,0780	0,4252	-0,0907	0,0491	-1,8500	0,0650
1 si le ménage est de Sédhiou, 0 sinon	1.Sedhiou	2,48184***	0,41512	5,9800	0,0000	11,9633	0,3513	0,0656	5,3500	0,0000
	s2q4_personnes	-0,01218	0,02186	-0,5600	0,5770	0,9879	-0,0013	0,0024	-0,5600	0,5770
	equip_index4	1,61504**	0,71029	2,2700	0,0230	5,0281	0,1747	0,0759	2,3000	0,0210
1 si le ménage dispose d'au moins un motoculteur, ou tracteur, ou semoir, ou batteuse ou charrette ou charrue, ou sarcluse	1.Equipement_agricoles_rec	-0,10115	0,30730	-0,3300	0,7420	0,9038	-0,0109	0,0329	-0,3300	0,7410
1 si le ménage possède des animaux de trait (bovin et/ou ane/chevaux = 1)	1.Animaux_de_trait_rec	0,64403**	0,31139	2,0700	0,0390	1,9041	0,0722	0,0358	2,0200	0,0440
1 si le ménage possède d'élevage de bovin	1.Bovin_elevage	-0,06172	0,28025	-0,2200	0,8260	0,9401	-0,0067	0,0301	-0,2200	0,8250
1 si le ménage possède des chèvres et moutons, 0 sinon	1.Chevres_et_moutons	0,26082	0,28412	0,9200	0,3590	1,2980	0,0278	0,0297	0,9300	0,3500
1 si un au moins un membre du ménage a fait une formation au cours des 3 dernières années, 0 sinon	1.formation	0,97264**	0,38781	2,5100	0,0120	2,6449	0,1198	0,0528	2,2700	0,0230
1 si le ménage a plus de parcelles de contre saison, 0 sinon	1.s4q1_nombre_cs	0,78152***	0,24456	3,2000	0,0010	2,1848	0,0905	0,0296	3,0600	0,0020
	Surface_total_disponible	-0,01169	0,04216	-0,2800	0,7810	0,9884	-0,0013	0,0046	-0,2800	0,7810
1 si au moins un membre du ménage participe à une OP	1.s5q5_1_membresgp_re	-0,59936	0,57203	-1,0500	0,2950	0,5492	-0,0589	0,0506	-1,1700	0,2440
1 si la surface de plantation du ménage est > 0, 0 sinon	1.surfplant_arbres_men_bin	0,05698	0,30808	0,1800	0,8530	1,0586	0,0062	0,0334	0,1800	0,8540
	surfembl_autr21_men	0,23812*	0,13344	1,7800	0,0740	1,2689	0,0258	0,0143	1,8000	0,0730
Si le sol est de type C1	C1	2,12397***	0,58150	3,6500	0,0000	8,3643	0,2297	0,0605	3,8000	0,0000
Si le sol est de type C2	C2	2,98974***	0,66909	4,4700	0,0000	19,8805	0,3233	0,0685	4,7200	0,0000
Si le sol est de type C3	C3	0	(omitted)			1	0	(omitted)		
Si le sol est de type C4	C4	0	(omitted)			1	0	(omitted)		
	_cons	-6,4161	0,8228	-7,8	0,0000	0,0016				
	***Significatif à 1 %		**Significatif à 5 %			*Significatif à 10 %				

Conclusion

Nos résultats obtenus sur nos différents facteurs montrent la possibilité que nos hypothèses soient vérifiées sur les facteurs influençant le choix des agriculteurs de la Casamance à cultiver le riz de plateau. La partie discussion nous permet de vérifier ces hypothèses de recherche et d'illustrer les résultats obtenus.

CHAPITRE IV : DISCUSSION

Introduction

Dans ce chapitre, nous allons discuter des résultats obtenus des différents facteurs (pédologiques, climatiques, socioéconomiques) sur le choix des cultivateurs de la Casamance et du Sénégal oriental à cultiver le riz. Nos différentes interprétations des résultats en comparaison avec des éléments de revue de la littérature vont nous permettre de confirmer ou d'infirmer nos hypothèses de recherche.

1. Discussion de nos différents résultats

1.1. Incitation des cultivateurs à faire du plateau par leur localisation territoriale (en terre haute, partie nord de notre zone d'étude)

Nos analyses sur la localisation territoriale de la parcelle en terre haute (partie nord de notre zone d'étude) ou en terre basse peut être considérée comme un élément déterminant de cultiver un type de riz (plateau ou basfond) dans notre zone d'étude. Nous avons noté à travers les données de la SODAGRI une forte présence des agriculteurs de riz de plateau dans la partie supérieure (nord) de notre analyse cartographique, en Casamance et au Sénégal oriental (surtout dans les régions de Kolda et de Kédougou). Cette partie nord concentre des parcelles plus adaptées à la culture de riz de plateau qu'à la culture de riz de basfond. Quant à la partie Sud, c'est une zone qui possède plus de parcelles adaptées à la culture de riz de basfond que de parcelles adaptées à la culture de riz de plateau. Par exemple, dans les régions (Ziguinchor et Sédhiou) dites Basse et Moyenne Casamance, la culture de riz de basfond domine la culture de riz de plateau. Ce fait contraire peut être noté dans la région de Tambacounda et probablement à Kolda. Ceci a été étudié par Manzelie et al. (2015) qui ont montré que les agriculteurs de la Basse et Moyenne Casamance font du basfond à cause de leur potentiel hydraulique principalement constitué de fleuve, de bassins versants et leur proximité le long des fleuves mais aussi c'est une activité traditionnelle.

Par ailleurs, lors de notre mission de terrain, nous avons fait le même constat. En effet, lors de nos différentes descentes sur le terrain, nous avons pu noter que les parcelles adaptées à la culture de riz de plateau se situaient plus du côté nord des différentes régions (Kolda, Sédhiou et Ziguinchor) que nous avons visitées et, les terrains adaptés à la culture de basfond dans la partie Sud. A travers nos entretiens menés avec différents agriculteurs de riz de plateau ne possédant que des parcelles adaptées à ce type de culture se situant du côté nord, plusieurs d'entre eux ont souligné que leur choix à cultiver ce riz dépend du lieu où ils possèdent leurs terres où leur milieu de résidence. Par exemple,

certaines ont quitté leurs zones d'enfance où il y avait plus de potentiel de terre de basfond vers des villages où il y a plus ou presque que de terres de plateau. Sachant qu'ils ont un goût pour la culture de riz, et qu'ils ne cultivaient que le riz de basfond dans leur ancienne localité, ils ont été contraints, par leur migration, de découvrir une nouvelle culture (riziculture de plateau) et d'y s'adapter afin de couvrir leurs besoins alimentaires en riz. Nous pouvons déduire à travers cette illustration et les résultats tirés de l'analyse des données de la SODAGRI (forte présence d'agriculteurs de riz de plateau dans la partie nord, région de Tambacounda) que la localisation territoriale peut bien inciter les agriculteurs à cultiver le riz de plateau.

