
Travail de fin d'études[BR]- Travail de recherche personnel[BR]- Travail d'expertise interdisciplinaire

Auteur : Sawadogo, Mohamed Aminou

Promoteur(s) : Tychon, Bernard

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master de spécialisation en gestion des risques et des catastrophes à l'ère de l'Anthropocène

Année académique : 2024-2025

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/23777>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

ULiège - Faculté des Sciences - Département des Sciences et Gestion de l'Environnement

**CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET SYSTÈMES DE PRODUCTION AGRICOLE DANS LA BASSE
VALLÉE DE L'OUÉMÉ (BÉNIN) : ANALYSE DES RISQUES, PERCEPTIONS ET DES
STRATÉGIES D'ADAPTATION LOCALES**

MOHAMED AMINOU SAWADOGO

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE
MASTER DE SPECIALISATION EN GESTION DES RISQUES ET DES CATASTROPHES A L'ERE DE L'ANTHROPOCENE**

ANNÉE ACADEMIQUE 2024-2025

RÉDIGÉ SOUS LA DIRECTION DE PR. BERNARD TYCHON

COMITÉ DE LECTURE :

PROF PIERRE OZER

PROF YVON HOUNTONDJI

Septembre, 2025

Copyright

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique* de l'Université de Liège

*L'autorité académique est représentée par le(s) (co-)promoteur(s), membre(s) du personnel enseignant de l'Université de Liège.

Le présent document n'engage que son auteur.

Auteur du présent document : SAWADOGO Mohamed Aminou,
adresseemail :mohamedaminou.sawadogo@student.uliege.be

DEDICACE

À mes parents, SAWADOGO Boureima et KERE T. Juliana

'Pour votre amour et votre soutien indéfectible. Ce travail est à vous autant qu'à moi'

À ma très chère TONDE Mariam

*'Pour ta patience, ton soutien et ta compréhension, qui m'ont porté tout au long de ce travail.
Que ces valeurs ne te quittent jamais.... Je te dis à très vite !'*

REMERCIEMENTS

Je tiens à sincèrement remercier toutes les personnes physiques et morales qui m'ont appuyé dans la réalisation de ce mémoire.

Mes remerciements vont premièrement à l'endroit de l'Académie de Recherche pour l'Enseignement Supérieur en Belgique (ARES) et le PACODEL pour l'opportunité offerte à travers cette bourse de formation.

Merci au **Pr Bernard TYCHON**, pour avoir accepté de diriger ce mémoire. Je lui suis très reconnaissant pour son suivi rigoureux, ses retours d'expérience, et ses conseils.

Merci au **Pr Pierre OZER** et à **Dr Florence DELONGUEVILLE** de l'équipe de coordination du Master de Spécialisation en Gestion des Risques et des Catastrophes (Ms - GRCA) pour leur rôle déterminant dans la bonne marche de cette formation

Merci à tous mes **professeurs de toute l'équipe pédagogique** du master qui ont contribué dans notre formation enrichissante et instructive

Merci infiniment à **Mr Koufanou HIEN**, un grand frère d'une autre mère, qui n'a cessé de me “tirer les oreilles” pour faire jaillir le meilleur de moi. Je te suis éternellement reconnaissant pour tes œuvres et ton exigence bienveillante ; que le Tout-Puissant aplanisse et éclaire toujours ton chemin.

Merci à tous ces chercheurs auprès de qui j'ai beaucoup appris notamment **Dr Seyni SALACK**, **Dr Safiéto SANFO**, **Dr Khalil SANGARE** et **Dr Elidaa DAKU**. Que le savoir partagé vous revienne au centuple et fasse rayonner encore vos recherches.

Merci à la **promotion GRCA 2024-2025** avec qui j'ai connu une riche diversité culturelle, des hauts et des bas évidemment, mais surtout un voyage humain et intellectuel qui m'a transformé.

Merci aux chaleureux et vaillants **producteurs** de la basse vallée de l'Ouémé, ainsi qu'aux **chercheurs et aux autorités locales**, qui ont rendu possible ce séjour de collecte de données dans d'excellentes conditions.

Merci à **ma famille** pour son indéfectible soutien. Quelques lignes ne suffiraient pas à dire combien vous comptez pour moi.

Je n'oublie pas toutes les personnes qui, de près comme de loin, ont été à nos côtés et dont les noms n'ont pu être cités ; qu'elles trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Situation géographique de la basse vallée de l’Ouémé.....	7
Figure 2 : Caractéristiques des systèmes de production agricole dans la basse vallée de l’Ouémé	16
Figure 3 : Perceptions locales des modifications climatiques dans la basse vallée de l’Ouémé	17
Figure 4 : risques climatiques perçus dans la basse vallée de l’Ouémé	18
Figure 5: Distribution (a) et variation interannuelle (b) des rendements du maïs de 1995-2014	20
Figure 6 : Variation du rendement du maïs (%) à court terme (2021-2040) par rapport à 1995-2014 selon les scenarios SSP2 4.5 et SSP5 8.5	21
Figure 7 : Années à bas rendement à court terme (2021-2040).....	22
Figure 8 : Variation de la biomasse du maïs (%) par rapport à 1995-2014 à court (2020-2040) selon les scenarios SSP2 4.5 et SSP5 8.5	23
Figure 9 : Score des options d’adaptation les plus perçues par les producteurs.....	24
Figure 10 : Effet de la fertilisation organique sur le rendement du maïs (%) par rapport à 1995-2014 à court terme selon les scenarios SSP2 4.5 et SSP5 8.5	25
Figure 11 : Effet de la fertilisation organique+ décalage de la date de semis sur le rendement du maïs (%) par rapport à 1995-2014 à court terme selon les scenarios SSP2 4.5 et SSP5 8.5	26

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Liste des modèles climatiques et leurs caractéristiques	8
Tableau 2 : Nombre d’enquêtés par commune	10

SIGLES ET ABREVIATIONS

DSA : Direction des Statistiques Agricoles du Bénin

FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

GCM : Modèle Climatique Global

GIEC : Groupe Intergouvernemental pour l'Évolution du Climat

IFPRI : Institut International de Recherche sur les Politiques Alimentaires

IRI : Institut International de Recherche sur le Climat

MDAEP : Ministère de l'Agriculture de l'Élevage et de la Pêche

MEPN : Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature

PANA : Programme National d'Adaptation aux Changements Climatiques

WASCAL : West African Science Service Centre on Climate Change and Adapted Land Use

TABLE DE MATIERES

1	INRODUCTION	1
1.1	Contexte et Justification	1
1.2	Objectifs et Hypothèses.....	2
2	ETAT DE L'ART	3
2.1	Impacts des changements climatiques sur l'agriculture en Afrique de l'Ouest	3
2.2	Perceptions locales du changement climatique et des risques associés	4
2.3	Stratégies d'adaptation mises en œuvre par les producteurs	5
3	Matériels et Méthode.....	6
3.1	Zone d'étude.....	6
3.2	Données.....	7
3.2.1	Données socio-économiques	7
3.2.2	Données climatiques	7
3.2.3	Données sur la principale culture du maïs et les pratiques agricoles :	8
3.2.4	Données de sols	9
3.3	Outils d'analyse.....	9
3.4	Méthodologie	9
3.4.1	Identification des principaux systèmes de production agricole dans la basse vallée, et caractérisation des risques climatiques associés	10
3.4.2	Evaluation de l'impact du climat sur la principale culture dans la vallée	11
3.4.3	Option d'adaptation prioritaire pour une agriculture résiliente	13
3.4.4	Détermination des écarts de rendements	13
3.4.5	Analyse des tendances statistiques	14
4	RESULTATS	15
4.1	Caractérisation des systèmes agricoles et des risques climatiques	15
4.1.1	Caractéristiques des systèmes de production agricole	15
4.1.2	Perceptions des modifications climatiques	16
4.1.3	Perceptions climatiques et risques associés	17
4.1.4	Perceptions institutionnelles et techniques des impacts	19
4.2	Evaluation des effets du changement climatique sur la production du maïs.....	19
4.2.1	Effets observés du climat sur le maïs	19
4.2.2	Effet du climat futur sur la production du maïs.....	20

4.2.3	Effet du climat futur sur la biomasse du maïs	22
4.3	Evaluation des options d'adaptations	23
4.3.1	Sélection des mesures d'adaptations à évaluer dans un contexte de climat changeant.....	23
4.3.2	Impact de la fertilisation organique sur le maïs dans un contexte de changements climatiques	24
4.3.3	Impact de l'association de la date de semis et de la fertilisation organique dans un contexte de changement climatique	25
5	DISCUSSION	26
5.1	Caractérisation des exploitations agricoles	26
5.4	Efficacité des stratégies d'adaptation face aux effets des changements climatiques	29
6	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	30
7	Références bibliographiques	32

RESUME

Face à l'aggravation des impacts climatiques sur les systèmes agricoles ouest-africains, ce mémoire vise à évaluer les effets des changements climatiques sur la culture du maïs dans la basse vallée de l'Ouémé (Bénin) et à examiner la pertinence de stratégies d'adaptation agroécologiques. La zone étudiée est confrontée à une intensification des aléas (sécheresse, inondations), une variabilité intra-saisonnière croissante des pluies, et une baisse de la fertilité des sols. La méthodologie combine une approche qualitative, fondée sur des entretiens semi-directifs avec des producteurs et services techniques, à une modélisation agro-climatique spatialisée réalisée avec le modèle DSSAT. Dix modèles climatiques issus de CMIP6 ont été mobilisés sous deux scénarios contrastés (SSP2-4.5 et SSP5-8.5) sur la période 2021–2040. Deux stratégies d'adaptation ont été testées : la fertilisation organique à doses croissantes et le décalage de la date de semis. Les résultats montrent que, sous SSP2-4.5, les rendements de maïs présentent une tendance positive mais non significative, avec une moyenne projetée de +7,5 %. En revanche, sous SSP5-8.5, les rendements affichent une tendance significative à la baisse, malgré une moyenne projetée de +3 %, traduisant une vulnérabilité accrue aux stress thermiques et hydriques. Les perceptions locales confirment ces tendances, en évoquant une perte de productivité liée aux modifications des crues et à la récurrence des aléas climatiques. L'application combinée de la fumure organique à 0,5 t/ha et du semis anticipé en première quinzaine de mai permet de compenser les pertes, quel que soit le scénario climatique, et d'augmenter significativement les rendements. L'étude met en lumière le potentiel de pratiques simples, accessibles et fondées sur les savoirs locaux pour renforcer la résilience agricole. Elle recommande d'intégrer ces options dans les politiques agricoles locales, de renforcer les capacités d'anticipation paysannes via l'information climatique, et de promouvoir une agriculture climato-intelligente au Bénin.

Mots clés : Changement climatique ; Maïs ; Stratégies d'adaptation ; DSSAT ; Basse vallée de l'Ouémé

ABSTRACT

In response to the increasing impacts of climate change on West African agricultural systems, this study assesses the effects of climate change on maize production in the Lower Ouémé Valley (Benin) and evaluates the relevance of agroecological adaptation strategies. The study area is facing intensified climatic hazards (droughts, floods), increasing intra-seasonal rainfall variability, and declining soil fertility. The methodology combines a qualitative approach, based on semi-structured interviews with farmers and technical services, with a spatialized agro-climatic modelling using the DSSAT model. Ten CMIP6 climate models were used under two contrasting scenarios (SSP2-4.5 and SSP5-8.5) for the 2021–2040 period. Two adaptation strategies were tested: increasing doses of organic fertilization and adjusted sowing dates. Results show that under SSP2-4.5, maize yields display a positive but non-significant trend, with a projected mean increase of +7.5%. In contrast, under SSP5-8.5, yields exhibit a significant downward trend despite a slightly positive average (+3%), reflecting increased vulnerability to heat and water stress. Local perceptions corroborate these trends, highlighting yield losses due to altered flood patterns and recurrent climate-related hazards. The combined implementation of organic manure at 0.5 t/ha and early sowing in the first half of May effectively offsets yield losses and significantly improves productivity under both climate scenarios. The study underscores the potential of simple, accessible practices rooted in local knowledge to enhance agricultural resilience. It recommends integrating these options into local agricultural policies, strengthening farmers' anticipatory capacities through climate information, and promoting climate-smart agriculture in Benin.

Keywords : Climate change ; Maize; Adaptation strategies; DSSAT; Lower Ouémé Valley

1 INRODUCTION

1.1 Contexte et Justification

Les changements climatiques constituent l'un des défis majeurs du XXI^e siècle, affectant profondément les écosystèmes, les économies et les sociétés à l'échelle mondiale (**Seneviratne et al., 2018 ; IPCC, 2021**). L'agriculture, fortement dépendante des conditions climatiques, est l'un des secteurs les plus vulnérables. Elle joue un rôle clé dans la sécurité alimentaire et le développement économique, notamment en Afrique subsaharienne (**Morton, 2007**).

Au Bénin, les effets des changements climatiques se manifestent par une variabilité accrue des précipitations, une élévation des températures moyennes et une fréquence plus élevée des événements climatiques extrêmes tels que les sécheresses et les inondations (**Katé et al., 2014 ; MCVDD, 2022**). Ces perturbations fragilisent les systèmes agricoles et menacent les moyens de subsistance des producteurs, notamment dans des zones stratégiques comme la vallée de l'Ouémé (**Atchade et al., 2018**).

La basse vallée de l'Ouémé est l'un des principaux bassins agricoles du Bénin, contribuant de manière significative à la production nationale de cultures vivrières et commerciales, notamment le maïs et le riz (**Agossou et al., 2019**). Cependant, les aléas climatiques compromettent la productivité agricole en modifiant les cycles de croissance des cultures, en accentuant la pression des maladies et des ravageurs, et en affectant la disponibilité en eau pour l'irrigation (**Akponikpe et al., 2010**).

En réponse à ces défis, les producteurs ont mis en place diverses stratégies d'adaptation, telles que l'ajustement du calendrier cultural, la diversification des cultures, l'adoption de pratiques agroécologiques et l'intégration de nouvelles technologies agricoles (**Yegbemey et al., 2014**).

Toutefois, malgré ces initiatives, des lacunes subsistent quant à l'évaluation de leur efficacité à long terme. En effet, si plusieurs études (**Attingli et al., 2017 ; Cocker et al., 2018 ; Seidou et al., 2021 ; Ignace et al., 2023**) ont exploré la perception des producteurs face aux changements climatiques et à la variabilité climatique dans la vallée de l'Ouémé, peu ont quantifié de manière rigoureuse leurs effets directs sur les rendements agricoles. De plus, les analyses prospectives sous différents scénarios climatiques restent largement insuffisantes. Cette absence d'anticipation limite la capacité des producteurs et des décideurs à adapter efficacement leurs stratégies face aux aléas climatiques.

C'est dans cette perspective que s'inscrit cette étude intitulée : « **Changements climatiques et systèmes de production agricole dans la basse vallée de l'Ouémé (Bénin) : Analyse des risques, perceptions et des stratégies d'adaptation locales** ». Elle vise à combler ce vide scientifique en fournissant une évaluation approfondie des impacts actuels et futurs des changements climatiques sur la productivité agricole au niveau local.

1.2 Objectifs et Hypothèses

Face aux effets croissants du changement climatique sur l'agriculture au Bénin, le présent travail pose la réflexion autour de la question centrale de recherche suivante :

Quelle est l'influence des changements climatiques sur les systèmes de production agricole de la vallée de l'Ouémé, et dans quelle mesure les stratégies d'adaptation locales permettent-elles d'en atténuer les effets sur la culture du maïs sur le court terme (2021–2040) ?

Pour y répondre, ce travail a pour objectif, d'évaluer à court terme les impacts des changements climatiques sur les systèmes agricoles de la vallée de l'Ouémé au Bénin, en mettant un accent particulier sur la culture du maïs, afin d'identifier des stratégies d'adaptation pertinentes.

De manière spécifique, il s'agira d' :

- **OS1** : Identifier les principaux systèmes de production agricole dans la vallée
- **OS2** : Analyser la perception des producteurs sur les changements climatiques et les risques associés.
- **OS3** : Evaluer l'impact du climat sur le maïs dans la vallée
- **OS4** : Analyser la pertinence des stratégies d'adaptation des populations locales face aux effets des changements climatiques.

Pour ce faire trois hypothèses pourraient guider nos réflexions :

- ✓ **H1** : Les systèmes de production agricole de la vallée présentent une faible intégration agriculture-élevage et une inégalité d'accès à la terre selon le sexe.
- ✓ **H2** : Les ménages agricoles de la vallée de l'Ouémé perçoivent une modification du climat, principalement à travers des changements dans la répartition des pluies et des températures.
- ✓ **H3** : Les changements climatiques causent des baisses de rendements à court terme, sur la production du maïs dans la basse vallée de l'Ouémé.
- ✓ **H4** : Les stratégies d'adaptation développées par les producteurs locaux contribuent à réduire les impacts négatifs des changements climatiques sur le maïs.

Contribution de l'étude

Cette étude apporte une double contribution. Sur le plan scientifique, elle enrichit la littérature sur les impacts du changement climatique en milieu agricole en combinant analyse de perception, modélisation agroclimatique et évaluation des stratégies d'adaptation. Sur le plan opérationnel, elle fournit des éléments d'aide à la décision pour les producteurs et les acteurs locaux, en identifiant des leviers d'adaptation efficaces et adaptés au contexte de la vallée de l'Ouémé.

Le présent travail est structuré comme suit :

- i) **L'état de l'art**, qui propose une revue critique des connaissances sur les impacts des changements climatiques sur l'agriculture, la perception des producteurs, ainsi que les stratégies d'adaptation en contexte tropical, avec un focus sur le Bénin ;
- ii) **Le matériel et les méthodes**, où sont présentés la zone d'étude, les données mobilisées, les outils et l'approche méthodologique adoptée pour atteindre les objectifs fixés ;
- iii) **Les résultats et la discussion**, section dans laquelle les principaux résultats sont exposés, analysés et confrontés à ceux de la littérature ;
- iv) **La conclusion**, qui récapitule les principaux apports de l'étude et propose des recommandations pour l'adaptation agricole dans la vallée de l'Ouémé.

2 ETAT DE L'ART

2.1 *Impacts des changements climatiques sur l'agriculture en Afrique de l'Ouest*

L'Afrique de l'Ouest est considérée comme l'une des régions les plus vulnérables au changement climatique, en raison de la forte variabilité interannuelle des précipitations, de la dépendance des systèmes de production à l'agriculture pluviale et des capacités institutionnelles limitées pour faire face aux crises (IPCC, 2014 ; Serdeczny *et al.*, 2017). Cette vulnérabilité se manifeste par des effets contrastés selon les sous-régions et les types de cultures, mais aussi par une amplification des aléas tels que les sécheresses prolongées, les inondations, les vagues de chaleur et la modification des régimes pluviométriques.

Plusieurs travaux confirment que ces perturbations climatiques ont déjà un effet mesurable sur la production agricole, notamment sur les cultures vivrières. À l'horizon 2050, les rendements céréaliers en Afrique de l'Ouest pourraient diminuer en moyenne de 12 % pour le mil, 16 % pour le sorgho, 20 % pour le maïs et jusqu'à 25 % pour le riz si aucune mesure d'adaptation n'est entreprise (Sultan *et al.*, 2015 ; Zoungrana *et al.*, 2016 ; van Oort et Zwart, 2017). Dans les zones sahéliennes, la période 1970–1990 a été marquée par une forte réduction de la durée de la saison des pluies, aggravée par la hausse des températures (Roudier *et al.*, 2012). Depuis le début des années 2000, plusieurs études font état d'un retour partiel des précipitations dans certaines parties du Sahel, attribué à la variabilité décennale de la mousson ouest-africaine (Nicholson, 2013). Toutefois, cette reprise ne compense pas la forte variabilité intra-saisonnière ni les effets thermiques, qui continuent de peser sur la productivité agricole.

Le cas du maïs est emblématique de cette vulnérabilité : bien que cette culture soit largement répandue dans les zones humides de l'Afrique de l'Ouest, elle est très sensible aux variations intra-saisonnieres des précipitations et aux températures élevées pendant les phases critiques de floraison et de remplissage des grains (Faye *et al.*, 2019 ; Salack *et al.*, 2015). Certaines études indiquent que, dans un scénario de réchauffement supérieur à 2 °C, les pertes de rendement du maïs pourraient être largement amplifiées, notamment dans le Sahel, où les bénéfices potentiels d'une augmentation des précipitations ne compenseraient pas les effets thermiques délétères (Sultan *et al.*, 2013).

D'autres cultures, comme le manioc ou l'igname, montrent une certaine résilience aux stress climatiques, en particulier à la sécheresse ([Jarvis et al., 2012](#) ; [Akponikpè et al., 2019](#)). Toutefois, des pertes de rendement ont également été observées dans plusieurs contextes, en lien avec des épisodes d'inondation, de forte humidité relative ou d'attaques parasitaires accentuées par le climat ([Adams, 2015](#) ; [Uger, 2017](#)). La variabilité interannuelle reste donc un facteur déterminant, rendant les performances agricoles imprévisibles d'une année à l'autre.

À l'échelle régionale, les impacts attendus du changement climatique sur la production agricole pourraient représenter entre 2 % et 4 % du PIB, ce qui constitue une menace sérieuse pour la sécurité alimentaire ([FAO, 2016](#)). Déjà, plus de 38 millions de personnes sont en situation d'insécurité alimentaire aiguë en Afrique de l'Ouest ([RPCA, 2023](#)), et cette tendance risque de s'aggraver sans transformations profondes des systèmes agricoles.

Dans ce contexte, les zones humides continentales, comme les vallées fluviales, occupent une place stratégique dans les dynamiques d'adaptation. La basse vallée de l'Ouémé, par exemple, offre un microclimat plus tempéré, une capacité de rétention en eau élevée, ainsi qu'une fertilité naturelle liée aux apports sédimentaires. Ces atouts en font un pôle agricole d'importance nationale pour des cultures telles que le maïs, le riz et les légumes. Toutefois, cette dépendance vis-à-vis des régimes hydrologiques rend la zone particulièrement exposée à la variabilité croissante des inondations, à la baisse des crues fertilisantes et à la concurrence foncière, autant de facteurs qui pourraient altérer la durabilité des systèmes de production.

2.2 Perceptions locales du changement climatique et des risques associés

Dans les zones agroécologiques les plus vulnérables d'Afrique de l'Ouest, la perception des changements climatiques par les populations rurales repose largement sur des savoirs endogènes et une observation fine de leur environnement immédiat. Au Bénin, plusieurs études ont mis en évidence la richesse des représentations locales à travers l'usage de proverbes, d'adages et de termes vernaculaires pour décrire l'évolution du climat ([Boko et al., 2012](#) ; [Yabi et Arvalis, 2020](#)). Les communautés rurales interrogées, notamment dans le Borgou, identifient comme risques majeurs la variabilité des précipitations, marquée par des débuts tardifs et des fins précoces de saisons, des séquences sèches prolongées, des inondations ponctuelles, des pluies insuffisantes ou excessives, ainsi que des vents violents et des hausses extrêmes de température ([Yegbemey et al., 2013](#)). Cette catégorisation est partagée dans d'autres localités comme Zogbodomey, où les producteurs désignent cinq aléas climatiques majeurs : démarrage tardif des pluies, inondations, fin précoce des pluies, poches de sécheresse et insuffisance des précipitations ([Gnonlonfin et al., 2020](#)).

La dimension thermique est également fortement ressentie : au Niger, plus de 76 % des agriculteurs perçoivent une augmentation des températures, tandis qu'au Bénin, près de la moitié des éleveurs rapportent une accentuation des vagues de chaleur ([Mertz et al., 2009](#)). En parallèle, les risques biologiques émergent comme une préoccupation croissante, notamment face à la prolifération de nouveaux ravageurs comme la chenille légionnaire, qui a sévèrement affecté les cultures de maïs au Bénin en 2016 ([Gnonlonfin et al., 2020](#)). Ces perceptions traduisent une expérience concrète et cumulative du changement climatique, façonnée par la mémoire des événements extrêmes et les pertes agricoles associées ([Mertz et al., 2009](#)).

Les connaissances mobilisées par les producteurs s'appuient sur une pluralité de sources : savoirs ancestraux transmis oralement, observation des signes naturels (migration des oiseaux, floraison, comportement des insectes), mémoire collective des événements passés, mais aussi, de manière plus marginale, les bulletins météo émis par les services techniques (**Roncoli, 2006**). Ces informations issues des bulletins météorologiques restent encore peu accessibles ou perçues comme peu pertinentes par les producteurs, du fait d'un langage jugé trop technique ou d'un manque d'ancrage local (**Akponikpe et al., 2010**). Les échanges communautaires, notamment lors des assemblées villageoises, jouent un rôle essentiel dans la diffusion horizontale des informations et la construction partagée des diagnostics (**Boko et al., 2012**).

2.3 Stratégies d'adaptation mises en œuvre par les producteurs

Face aux effets croissants du changement climatique, les ménages agricoles d'Afrique de l'Ouest ont développé une diversité de stratégies d'adaptation, souvent façonnées par les spécificités écologiques et les capacités locales. Ces stratégies sont généralement regroupées en trois grandes catégories : **techniques, de gestion et infrastructurelles** (**Zongo, 2016** ; **Nyamekye et al., 2018** ; **WASCAL, 2021¹**).

Dans les **zones sahéliennes**, caractérisées par des terres dégradées, une pluviométrie faible et des périodes de sécheresse prolongées, les techniques d'aménagement de l'eau et de restauration des sols dominent. On y retrouve des pratiques comme le **zai**, les **demi-lunes**, les **cordons pierreux**, les **jardins en cuvette** ou encore la **récupération des eaux de ruissellement** (**Ickowicz et al., 2012** ; **WASCAL, 2021**). Ces solutions sont souvent peu coûteuses et reposent sur un savoir-faire local éprouvé.

En revanche, dans les **zones côtières et humides**, où la vulnérabilité est davantage liée aux inondations, à l'érosion des berges et à la saturation hydrique des sols, les stratégies s'orientent vers la **gestion des cycles agricoles**, l'**amélioration variétale**, la **diversification des cultures**, ou encore l'adoption de pratiques **agroécologiques** comme l'agroforesterie, les cultures sur buttes, le paillage, et la fertilisation organique (**Barbier et al., 2009** ; **Yebemey et al., 2014** ; **WASCAL, 2021**). L'**adaptation calendaire**, notamment à travers la modification des dates de semis, est aussi très répandue dans les zones à fortes variations intra-saisonnieres.

Des stratégies transversales, valables sur l'ensemble de la région, sont également recensées, notamment :

- L'adoption de variétés à cycle court ou tolérantes à la sécheresse ;
- Le stockage post-récolte pour sécuriser les rendements ;
- L'intégration agriculture-élevage pour diversifier les revenus ;
- L'irrigation localisée (goutte-à-goutte) dans les zones de stress hydrique ;
- La gestion intégrée de la fertilité via les engrains organiques et les microdoses d'engrais minéraux ;

¹ West African Science Service Centre on Climate Change and Adapted Land Use

- ou encore les systèmes de collecte d'eau de pluie.

Les **stratégies infrastructurelles**, plus coûteuses, comme les digues, les réservoirs multi-usages, ou les systèmes d'irrigation à grande échelle, nécessitent souvent des investissements publics ou des partenariats institutionnels (**Ziad et al., 2010**). Leur mise en œuvre reste donc limitée aux projets structurants soutenus par l'État ou les bailleurs.

3 MATÉRIELS ET MÉTHODE

3.1 Zone d'étude

L'étude est menée dans la basse vallée de l'Ouémé, située dans le sud du Bénin (Figure 1), entre les longitudes 2°21'2" et 2°36'5" Est, et les latitudes 6°24'5" et 6°58'1" Nord. Cette région est traversée par le fleuve Ouémé, le plus long cours d'eau du pays avec ses 510 km, qui alimente plusieurs communes telles que Dangbo, Aguégués, Adjohoun et Bonou. Il constitue une ressource vitale pour les populations locales, notamment pour l'agriculture et la pêche (**Mitokpe et al., 2022**).

La basse vallée compte environ 261 000 habitants, avec une densité variante entre 83 et 433 habitants par km². L'économie locale repose essentiellement sur l'agriculture (cultures de subsistance et de rente, notamment le maïs et le riz) et la pêche, qui mobilise entre 40 % et 65 % de la population active dans les zones lacustres (**MDAEP, 2015**)².

Sur le plan écologique, la végétation est dominée par des prairies herbacées inondables, avec notamment *Paspalum vaginatum*, *Thypha australis* et *Cyperus papyrus*, qui entourent des îlots forestiers (**Alimi et al., 2015**) ; la flore aquatique comprend également des espèces flottantes telles que *Eichhornia crassipes* (jacinthe d'eau), *Pistia stratiotes* et *Lemna paucicostata*.

Les sols de la région présentent une grande diversité, en lien avec le relief et les conditions hydrologiques. Trois grands types sont identifiés (**Codjia, 2009**) : les sols ferralitiques sur les plateaux surélevés, les sols hydromorphes dans les zones de bas-fonds, et les vertisols dans les plaines inondables.

Le climat est de type subéquatorial, marqué par quatre saisons : deux saisons pluvieuses et deux saisons sèches. Le régime hydrologique du fleuve varie au cours de l'année, avec un débit minimal en mars et un maximum en septembre, lors de la crue annuelle. La période de basses eaux s'étend de janvier à mai, suivie d'une montée progressive des eaux jusqu'en octobre (**Vissin et al., 2016a**). Ce cycle hydrologique conditionne fortement les activités agricoles locales. La basse vallée de l'Ouémé a été choisie comme zone d'étude en raison de son importance agricole, de sa vulnérabilité aux changements climatiques et des risques climatiques auxquels elle est exposée.

² MINISTÈRE DU DEVELOPPEMENT, DE L'ANALYSE ÉCONOMIQUE ET DE LA PROSPECTIVE

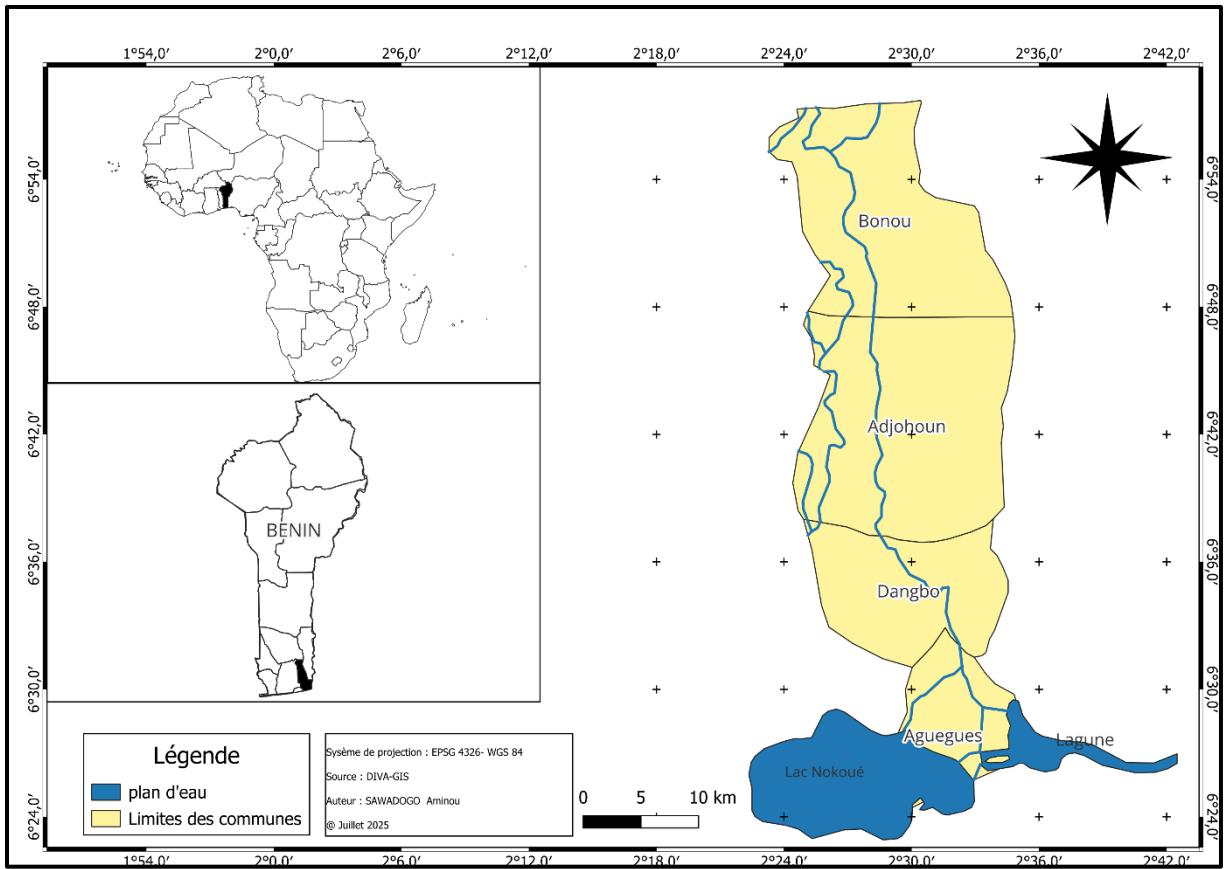


Figure 1: Situation géographique de la basse vallée de l’Ouémé

3.2 Données

Cette étude s’appuie sur un ensemble de données climatiques, agronomiques, pédologiques et socio-économiques collectées à différentes échelles, afin d’alimenter le modèle de culture et d’analyser les dynamiques agricoles dans la vallée de l’Ouémé.

3.2.1 *Données socio-économiques*

Les données socio-économiques ont été collectées auprès des ménages agricoles du bassin de la vallée de l’Ouémé à travers des enquêtes de terrain. Elles ont permis de documenter les caractéristiques des exploitations, les pratiques agricoles, ainsi que les perceptions locales des risques climatiques et des stratégies d’adaptation.

3.2.2 *Données climatiques*

Pour évaluer l’impact des changements climatiques sur la production agricole dans la basse vallée de l’Ouémé, nous avons utilisé les données de dix modèles climatiques globaux (GCM) issus du programme CMIP6 (Tableau 1). Ces modèles ont été sélectionnés en raison de leur performance dans la représentation du climat ouest-africain, de leur diversité structurale (composantes atmosphériques et océaniques indépendantes), et de leur représentativité au sein de l’ensemble CMIP6. Ils ont été utilisés comme entrées dans le modèle DSSAT après correction de biais et réduction d’échelle. Le Tableau 1 présente la liste des modèles utilisés

Tableau 1: Liste des modèles climatiques et leurs caractéristiques

Modèle	Institution / Pays	Résolution ($^{\circ}$ lon \times lat)	Référence / Source
ACCESS-ESM1-5	CSIRO / Australie	1.88×1.25	Zien <i>et al.</i> , 2020
BCC-CSM2-MR	Beijing Climate Center / Chine	2.5×1.0	Wu <i>et al.</i> , 2019
CanESM5	CCCma / Canada	2.81×2.81	Swart <i>et al.</i> , 2019
CNRM-ESM2-1	Météo-France / CNRM / France	1.4×1.4	Séferian <i>et al.</i> , 2019
GFDL-ESM4	NOAA / GFDL / États-Unis	1.25×1.0	Krasting <i>et al.</i> , 2018
HadGEM3-GC31-LL	UK Met Office / Royaume-Uni	1.875×1.25	Williams <i>et al.</i> , 2018
INM-CM4-8	Institute of Numerical Mathematics / Russie	2.0×1.5	Volodin <i>et al.</i> , 2019
IPSL-CM6A-LR	IPSL / France	2.5×1.25	Boucher <i>et al.</i> , 2020
MPI-ESM1-2-HR	Max Planck Institute / Allemagne	0.9375×0.9375	Mauritsen <i>et al.</i> , 2019
UKESM1-0-LL	UK Earth System Model / Royaume-Uni	1.25×1.25	Sellar <i>et al.</i> , 2019

* La résolution des modèles climatiques a été uniformisée grâce à une réduction d'échelle à $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$.

3.2.3 Données sur la principale culture du maïs et les pratiques agricoles :

Les données observées de rendement du maïs, culture principale dans la basse vallée de l’Ouémé, ont été extraites de l’annuaire des statistiques agricoles nationales du Bénin. Elles ont été complétées par des enquêtes de terrain menées auprès des producteurs, qui ont permis de recueillir des informations détaillées sur les pratiques culturales locales, notamment les périodes de semis, les techniques d’amendement, ainsi que la diversité variétale cultivée dans la vallée.

L’étude s’est ainsi appuyée sur des données agronomiques représentatives des pratiques agricoles courantes, intégrant des variétés reflétant la diversité des cultivars effectivement adoptés par les producteurs locaux. Trois variétés ont été sélectionnées pour les simulations : **OBA S2 BENIN**, **OBATAMPA** et **IKENE**, toutes parmi les plus citées et les plus cultivées en conditions pluviales dans la région. Ces cultivars ont déjà été calibrés avec succès dans le modèle **DSSAT**, et certains ont été mobilisés dans des travaux antérieurs sur les impacts du changement climatique au Bénin et dans la sous-région (**Amouzou, 2013 ; Detchinli et Sogbedji, 2015**). Les détails relatifs aux pratiques agricoles simulées sont fournis en Annexe 2.

Par ailleurs, la répartition spatiale du maïs a été établie à partir de la base **SPAM 2019** de l’Institut International de Recherche sur les Politiques Alimentaires (IFPRI), à une résolution

de 10 km. Cette base a permis d'identifier les principales zones de concentration du maïs et d'orienter le positionnement des points de simulation agroclimatique

3.2.4 Données de sols

Les données pédologiques utilisées proviennent de la base mondiale élaborée par l'Institut International de Recherche sur le Climat (**IRI, 2015**). Elles couvrent l'ensemble du territoire à une résolution de 10 km et une profondeur de 0 à 2 mètres. Les informations relatives aux zones de production ont été extraites selon la méthode du plus proche voisin (PPV) et intégrées comme paramètres d'entrée dans le modèle de culture. Au total, 12 ensembles de données de sol les plus proches des points de grille des données climatiques couvrant les zones de production de maïs ont été utilisés dans le processus de simulation

3.3 Outils d'analyse

Les outils qui seront mobilisés pour la réalisation sont les suivants :

Le **modèle DSSAT-CSM**, version 4.8.0.0 (www.dssat.net), a été utilisé comme principal outil de modélisation. Selon **Hoogenboom et al., (2019)**, il s'agit d'un modèle dynamique capable de simuler la croissance, le développement et les rendements de plus de 42 cultures, en tenant compte des interactions entre le sol, la plante et l'atmosphère. Ce modèle s'est révélé particulièrement pertinent pour étudier les effets des variations climatiques sur les rendements agricoles (**Salack et al., 2015 ; Gunawat et al., 2022 ; Bausaheb et al., 2022**). Sa robustesse, sa documentation détaillée et sa large communauté d'utilisateurs en ont fait un outil fiable pour l'analyse des impacts climatiques dans des zones vulnérables telles que la basse vallée de l'Ouémé (**MEPN, 2008**)³.

Le **paquet DSSAT-R (Alderman, 2020)** a été utilisé pour automatiser les simulations dans R à partir de données spatialisées, en couplant les fichiers climatiques et pédologiques aux paramètres du modèle pour chaque point de grille représentatif.