1.2. Influence de la pluviométrie (haute fréquence le long du cycle de 100 jours) sur le choix des producteurs à cultiver du plateau (Casamance et Sénégal oriental)

Les activités agricoles en Casamance et au Sénégal oriental sont fortement dépendantes des conditions climatiques. La pluviométrie est l'un des facteurs critiques qui permet aux agriculteurs dans ces zones de réaliser des activités agricoles de manière saisonnière. En effet, la saison des pluies se déroule en générale sur six (6) mois entre mai et novembre. Cependant, les quantités de précipitations saisonnières entre les différentes régions ne sont pas les mêmes, elles varient d'une région à l'autre ou d'une zone à une autre (Figures 8 ; 9 ; 10). En générale, à chaque saison, la pluviométrie varie en fonction des différentes régions en allant du Sud-Ouest au Sud-Est de (Casamance et Sénégal oriental). Les régions de Ziguinchor et de Sédhiou sont les zones à fortes précipitations comparées aux régions de Kolda, Tamba et Kédougou (Figure 8). Cette diversité pluviométrique a aussi des conséquences sur d'autres facteurs comme l'humidité ou la sécheresse des terres, les températures et les radiations pendant la période de production de riz de plateau. Les zones à faibles intensités de pluies saisonnières présentent une forte fréquence de températures supérieures à 33°C (Figure 9). En effet, pendant la période hivernale les zones à fortes précipitations ont tendance à enregistrer des températures beaucoup plus faibles que les zones à faibles précipitations. L'humidité relative est aussi beaucoup plus élevée en cas de précipitations suffisantes et les radiations deviennent faibles en fonction de la fréquence des pluies. Kouakou et al. (2016) ont montré qu'il est indispensable d'une pluviométrie suffisante sur la période de production (90 à 115 jours) est indispensable pour pouvoir cultiver le riz de plateau. Le riz de plateau a nécessairement besoin d'eau pour être produit surtout dans les zones sèches comme la partie nord de la Casamance et au Sénégal oriental. Or, notre étude a révélé qu'il y avait moins de producteurs de riz de plateau dans les régions les mieux arrosées de notre zone d'étude que dans les régions les moins arrosées. Ceci dit, l'aspect

climatique pourrait être considéré comme étant un facteur non déterminant du choix des producteurs à faire du plateau.

1.3. La fertilité et les caractéristiques du sol (pH, éléments majeurs, mineurs et texture) et choix des producteurs à cultiver du plateau (Casamance et Sénégal oriental)

La fertilité du sol et ses caractéristiques sont des éléments très importants pour cultiver le riz de plateau. Nos résultats ont révélé que les sols les plus fertiles et adaptés à la culture de riz de plateau se trouvent dans les régions de Tambacounda, Kolda et une partie de Sédhiou où nous avons des sols argileux et riche en azote. Nous avons montré une présence importante de producteurs de plateau dans les régions où les sols sont argileux et riches en azote, ce qui est cohérent avec des travaux précédents comme Asai et al. 2021 qui montrent que les sols les plus fertiles en riz de plateau sont les sols azotés (Figure 7). Donc même si la fréquence de pluies est faible, une texture de sols argileux permettrait de conserver l'eau dans le sol, et donc de faire du riz de plateau dans la région de Tambacounda.

Par ailleurs, la région de Ziguinchor et une grande partie de la région de Sédhiou ont révélé des sols pauvres à travers nos résultats. Ces sols ont une structure limoneuse et sableuse et très faible en azote, ce qui ne favoriserait pas la teneur en eau dans le sol et donc la culture de riz de plateau dans ces zones. Même si la pluviométrie est importante dans ces régions, nous notons une faible présence de producteurs de riz de plateau. Ainsi, au vu de ces différents éléments, nous pouvons retenir que la fertilité et les caractéristiques du sol peuvent influencer le choix des agriculteurs de la zone de notre étude à cultiver le riz de plateau. Dans la région de Kolda nous observons qu'il y a des zones avec des sols favorables et aussi avec des fortes fréquences de pluies, ceci pourrait donc justifier que les agriculteurs choisissent de faire du plateau dans ces régions et non pas à Ziguinchor ou Sédhiou

1.4. La dotation du ménage en capital social, foncier, humain et physique, ses choix d'activités agricoles et sa localisation géographiques déterminent le choix des producteurs à cultiver du riz de plateau.

Nos différentes approches de modélisation effectuées pour analyser l'influence des facteurs socioéconomiques sur le choix des agriculteurs de la Casamance et du Sénégal oriental à cultiver le riz de plateau ont montré des sorties différentes de variables significatives à chaque fois qu'on intègre

de nouvelles variables. Le Tableau 24 résume les différentes variables significatives vues dans le Chapitre III de ce document.

Tableau 19: Résumé des variables sur les trois catégories d'estimations

Catégories	Description de la variable	Variables significatives issues des estimations du modèle logit sans les régions		Variables significatives issues des estimations du modèle logit avec les régions		Variables significatives issues des estimations du modèle logit avec les typologies de sols	
		Coef.	dy/dx	Coef.	dy/dx	Coef.	dy/dx
Localisation	Kolda			0,5459	-0,0671	-0,85522*	-0,0907
	Sédhiou			5,8554***	0,2410	2,48184***	0,3513
Capital humain	Taille du ménage	-0,0073	0,9928	0,9857	-0,0016	-0,01218	-0,0013
	Au cours des 3 dernières années, avez-vous, ou un membre de votre ménage, reçu une formation sur l'itinéraire technique du riz ? ? 1= oui, 0 = non	0,9058***	0,1333	2,7716***	0,0870	0,97264**	0,1198
Capital social	Participation au moins à une Op = oui, 0 = non	-0,4637	-0,0528	0,6424	-0,0467	-0,59936	-0,0589
Capital physique	Score de richesse calculé à partir de variables sur l'habitat et équipements domestiques	2,0721***	0,2602	2,9425	0,1228	1,61504**	0,1747
	Si le ménage a au moins un motoculteur, ou tracteur, ou semoir, ou batteuse ou charrette ou charrue, ou sarcluse	-0,3041	-0,0373	0,9117	0,9117	-0,10115	-0,0109
	Animaux de trait = 1, si bovin =1 et/ou âne/chevaux = 1 ; 0 sinon	0,5937**	0,0773	2,0826**	0,0870	0,64403**	0,0722
Activités d'existence	Bovin d'élevage oui/non	-0,4470*	-0,0542	0,9024	-0,0116	-0,06172	-0,0067
	Chèvres et moutons oui/non	0,4417*	0,0533	1,2624	0,0261	0,26082	0,0278
	Pratiques de cultures de contre saison 1= oui, 0 = non	0,5937**	0,0773	1,9335***	0,0793	0,78152***	0,0905
	Surface emblavée des parcelles hors-riz (en Ha)	-0,0269	-0,0034	1,1919	0,0200	0,23812*	0,0258
Foncier	Surface totale disponible = surface riz emblavé, rizières non emblavées, surface de cultures annuelles hors-riz, plantations (en Ha)	0,1109***	0,0139	1,0170	0,0019	0,05698	0,0062
	Supériorité ou non des surfaces de plantations par rapports aux surfaces allouées à la culture de riz de plateau	0,7543***	0,0958	1,1220	0,0131	-0,01169	-0,001
Typologie de sol	Sols sableux phosphoriques (C1)					2,12397***	0,2297
	Sols limoneux riche en azote (C2)					2,98974***	0,3233
	Sols argilo-ferreux (C3)					0	0
	Sols argileux riches en sodium (C4)					0	0

A partir de ces modèles économétriques, nous pouvons tirer quelques enseignements sur les facteurs socioéconomiques influençant le choix des cultivateurs à faire du plateau.

Notre échantillon socioéconomique de CRP-Rice a indiqué une présence de plus de producteurs de riz de plateau à Sédhiou par rapport à Kolda ou Ziguinchor. Cette forte présence a eu un effet sur nos deux premières modélisations (sans les régions et avec les régions). Lorsque nous avons intégré la variable Sédhiou dans le modèle, seule la formation, la possession d'animaux de trait et la pratique de culture de contre saison sont sorties significative. Si nous faisons un lien entre ces différentes variables, et le fait de cultiver le riz de plateau, cette particularité peut être expliquée par plusieurs facteurs notamment, la position géographique des ménages tirés au sort pour constituer l'échantillon, en lien avec la disponibilité de parcelles adaptées à ce type de riziculture, la possession de moyens pouvant favoriser la culture de riz de plateau (animaux de traits par exemple), le fait de suivre une formation qui se rapporte avec la riziculture de plateau, etc. En effet, si nous considérons les régions de Sédhiou et Kolda, une autre particularité de ces zones est l'usage d'animaux de trait dans leurs activités agricoles. Ces animaux sont prisés par plusieurs agriculteurs de la zone pour labourer les champs de plusieurs spéculations notamment le riz de plateau. Ils sont plus faciles à utiliser sur des surfaces très larges comparés aux outils manuels comme la houe ou la daba. L'usage de ces animaux comme moyen de labour assure un gain de temps pour les agriculteurs qui deviennent plus productifs.

Ainsi, lorsqu'un ménage possède de tels animaux et avec des parcelles disponibles, cela peut inciter à faire du plateau. Par contre la possession d'équipements agricoles ou de matériels agricoles n'est pas sortie significative ou déterminant contrairement à ce que l'on attendait. L'autre facteur à souligner est la formation. Elle peut être aussi un élément déterminant à inciter les ménages à faire du plateau. En effet, plusieurs programmes d'assistance et de suivi sont régulièrement destinés aux agriculteurs dans les différentes régions du Sud du Sénégal. En général, chaque année les agriculteurs reçoivent des formations, participent à des séminaires organisés par des entités (publiques ou privées) dont l'objet est d'apporter des connaissances aux producteurs sur plusieurs aspects (période idéale pour cultiver, fertilisation des sols, variétés à utiliser, etc.) de la riziculture afin d'améliorer leurs rendements. Ainsi, lorsqu'un membre d'un ménage bénéficie d'une formation qu'il juge intéressante, il peut être inciter ou convaincre son ménage à faire du plateau. Les typologies de sols limoneux riche en azote déterminent le choix de faire du plateau. Ce sont des sols qu'on retrouve plus à Sédhiou et une partie à Kolda. Cette variabilité pédologique a montré aussi que les rendements de riz de plateau obtenus dans les régions de Kolda et Sédhiou sont meilleurs que les rendements obtenus à Ziguinchor en 2022. Les caractéristiques de sol peuvent bien inciter les cultivateurs de plateau. Nous avons vu que les sols limoneux riche en azote (C2) ont un effet marginal supérieur à l'effet marginal des sols sableux phosphoriques (C1). Ceci peut laisser penser que les principales contraintes à la riziculture de plateau sont assez structurelles et qu'on ne fera pas du riz de plateau partout. Par ailleurs, les résultats montrent que les ménages avec un indice de richesse plus élevée ont une probabilité

supérieure à faire du plateau. En effet, la riziculture de plateau demande aussi un budget pour exploiter plus de superficies. Cette culture demande beaucoup de moyens financiers. Par exemple, si un ménage ne possède pas de main d'œuvre familiale, il sera contraint de faire appel à une main d'œuvre extérieure moyennant d'un prix. Un autre investissement dans cette culture concerne l'achat des intrants agricoles qui est difficilement supportable par les agriculteurs de la zone. En quelque sorte, cette culture peut aussi être caractérisée comme une culture de ménage un peu aisé.

Nos différents types d'approche de modélisation ont montré 4 variables socioéconomiques non significatives. Pourtant lors de notre mission de terrain, plusieurs agriculteurs nous ont mentionné que ces différentes variables peuvent les influencer à faire du plateau. Par exemple, pour les ménages où leur taille est grande (plus de 10 membres), ils ont déclaré être inciter à cultiver du riz de plateau et d'exploiter le plus de superficie possible. Pour certains, sans possession d'équipement agricole, il serait impossible pour eux d'exploiter les superficies cultivées.

2. Eléments complémentaire suite à nos entretiens de terrain

Les discussions menées dans les différentes zones de notre étude nous ont permis de noter plusieurs facteurs qui semblent être les plus explicatifs ou les plus discriminant pour justifier le choix de cultiver le riz de plateau. Nous pouvons souligner comme facteurs :

- **la possession de parcelles adaptées au plateau et leur zone non inondable.** La majeure partie des cultivateurs de plateau enquêtés, dont ils ont le riz comme culture principale (les autres spéculations pour juste diversifier), ont déclaré qu'ils cultivent ce type de riz car ils possèdent que des parcelles de plateau et que leurs zones n'ont pas de rizières inondables. Malgré qu'ils aient une possibilité de se tourner vers une autre spéculation en substituant le riz, leur préférence pour la riziculture de plateau et leur objectif de couvrir les besoins alimentaires familiaux en riz ne les permet pas de renoncer la culture de riz de plateau pour exploiter leurs parcelles avec d'autres spéculations. A cela s'ajoute aussi le fait que ces parcelles sont fertiles mais aussi le riz est leur culture principale en comparaison à d'autres spéculations qu'ils cultivent pour diversifier leur panier de production.
- **le court cycle de la production qui est en général inférieur à 3 mois.** Certains agriculteurs ont mentionné faire du plateau à cause des courts cycles de production des variétés et leurs rendements très satisfaisants. En effet, ils ont accès à chaque saison une diversité de semences améliorées de court cycle et très rentables par rapport aux semences de basfond. Au fil du temps ils ont fait le constat que le cycle de production de ces semences adaptées est inférieur

au cycle du basfond, d'où leur décision de se focaliser sur la riziculture de plateau au détriment de la culture de riz de basfond.

- **moins de risque à cette riziculture, pas de salinité comme sur le bas-fond parfois et facilité d'exploitation des parcelles.** Plusieurs agriculteurs, nous ont fait savoir que malgré qu'ils possèdent des parcelles de bas-fond en plus de celles de plateau, néanmoins ils évitent de s'investir dans la riziculture de bas-fond car il y a plus de risque sur la salinité par exemple et plus d'investissement (financier pour le coût de main d'œuvre que cela demande sur toutes les phases de l'exploitation de la parcelle jusqu'au semis par exemple, aux efforts physiques que cela demande pour les usagers d'outils lourds comme le Kadiandou³ pour le laboure) à y consacrer. Donc ils préfèrent ne pas exploiter leurs parcelles de bas-fond (en les louant par exemple) et d'exploiter le plus de surfaces disponibles en plateau pour couvrir leur besoin en riz sur une période.