Le **logiciel R** a servi à l'analyse statistique des résultats, à la production des graphiques et à l'interprétation quantitative des simulations.

QGIS a été utilisé pour la délimitation des zones d'étude.

Enfin, l'application **KoboToolbox** a permis de collecter les données socio-économiques directement sur le terrain, via des questionnaires numériques administrés aux producteurs.

3.4 Méthodologie

Une combinaison de méthodes a été utilisée pour la collecte et l'analyse des données.

³ Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature

3.4.1 Identification des principaux systèmes de production agricole dans la basse vallée, et caractérisation des risques climatiques associés

3.4.1.1 Détermination de la taille de l'échantillon

La population cible de l'étude est constituée des ménages agricoles pratiquant la production végétale dans les quatre communes de la basse vallée de l'Ouémé : **Adjohoun, Aguégués, Bonou et Dangbo**. Selon les données de la Direction de la Statistique Agricole (DSA, 2022), ces ménages étaient au nombre de **33 528**, sur un total de **36 115** ménages agricoles recensés dans la zone.

La taille de l'échantillon a été déterminée à l'aide de la formule de **Dagnelie (1998)**, utilisée pour les populations finies :

$$n = \frac{(U_{1-\alpha/2})^2 \cdot P(1 - P)}{d^2}$$

Où :

- **n** = taille de l'échantillon,
- **P** = proportion de ménages agricoles pratiquant la production végétale parmi l'ensemble des ménages agricoles,
- **U_{1-a/2}** = valeur critique de la loi normale pour un seuil de confiance de 95% (soit 1,96),
- **d** = marge d'erreur, qui sera fixée à 5% (soit 0,05)

En appliquant cette formule, la taille de l'échantillon a été fixée à **102 ménages agricoles**. L'échantillon a été réparti entre les quatre communes selon la méthode d'**échantillonnage stratifié proportionnel**, telle que décrite par **Cochran (1977)**. Cette méthode consiste à attribuer à chaque commune une part de l'échantillon proportionnelle à sa population cible. Bien que la taille théorique de l'échantillon ait été fixée à 102 ménages, le travail de terrain a permis d'enquêter effectivement 150 ménages, répartis comme indiqué dans le Tableau 2.

Tableau 2 : Nombre d'enquêtés par commune

Commune	Ménages	Proportion	Taille de l'échantillon	Ménages enquêtés
Aguégués	2 801	8,3%	9 ménages	30 ménages
Adjohoun	10 735	32,0%	33 ménages	45 ménages
Bonou	5 635	16,8%	17 ménages	30 ménages
Dangbo	14 357	42,9%	43 ménages	45 ménages
Total	33 528	100%	102 ménages	150 ménages

3.4.1.2 Collecte des données

La collecte des données s'est appuyée sur un **questionnaire semi-structuré**, administré auprès des ménages agricoles de la basse vallée de l'Ouémé. Ce questionnaire a couvert plusieurs thématiques essentielles pour analyser l'impact des changements climatiques sur les systèmes agricoles locaux, notamment :

- **Les caractéristiques des exploitations** (statut foncier, main-d'œuvre, superficie, etc.);
- **Les pratiques de production agricole** (calendrier cultural, cultures cultivées, rendements, accès aux intrants, etc.) ;
- **Les perceptions climatiques** : types de risques climatiques perçus, leurs conséquences sur les cultures, ainsi que les stratégies d'adaptation mises en place par les producteurs.

Une série d'entretiens semi-directifs a été réalisée auprès d'agents techniques agricoles, de chercheurs et de représentants institutionnels actifs dans la vallée de l'Ouémé. Ces échanges ont permis de documenter des impacts moins quantifiables mais tout aussi significatifs du changement climatique sur les moyens de subsistance agricoles. Les informations issues de ces entretiens ont été analysées de manière qualitative et synthétisées dans les résultats, afin d'enrichir la compréhension des effets systémiques du climat sur les revenus agricoles

3.4.2 Evaluation de l'impact du climat sur la principale culture dans la vallée

3.4.2.1 Choix de la spéculation

La sélection de la culture principale s'est faite à travers une approche participative et inclusive, impliquant les producteurs locaux ainsi que les autorités du ministère de l'Agriculture responsables de la gestion du bassin de l'Ouémé. Le choix a été guidé par l'importance de la culture dans la valeur ajoutée agricole au Bénin, ainsi que par son intégration dans les politiques et stratégies d'adaptation au changement climatique.

À l'issue de ce processus, le maïs a été retenu comme spéculation principale, en raison de sa forte représentativité dans les systèmes de production locaux, de son importance stratégique pour la sécurité alimentaire et de son potentiel de réponse aux mesures d'adaptation climatiques envisagées.

3.4.2.2 Validation du modèle

Pour évaluer les incertitudes associées aux sorties du modèle, un processus de validation en deux étapes a été mis en œuvre. Dans un premier temps, les variétés utilisées dans les simulations ont été calibrées et validées sur la base d'expérimentations agronomiques menées à l'échelle nationale ou dans des zones agroécologiques présentant des conditions similaires à celles de la zone d'étude. Dans un second temps, une validation spécifique à la zone d'étude a été réalisée en comparant les rendements simulés pour la période de référence (1995–2014) avec les rendements moyens observés du maïs, tels qu'enregistrés par la Direction des Statistiques Agricoles du Bénin (DSA) pour la même période. Cette comparaison visait à évaluer la capacité du modèle à reproduire la variabilité interannuelle des rendements observés, ainsi que la distribution des rendements simulés, afin d'identifier d'éventuels biais ou écarts significatifs entre les projections du modèle et les données de référence proposée par la DSA. L'Indicateur utilisé pour évaluer la performance du modèle DSSAT est le Normalized Root

Mean Square Error (NRMSE). Il permet de relativiser l'erreur de simulation par rapport à la moyenne des rendements observés. Il est obtenu en deux étapes :

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{\text{sim},i} - Y_{\text{obs},i})^2} \quad (1)$$

où :

$Y_{\text{sim},i}$ est la valeur simulée (DSSAT) ; $Y_{\text{obs},i}$ est la valeur observée (statistiques agricoles),

n est le nombre d'observations

$$\text{nRMSE} = \frac{\text{RMSE}}{\bar{Y}_{\text{obs}}} \times 100 \quad (2)$$

Où

\bar{Y}_{obs} est la moyenne des rendements observés.

Selon **Jamieson et al., (1991)** et **(Akumaga et al., 2023)**, les seuils d'évaluation du nRMSE sont les suivants :

- **Excellent** : $\text{nRMSE} < 10\%$ de la moyenne observée ;
- **Bon** : $10\% \leq \text{nRMSE} < 20\%$;
- **Satisfaisant** : $20\% \leq \text{nRMSE} < 30\%$;
- **Non satisfaisant** : $\text{nRMSE} \geq 30\%$.

Nous avons ensuite comparé systématiquement DSSAT à un modèle de référence qui prédit un rendement constant égal à la moyenne des rendements observés.

L'évaluation des impacts du changement climatique a été réalisée en comparant une période de référence historique (1995–2014) à un horizon temporel futur, correspondant à la période 2021–2040. Ce choix permet d'analyser les effets du climat futur à court terme sur les rendements agricoles dans la vallée de l'Ouémé, en cohérence avec les projections issues des modèles climatiques CMIP6

Le climat futur pris en compte dans cette étude intégrait les hypothèses des **chemins socio-économiques partagés** (*Shared Socio-economic Pathways*, SSP). Deux scénarios climatiques issus du CMIP6 ont été considérés :

- Le **SSP2-4.5** représentait une trajectoire intermédiaire, dans laquelle les tendances actuelles se poursuivent sans changements majeurs, conformément à la description de **Mondon et Imbard (2013)**. Il traduisait un niveau modéré d'efforts d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre.
- Le **SSP5-8.5**, quant à lui, correspondait à un scénario extrême, fondé sur une croissance économique rapide reposant massivement sur les énergies fossiles, tel que décrit par **Meinshausen et al. (2020)**. Il a été utilisé comme scénario pessimiste de référence dans cette étude.

3.4.3 Option d'adaptation prioritaire pour une agriculture résiliente

Une analyse SWOT a été mobilisée pour évaluer six principales stratégies d'adaptation agricole identifiées auprès des producteurs de la basse vallée de l'Ouémé. Chaque stratégie a été examinée selon quatre dimensions : forces, faiblesses, opportunités et menaces.

À l'issue de cette analyse, une évaluation multicritère a été réalisée afin de comparer la performance stratégique des différentes options, en s'inspirant de l'approche “Multi-SWOT” proposée par **Dergan et al., (2022)** qui permet de transformer les résultats qualitatifs d'une matrice SWOT en scores quantitatifs pour guider la prise de décision.

Les six critères retenus s'appuient à la fois sur la littérature existante sur l'évaluation des stratégies d'adaptation (**WASCAL,2021 ; Dergan et al., 2022**) et sur les spécificités de la zone d'étude. Ils intègrent : (i) la pertinence locale perçue, (ii) la faisabilité technique / intégration dans DSSAT, (iii) l'impact potentiel sur la production agricole, (iv) la diversité des risques ciblés (inondation, sécheresse, vent, parasites), (v) l'alignement avec les politiques nationales (notamment le PNA), (vi) et l'accessibilité locale (en ressources, savoir-faire et appui technique).

Chaque critère a été noté sur une échelle de 0 (très faible) à 4 (très élevé). Les scores ont été attribués de manière interprétative, en s'appuyant sur le contenu de la matrice SWOT :

- Les forces et opportunités liées à un critère ont contribué positivement à sa note.
- À l'inverse, les faiblesses et menaces ont entraîné une pénalisation du score.

Cette démarche a permis de traduire les dimensions qualitatives de la SWOT en valeurs numériques comparables, facilitant leur représentation graphique à travers des diagrammes radar. Ces derniers offrent une vision synthétique du positionnement stratégique de chaque mesure et ont guidé la sélection finale des options les plus pertinentes à modéliser dans DSSAT.

3.4.4 Détermination des écarts de rendements

L'impact des changements climatiques sur le maïs sera évalué à travers deux variables clés : les rendements en grains et la biomasse aérienne totale. Les simulations de ces variables seront analysées à l'échelle du bassin en comparant les tendances futures aux données historiques. Plus précisément, les variations relatives pour l'horizon temporel (2021-2040) et chaque scénario climatique seront estimées par rapport à la période de référence (1995-2014) pour chaque point de grille, selon la formule suivante.

$$\text{Ecart}(\%) = \frac{yf - yh}{yh} * 100$$

L'« Écart (%) » correspond à la variation relative en pourcentage, où « yf » et « yh » désignent respectivement les rendements en grains ou la biomasse aérienne pour l'horizon futur et la période historique. Les résultats sont présentés sous forme de cartes et de diagrammes en boîtes à moustaches afin de mieux visualiser les changements induits par le climat selon les scénarios.

Pour analyser la fréquence des années à bas rendement dans les scénarios futurs, nous avons défini un seuil de référence correspondant à la moyenne des rendements simulés sur la période historique (1995–2014). Bien que le modèle DSSAT sous-estime légèrement les niveaux absolus de rendement, cette approche permet une analyse comparative cohérente au sein du même cadre de simulation. Les années dont les rendements projetés sont inférieurs à ce seuil sont considérées comme "à bas rendement", fournissant ainsi un indicateur utile pour évaluer la vulnérabilité agricole dans le futur.

3.4.5 Analyse des tendances statistiques

Dans le but d'analyser l'évolution des rendements moyens à l'échelle nationale, le test statistique de Mann-Kendall (1975) sera appliqué aux moyennes globales des rendements pour la période (2021-2040) et selon chaque scénario climatique. Ce test non paramétrique, largement utilisé pour détecter les tendances dans les données environnementales ([Yin et al., 2012](#)), permettra d'identifier si la tendance des rendements sera à la hausse ou à la baisse au fil du temps, en s'appuyant sur une analyse de régression monotone.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{Sign}(y_i - y_j)$$

$$\text{sign}(y_i - y_j) = -1 \text{ si } (yi - yj) < 0;$$

$$\text{sign}(y_i - y_j) = 1 \text{ si } (yi - yj) > 0;$$

$$\text{sign}(y_i - y_j) = 0 \text{ si } (yi - yj) = 0$$

$$T = \frac{2s}{n - (n - 1)}$$

T est le tau, un indicateur de la force et de la direction de cette tendance : T>0 indique une tendance croissante des rendements, T<0 une tendance décroissante, et T≈0 l'absence de tendance significative ; S est le coefficient de corrélation de Mann-Kendall et n la longueur de la série de données étudiées (2021-2040) ; la série Y1 à Yn correspond aux données des rendements moyens à l'échelle de la vallée pour le maïs

4 RESULTATS

4.1 Caractérisation des systèmes agricoles et des risques climatiques

4.1.1 Caractéristiques des systèmes de production agricole

La Figure 2 présente une synthèse des caractéristiques des systèmes de production agricole dans la basse vallée de l’Ouémé. La répartition des cultures principales par commune (Figure 2A) met en évidence la prédominance du maïs, cultivé par 100 % des producteurs à Aguégués et Bonou, 93,3 % à Adjohoun et 71,1 % à Dangbo. Il est suivi par le manioc, pratiqué en moyenne par 73,1 % des producteurs, tandis que le riz reste globalement marginal, à l’exception de Dangbo. En termes de superficies (Figure 2B), le maïs se distingue également avec les plus grandes surfaces médianes (environ 2 ha), certaines exploitations dépassant les 4 ha. À l’inverse, les cultures de manioc, riz et tomate occupent des superficies plus modestes, souvent inférieures à 1 ha.

La Figure 2C révèle une forte disparité de statut foncier selon le sexe. Plus de 50 % des hommes cultivant le maïs et 28 % de ceux cultivant le manioc sont propriétaires, contre moins de 10 % chez les femmes, toutes cultures confondues. Ces dernières accèdent davantage à la terre par la location, l'emprunt ou la donation, traduisant une moindre sécurisation foncière. L’association entre agriculture et élevage reste globalement peu répandue (Figure 2D). Plus de 85 producteurs de maïs déclarent ne pas pratiquer l’élevage, contre seulement 48 affirmant exercer une double activité. Cette tendance se confirme également pour les autres cultures, où l’intégration agriculture-élevage reste marginale.

S’agissant des facteurs de non-rentabilité (Figure 2E), les plus fréquemment mentionnés sont la pauvreté des sols (45 réponses), les aléas climatiques tels que les sécheresses et les pluies irrégulières (~40 réponses), la mévente des produits (38), le manque de main-d’œuvre (35) et le coût élevé des intrants (30). Enfin, les principaux facteurs de rentabilité (Figure 2F) évoqués par les producteurs incluent la bonne fertilité des terres (50 mentions), une pluviométrie favorable (48), l’appui technique reçu (45) et la disponibilité en main-d’œuvre (36). En revanche, l’utilisation de l’information climatique reste encore peu citée (environ 15 mentions), soulignant un levier encore peu exploité.

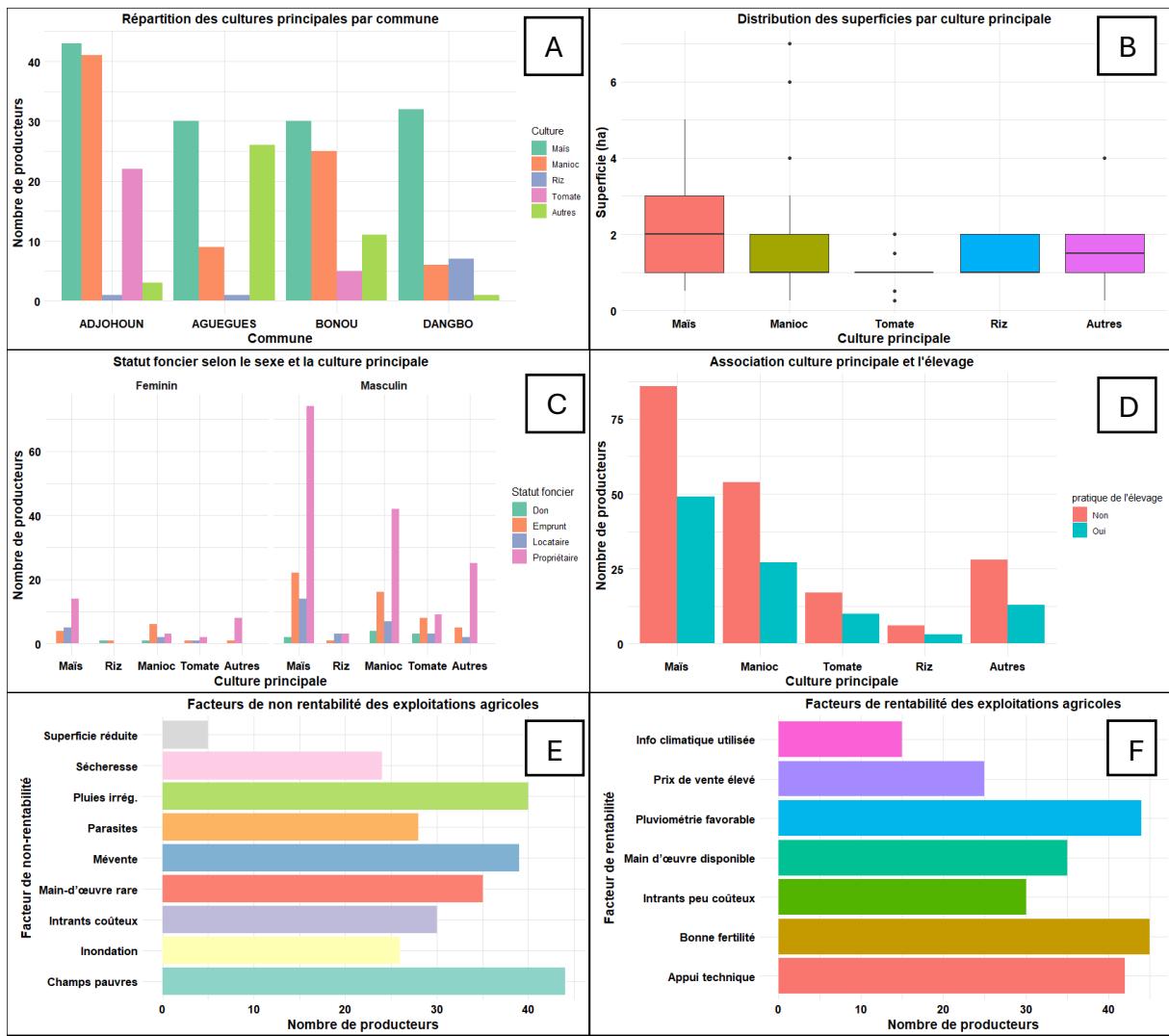


Figure 2 : Caractéristiques des systèmes de production agricole dans la basse vallée de l’Ouémé

4.1.2 *Perceptions des modifications climatiques*

La Figure 3 illustre les perceptions des producteurs concernant les modifications des variables climatiques majeures en l’occurrence la pluviométrie, la température et le vent dans les quatre communes étudiées.

La Figure 3A montre que la majorité des producteurs perçoivent une modification de la pluviométrie. Cette perception est particulièrement marquée à Adjohoun, Bonou et Aguégués présentant chacune plus de 90% de modification perçue. À Dangbo, la tendance s'inverse avec une majorité d'environ 66% des producteurs qui déclarent ne pas percevoir un changement.

La nature de ces modifications est précisée en Figure 3B. Le motif le plus fréquemment cité est la quantité insuffisante de pluie, notamment à Adjohoun (plus de 40 mentions) et à Aguégués (plus de 25). D'autres types de perturbations sont également évoqués, notamment la mauvaise répartition spatiale et temporelle ainsi que des épisodes de quantité excessive, bien qu'en moindre fréquence.