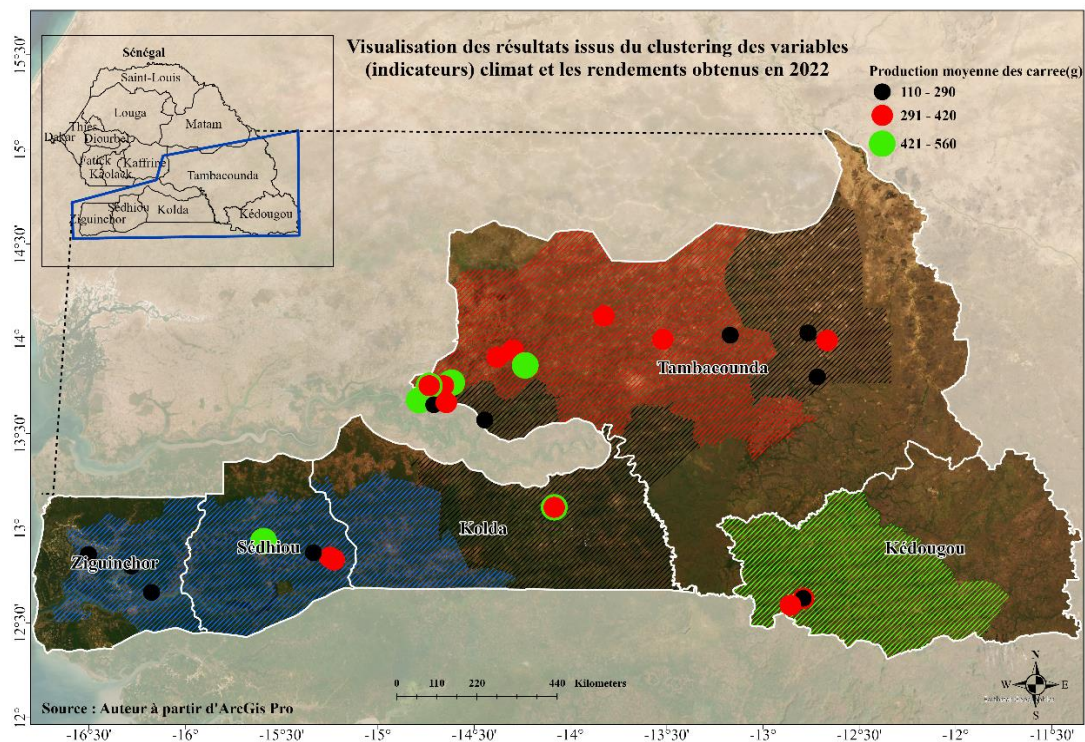
Ainsi, nous nous sommes intéressés de faire une analyse cartographique du lien qui pourrait exister entre les facteurs pédologiques et les rendements et, du lien facteurs climatiques-rendements pour voir si nous pouvons y tirer des enseignements ou des perspectives de futures recherches.

3. Analyse cartographique du lien climat-rendement

Si nous faisons un focus simultané entre les différentes zones et les moyennes de rendements de riz de plateau obtenus en 2022 dans chaque zone (Figure 17), nous constatons des moyennes de rendements beaucoup plus abondants dans les zones chaudes à humidité relativement faible et chaudes (Tambacounda et une partie de Kolda) que dans les zones à fortes précipitations et humides (Ziguinchor et Sédhiou). Si nous nous intéressons aux deux dernières régions citées, ces zones ont les mêmes caractéristiques climatiques issus de nos résultats de clustering. Pourtant nous pouvons constater que les moyennes de rendement dans la région de Sédhiou sont meilleures que les moyennes de rendement enregistrées dans la région de Ziguinchor. Ceci peut nous permettre de nous demander si le facteur climatique est un déterminant discriminant sur la culture de riz de plateau en Casamance et au Sénégal oriental ? ou bien si cette variabilité de rendements observée n'est pas due à d'autres facteurs comme la fertilité du sol et des variables socioéconomiques ?

³ Outil manuel de laboure utiliser en général par les Diolas (une ethnie sénégalaise en Casamance, Sénégal)

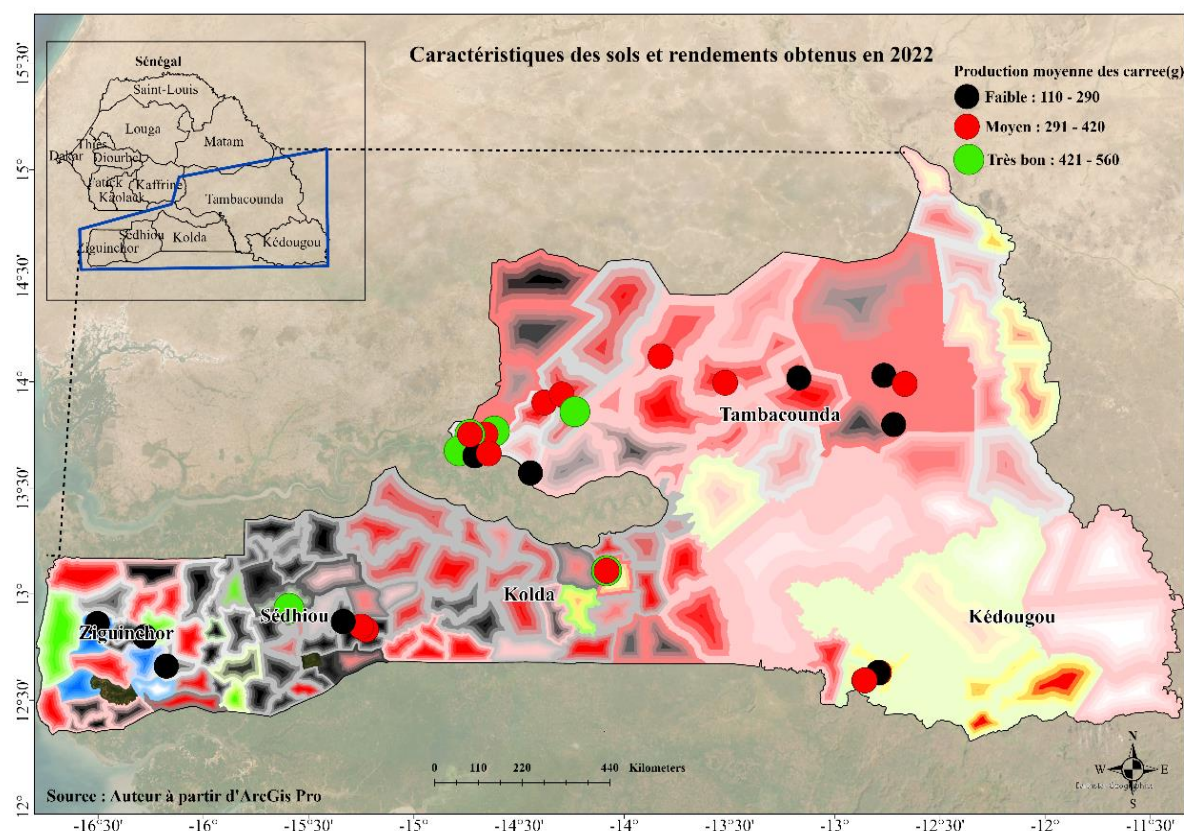
Figure 17: Représentation des typologies de climat et les moyennes de rendements de riz de plateau obtenus en 2022



4. Analyse cartographique du lien sol-rendement

Nous avons fait une étude d'un probable lien entre facteurs climatiques et rendements obtenus en 2022 dans la zone d'étude pour faire une analyse spatiale de la variabilité des rendements. Nous avons fait pareil avec les typologies de sols et les rendements. La Figure 18 montre une représentation de ces deux éléments. Nous pouvons observer que les meilleurs rendements sont obtenus sur des sols fertiles adaptés à la culture de riz de plateau (Kolda et Tambacounda) et que les mauvais rendements sont obtenus sur des sols non adaptés à la culture de riz de plateau ou sols pauvres (Ziguinchor). Contrairement aux résultats analysés précédemment du lien climat-rendement, les résultats de l'analyse spatiale du lien sol-rendement montrent beaucoup plus de cohérence.

Figure 18 : Représentation des typologies de sols et les moyennes de rendements de riz de plateau obtenus en 2022



Si nous faisons un lien entre ces différents types de sols et les différents types de climat obtenus plus haut, nous pouvons noter que les zones chaudes (Régions de Tambacounda et une partie de la région de Kolda) ont des sols argileux riches en azote et en carbone. Dans les zones humides à fortes précipitations comme l'illustre, nous retrouvons un mixte de différents sols (argileux, sableux, limoneux et phosphoriques) et c'est dans cette partie que les agriculteurs cultivent plus le riz de bas-fond que celui de plateau.

5. Enjeux d'atténuation des impacts négatifs des facteurs limitants la culture de riz de plateau en Casamance et au Sénégal oriental

Les agriculteurs de la Casamance et du Sénégal oriental font face à des impacts négatifs incitant leurs choix à cultiver le riz de plateau ou pas. Pour favoriser une culture intense de manière durable et améliorer aussi les rendements, il est intéressant de mettre en place un certain nombre de mesure. Ces mesures peuvent être une utilisation de variété adaptées aux facteurs climatiques et pédologiques de chaque zone ; une meilleure utilisation des sols en adoptant des pratiques nouvelles comme la rotation des cultures entre les parcelles et de manière saisonnière, une assistance en formation des agriculteurs en les sensibilisant aux techniques agricoles sur l'itinéraire riz. A cela les institutions

chargées de veiller au secteur agricole peuvent faciliter l'accès aux intrants agricoles (engrais, herbicide, etc.) et aux semences adaptées, d'assurer une bonne stratégie de suivi afin d'encourager les agriculteurs dans leurs pratiques rizicoles. Des efforts sont notés dans la zone par plusieurs institutions (exemple de la SODAGRI) et programme d'appui (PAPSEN par exemple) mais il reste beaucoup faire pour atténuer l'impact des facteurs limitants la culture de riz de plateau dans la zone.

Conclusion

Ce chapitre nous a permis de tirer des conclusions sur notre objectif de recherche à savoir de déterminer les facteurs pédologiques, climatiques et socioéconomiques qui peuvent avoir une influence sur le choix des agriculteurs de la Casamance et du Sénégal oriental à cultiver le riz de plateau. Les différentes hypothèses émises sont vérifiées (retenues ou rejeter) en fonction de l'analyse des résultats obtenus entre les déterminants, des éléments tirés de la revue de la littérature et éventuellement des éléments de réponses collectés lors de notre mission au Sénégal.

CONCLUSION GENERALE

Cette étude vise à comprendre les déterminants pédologiques, climatiques et socioéconomiques qui influencent les agriculteurs de la Casamance et du Sénégal oriental à cultiver le riz de plateau. Dans l'ensemble, nous avons retenu que les agriculteurs de riz de plateau dans cette zone peuvent être incités par plusieurs facteurs auxquels ils sont exposés. Parmi les déterminants incitateurs, nous avons retenu la localisation territoriale de la parcelle (les agriculteurs du Nord de la zone possèdent des parcelles beaucoup plus adaptées à la culture de riz de plateau), la fertilité et les caractéristiques du sol (éléments indispensables surtout pour obtenir de bons rendements) et, certaines variables socioéconomiques (la possession d'animaux de trait, le fait de suivre une formation sur l'itinéraire riz, la surface totale disponible, taille du ménage, la possession de matériel agricole, le fait de participer à une Op). Par ailleurs, le facteur climat a révélé non déterminant sur le choix des agriculteurs à faire du plateau mais, ce facteur aurait une importance qu'en fonction du type sol. Ces différents facteurs peuvent aussi être des facteurs limitants lorsqu'ils ne sont pas en faveur des agriculteurs. En effet, la culture de riz de plateau est une culture qui parfois demande un coût de production élevée vu les différentes contraintes auxquels les agriculteurs sont exposés. Lorsque les facteurs (sols non fertiles à compenser par de l'engrais ou manque de main d'œuvre familiale par exemple) ne sont pas optimaux pour un agriculteur qui ne peut supporter le coût de production, il sera incité à renoncer à cette culture.

Soulignons que la Casamance et le Sénégal oriental sont les localités où il y a plus de potentiel (disponibilité des terres adaptées à la riziculture et conditions climatiques favorables) de la riziculture de plateau et de bas-fond. Afin d'éviter que les agriculteurs de cette zone du Sénégal renoncent à la culture de riz de plateau par défaut de moyens pour pouvoir exploiter leurs surfaces, les institutions étatiques sénégalaises du secteur agricole ont la possibilité de mobiliser toutes les ressources nécessaires d'assistance pour une culture durable. Bien que l'Etat sénégalais continue de mettre en place des politiques agricoles pour une autosuffisance alimentaire en riz des populations sénégalaises, beaucoup de problèmes (manque d'accès aux intrants agricoles, manque de formation, difficulté d'accès au crédit agricole, manque de matériel adapté et motorisé, etc.) rencontrés par les cultivateurs de riz persistent. Ces contraintes sont des enjeux qui peuvent nuire la durabilité du secteur rizicole si les efforts ne sont pas accentués sur tous niveaux et que les stratégies de suivi ne sont pas efficaces.

Pour la région de Casamance, cette étude montre que les agriculteurs ont plus de probabilités à faire du plateau si leurs terres sont dans des sols sableux phosphoriques (C1) et limoneux azotés (C2), s'ils ont accès à une formation sur l'itinéraire technique, ou s'ils possèdent au moins un animal de trait, ou encore s'ils pratiquent au moins une culture de contre-saison etc. Par contre, les facteurs tels

que la taille du ménage, la possession d'équipement agricole ou de parcelles de contre saison et, la participation à une OP n'ont pas montré de significativité avec la méthodologie utilisée par cette étude mais les agriculteurs de la zone ont déclaré que ces facteurs sont aussi importants sur leur choix à cultiver du plateau. Pour assurer une intensification de la culture de riz de plateau, des solutions seraient une utilisation de variété adaptées aux facteurs climatiques et pédologiques de chaque zone ; une meilleure utilisation des sols en adoptant des pratiques nouvelles comme la rotation des cultures entre les parcelles et de manière saisonnière, une assistance en formation des agriculteurs en les sensibilisant aux techniques agricoles sur l'itinéraire riz ; une facilitation à l'accès aux intrants ; aux semences adaptées et ; d'assurer une bonne stratégie de suivi afin d'encourager les agriculteurs dans leurs pratiques rizicoles.