La Figure 3C présente les perceptions liées à la température. Dans toutes les communes, une forte proportion de producteurs perçoivent une hausse. Seuls quelques producteurs (moins de 5 à Adjohoun, Bonou et Dangbo) déclarent ne pas percevoir de changement. Ces observations sont confirmées par la Figure 3D, où l'augmentation des températures est unanimement signalée par l'ensemble des répondants ayant perçu un changement.

Concernant le vent (Figure 3E), la majorité des producteurs dans toutes les communes déclarent percevoir une modification. Cette perception est quasi unanime à Dangbo et Aguégués. À Adjohoun et Bonou, bien que quelques producteurs n'aient pas noté de changement, la perception d'une évolution des régimes de vent demeure majoritaire. Ces perceptions sont précisées en Figure 2F, où le renforcement de l'intensité des vents (“plus fort”) constitue le type de changement le plus souvent mentionné, toutes communes confondues.

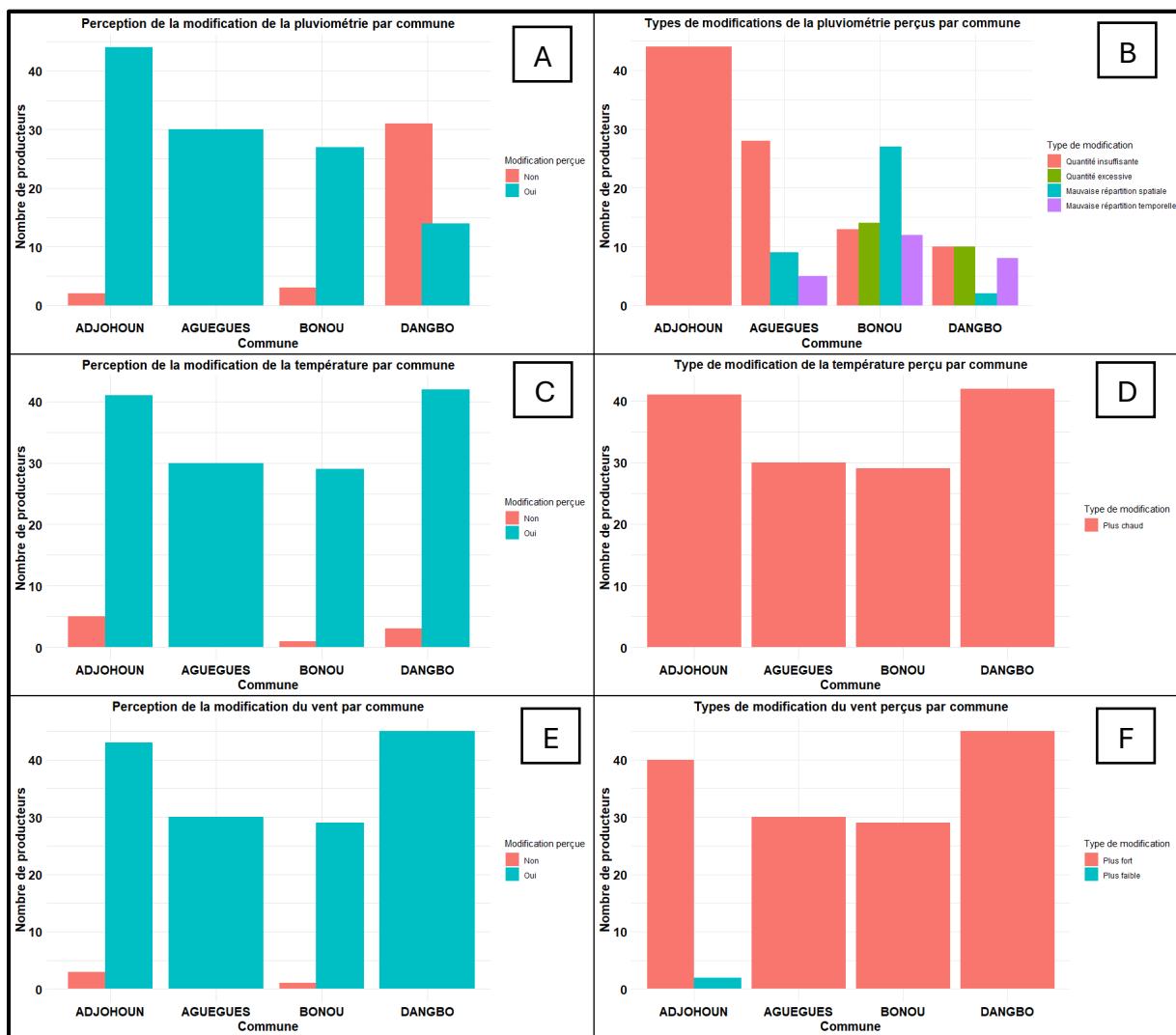


Figure 3 : Perceptions locales des modifications climatiques dans la basse vallée de l’Ouémé

4.1.3 *Perceptions climatiques et risques associés*

Les Figures 4 présente les phénomènes climatiques perçus comme menaçants par les ménages agricoles de la basse vallée de l’Ouémé, en distinguant les risques actuels, ceux anticipés à court terme (cinq prochaines années) et ceux spécifiquement associés à la culture du maïs.

Les Figures 4A à 4D présentent les phénomènes climatiques identifiés par les ménages agricoles comme étant des risques majeurs, que ce soit pour la campagne agricole en cours ou dans une perspective à cinq ans, ainsi que ceux spécifiquement associés à la culture du maïs.

La Figure 4A indique que, durant la campagne actuelle, les phénomènes les plus fréquemment cités sont l'inondation (plus de 110 mentions) et la sécheresse (environ 100 mentions). Suivent les vents forts et les attaques parasitaires, tandis que les vagues de chaleur, les invasions aviaires et les mauvaises herbes sont beaucoup moins évoquées.

Dans la Figure 4C, qui illustre les risques anticipés pour les cinq prochaines années, les mêmes tendances sont observées, avec une fréquence élevée des mentions liées à l'inondation et à la sécheresse. Quelques autres phénomènes sont également cités, tels que la chute d'arbres ou l'invasion de mauvaises herbes, mais de façon marginale.

La Figure 4B met en évidence les risques perçus comme susceptibles d'affecter spécifiquement la culture du maïs durant la campagne en cours. Les aléas les plus mentionnés sont l'inondation, la sécheresse, les vents forts et les attaques parasitaires. La Figure 4D, qui traite des projections à cinq ans pour cette même culture, montre une hiérarchie similaire des risques, avec une prédominance des mêmes phénomènes.

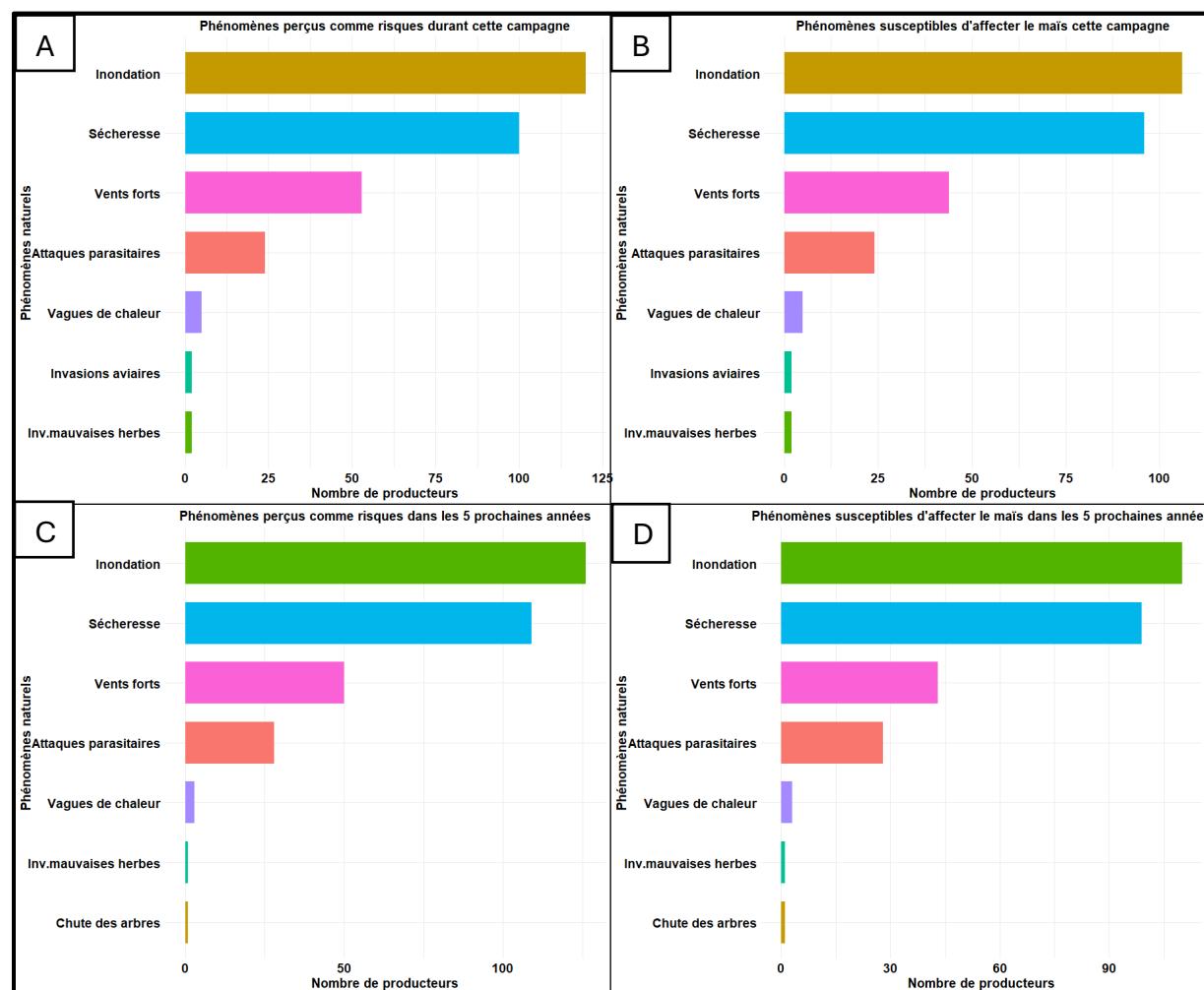


Figure 4 : risques climatiques perçus dans la basse vallée de l'Ouémé

4.1.4 Perceptions institutionnelles et techniques des impacts

Les entretiens menés avec **M. HAZOUMÉ (ATDA des Aguégués)** et **M. ATCHADE (INRAB)** apportent un éclairage complémentaire sur les risques climatiques auxquels les producteurs de la vallée de l’Ouémé sont confrontés, ainsi que sur leurs conséquences agricoles, économiques et sociales.

Les deux intervenants s'accordent à reconnaître que les inondations et les périodes de sécheresse constituent les aléas climatiques les plus fréquents et les plus redoutés dans la région. À ceux-ci s'ajoutent d'autres contraintes telles que l'érosion à forte intensité et les attaques parasitaires (notamment de criquets et de chenilles légionnaires), exacerbées par les conditions climatiques extrêmes. Les productions agricoles, en particulier le maïs, sont directement affectées : poches de sécheresse et excès de pluie en phase de maturation sont cités comme des facteurs majeurs de baisse de rendement et de détérioration de la qualité des récoltes (ex. : pourriture des épis, altération du goût).

Outre les pertes agricoles, les acteurs institutionnels soulignent les répercussions économiques importantes pour les ménages ruraux. Les mauvaises récoltes rendent difficile le remboursement des crédits contractés auprès des institutions de microfinance, fragilisant les conditions de vie des familles, notamment en matière de santé et d'éducation. Une certaine instabilité des prix agricoles est également rapportée : hausse des prix lors des mauvaises campagnes, mais baisse significative lors des bonnes, ce qui réduit la marge bénéficiaire globale.

Enfin, il est noté que l'appauvrissement progressif des sols, en lien avec l'exploitation continue des mêmes parcelles et l'insuffisance de pratiques alternatives, contribue à la dégradation continue de la productivité. Bien que certaines stratégies d'adaptation existent (ex. : recours à des variétés améliorées, diversification des revenus), elles restent encore inégalement mises en œuvre.

4.2 Evaluation des effets du changement climatique sur la production du maïs

4.2.1 Effets observés du climat sur le maïs

L'évaluation de la performance du modèle DSSAT indique que l'exactitude du niveau des rendements reste inférieure à celle obtenue avec une prédition constante égale à la moyenne observée (Figure 4a et Annexe 1). Cependant, le modèle reproduit de manière globalement satisfaisante les rendements du maïs sur la période historique 1995–2014 (le NRMSE est compris entre 20 et 30 %). Comme l'illustre la Figure 4a, les simulations présentent un rendement moyen de 951,8 kg/ha, légèrement inférieur à la moyenne observée dans la zone d'étude, estimée à 1 125,8 kg/ha selon la Direction des statistiques agricoles (DSA).

Dans plus de la moitié des cas, le modèle parvient à restituer la variabilité interannuelle des rendements, traduisant une capacité raisonnable à capturer les effets du climat sur la production de maïs (Figure 5b). Certaines baisses de rendement simulées correspondent à des années d'événements climatiques extrêmes, notamment les inondations majeures de 2006, 2008 et 2010 dans la vallée de l’Ouémé, correctement reproduites par le modèle.

En revanche, des limites apparaissent, notamment en 2011, année également marquée par une inondation significative, dont l'effet sur les rendements n'a pas été capté de manière satisfaisante. Ces écarts pourraient s'expliquer par la complexité des dynamiques locales (érosion, gestion de l'eau, pratiques culturelles) ou par des facteurs non explicitement intégrés dans le modèle.

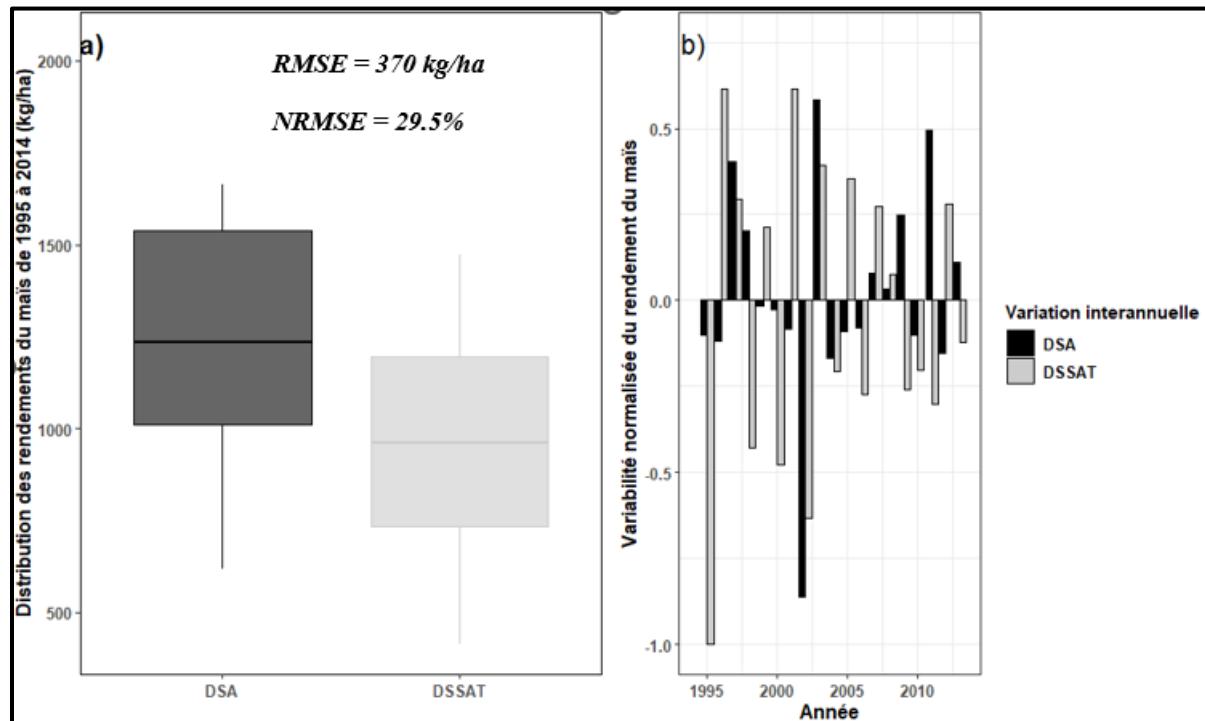


Figure 5: Distribution (a) et variation interannuelle (b) des rendements du maïs de 1995-2014

4.2.2 *Effet du climat futur sur la production du maïs*

4.2.2.1 *Variation future du rendement grain du maïs*

Selon le scénario SSP2-4.5, le changement climatique entraînerait une réduction moyenne du rendement du maïs de -2,5 % sur environ 17 % des zones de production, avec des baisses pouvant atteindre -4,2 % dans les zones les plus vulnérables. Toutefois, certaines localités enregistreraient une hausse allant jusqu'à +17,3 % (Figure 6).

Pour le scénario SSP5-8.5, les variations de rendement oscillent entre -5,5 % et +8,5 %, avec 33 % des surfaces cultivées susceptibles de subir une diminution.

De manière générale, les résultats indiquent que les conditions climatiques resteront globalement favorables à la culture du maïs dans la basse vallée de l'Ouémé, avec une augmentation moyenne projetée des rendements de +7,47 % sous le scénario SSP2-4.5 et de +3 % sous le scénario SSP5-8.5 (Annexe 3A).

Les simulations de l'impact du climat sur le maïs, fondées sur les pratiques agricoles actuelles observées dans la basse vallée de l'Ouémé, révèlent une tendance légèrement haussière mais non significative des rendements sous le scénario SSP2-4.5, tandis que le scénario SSP5-8.5 affiche une tendance à la baisse, statistiquement significative (Annexe 3B)

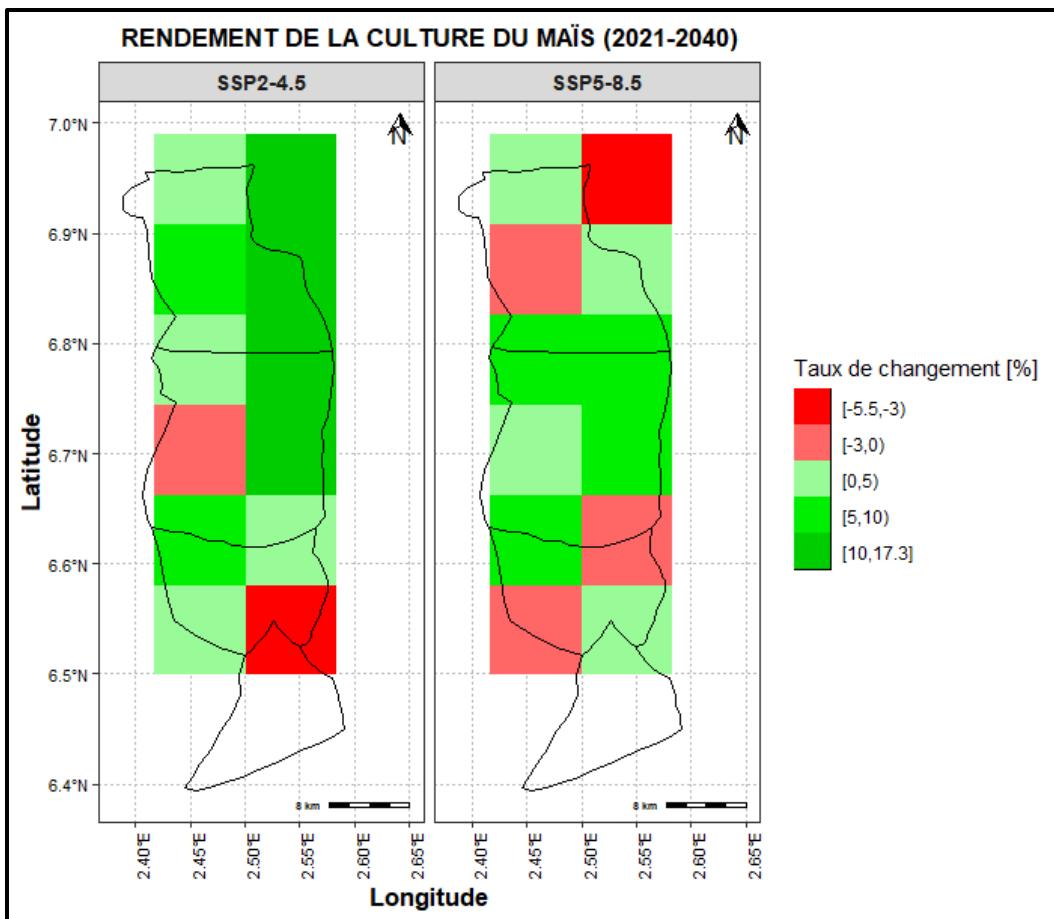


Figure 6 : Variation du rendement du maïs (%) à court terme (2021-2040) par rapport à 1995-2014 selon les scénarios SSP2-4.5 et SSP5-8.5

4.2.2.2 *Fréquence des bas rendements*

L'analyse de la fréquence des années à bas rendement (Figure 7), définies comme celles dont les rendements sont inférieurs à la moyenne historique (951,8 kg/ha), révèle une récurrence notable dans les deux scénarios climatiques. Entre 2021 et 2040, neuf années à bas rendement sont enregistrées sous le scénario SSP2-4.5 (45 %), contre huit années sous SSP5-8.5 (40 %), traduisant une instabilité interannuelle persistante.