Cette étude présente des contributions méthodologiques et empiriques à la littérature sur la riziculture pluviale de plateau au Sénégal. D'un point de vue méthodologique, nous avons mobilisé plusieurs techniques (clustering, cartographie, modélisation) pour faire une analyse de plusieurs facteurs (pédologique, climatique et socioéconomique) afin de répondre à notre objectif de recherche à savoir les déterminants qui inciteraient les agriculteurs de la Casamance et du Sénégal oriental à faire du plateau. D'un point de vue empirique, nous avons mis en évidence que les facteurs climatiques ne sont pas des déterminants explicatifs à ce choix et que les facteurs pédologiques (sols sableux phosphoriques et sols argileux riche en azote) et les facteurs socioéconomiques tels que la zone, la formation sur l'itinéraire riz, la possession d'animaux de trait sont des déterminants qui inciteraient le choix des agriculteurs à cultiver le riz de plateau dans la zone d'étude.

Plusieurs limites doivent néanmoins être soulignées. Elles sont entre autres les différences des échantillons (intra et inter régionale) qui n'ont pas la même distribution ; la seule année (2022) qui a été retenue pour mener l'étude. Pour de futures recherches, il serait intéressant d'avoir une même distribution des différents facteurs auxquels nous nous intéressons ; de faire l'étude sur plusieurs années pour voir la variabilité intertemporelle mais aussi de s'intéresser à une seule région pour faire l'étude afin d'avoir une comparaison partielle mais aussi globale des résultats obtenus.

Références bibliographiques

AfricaRice (2017), La hausse des températures menace la production rizicole en Afrique, AfricaRice Press Releases, December 12, 2017

Bamba B., Coly I. and M. Guèye (2022), Effects of organo-mineral fertilization on plant growth and grain yield of an upland rice variety (NERICA 14) in lower Casamance (South-West Senegal), International Journal of Scientific Research Updates, 2022, 04(01), 303–311, DOI: <https://doi.org/10.53430/ijrsru.2022.4.1.0123>

Beye A. (2021), Améliorer la productivité rizicole sous changement climatique au Sénégal : quelles stratégies d'adaptation ?, Economie rurale DOI : <https://doi.org/10.4000/economierurale.9228>

Diatta B. K, Saidou A., Akintayo I. et B. Cisse (2009), Réponses des variétés interspécifiques du riz de plateau aux applications de phosphate en zone de forêt au Nigeria, CANADIAN JOURNAL OF SOIL SCIENCE

Delerce S., Dorado H., Grillon A., Rebolledo M. C., Prager S. D., Patiño V. H., and Varón G. G. and D. Jiménez (2016), Assessing Weather-Yield Relationships in Rice at Local Scale Using Data Mining Approaches, OPEN ACCESS, DOI: 10.1371/journal.pone.0161620

Gérardeaux E., Falconnier G., Gozé E., Defrance D., Kouakou P.-M., Loison R., Sultan B., Affholder F. and Bertrand Muller (2021), Adapting rainfed rice to climate change: a case study in Senegal, Agronomy for Sustainable Development (2021) 41: 57, <https://doi.org/10.1007/s13593-021-00710-2>

GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) (2022), « Impacts, adaptation et vulnérabilité », Rapport GIEC 2022

Husson F., Josse J. et J. Pagès (2010), Analyse de données avec R - Complémentarité des méthodes d'analyse factorielle et de classification. 42èmes Journées de Statistique, 2010, Marseille, France, France. ffinria-00494779f

Karambiri, H., Garcia S.G., Giraldo J.D., Yacouba H., Ibrahim B., Barbier B. and Polcher, J. (2011), Assessing the Impact of Climate Variability and Climate Change on Runoff in West Africa: The Case of Senegal and Nakambe River Basins. Atmospheric Science Letters, 12, 109-115. <https://doi.org/10.1002/asl.317>

Kouakou K. P-M., Muller B., Fofana A. et A. Guisse (2016), Performances agronomiques de quatre variétés de riz pluvial NERICA de plateau semées à différentes dates en zone soudano-sahélienne au Sénégal, *Journal of Applied Biosciences* 99:9382 – 9394 ISSN 1997–5902

Koudahe K., Djaman K., Bodian A., Irmak S., Sall M., Diop L., Balde A. B. and D. R. Rudnick (2017), Trend Analysis in Rainfall, Reference Evapotranspiration and Aridity Index in Southern Senegal: Adaptation to the Vulnerability of Rainfed Rice Cultivation to Climate Change, *Atmospheric and Climate Sciences*, 7, 476-495, <https://doi.org/10.4236/acs.2017.74035>

Lahmar R., Bationo B. A., Lamsoc N. D., Guéroc Y. and P. Tittone (2011), Tailoring conservation agriculture technologies to West Africa semi-arid zones: Building on traditional local practices for soil restoration Author links open overlay panel, Elsevier. <https://doi:10.1016/j.fcr.2011.09.013>

Liu Q., Yang Z., Zhou W., Wang T., Fu Y., Yue X., Chen H., Tao Y., Deng F., Lei X., Ren W. and Y. Chen (2023), Solar radiation utilization of five upland–paddy cropping systems in low-light regions promoted by diffuse radiation of paddy season. Elsevier, <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2023.109527>

Manzelli M., Fiorillo E., Bacci M. et V. Tarchiani (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

Ngom C. A. B., Sarr F. et A. A. Fall (2028), Mesure de l'efficacité technique des riziculteurs du bassin du fleuve Sénégal », *Economie rurale*, DOI : 10.4000/economierurale.5021

Nys G. (1981), Modifications des caractéristiques physico-chimiques d'un sol brun acide des Ardennes primaires par la monoculture d'Epicéa commun. *Annales des sciences forestières*, 1981, 38 (2), pp.237-258. hal-00882246

Rakotoarisoa J., Oliver R., Dusserre J., Muller B., Douzet J.-M., Michellon R., Moussa N., Razafinjara L. A., Rajeriarison C. et E. Scopel (2010), Bilan de l'azote minéral au cours du cycle du riz pluvial sous-systèmes de culture en semis direct sous couverture végétale en sol ferrallitique argileux à Madagascar, *Etude et Gestion des Sols*, Volume 17, 2, 2010 - pages 169 à 186

Rakotofiringa A., Tokarski Y. et E. Penot (2007), Le riz pluvial : quelle opportunité pour les paysans d'une zone péri-urbaine des hauts plateaux de Madagascar ? Exemple de la commune d'Andranomanelatra, Document de travail AFD/BVPI/SCRIF/FOFIFA/TAFA n° 1

Yao A. B., Anoh K. A., Kouadio Z. A., Kouassi K. L., Dje K. B. and K. E. Yao (2020), Impact de la variation des paramètres climatiques sur la production du riz pluvial dans la région du Haut-Sassandra (Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire), International Journal of Innovation and Applied Studies, ISSN 2028-9324 Vol. 31 No. 3 Dec. 2020, pp. 529-541

Sané T., Mering C., Cormier-Salem M.-C., Diedhiou I., Ba B. D., Diaw A. T. et A. K. Tine (2018), Permanences et mutations dans les terroirs rizicoles de Basse-Casamance (Sénégal). Dans L'Espace géographique 2018/3 (Tome 47), pages 201 à 218, CairnInfo

Zingore S., Wairegi L. et Ndiaye M. K. (2014), Guide pour la gestion des systèmes de culture de riz, Consortium Africain pour la Santé des Sols

Annexes

Annexe 1 : Résultats du clustering des indicateurs du climat

Description of each cluster by the categories

\$^1\$					
NULL					
\$^2\$					
	Cla/Mod	Mod/Cla	Global	p.value	v.test
Régions=Tambacounda	66.66667	100	46.15385	0.02097902	2.308362
\$^3\$					
NULL					
\$^4\$					
	Cla/Mod	Mod/Cla	Global	p.value	v.test
Régions=Ziguinchor	100	60	23.07692	0.03496503	2.108763
Régions=Tambacounda	0	0	46.15385	0.01631702	-2.401746

Link between the cluster variable and the quantitative variables

	Eta2	P-value
M_Rad_Phase_Rep_2021	0.9459983	0.000004997981
M_Rad_100j_DP_2021	0.9403125	0.000007823052
M_Rad_Phase_Veg_2021	0.8643297	0.000304356387
M_Temp_Max_Phase_Rep_2021	0.8431828	0.000578354521
S_Pluie_Sup20mm_100_DP_2021	0.8183204	0.001108297580
Freq_M_Temp_Max_Sup33.C_100j_DP_2021	0.8060154	0.001479581624
M_Hum_Relat_Phase_Rep_2021	0.8055867	0.001494039644
M_Hum_Relat_Phase_Veg_2021	0.7823247	0.002456096541
Freq_Int_Pluie_100j_DP_2022	0.7527514	0.004292265490
M_Rad_Phase_Veg_2022	0.7443827	0.004964301770
M_Rad_100j_DP_2022	0.7217485	0.007186134835
Freq_M_Temp_Max_Sup33.C_100j_DP_2022	0.7209852	0.007272311230
M_Temp_Max_Phase_Veg_2021	0.7121223	0.008331491699
Freq_Int_Pluie_100j_DP_2021	0.6900334	0.011480796176
N_Jour_Pluie_100j_DP_2022	0.6814826	0.012914972276
N_5_Sec_Deux_Pluie20mm_100j_DP_2022	0.6676136	0.015523992543
Freq_M_Temp_Min_Inf24.C_100j_DP_2022	0.6365534	0.022793274511
N_Jour_Pluie_100j_DP_2021	0.6012619	0.033861772391
Freq_M_Temp_Min_Inf24.C_100j_DP_2021	0.5821051	0.041327894831

Description of each cluster by quantitative variables

\$^1\$							
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value	
M_Hum_Relat_Phase_Rep_2021	-2.295941	0.8288467	0.8638241	0.01134408	0.02890536	0.021679244	
M_Rad_100j_DP_2021	-2.908302	6626.6333333	6776.8076923	20.62625080	97.97324173	0.003633968	
M_Rad_Phase_Rep_2021	-3.132157	6015.1111111	6479.0000000	17.79374283	281.00996119	0.001735271	
\$^2\$							
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value	
M_Rad_Phase_Veg_2021	3.123794	6982.7500000	6904.43956044	21.97131130	57.89441105	0.001785354	
Freq_M_Temp_Max_Sup33.C_100j_DP_2021	2.856371	0.15750000	0.06615385	0.05448624	0.07385417	0.004285140	
M_Temp_Max_Phase_Veg_2021	2.671575	31.22500478	30.40081283	0.50061452	0.71245980	0.007549620	
Freq_M_Temp_Max_Sup33.C_100j_DP_2022	2.451918	0.32750000	0.17846154	0.04085034	0.14037566	0.014209710	
Freq_Sec_100j_DP_2021	2.196335	0.04295465	0.02316169	0.02093116	0.02081190	0.028067973	
M_Temp_Max_Phase_Rep_2022	2.154799	30.01295833	29.44539316	0.25761094	0.60828671	0.031177564	
M_Rad_100j_DP_2021	2.134241	6867.3500000	6776.80769231	25.89068365	97.97324173	0.032823064	
M_Temp_Max_Phase_Rep_2021	2.129463	30.96070833	30.26735043	0.19320133	0.75194617	0.033215979	
M_Temp_Max_Phase_Veg_2022	1.960694	32.23217857	31.17095238	1.10024557	1.24996382	0.049914698	
M_Hum_Relat_Phase_Veg_2022	-2.048717	0.78790286	0.82543956	0.04569022	0.04231296	0.040489749	
M_Hum_Relat_Phase_Veg_2021	-2.825034	0.83065857	0.86106604	0.01941347	0.02485742	0.004727567	
\$^3\$							
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value	
Freq_Int_Pluie_100j_DP_2022	2.796406	0.4615385	0.2662496	0	0.06983567	0.005167448	
N_5_Sec_Deux_Pluie20mm_100j_DP_2022	2.505108	5.0000000	1.3846154	0	1.44320485	0.012241386	
Freq_Int_Pluie_100j_DP_2021	2.217560	0.3809524	0.2568267	0	0.05597399	0.026584855	
M_Temp_Max_Phase_Rep_2021	-1.991743	28.7696667	30.2673504	0	0.75194617	0.046399229	
N_Jour_Pluie_100j_DP_2022	-2.135195	39.0000000	61.7692308	0	10.66376933	0.032745056	
Freq_M_Temp_Min_Inf24.C_100j_DP_2022	-2.429244	0.1700000	0.6369231	0	0.19220921	0.015130342	
\$^4\$							
	v.test	Mean in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value	
S_Pluie_Sup20mm_100_DP_2021	2.951987	699.0300000	520.81923077	78.43128585	165.32940724	0.003157360	
N_Jour_Pluie_100j_DP_2021	2.517018	62.4000000	53.15384615	2.49799920	10.06017398	0.011835291	
M_Temp_Min_Phase_Rep_2021	2.374603	24.4499000	23.88858608	0.64202414	0.64735928	0.017567821	
Freq_M_Temp_Min_Inf24.C_100j_DP_2021	2.344369	0.7440000	0.59307692	0.13994285	0.17630326	0.019059314	
M_Temp_Min_Phase_Rep_2022	2.189860	24.2981667	23.91052564	0.52822703	0.48477917	0.028534369	
M_Hum_Relat_Phase_Rep_2021	2.180685	0.8868407	0.86382409	0.01212892	0.02890536	0.029206722	
S_Pluie_Sup20mm_100_DP_2022	2.095762	672.5283333	570.81666667	73.86493334	132.91055564	0.036103323	
M_Temp_Max_Phase_Veg_2021	-2.043641	29.8691524	30.40081283	0.36615877	0.71245980	0.040989020	
Freq_M_Temp_Max_Sup33.C_100j_DP_2022	-2.115995	0.0700000	0.17846154	0.05656854	0.14037566	0.034345254	
M_Rad_Phase_Veg_2021	-2.307583	6855.6571429	6904.43956044	19.97296131	57.89441105	0.021022347	
Freq_M_Temp_Max_Sup33.C_100j_DP_2021	-2.378912	0.0020000	0.06615385	0.00400000	0.07385417	0.017363833	
M_Rad_100j_DP_2022	-2.836312	6843.5200000	6914.86923077	17.04633685	68.89154670	0.004563785	
M_Rad_Phase_Veg_2022	-2.944969	6788.2285714	6884.48351648	24.60223982	89.51029406	0.003229872	