Les pertes les plus sévères sont observées sous SSP5-8.5, avec un minimum de 180 kg/ha en 2022, contre 461 kg/ha pour le SSP2-4.5. Ainsi, bien que le SSP2-4.5 présente une fréquence légèrement plus élevée de faibles rendements, le scénario SSP5-8.5 apparaît plus vulnérable aux extrêmes climatiques.

Enfin, une succession d'années à bas rendement est observée à partir de 2036 dans SSP2, et de 2038 dans SSP5, indiquant une tendance à la dégradation progressive des performances du maïs en fin de période, dans un contexte de changement climatique de plus en plus contraignant.

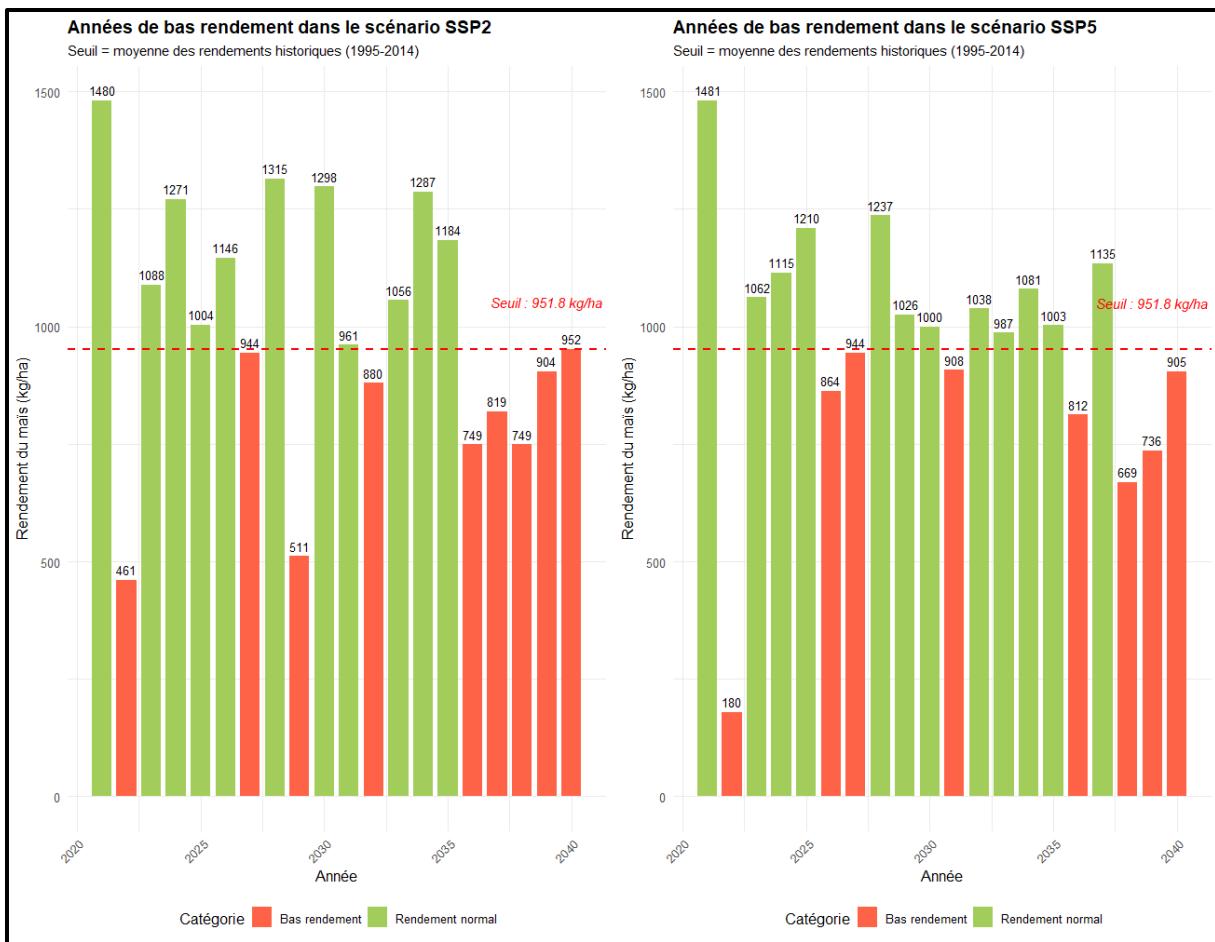


Figure 7 : Années à bas rendement à court terme (2021-2040)

4.2.3 *Effet du climat futur sur la biomasse du maïs*

Les projections des impacts du changement climatique sur la production de biomasse du maïs suivent la même tendance que les variations de rendement en grains. Ces changements varient de -0,7% à +15% pour le SSP2.4.5 et de -6,7% à +6,4 % pour le SSP5.8.5. À l'échelle de la basse vallée, au niveau du scénario SSP2.4.5, la production de biomasse du maïs devrait augmenter en moyenne de +6,68% par rapport à la période de référence 1995–2014. Cette augmentation est beaucoup plus faible pour le scénario SSP5.8.5 qui sera de 2,87% (voir Figure 8).

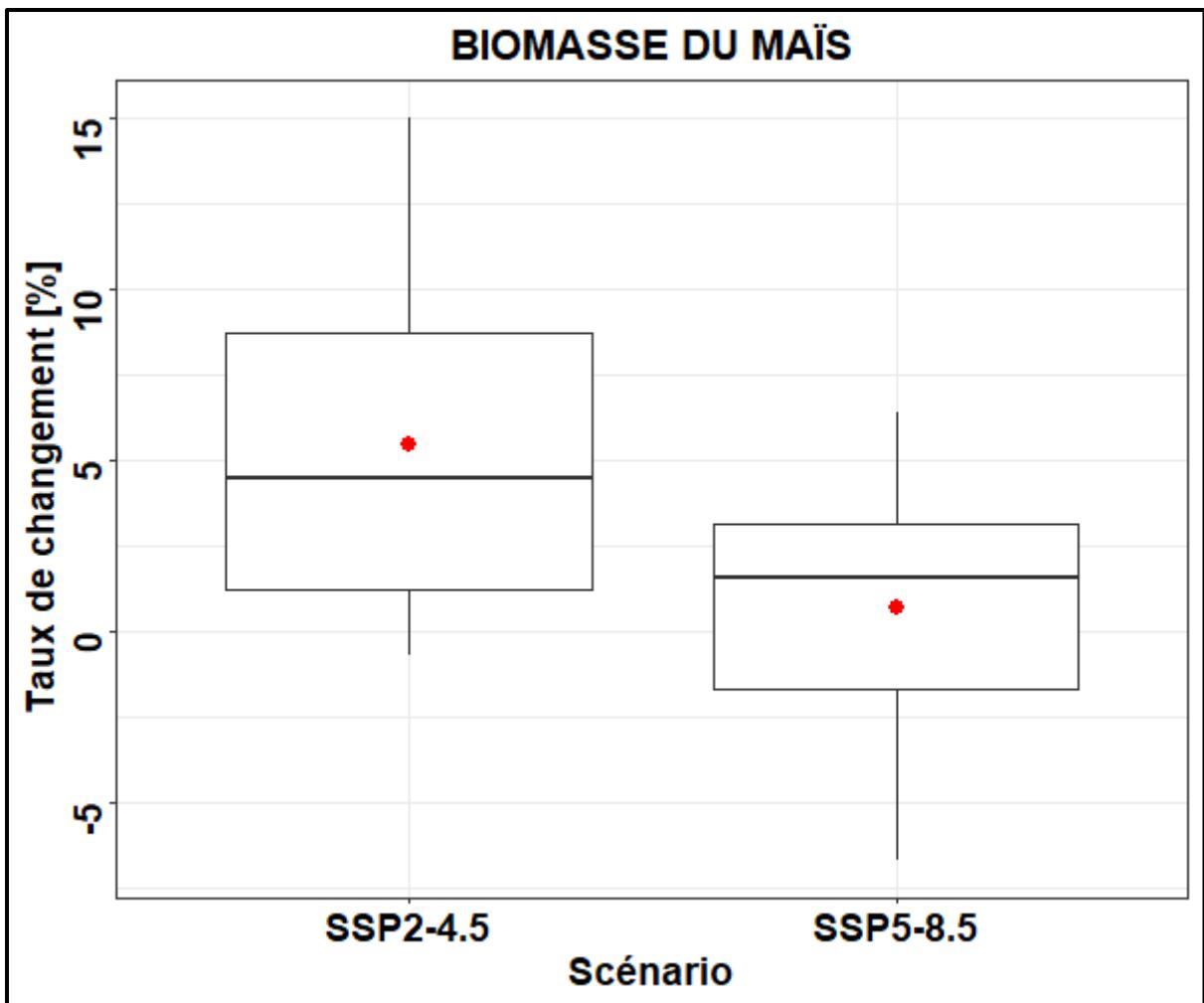


Figure 8 : Variation de la biomasse du maïs (%) à court (2020-2040) par rapport à 1995-2014 selon les scénarios SSP2 4.5 et SSP5 8.5

4.3 Evaluation des options d'adaptations

4.3.1 Sélection des mesures d'adaptations à évaluer dans un contexte de climat changeant

L'analyse issue du diagramme radar (Figure 9) met en évidence deux stratégies d'adaptation particulièrement performantes : le décalage de la date de semis et la fertilisation organique. Ces deux mesures obtiennent les meilleurs scores globaux, traduisant une pertinence agronomique, sociale et institutionnelle élevée dans le contexte de la basse vallée de l'Ouémé.

Le décalage de la date de semis se distingue par son fort potentiel de réduction des risques climatiques (sécheresse, inondation), sa compatibilité avec les systèmes d'information agroclimatique, son intégration explicite dans les politiques nationales d'adaptation, ainsi que sa modélisation dans DSSAT. La fertilisation organique, quant à elle, contribue à la résilience des sols, améliore durablement la productivité agricole, et bénéficie également d'une bonne intégration dans le modèle.

Les scores présentés dans la figure résultent d'une évaluation multicritère fondée sur l'analyse SWOT détaillée disponible dans l'annexe 4. Ce tableau constitue le socle analytique ayant conduit à la sélection de ces deux mesures prioritaires pour les simulations futures.

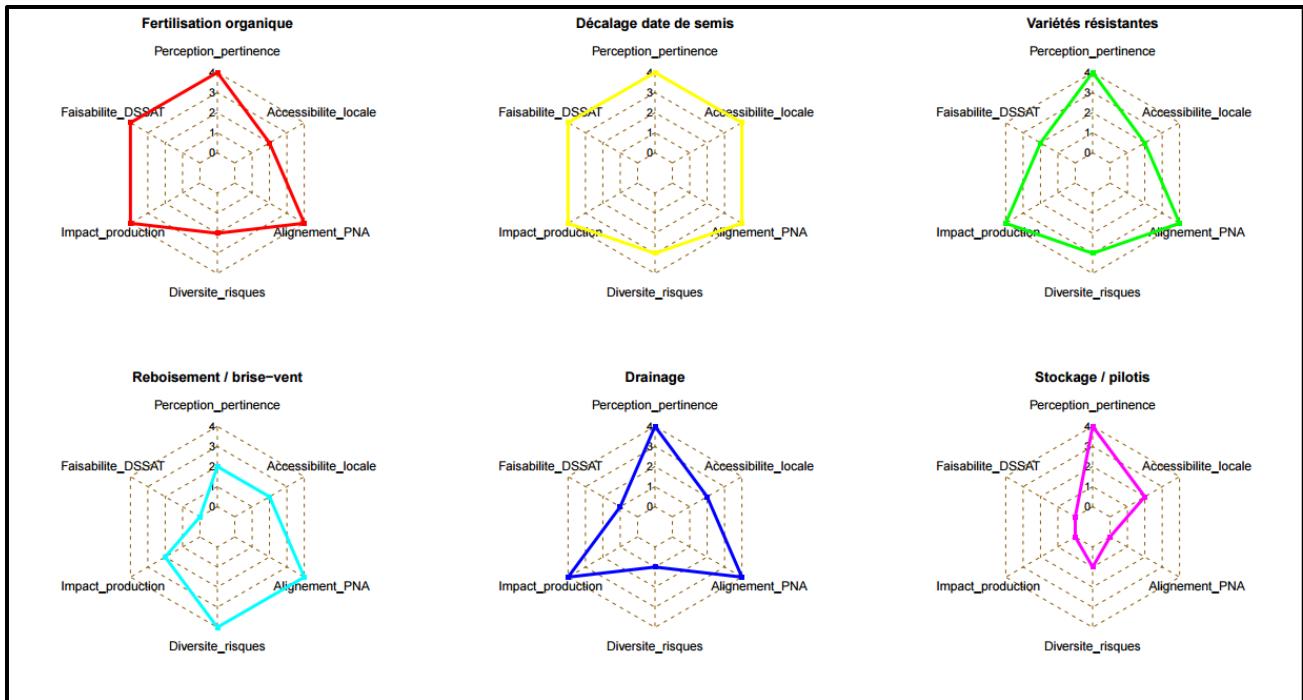


Figure 9 : Score des options d'adaptation les plus perçues par les producteurs

4.3.2 Impact de la fertilisation organique sur le maïs dans un contexte de changements climatiques

Les simulations ont indiqué que l'application d'un taux de 0.5 tonnes par hectare pour la culture du maïs est optimale et suffisante en termes d'apport nutritif pour une agriculture durable à court et court terme, dans un contexte de changement climatique (Figure 10).

Dans les scénarios SSP2-4.5, la fertilisation organique à raison de 0,5 t/ha a un impact positif sur les rendements du maïs à court terme, comparativement à la période de référence 1995–2014, et ce, sur l'ensemble des zones de production du maïs. Ces gains de rendement peuvent atteindre jusqu'à 14,4% dans certaines zones situées à l'est de la commune d'Adjohoun et de Bonou.

Au niveau du SSP5.8.5, on observe quelques légères baisses de rendements oscillant entre -1,2% et -1,8%. L'augmentation de la dose de fumure organique à ce niveau engendrera une baisse notable des rendements comme on le constate dans l'annexe 5A.

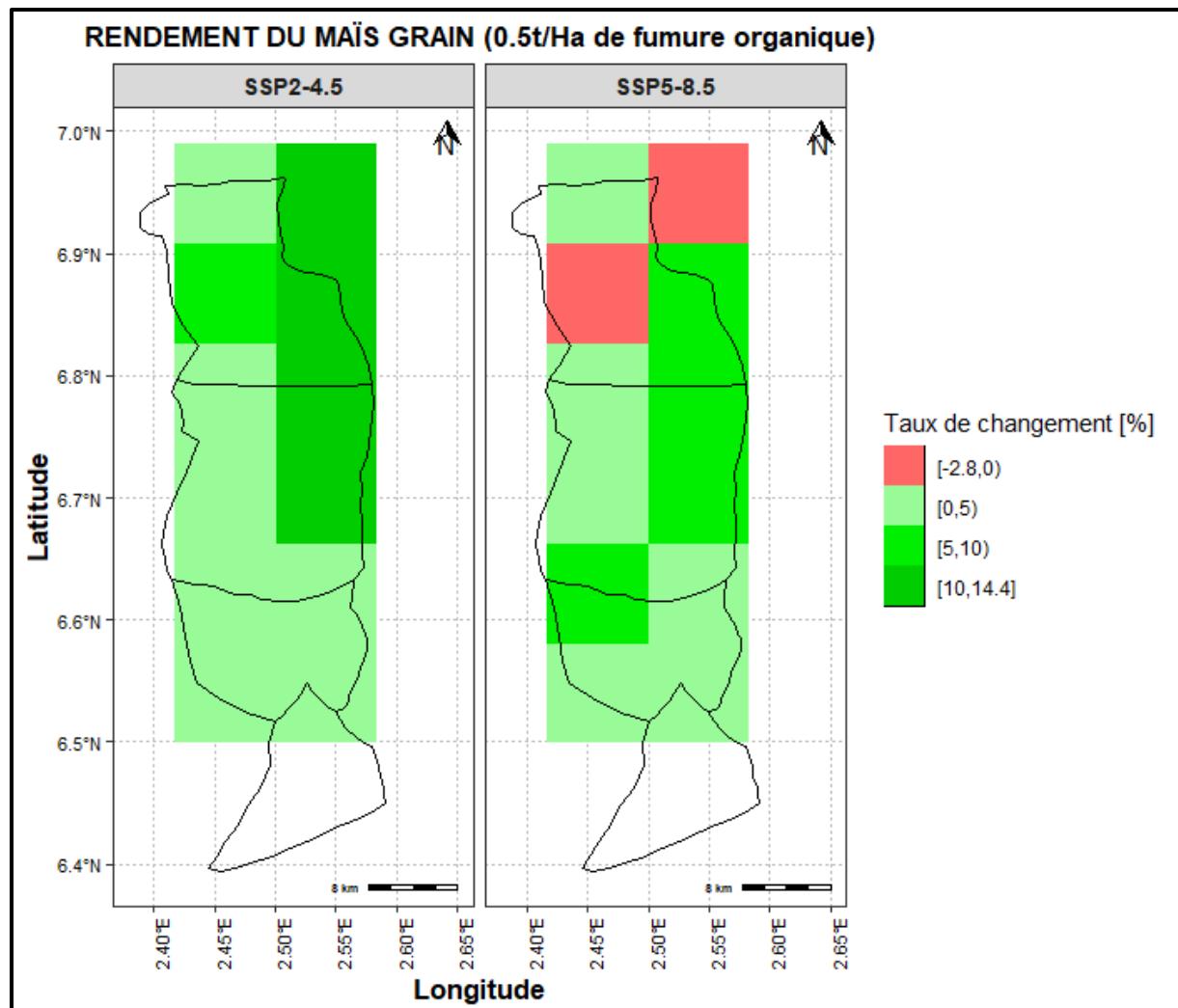


Figure 10 : Effet de la fertilisation organique sur le rendement du maïs (%) à court terme par rapport à 1995-2014 selon les scénarios SSP2 4.5 et SSP5 8.5

4.3.3 Impact de l'association de la date de semis et de la fertilisation organique dans un contexte de changement climatique

Les simulations suggèrent qu'un semis futur du maïs en Mai, notamment dans la première quinzaine du mois, combinée à une dose de fumure organique de 0,5 t/ha représente la stratégie idéale à court terme pour améliorer les rendements du maïs dans un contexte d'agriculture durable tenant compte du changement climatique sous scénario SSP5.8.5 (Annexe 5b). Cette association a un impact positif sur les rendements du maïs à court terme, comparativement à la période de référence 1995–2014 et cela, sur l'ensemble des zones de production de maïs. Ces gains de rendement pourraient atteindre jusqu'à 38,6 % dans toutes les régions où cette culture est pratiquée (Figure 10).