Annexe 2 : Résultats du clustering des indicateurs de sol

Description of each cluster by the categories

\$1	Clas/Mod	Mod/Clas	Global	p.value	v.test
Regions=Sedhiou	78.693878	40.3516116	23.648649	2.018439e-156	26.645492
Regions=Ziguinchor	54.000000	16.9526999	14.478764	3.003144e-06	4.670605
Regions=Kedougou	5.714286	0.2511511	2.027027	2.259535e-20	-9.249307
Regions=Kolda	35.932203	22.1850147	28.474903	1.045192e-20	-9.331362
Regions=Tambacounda	29.784615	20.2595228	31.370656	1.552580e-58	-16.130697

\$2	Clas/Mod	Mod/Clas	Global	p.value	v.test
Regions=Tambacounda	67.44615	46.937901	31.370656	5.260158e-107	21.97266
Regions=Kolda	60.67797	38.329764	28.474903	5.766462e-46	14.23240
Regions=Kedougou	60.00000	2.698073	2.027027	2.046498e-03	3.08340
Regions=Ziguinchor	18.40000	5.910064	14.478764	2.478774e-61	-16.52366
Regions=Sedhiou	11.67347	6.124197	23.648649	2.857710e-178	-28.46873

\$3	Clas/Mod	Mod/Clas	Global	p.value	v.test
Regions=Ziguinchor	18.000000	35.433071	14.478764	1.129840e-26	10.690317
Regions=Kedougou	34.285714	9.448819	2.027027	5.784958e-16	8.093762
Regions=Sedhiou	9.469388	30.446194	23.648649	1.571663e-03	3.161115
Regions=Kolda	3.389831	13.123360	28.474903	1.689256e-13	-7.371337
Regions=Tambacounda	2.707692	11.548556	31.370656	6.624880e-21	-9.379560

\$4	Clas/Mod	Mod/Clas	Global	p.value	v.test
Regions=Ziguinchor	9.60000000	96.000000	14.47876	8.087378e-58	16.028451
Regions=Sedhiou	0.16326531	2.666667	23.64865	4.476730e-07	-5.047481
Regions=Tambacounda	0.06153846	1.333333	31.37066	1.581090e-11	-6.740255
Regions=Kolda	0.00000000	0.000000	28.47490	9.787718e-12	-6.809590

Link between the cluster variable and the quantitative variables

	Eta2	P-value
K	0.57663694	0.000000e+00
N	0.36256579	0.000000e+00
Na	0.65081692	0.000000e+00
Fe	0.40919943	0.000000e+00
CEC	0.45546744	0.000000e+00
TC	0.38806637	0.000000e+00
Sand	0.57556344	0.000000e+00
Clay	0.55201209	0.000000e+00
Silt	0.35814555	0.000000e+00
pH	0.20273716	5.721916e-254
POlsen	0.05929467	2.784613e-68

Description of each cluster by quantitative variables

\$1	v.test	Mean	in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Sand	45.867374	74.78483722	66.09410358	6.38074346	12.61547695	0.000000e+00	
POlsen	8.952584	4.43729746	4.16591322	2.13366229	2.01830748	3.472564e-19	
pH	-6.008778	5.83096967	5.88466000	0.42796424	0.59492330	1.869264e-09	
Na	-9.604503	95.77763346	237.44899335	244.54823653	982.10585033	7.652655e-22	
CEC	-10.178847	5.14768124	7.88803336	5.21532866	17.92498929	2.464648e-24	
Fe	-19.155911	79.08275817	105.08494810	59.08703241	90.37706606	8.640100e-82	
K	-19.285880	32.50652410	58.22647044	22.54835072	88.79361120	7.057927e-83	
Clay	-28.383711	6.92241620	10.78690440	3.46684961	9.06512746	3.212915e-177	
TC	-30.288612	0.55777349	0.81210845	0.26552872	0.55908495	1.619232e-201	
N	-32.334663	0.03614628	0.05176937	0.01725704	0.03216988	2.279358e-229	
Silt	-42.779462	23.12646022	5.74030337	7.49750470	0.000000e+00		

\$2	42.1775402	23.12646022	5.74036937	7.49750470	0.000000e+00		
	v.test	Mean	in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Silt	38.540979	27.55860794	23.12646022	5.82800902	7.49750470	0.000000e+00	
pH	22.385696	6.08893081	5.88466000	0.45815019	0.59492330	5.425188e-111	
N	11.379803	0.05738448	0.05176937	0.02214799	0.03216988	5.271845e-30	
TC	7.411908	0.87566825	0.81210845	0.36099471	0.55908495	1.244952e-13	
Fe	-6.706663	95.78801998	105.08494810	45.26020347	90.37706606	1.991251e-11	
CEC	-7.973694	5.69576752	7.88803336	3.79205982	17.92498929	1.540003e-15	
Na	-8.714547	106.17526193	237.44899335	443.06937384	982.10585033	2.919247e-18	
POlsen	-15.083382	3.69897353	4.16591322	1.25583494	2.01830748	2.083196e-51	
Sand	-22.750087	61.69198773	66.09410358	6.62192123	12.61547695	1.432176e-114	

\$3	22.7350007	01.05190775	00.05410550	0.02192125	12.01347055	1.452116e-114	
	v.test	Mean	in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Fe	42.612935	295.0132185	105.08494810	162.35816180	90.37706606	0.000000e+00	
Clay	41.362525	29.2783512	10.78690440	14.92343038	9.06512746	0.000000e+00	
TC	37.576705	1.8481721	0.81210845	1.03672019	0.55908495	0.000000e+00	
N	33.942228	0.1056186	0.05176937	0.05766188	0.03216988	1.588352e-252	
CEC	13.519035	19.8387661	7.88803336	22.32163727	17.92498929	1.207491e-41	
POlsen	12.187531	5.3790031	4.16591322	3.59786275	2.01830748	3.622306e-34	
K	10.608723	104.6817160	58.22647044	86.24495604	88.79361120	2.714334e-26	
Na	8.849485	666.0628782	237.44899335	1104.35240438	982.10585033	8.792394e-19	
Silt	7.181669	25.7818732	23.12646022	7.77729519	7.49750470	6.886539e-13	
pH	-26.664040	5.1023536	5.88466000	0.98665780	0.59492330	1.230294e-156	
Sand	-34.002091	44.9397756	66.09410358	17.31331928	12.61547695	2.074771e-253	

\$4	v.test	Mean	in category	Overall mean	sd in category	Overall sd	p.value
Na	57.041429	6659.784347	237.44899335	3008.19560940	982.10585033	0.000000e+00	
K	52.156300	589.150981	58.22647044	340.70552775	88.79361120	0.000000e+00	
CEC	46.147959	102.720204	7.88803336	90.76760681	17.92498929	0.000000e+00	
Clay	29.190189	41.122680	10.78690440	18.12262785	9.06512746	2.583288e-187	
Fe	14.753872	257.950120	105.08494810	156.19879259	90.37706606	2.905061e-49	
TC	13.408042	1.671493	0.81210845	1.20324904	0.55908495	5.425227e-41	
N	13.360975	0.101045	0.05176937	0.06255801	0.03216988	1.022171e-40	
Silt	2.290863	25.095526	23.12646022	8.80954562	7.49750470	2.197132e-02	
pH	-9.901270	5.209361	5.88466000	1.47471309	0.59492330	4.110204e-23	
Sand	-22.341897	33.781794	66.09410358	21.92253065	12.61547695	1.447645e-110	