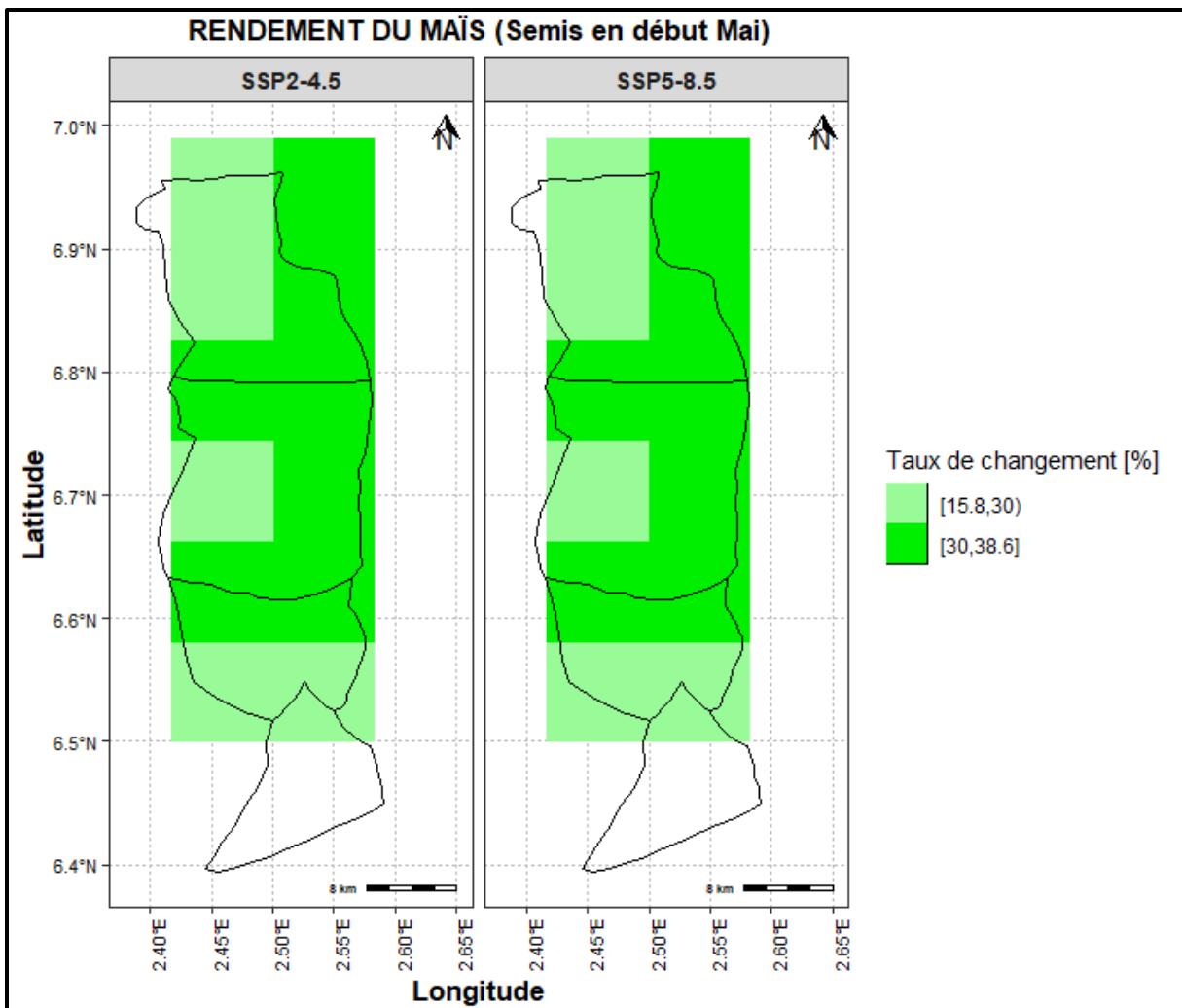


Figure 11 : Effet de la fertilisation organique+ décalage de la date de semis sur le rendement du maïs (%) à court terme par rapport à 1995-2014 selon les scénarios SSP2 4.5 et SSP5 8.5

5 DISCUSSION

5.1 Caractérisation des exploitations agricoles

Les résultats révèlent une nette spécialisation des producteurs de la basse vallée de l’Ouémé autour du maïs, culture dominante dans toutes les communes, avec une couverture allant jusqu’à 100 % à Aguégues et Bonou. Cette forte dépendance au maïs reflète une vulnérabilité structurelle importante des systèmes agricoles locaux face aux aléas climatiques. En effet, une faible diversification des cultures est souvent associée à un risque accru de pertes en cas de choc climatique (**Altieri et al., 2015**) notamment dans des contextes à forte variabilité pluviométrique comme celui de la vallée.

La faiblesse de l’intégration agriculture-élevage, également observée, limite les possibilités d’amendement organique, de diversification des revenus et de résilience des systèmes de production. Or, plusieurs études (**Descheemaeker et al., 2016; Franzluebbers et Hendrickson, 2024**) soulignent que l’agriculture intégrée constitue un levier important

d'adaptation en Afrique de l'Ouest, en permettant une meilleure valorisation des ressources locales et une atténuation des pertes en cas de perturbation climatique.

La disparité d'accès au foncier entre hommes et femmes, largement au désavantage de ces dernières, révèle également un facteur de vulnérabilité important. Un accès sécurisé à la terre conditionne non seulement les investissements agricoles, mais aussi la capacité des producteurs à adopter des innovations climato-intelligentes (**FAO, 2015**). Dans ce contexte, la marginalisation foncière des femmes pourrait limiter leur capacité d'adaptation, alors même qu'elles jouent un rôle essentiel dans les systèmes de production.

Enfin, les facteurs de rentabilité et de non-rentabilité évoqués par les producteurs illustrent une conscience empirique des liens entre performances agricoles et facteurs environnementaux. La reconnaissance de la fertilité des sols et d'une pluviométrie favorable comme déterminants de la productivité traduit une perception directe des effets du climat sur les rendements. À l'inverse, l'absence ou la rareté des références à l'utilisation de l'information climatique comme levier d'action montre que les systèmes de prévision et de diffusion d'alertes climatiques restent encore peu ancrés dans les pratiques locales, ce qui limite leur potentiel d'adaptation (**Bouba et al., 2018**).

5.2 *Perceptions des modifications climatiques et risques associés*

Les résultats confirment l'hypothèse selon laquelle les producteurs perçoivent des modifications climatiques, en particulier une baisse de la pluviométrie, une hausse des températures et un renforcement des vents. Ces perceptions, majoritaires dans les communes étudiées, reflètent une mémoire climatique empirique largement cohérente avec les tendances observées dans la littérature scientifique (**Mertz et al., 2009; Niang et al., 2014; Vissin et al., 2016a**). La prédominance des mentions liées à l'insuffisance ou la mauvaise répartition des pluies traduit une expérience directe des perturbations hydriques, tandis que l'unanimité sur la hausse des températures rejoint les projections régionales du GIEC. La perception d'un vent plus fort, bien que moins étudiée, souligne l'exposition locale aux orages violents et à l'augmentation de la variabilité climatique. Ces perceptions constituent un levier stratégique pour orienter les dispositifs d'adaptation, à condition d'être reconnues et articulées avec les données scientifiques (**Adger et al., 2019**) . Elles confirment l'importance d'une approche participative intégrant les savoirs locaux dans la planification climatique.

Les perceptions des producteurs selon lesquelles l'inondation et la sécheresse constituent les risques majeurs actuels et futurs dans la basse vallée de l'Ouémé sont corroborées par des études hydrologiques menées dans la zone. En effet, une analyse de la variabilité saisonnière du régime hydrologique entre 1960 et 2011 a mis en évidence une menace récurrente de catastrophes hydro climatiques, avec des périodes de retour d'inondation aussi courtes que trois ans (**Lodouhoue et al., 2024**). Cette fréquence élevée confirme l'ancrage empirique des perceptions locales sur la récurrence des inondations.

Ces perceptions sont également confortées par l'étude de (**Vissin et al., 2016**) qui analyse la variabilité hydroclimatique dans la commune de Bonou. Les auteurs mettent en évidence une baisse des précipitations de l'ordre de 15 à 20 % à partir des années 1970, suivie d'une reprise modérée en fin de période. Cette dynamique climatique instable, couplée à des crues

exceptionnelles récurrentes, a contribué à fragiliser les spéculations agricoles, en particulier la culture du maïs. Ces constats empiriques rejoignent les observations des producteurs, qui identifient la sécheresse comme une menace récurrente pour leurs cultures. Ils suggèrent que les perceptions locales ne sont pas seulement subjectives, mais s'enracinent dans des expériences concrètes de pertes agricoles liées à la fois à des stress hydriques prolongés et à des événements extrêmes destructeurs.

5.3 Impacts des changements climatiques sur les rendements

Dans son état non calibré localement, le modèle DSSAT n'apporte pas d'information supérieure à une baseline de moyenne constante pour reproduire les niveaux historiques de rendement (1995–2014). Il n'éclaire donc pas de manière fiable la relation sol–plante–climat dans la vallée. En conséquence, les résultats qui suivent doivent être considérés comme exploratoires : nous n'interprétons pas les niveaux absolu (kg/ha) et limitons l'analyse aux variations relatives ($\Delta \%$) et aux tendances, avec les réserves d'usage. Ce choix est conforme aux recommandations pour les études d'impact, qui privilégient $\Delta \%$ et tests non paramétriques afin d'éclairer la sensibilité des systèmes et la priorisation des options d'adaptation (**Jones et al., 2003 ; Hoogenboom et al., 2019 ; IPCC, 2023**). Les exercices d'intercomparaison Global Gridded Crop Model Intercomparison (GGCMI) appuient également cette approche car elle limite l'influence des biais structurels entre modèles et fournit des indicateurs plus robustes et comparables pour l'aide à la décision (**Rosenzweig et al., 2014**)

La non-significativité de la tendance haussière sous SSP2-4.5 pourrait s'expliquer par l'absence d'apport d'intrants dans les simulations. En effet, plusieurs études (**van Oort et Zwart, 2018 ; Huang et al., 2022**) ont démontré que la fertilisation et l'irrigation contribuent fortement à soutenir les rendements agricoles sous climat changeant. L'absence de ces pratiques dans notre protocole de simulation, basé sur les pratiques actuelles sans adaptation, limite donc le potentiel de résilience simulé du maïs face aux stress climatiques.

Cette non-significativité cache des disparités spatiales importantes, avec des zones à gains potentiels (jusqu'à +17,3 %) et d'autres à pertes marquées. Cette variabilité confirme les observations de **Sultan et al., (2023)** selon lesquelles les impacts du changement climatique dépendent fortement des conditions locales, notamment des sols, de la topographie, et des microclimats. Comme souligné par le GIEC (**IPCC, 2023**) cette disparité justifie la mise en place de stratégies d'adaptation différenciées selon les contextes agroécologiques.

La baisse significative projetée sous le scénario SSP5-8.5 demeure préoccupante. Dans ce scénario, l'élévation des températures maximales pendant les phases critiques de floraison et de remplissage des grains dépasse plus fréquemment les seuils de tolérance thermique du maïs (32–35°C). Ces dépassements déclenchent une dégradation de plusieurs processus métaboliques, dont une rupture sévère de la photosynthèse et une augmentation du taux de transpiration (**Crafts-Brandner et Salvucci, 2002 ; Sharma et al., 2020**), la stérilisation du pollen à l'anthèse (**Gourdji et al., 2013**) et la réduction de la taille des grains au stade de remplissage (**Singletary et al., 1994 ; Rezaei et al., 2015**). Ainsi, les résultats de cette étude confirment l'importance d'anticiper les impacts différenciés du climat futur sur la production de maïs dans la basse vallée de l'Ouémé. Ils soulignent également le rôle crucial que pourraient

jouer des leviers d'adaptation tels que la sélection variétale, l'ajustement des dates de semis, ou encore la gestion intégrée des ressources en eau, dans la résilience des systèmes agricoles face aux scénarios climatiques projetés.

Les projections indiquent que la production de biomasse du maïs évolue de manière similaire aux rendements en grains. Sous le scénario SSP2-4.5, une hausse moyenne de +6,68 % est attendue, contre +2,87 % pour le SSP5-8.5, ce dernier traduisant une plus grande vulnérabilité au changement climatique.

Ces résultats confirment l'importance stratégique de la biomasse dans les systèmes agricoles, tant pour la sécurité alimentaire que pour la production d'énergie renouvelable et l'amélioration de la fertilité des sols ([Englund et al., 2020 ; IPCC, 2023](#)). Sa valorisation pourrait constituer un levier d'adaptation majeur, notamment dans les zones à faibles intrants. Toutefois, sa stabilité dépendra fortement des conditions climatiques futures et de la mise en œuvre de pratiques agricoles durables. Intégrer pleinement la biomasse comme ressource multifonctionnelle dans les stratégies d'adaptation permettrait ainsi de renforcer la durabilité et la résilience des exploitations dans la basse vallée de l'Ouémé.

5.4 Efficacité des stratégies d'adaptation face aux effets des changements climatiques

La dose de 0,5 tonne par hectare de fumure organique s'impose comme une option d'adaptation pragmatique et efficace dans le contexte agricole actuel de la basse vallée de l'Ouémé. Ce résultat est d'autant plus pertinent que la fertilisation organique y est rarement pratiquée, les producteurs s'appuyant historiquement sur la fertilité naturelle des sols alluviaux enrichis par les crues. Or, les effets du changement climatique tendent à réduire l'intensité des crues, et donc les apports sédimentaires régénérateurs issus des zones amont ([Adounkpe et al., 2021](#))

Dans ce contexte, l'introduction d'un apport modéré mais régulier de matière organique apparaît comme une stratégie de restitution et de maintien de la fertilité, en accord avec les travaux ([Lal, 2004](#)) et les études ouest-africaines sur l'optimisation des doses organiques ([Ayamba et al., 2021](#)). Ces auteurs soulignent que même à faibles doses, la matière organique améliore significativement la structure des sols, leur capacité de rétention d'eau pouvant augmenter de 100 à 150 mm et la disponibilité des éléments nutritifs autant de paramètres cruciaux pour faire face aux stress thermiques et hydriques croissants. De plus, ce dosage respecte les réalités socio-économiques des petits producteurs. Les études montrent que les agriculteurs disposant de ressources limitées adoptent plus facilement les technologies utilisant de faibles quantités d'intrants organiques, particulièrement lorsque les applications restent inférieures à 1 tonne par hectare ([Muluneh et al., 2022](#))

Traditionnellement, les producteurs de la basse vallée de l'Ouémé initient les semis de maïs dès le début du mois d'avril, en se basant sur l'arrivée précoce des premières pluies. Toutefois, dans un contexte de variabilité climatique accrue, cette pratique devient de plus en plus risquée, exposant les cultures à des stress hydriques et thermiques sévères en fin de cycle, notamment sous les scénarios de forte émission comme le SSP5-8.5.

Les résultats de cette étude suggèrent qu'un décalage du semis vers la première quinzaine de mai, combiné à une fertilisation organique à 0,5 t/ha, constitue une stratégie d'adaptation

optimale à court terme. Cette combinaison permet de tirer parti de conditions agroclimatiques plus stables en début de cycle, tout en évitant les périodes critiques de chaleur excessive. Les gains de rendement simulés peuvent atteindre jusqu'à +38,6 % dans l'ensemble des zones de production du maïs, témoignant de l'efficacité de cette approche.

Ces résultats sont en ligne avec les conclusions de **Enesi et al., (2022)**, qui ont démontré que l'ajustement calendaire des semis constitue un levier puissant pour renforcer la résilience des cultures face aux aléas climatiques. De même, **Rurinda et al., (2015)** soulignent que l'adaptation des calendriers cultureaux, notamment en période de précipitations instables, peut améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources naturelles et optimiser les rendements.

Ces résultats sont cohérents avec les approches développées en Afrique de l'Ouest pour l'adaptation climatique. L'application de systèmes de support de décision comme TAMSAT-ALERT a démontré que les agriculteurs utilisant des recommandations optimisées de dates de plantation étaient 20% plus susceptibles de semer dans la fenêtre optimale (**Black et al., 2023**). De même, **Masvaya et al., (2018)** soulignent que l'adaptation des calendriers cultureaux, notamment en période de précipitations instables, peut améliorer l'efficacité de l'utilisation des ressources naturelles et optimiser les rendements.

Cette stratégie, relativement simple à mettre en œuvre, pourrait être diffusée à travers des programmes de conseil agricole climatique, en combinant prévisions saisonnières, appui technique, et dialogue avec les producteurs sur l'évolution des références culturelles. Elle permettrait d'ancrer l'adaptation dans les pratiques locales, tout en capitalisant sur les signaux du changement déjà perceptibles.

6 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Ce mémoire, inscrit dans le cadre des réflexions scientifiques et opérationnelles sur l'adaptation des systèmes agricoles ouest-africains aux effets du changement climatique, a permis d'apporter un éclairage intégré sur les vulnérabilités et les leviers d'adaptation des systèmes de production du maïs dans la basse vallée de l'Ouémé (Bénin). L'étude visait à évaluer l'impact des changements climatiques sur la culture du maïs, principale spéculation vivrière de la zone, tout en examinant la pertinence de certaines stratégies d'adaptation mobilisées localement ou recommandées par les politiques nationales. La démarche méthodologique a combiné une approche qualitative (entretiens avec les producteurs et les services techniques) et une approche quantitative (modélisation spatialisée avec DSSAT, intégrant 10 modèles climatiques selon deux trajectoires socio-économiques contrastées : SSP2-4.5 et SSP5-8.5).

Les résultats indiquent que, de manière générale, les conditions climatiques projetées restent globalement favorables à la culture du maïs dans la vallée, avec une augmentation moyenne projetée des rendements de +7,5 % sous le scénario SSP2-4.5, contre +3 % sous SSP5-8.5. Cependant, les simulations basées sur les pratiques agricoles actuelles révèlent une tendance légèrement haussière mais non significative des rendements sous SSP2-4.5, tandis que le scénario SSP5-8.5 affiche une tendance baissière significative, témoignant de la forte sensibilité du maïs aux stress thermiques et hydriques en l'absence d'effet fertilisant du CO₂. Ces résultats sont en adéquation avec les perceptions locales, qui évoquent une fréquence accrue des aléas

climatiques (sécheresse, inondations) et une baisse progressive de la fertilité des sols, exacerbée par la réduction des crues et des dépôts alluvionnaires.

L'évaluation de deux stratégies d'adaptation co-construites avec les producteurs, la fertilisation organique à faible dose (0,5 t/ha) et le décalage du semis à la première quinzaine de mai, a mis en évidence leur potentiel à limiter les pertes ou améliorer significativement les rendements, en particulier sous le scénario SSP5-8.5. Ces options, techniquement simples et écologiquement viables, démontrent qu'une transition vers une agriculture climato-intelligente est possible, à condition d'accompagner les producteurs dans l'appropriation des recommandations techniques.

Ces résultats soulignent l'urgence de promouvoir une agriculture plus résiliente, ancrée dans les savoirs locaux, valorisant les pratiques agroécologiques, et fondée sur une meilleure anticipation des risques climatiques. Ils confortent la pertinence d'instruments stratégiques tels que le Plan National d'Adaptation (PNA), mais appellent à un renforcement de leur ancrage local par des dispositifs de vulgarisation, de formation et de financement adaptés.

Il serait pertinent d'élargir cette démarche à d'autres cultures vivrières majeures de la région (riz, manioc, maraîchage, etc.) et de répliquer cette approche à l'échelle nationale, afin de mieux documenter les trajectoires de vulnérabilité, les stratégies d'adaptation territorialisées, et les co-bénéfices potentiels d'une transition agroécologique au Bénin.

À la lumière des résultats obtenus, les recommandations suivantes sont formulées :

1. **Intégrer les pratiques de fertilisation organique** dans les politiques agricoles locales, notamment dans les zones confrontées à une perte de fertilité liée à la baisse des crues et à l'intensification des cultures.
2. **Promouvoir la valorisation de la biomasse agricole** (fourrage, compost, bioénergie) dans les stratégies d'adaptation, afin d'accroître la multifonctionnalité et la durabilité des systèmes de production.
3. **Instaurer une culture d'usage de l'information climatique** à l'échelle locale, en développant les capacités d'interprétation, d'appropriation et d'intégration de ces données dans la prise de décision paysanne.
4. **Inscrire ces résultats dans les projets d'adaptation** aux niveaux national et local, afin de guider des interventions ciblées, cohérentes avec les priorités stratégiques du pays

7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adam M., Dzotsi K.A., Hoogenboom G., Traoré P.C.S., Porter C.H., Rattunde H.F.W., Nebie B., Leiser W.L., Weltzien E., & Jones J.W. (2018).** Modelling varietal differences in response to phosphorus in West African sorghum. European Journal of Agronomy, 100, 35-43. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.04.001>
- Adger, W. N., Dessai, S., Goulden, M., Hulme, M., Lorenzoni, I., Nelson, D. R., Naess, L. O., Wolf, J., & Wreford, A. (2019).** Are there social limits to adaptation to climate change? Climatic Change, 93(3–4), 335–354. <https://doi.org/10.1007/s10584-008-9520-z>
- Adounkpe, J., Ahoudji, O., & Sinsin, B. (2021).** Assessment of the Contribution of Flooded Rice Cultivation Systems to Methane Emissions in the Lower Ouémé Valley, in Benin Republic. Journal of Agricultural Chemistry and Environment, 10(03), 327–344. <https://doi.org/10.4236/jacen.2021.103021>
- Agossou, G., Gbehounou, G., Zahm, F., & Kabossou, E. (2019).** DURABILITE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES DE LA BASSE VALLEE DE L'OUEME EN REPUBLIQUE DU BENIN. 21.
- Akponikpe, I., Johnston, P., & Agbossou, E. K. (2010).** Farmers' perception of climate change and adaptation strategies in Sub-Saharan West-Africa. <https://www.researchgate.net/publication/265798407>
- Akponikpè, P. B. I., Lasmadi, H. L., Akouéhossou, F. B., & Ezin, V. (2022).** Innovations paysannes pour la résilience des ménages agricoles face aux inondations dans la basse vallée de l'Ouémé au Sud-Est du Bénin. International Journal of Biological and Chemical Sciences, 16(4), 1832–1845. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v16i4.17>
- Akumaga, U., Gao, F., Anderson, M., Dulaney, W. P., Houborg, R., Russ, A., & Hively, W. D. (2023).** Integration of Remote Sensing and Field Observations in Evaluating DSSAT Model for Estimating Maize and Soybean Growth and Yield in Maryland, USA. Agronomy, 13(6). <https://doi.org/10.3390/agronomy13061540>
- Alderman, P. D. (2020).** A comprehensive R interface for the DSSAT Cropping Systems Model. Computers and Electronics in Agriculture, 172, 105325.
- ALIMI, R., GBEDOMON, R., BEKPA-KINHOU, A.-M., & EGBOOU, P. (2015).** GESTION CONCERTEE DE L'ESPACE DE PRODUCTION GESTION CONCERTEE DANS LA BASSE ET LA MOYENNE VALLEE DE L'OUEME....
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A., & Lana, M. A. (2015).** Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. Agronomy for Sustainable Development, 35(3), 869–890. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>
- AMMA-Catch. (2016).** Diagnostic statistique de la variabilité spatio-temporelle des indices d'extrêmes de températures au centre du Bénin.
- Amouzou, K. A. (2013).** Impacts of Climate Variability and Soil Fertility Management Strategies on Maize Grain Yield on Ferralsols in Coastal Western Africa. Journal of Renewable Agriculture, 1(3), 44. <https://doi.org/10.12966/jra.06.04.2013>
- Atchade, G., Afouda, A., Gbenou, P., Koumassi, H., Vissin, E., & Houssou, C. (2018).** Extremes hydro_climatiques_et_vulnérabilité des cultures dans la basse vallée de l'Ouémé à Bonou au Bénin. 11.
- Attingli, A. H., Vissin, E., Ahouansou-Montcho, S., Zinsou, L. H., & Laleye, P. A. (2017).** Perception endogène de l'influence des changements climatiques sur la pêche dans la basse vallée de l'Ouémé (Sud Bénin). International Journal of Biological and Chemical Sciences, 10(5), 1998. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v10i5.5>
- Ayamba, B. E., Abaidoo, R. C., Opoku, A., & Ewusi-Mensah, N. (2021).** Enhancing the Fertilizer Value of Cattle Manure Using Organic Resources for Soil Fertility Improvement: A Review. Journal of Bioresource Management, 8(3), 89–107. <https://doi.org/10.35691/jbm.1202.0198>

- Bausaheb, D., Mandage, M., Khose, S., & Gavit, B. (2022).** Impact Assessment of Climate Change on Rice Yield using DSSAT Crop Model. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24030.92484>
- Black, E., Asfaw, D. T., Sananka, A., Aston, S., Boult, V. L., & Maidment, R. I. (2023).** Application of TAMSAT-ALERT soil moisture forecasts for planting date decision support in Africa. *Frontiers in Climate*, 4. <https://doi.org/10.3389/fclim.2022.993511>
- Boko, M., Kosmowski, F., Vissin, E., & Tognon, A. (Eds.). (2012).** Savoirs locaux et adaptation au changement climatique au Bénin. Paris: Editions L'Harmattan.
- Boucher, O., Servonnat, J., Albright, A.L., et al. (2020).** Presentation and Evaluation of the IPSL-CM6A-LR Climate Model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 12, e2019MS002010. <https://doi.org/10.1029/2019MS002010>
- Bouba, A., Mathieu, T., Birhanu, O., Birhanu, Z., Zougmoré, R., & Tabo, R. (2018).** Utilisation de l'information climatique au Mali : Manuel technique à l'usage des agents publics et privés du développement rural. www.icrisat.org
- Cocker, F., Vodounou, J. B., & Yabi, J. A. (2018).** Disponibilité de la ressource en eau et variabilité climatique dans la basse vallée de l'Ouémé, au sud Bénin (Afrique de l'Ouest). *Journal of Innovative Research and Solutions (JIRAS)*, 13.
- Crafts-Brandner, S. J., and Salvucci, M. E. (2002).** Sensitivity of photosynthesis in a C4 plant, maize, to heat stress. *Plant Physiol.* 129, 1773–1780. doi: [10.1104/pp.002170](https://doi.org/10.1104/pp.002170)
- Dergan, T., Ivanovska, A., Kocjančič, T., Iannetta, P. P. M., & Debeljak, M. (2022).** ‘Multi-SWOT’ Multi-Stakeholder-Based Sustainability Assessment Methodology: Applied to Improve Slovenian Legume-Based Agri-Food Chains. *Sustainability*, 14(22). <https://doi.org/10.3390/su142215374>
- Descheemaeker, K., Oosting, S. J., Homann-Kee Tui, S., Masikati, P., Falconnier, G. N., & Giller, K. E. (2016).** Climate change adaptation and mitigation in smallholder crop–livestock systems in sub-Saharan Africa: a call for integrated impact assessments. *Regional Environmental Change*, 16(8), 2331–2343. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-0957-8>
- Detchinli, K. S., & Sogbedji, J. M. (2015).** Yield performance and economic return of maize as affected by nutrient management strategies on ferralsols in coastal western Africa. *European Scientific Journal*, 11(27).
- DSA (2022).** Direction de la statistique Agricole-Bénin. Agriculture; _Recensement National de l'Agriculture. Dashboard : Agriculture_Types de Ménages Agricoles au Bénin - Benin Data Portal. <https://benin.opendataforafrica.org/otavjg/agriculture-types-de-m%C3%A9nages-agricoles-au-b%C3%A9n%C3%A9nin?lang=en>
- Englund, O., Dimitriou, I., Dale, V. H., Kline, K. L., Mola-Yudego, B., Murphy, F., English, B., McGrath, J., Busch, G., Negri, M. C., Brown, M., Goss, K., Jackson, S., Parish, E. S., Cacho, J., Zumpf, C., Quinn, J., & Mishra, S. K. (2020).** Multifunctional perennial production systems for bioenergy: performance and progress. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 9(5). <https://doi.org/10.1002/wene.375>
- FAO. (2015).** Gender and Land Statistics. Recent developments in FAO's Gender and Land Rights Database. www.fao.org/publications
- FAO. (2016).** The State of Food and Agriculture: Climate change, agriculture and food security. Rome: Food and Agriculture Organization.
- Faye A., Camara I., Noblet M., & Mboup S. (2019).** Evaluation de la vulnérabilité du secteur agricole à la variabilité et aux changements climatiques dans la région de Fatick Secteur: Agriculture. Climate Analytics gGmbH. 100p
- Franzluebbers, A. J., & Hendrickson, J. R. (2024).** Should we consider integrated crop–livestock systems for ecosystem services, carbon sequestration, and agricultural resilience to climate change? *Agronomy Journal*, 116(2), 415–432. <https://doi.org/10.1002/agj2.21520>
- Genthon, P., & Dieulin, C. (2020).** Les zones humides en Afrique de l'Ouest : usages, vulnérabilité, gestion. IRD Éditions.

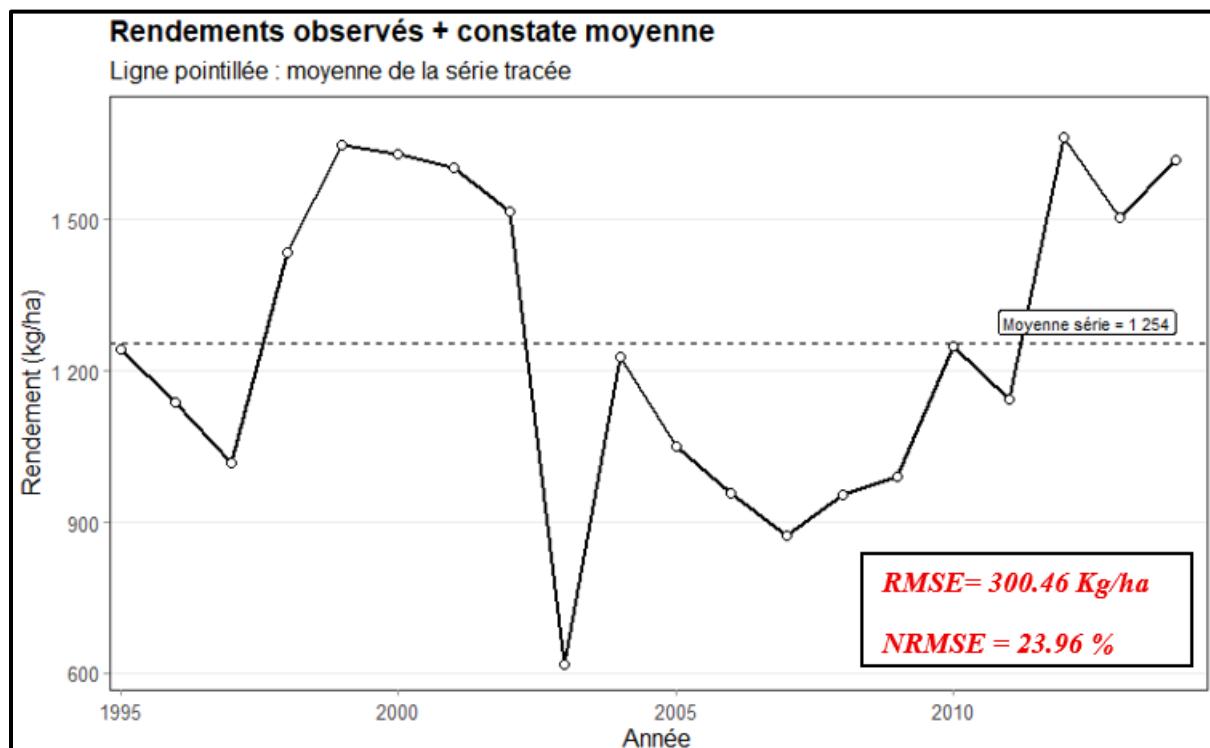
- Gnonlonfin, B. G. J., Yabi, J. A., & Arvalis, S. A. (2020).** Perception et stratégies d'adaptation des ménages agricoles face aux changements climatiques au Bénin. *African Crop Science Journal*, 28(1), 85-100. <https://doi.org/10.4314/acsj.v28i1.8>
- Gourdji, S. M., Sibley, A. M., and Lobell, D. B. (2013).** Global crop exposure to critical high temperatures in the reproductive period: historical trends and future projections. *Environ. Res. Lett.* 8:024041. doi: [10.1088/1748-9326/8/2/024041](https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/2/024041)
- Gunawat, A., Sharma, D., Sharma, A., & Dubey, S. K. (2022).** Assessment of climate change impact and potential adaptation measures on wheat yield using the DSSAT model in the semi-arid environment. *Natural Hazards*, 111(2), 2077–2096. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-05130-9>
- Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Shelia, V., Wilkens, P. W., Singh, U., White, J. W., Asseng, S., Lizaso, J. I., Moreno, L. P., Pavan, W., Ogoshi, R., Hunt, L. A., Tsuji, G. Y., & Jones, J. W. (2019).** The DSSAT crop modeling ecosystem (pp. 173–216). <https://doi.org/10.19103/as.2019.0061.10>
- Huang, N., Song, Y., Wang, J., Zhang, Z., Ma, S., Jiang, K., & Pan, Z. (2022).** Climatic threshold of crop production and climate change adaptation: A case of winter wheat production in China. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.1019436>
- Ignace, V. R., Lucie, K., Ringo, A., Gilbert, D., Josaphat, A., & Expédit, V. (2023).** Variabilité Climatique Et Vulnérabilité Des Systèmes De Productions Agropastorales Dans Le Bassin Versant De La Rivière Agbado Au Centre Du Bénin. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, 38(2), 212–221.
- IPCC (2014).** Summary for Policymakers. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White]
- IPCC. (2021).** Changement climatique 2021. Les bases scientifiques physiques. Contribution du Groupe de travail I au sixième Rapport d'évaluation du GIEC. www.ipcc.ch
- IPCC. (2022).** Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press.
- IPCC. (2023).** Climate Change 2023: Synthesis Report, Summary for Policymakers. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
- Jamieson, P. D., Porter, J. R., & Wilson, D. R. (1991).** A test of the computer simulation model ARCWHEAT 1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crops Research*, 27.
- Jarvis A., Ramirez-Villegas J., Campo B. V. H., & Navarro-Racines C. (2012).** Is cassava the answer to African climate change adaptation? *Tropical Plant Biology*, 5(1), 9-29.
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., Ritchie, J.T. (2003).** The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18(3-4), 235–265.
- Katé, S., Dagbenonbakin, G., Agbangba, C., De Souza, J., Kpagbin, G., Azontondé, A., Ogouwalé, E., Tinté, B., & Sinsin, B. (2014).** Perceptions locales de la manifestation des changements climatiques et mesures d'adaptation dans la gestion de la fertilité des sols dans la Commune de Banikoara au Nord- Bénin. *Journal of Applied Biosciences*, 82(1), 7418. <https://doi.org/10.4314/jab.v82i1.11>
- Khan, A. H., Min, L., Ma, Y., Zeeshan, M., Jin, S., & Zhang, X. (2023).** High-temperature stress in crops: male sterility, yield loss and potential remedy approaches. *Plant Biotechnology Journal*, 21(4), 680–697. <https://doi.org/10.1111/pbi.13946>
- Knox, J., Hess, T., Daccache, A., & Wheeler, T. (2012).** Climate change impacts on crop productivity in Africa and South Asia. *Environmental Research Letters*, 7(3), 034032. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/3/034032>
- Krasting, J.P., Dunne, J.P., et al. (2018).** NOAA-GFDL GFDL-ESM4 model documentation for CMIP6. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*. <https://doi.org/10.1029/2019MS001829>

- Lal, R. (2004).** Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Science*, 304(5677), 1623–1627. <https://doi.org/10.1126/science.1097396>
- Lodouhoue, F. K., Sèssinou, G., Françoise, L., Laurenda, V., Gnele, C., & Vissin, W. (2024).** Caractérisation des risques hydroclimatiques dans la basse vallée de l’Ouémé au Bénin. <https://uirtus.net/>
- MAEP (Ministère de l’Agriculture, de l’Elevage et de la Pêche du Bénin). (2019).** Statistiques agricoles 2018-2019. Cotonou : République du Bénin.
- Masvaya, E. N., Nyamangara, J., Giller, K. E., & Descheemaeker, K. (2018).** Risk management options in maize cropping systems in semi-arid areas of Southern Africa. *Field Crops Research*, 228, 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.09.002>
- Mauritsen, T., et al. (2019).** Developments in the MPI-M Earth System Model version 1.2: Enhancements, tuning, and climate simulation details. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 11, 998–1038. <https://doi.org/10.1029/2018MS001400>
- MCVDD. (2022).** Plan national d’adaptation aux changements climatiques du Bénin. Ministère du Cadre de Vie et du Développement Durable (DGEC) mai 2022.
- MDAEP. (2015).** RGPH4 : Que retenir des effectifs de population en 2013.
- MEPN (2008).** Ministère de l’Environnement et de la Protection de la Nature -Programme d’Action National d’Adaptation aux changements climatiques du Bénin (PANA-Bénin). Rapport de synthèse. Cotonou : MEPN, 81 p.
- Mertz, O., Mbow, C., Reenberg, A., & Diouf, A. (2009).** Farmers’ perceptions of climate change and agricultural adaptation strategies in rural Sahel. *Environmental Management*, 43(5), 804–816. <https://doi.org/10.1007/s00267-008-9197-0>
- Mitokpe, D. G., Houngue, J., Seydou, W., & Cledjo, P. (2022).** Potentialités Agro-Ecologiques et Touristiques de la Basse Vallée de l’Ouémé (Sud-Bénin). *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, 32(1), 175–188.
- Morton, J. F. (2007).** The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0701855104/](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0701855104)
- Muluneh, M. W., Talema, G. A., Abebe, K. B., Dejen Tsegaw, B., Kassaw, M. A., & Teka Mebrat, A. (2022).** Determinants of Organic Fertilizers Utilization Among Smallholder Farmers in South Gondar Zone, Ethiopia. *Environmental Health Insights*, 16. <https://doi.org/10.1177/11786302221075448>
- Niang, I., Ruppel, O. C., Abdrabo, M. A., Dube, P., Leary, N., Schulte-Uebbing, L., Field, C., Dokken, D., Mach, K., Bilir, T., Chatterjee, M., Ebi, K., ... (2014).** Katrien Descheemaeker (Netherlands), Houria Djoudi (Algeria), Kristie L. Ebi (USA), Papa Demba Fall (Senegal), Ricardo Fuentes (Mexico) ...
- Niang, I., Ruppel, O. C., Abdrabo, M. A., Essel, A., Lennard, C., Padgham, J., & Urquhart, P. (2014).** Africa. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects (pp. 1199-1265). Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press.
- Nicholson, S. E. (2013).** The West African Sahel: A review of recent studies on the rainfall regime and its interannual variability. *ISRN Meteorology*, 2013, 453521.
- Nyong, A., Adesina, F., & Elasha, B. O. (2007).** The value of indigenous knowledge in climate change mitigation and adaptation strategies in the African Sahel. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(5), 787-797. <https://doi.org/10.1007/s11027-007-9099-0>
- Ogouwalé, E., Akponikpè, I., & Tossou, C. (2021).** Observation des indicateurs climatiques et perception des agriculteurs de la basse vallée de l’Ouémé au Sud-Est du Bénin. *Physio-Géo*, 15, 139-158. <https://doi.org/10.4000/physio.13223>
- Ramsar. (2009).** Fiche descriptive sur les zones humides d’importance internationale : basse vallée de l’Ouémé (Bénin). <https://rsis.ramsar.org/ris/1018>
- Rezaei, E. E., Webber, H., Gaiser, T., Naab, J., and Ewert, F. (2015). Heat stress in cereals: mechanisms and modelling. *Eur. J. Agron.* 64, 98–113. [doi: 10.1016/j.eja.2014.10.003](https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.10.003)
- Roncoli, C. (2006).** Ethnographic and participatory approaches to research on farmers' responses to climate predictions. *Climate Research*, 33(1), 81-99. <https://doi.org/10.3354/cr033081>

- Roudier, P., Sultan, B., Quirion, P., & Alhassane, A. (2011).** The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say? *Global Environmental Change*, 21(3), 1073–1083. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.04.007>
- Rosenzweig, C., Elliott, J., Deryng, D., Ruane, A.C., Müller, C., Arneth, A., ... Jones, J.W. (2014).** Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3268–3273.
- Salack, S., Sarr, B., Sangare, S. K., Ly, M., Sanda, I. S., & Kunstmann, H. (2015).** Crop-climate ensemble scenarios to improve risk assessment and resilience in the semi-arid regions of West Africa. *Climate Research*, 65, 107–121. <https://doi.org/10.3354/cr01282>
- Schlenker, W., & Lobell, D. B. (2010).** Robust negative impacts of climate change on African agriculture. *Environmental Research Letters*, 5(1), 014010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/5/1/014010>
- Séférian, R., Nabat, P., Michou, M., Saint-Martin, D., Volodire, A., Colin, J., et al. (2019).** Evaluation of CNRM Earth System Model, CNRM ESM2-1: Role of Earth system processes in present-day and future climate. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 11, 4182–4227. <https://doi.org/10.1029/2019MS001791>
- Seidou, S., Ouassa, P., Atchade, G. A., & Vissin, E. W. (2021).** Caractérisation Des Risques Hydroclimatiques Dans La Basse Vallée De L’Oueme Au Benin. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, 25(2), 334–348. <http://ijpsat.ijshjournals.org/>
- Sellar, A.A., Jones, C.G., et al. (2019).** UKESM1: Description and evaluation of the UK Earth System Model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 11, 4513–4558. <https://doi.org/10.1029/2019MS001739>
- Seneviratne, S. I., Wartenburger, R., Guillod, B. P., Hirsch, A. L., Vogel, M. M., Brovkin, V., Van Vuuren, D. P., Schaller, N., Boysen, L., Calvin, K. V., Doelman, J., Greve, P., Havlik, P., Humpenöder, F., Krisztin, T., Mitchell, D., Popp, A., Riahi, K., Rogelj, J., et al. (2018).** Climate extremes, land-climate feedbacks and land-use forcing at 1.5°C. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 376(2119). <https://doi.org/10.1098/rsta.2016.0450>
- Serdeczny O., Adams S., Baarsch F., Coumou D., Robinson A., Hare W., Schaeffer M., Perrette M., & Reinhardt J. (2017).** Climate change impacts in Sub-Saharan Africa : From physical changes to their social repercussions. *Regional Environmental Change*, 17(6), 1585–1600.
- Sharma, A., Kumar, V., Shahzad, B., Ramakrishnan, M., Singh Sidhu, G. P., Bali, A. S., et al. (2020).** Photosynthetic response of plants under different abiotic stresses: a review. *J. Plant Growth Regul.* 39, 509–531.
- Singletary, G. W., Banisadr, R., and Keeling, P. L. (1994). Heat stress during grain filling in maize: effects on carbohydrate storage and metabolism. *Funct. Plant Biol.* 21, 829–841. [doi: 10.1071/PP9940829](https://doi.org/10.1071/PP9940829)
- Sultan B., Roudier P., & Traore S. (2015).** Les impacts du changement climatique sur les rendements agricoles en Afrique de l’Ouest. In *Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l’Ouest* (IRD, p. 209–225).
- Sultan, B., Ahmed, A. I., Faye, B., & Tramblay, Y. (2023).** Less negative impacts of climate change on crop yields in West Africa in the new CMIP6 climate simulations ensemble. *PLOS Climate*, 2(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000263>
- Swart, N.C., Cole, J.N.S., Kharin, V.V., Lazare, M., Scinocca, J.F., Gillett, N.P., Anstey, J., et al. (2019).** The Canadian Earth System Model version 5 (CanESM5.0.3). *Geoscientific Model Development Discussions*. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-4823-2019>
- Sylla, M. B., Nikiema, P. M., Gibba, P., Kebe, I., Klutse, N. A. B., Sarr, B., ... & Jenkins, G. S. (2016).** Climate Change in West Africa: Recent Trends and Future Projections. In J. A. Yaro & J. Hesselberg (Eds.), *Adaptation to Climate Change and Variability in Rural West Africa* (pp. 25–40). Springer.
- Totin, E., Hounkonnou, D., van Mierlo, B., Mongbo, R., & Leeuwis, C. (2013).** Agricultural innovation in a climate risk context: The case of the Ouémé Valley in Benin. *Outlook on Agriculture*, 42(3), 167–172. <https://doi.org/10.5367/oa.2013.0122>

- Totin, E., Segnon, A. C., Hounkonnou, D., van Mierlo, B., Agbossou, E., & Leeuwis, C. (2016).** Gendered perceptions and adaptation strategies to climate variability in the Ouémé Delta, Benin. *Regional Environmental Change*, 16, 117–127. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0726-0>
- Uger F. I. (2017).** Impact of Climate Variability on Yam Production in Benue State : An Empirical Analysis. *International Journal of Innovative Research in Social Sciences and Strategic Management Techniques*, 4(2), 2467-8155
- Van de Giesen, N., Tilmant, A., Artan, G., Lettenmaier, D. P., & Aerts, J. C. J. H. (2010).** African hydrology at the local scale: Innovations and challenges. *Hydrological Sciences Journal*, 55(4), 563-570. <https://doi.org/10.1080/02626667.2010.494010>
- van Oort, P. A. J., & Zwart, S. J. (2018).** Impacts of climate change on rice production in Africa and causes of simulated yield changes. *Global Change Biology*, 24(3), 1029–1045. <https://doi.org/10.1111/gcb.13967>
- Van Oort P. A., & Zwart S. J. (2018).** Impacts of climate change on rice production in Africa and causes of simulated yield changes. *Global change biology*, 24(3), 1029-1045.
- Vissin, E., Ernest, A., Totin Vodounon, H. S., & Gervais Etene, C. (2016).** Variabilité climatique et hydrologique dans la basse vallée de l’Ouémé à Bonou. <https://www.researchgate.net/publication/379980641>
- Volodin, E., Diansky, N., Gusev, A., Yukina, V., et al. (2019).** Simulation characteristics of the INM-CM5.0 climate model. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*. <https://doi.org/10.1029/2018MS001524>
- Williams, K.D., Jones, C.G., et al. (2018).** The Met Office Global Coupled model 3.0 and 3.1 (GC3.0 and GC3.1) configurations. *Geoscientific Model Development*, 11, 3377–3411. <https://doi.org/10.5194/gmd-11-3377-2018>
- WMO (World Meteorological Organization). (2020).** State of the Climate in Africa 2019. WMO No. 1247.
- Wu, T., Lu, Y., Fang, Y., Xin, X., Li, L., Li, W., Jie, W., Zhang, J., et al. (2019).** The Beijing Climate Center Climate System Model (BCC-CSM): The main progress from CMIP5 to CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 12, 1573–1600. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-1573-2019>
- Yegbemey, R. N., Yabi, J. A., Aïhouneton, G. B., & Paraïso, A. (2014).** Modélisation simultanée de la perception et de l’adaptation au changement climatique: Cas des producteurs de maïs du Nord Bénin (Afrique de l’Ouest). *Cahiers Agricultures*, 23(3), 177–187. <https://doi.org/10.1684/agr.2014.0697>
- Yegbemey, R. N., Yabi, J. A., Tovignansou, H., & Gantoli, G. (2013).** Perceptions paysannes des risques climatiques et stratégies d’adaptation en zone cacaoyère du centre du Bénin. *Cahiers Agricultures*, 22(2), 136-143. <https://doi.org/10.1684/agr.2013.0626>
- Ziehn, T., Chamberlain, M.A., Law, R.M., Lenton, A., Bodman, R.W., Dix, M., Stevens, L., Wang, Y.-P., Srbinovsky, J. (2020).** The Australian Earth System Model: ACCESS-ESM1.5. *Journal of Southern Hemisphere Earth Systems Science*, 70(1), 193-214. <https://doi.org/10.1071/ES19035>
- Zhang, P., Lenka, N. K., & Song, Y. (2024).** Editorial: Sustaining CO₂ fertilization gains under water and nutrient stress in crop plants. *Frontiers in Plant Science*, 15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1375175>
- Zougmoré R., Partey S., Ouédraogo M., Omitoyin B., Thomas T., Ayantunde A., Erickson P., Said M., & Jalloh A. (2016).** Toward climate-smart agriculture in West Africa : A review of climate change impacts, adaptation strategies and policy developments for the livestock, fishery and crop production sectors. *Agriculture & Food Security*, 5(1), 1-16

ANNEXE 1 : RENDEMENTS OBSERVÉS AUTOUR DE LA MOYENNE



ANNEXE 2 : PRATIQUES AGRICOLES

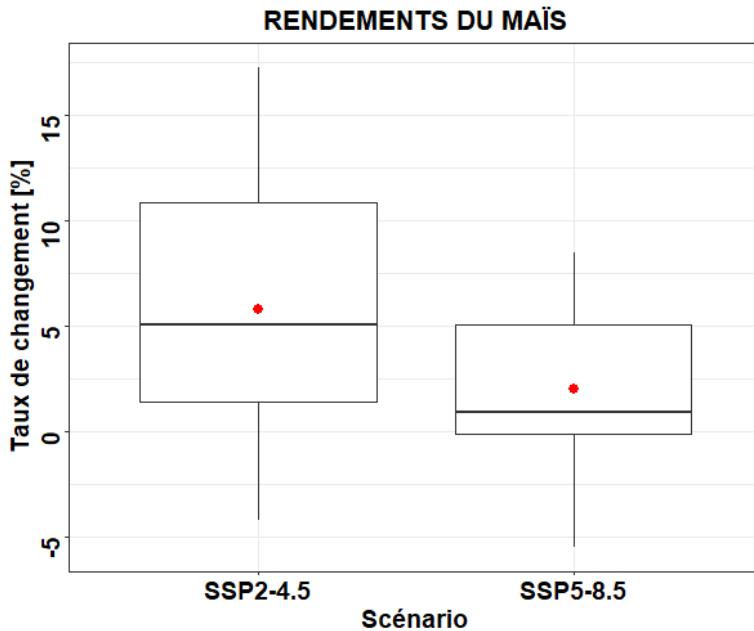
Les pratiques suivantes ont été reproduites dans le modèle DSSAT:

- L'initialisation des simulations a été fixée au début de chaque année, le 1er janvier.
- Un labour manuel effectué à une profondeur de 10 cm environ, généralement deux semaines avant la période de semis.
- Un semis en ligne à une profondeur de 5-7 cm, entre le 15 et 30 avril, avec un schéma cultural de 80 cm x 40 cm, visant à obtenir une densité moyenne de 12 plants/m² lors de l'émergence. Ce semi est automatiquement effectué lorsque les 20 premiers centimètres de la couche superficielle du sol atteignent 40% d'humidité, et que la température minimale se situe entre 11°C et 35°C pour les variétés de maïs.
- Le semis est également réalisé dans des conditions initiales où aucune Fumure organique n'est appliquée (organique comme minérale)
- Les dates de récolte ont défini à la maturité physiologique des cultures de maïs.

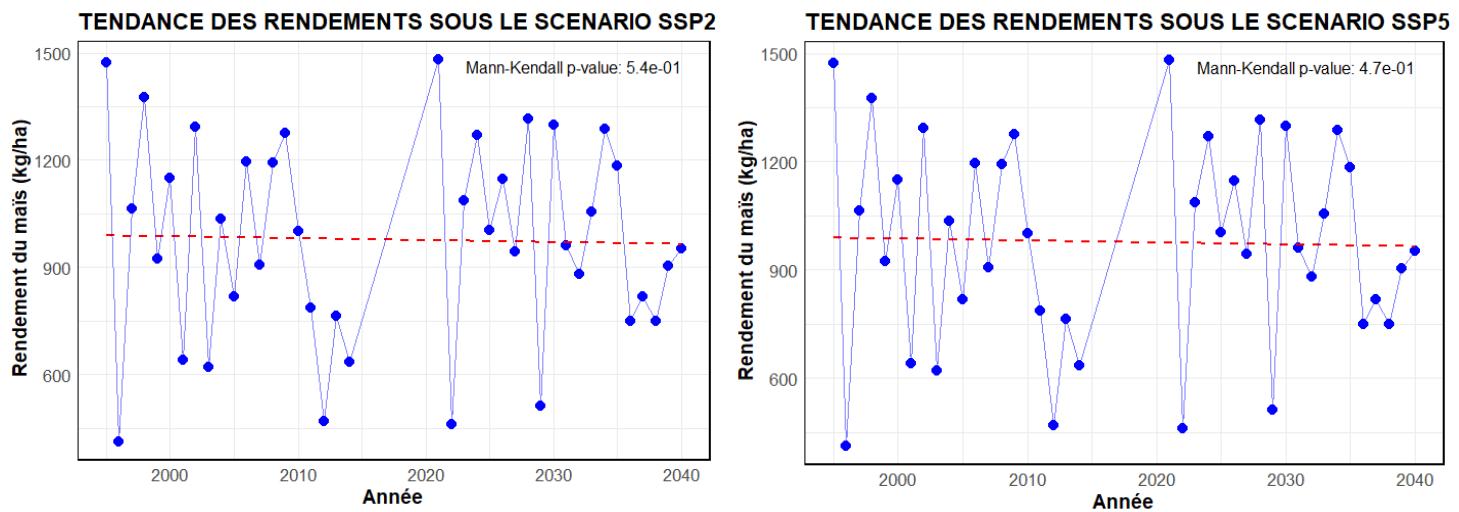
Coefficients génétiques des variétés de maïs sélectionnées pour la simulation

Nom des variétés	Coefficients génétiques					
	P1	P2	P5	G2	G3	PHINT
OBA S2 BENIN	170.0	0.600	760.0	800.0	8.00	50.00
IKENNE	280.0	0.600	630.0	900.0	8.80	45.00
OBATANPA	280.0	0.000	750.0	540.0	7.50	40.00

ANNEXE 3A : VARIATION DES EFFETS DU CLIMAT SUR LE MAÏS SELON LES SCENARIO SSP2 45 ET SSP5 85



ANNEXE B : VARIATION DES EFFETS DU CLIMAT SUR LE MAÏS SELON LES SCENARIO SSP2 45 ET SSP5 85

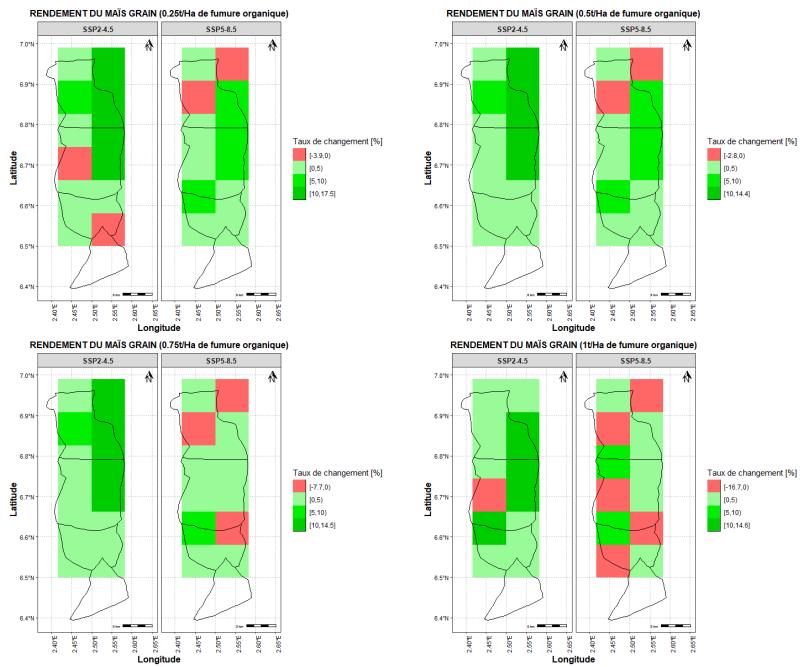


SCENARIO	PERIODE	Tau /Pente	pValue	Tendance
MAÏS				
SSP2-4.5	2021-2040	0,06	0,53	Tendance positive mais non significative
SSP5-8.5	2021-2040	-0,064	0,47	Tendance négative et significative

ANNEXE 4 : ANALYSE SWOT DES MESURES D'ADAPTATION

Mesure d'adaptation	Forces	Faiblesses	Opportunités	Menaces
Fertilisation organique	Améliore la structure du sol, faible coût, résilience accrue, pris en compte dans DSSAT. Prise en compte dans le PNA	Effets différés, disponibilité limitée	Valorisation des déchets, intégration agroécologique	Risque de mauvaise qualité, refus d'adoption
Bonne date de semis	Réduction du stress hydrique, choix de la fenêtre climatique optimale, pris en compte dans le Plan National d'Adaptation (PNA), modélisable dans DSSAT	Dépendance aux prévisions, incertitude accrue avec changement climatique	Appui des systèmes d'alerte précoce, outils météo existants	Prévisions météorologiques inexactes, vulnérabilité accrue en cas d'erreur
Variétés à cycle court et résistantes	Moins exposé aux stress prolongés, adaptée au climat sec, efficace. Prise en compte dans le PNA	Accès limité aux semences certifiées	Soutien par les programmes semenciers nationaux et les bailleurs internationaux	Manque de disponibilité locale, mauvais choix de variétés
Reboisement / haies brise-vent	Réduction directe des effets des vents violents, réduction de l'érosion et de l'évaporation, amélioration microclimatique Prise en compte dans le PNA	Résultats à long terme, concurrence possible avec cultures	Soutien environnemental, inclusion dans programmes agroforestiers	Absence d'entretien, effets négatifs si mal implanté
Drainage / techniques culturales	Réduction des effets d'excès d'eau, amélioration de la structure du sol. Prise en compte dans le PNA	Savoir-faire requis, risque de mauvaise conception	Appui communautaire, intégré dans le Plan National d'Adaptation (PNA)	Résultats nuls si mauvaise mise en œuvre, conflits d'usage
Stockage des vivres / construction sur pilotis	Préservation des vivres, réduction des pertes alimentaires, largement utilisée	Infrastructures coûteuses, difficile à modéliser dans DSSAT. Non prise en compte dans le PNA	Appui logistique et communautaire, complémentarité avec d'autres mesures	-

ANNEXE 5A : DOSE OPTIMALE DE FUMURE ORGANIQUE



ANNEXE 5B : DOSE OPTIMALE DE FUMURE + DECALAGE DE LA DATE DE SEMIS

