



EVALUATION DE L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES RENDEMENTS AGRICOLES ET PROPOSITION D'OPTION D'ADAPTATION PAR UNE APPROCHE DE MODELISATION DYNAMIQUE DES CULTURES

*Think Tank « INTERFACE » de L'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD) sur la
finance climat*

Table des matières

● I. Introduction	5
● II. Approche Méthodologique	6
● III. Résultats	7
o III.1. Évaluation de l'impact du changement climatique sur les systèmes agricoles	7
▪ III.1.1. Tendances passées et futures des rendements du Mil	7
▪ III.1.2. Efficacité des stratégies d'adaptation pour le secteur agricole.	8
o III.2. Impact économique et coût de l'adaptation	10
● IV. Conclusion	11

Liste des figures

Figure 1 : La chaîne de modélisation de l'impact, du climat aux effets sur les cultures et l'économie. Abréviations : Temp, température ; Prec, précipitations ; Cons, consommation.	6
Figure 2: Changement des rendements de Mil à Nioro sous trois scénarios socioéconomiques (SSP126, SSP245 et SSP585).....	7
Figure 3: Changement des rendements de Mil à Nioro sous trois scénarios socioéconomiques (SSP126, SSP245 et SSP585) en fonction des options d'adaptation et du BaU.....	9
Figure 4 : Rendements de l'arachide et du maïs en fonction de l'employabilité (panel en haut) et du PIB agricole (Panel en bas) dans le monde rural sur la période 1970-2021.....	10
Figure 5 : Effets du changement climatique sur la pauvreté dans le monde rural – variation (%) du taux de pauvreté par rapport au BaU.....	11

Ce rapport a été élaboré dans le cadre du projet UNI-LEAD, qui vise à renforcer les capacités des universités du Consortium des universités des PMA sur le changement climatique à fournir des conseils et des services techniques à leurs gouvernements pour un meilleur accès au financement climatique. Ce projet est financé par le Fonds pour l'environnement mondial (FEM), mis en œuvre par le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et exécuté par START International en partenariat avec Climate Analytics, Inc. Préparé par le Think Tank du Sénégal en collaboration avec ses partenaires listés dans le tableau ci-dessous, ce document est accompagné d'une note d'orientation et d'une proposition d'idée de projet destinée à être soumise aux institutions accréditées au niveau national.

Prénom et nom	Rôle	Institution
Abdala GAMBY DIEDHIOU	Leader du Groupe de Travail Agriculture et Changement Climatique, chargé des études de vulnérabilité du secteur de l'agriculture	FST/UCAD
Alassa BEYE	Chargé des études d'impact économique du CC sur l'agriculture	WASCAL/UCAD
Cheikh Modou Noreyni FALL	Chargé des études d'impact économique du CC sur l'agriculture	ESP/UCAD
Mariama NGOM	Chargé des études de vulnérabilité du secteur de l'agriculture	FST/UCAD
Aboubacry KANE	Chargé des études de vulnérabilité du secteur de l'agriculture	FST/UCAD
Issa DIEDHIOU	Chargé des études de vulnérabilité du secteur de l'agriculture	FST/UCAD
Jules DIOUF	Chargé des études de vulnérabilité du secteur de l'agriculture	FST/UCAD
Kiné GUEYE	Chargé des études de vulnérabilité du secteur de l'agriculture	FST/UCAD
Amadou T GAYE	coordonnateur des 4 groupes , chargé des études de vulnérabilité du secteur de l'agriculture	ESP/UCAD
Ibrahima CAMARA	Coordonnateur adjoint des 4 groupe, participe aussi à la production de	ESP/UCAD

	connaissance notamment sur les tendances climatiques, le choix des scénarios, les options d'adaptations	
Alioune GAYE	Chargé des études de vulnérabilité du secteur de l'agriculture	FST/UCAD
Aissatou SALL	Chargé des études de vulnérabilité du secteur de l'agriculture, participation dans le renforcement de capacité	CSE
Abdoulaye Aziz DIEDHIOU	Chargé de la validation des thématiques et des fiches de projet, participation dans le renforcement de capacité	LBA
Adjil Marème SOW	Chargé de la validation des thématiques et des fiches de projet	DAPSA/MASAE
Michale DIEDHIOU	Chargé de la validation des thématiques et des fiches de projet	Conseil National de Concertation et de Coopération des Ruraux (CNCR)
Madeleine Diouf SARR	Chargé de la validation des thématiques et des fiches de projet	DCCTEFV/METE
Djibril DIAGNE	Chargé de la validation des thématiques et des fiches de projet	DA/MASAE

Ce groupe a été établi suite à plusieurs échanges entre les chercheurs, les acteurs publics et privés. Dirigé par Prof. Abdala Gamby DIEDHIOU du département de biologie végétale de la Faculté des Sciences et Techniques (FST) de l'UCAD, ce groupe est composé de 17 personnes dont 5 femmes. Le groupe est aussi constitué de plusieurs jeunes chercheurs (doctorant et post-doctorant).

Coordination:

Prof. Amadou Gueye

Dr. Ibrahima Camara

• I. INTRODUCTION

Selon l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO), la population mondiale augmentera de 2 milliards d'ici à 2050. Cependant, seulement 4 % de terres supplémentaires seront cultivées d'ici là. Cette tendance est plus prononcée en Afrique, où 60 % des agriculteurs subsahariens sont de petits exploitants et où près d'un quart du PIB national est généré par la production agricole.

Le changement climatique ajoute un nouveau défi à la vie déjà difficile des agriculteurs et des éleveurs de la région sahélienne, avec l'augmentation des sécheresses climatiques et la dégradation des terres. Le réchauffement de 1°C déjà enregistré est à l'origine de changements climatiques aux incidences déjà très négatives sur le rendement des cultures (GIEC 2018, 2021). Ces impacts s'amplifient probablement d'ici 2030 et au-delà. Devant cette forte vulnérabilité, il est indispensable de renforcer la résilience du secteur agricole face aux changements climatiques. L'adaptation aux changements climatiques constitue un volet essentiel parmi les efforts déployés pour éradiquer la pauvreté et la faim.

La nouvelle génération de simulation climatique CMIP (CMIP6 ; Eyring et al. 2016) offre la possibilité d'améliorer notre compréhension du climat futur. Les décideurs politiques, parmi d'autres utilisateurs d'informations climatiques, ont besoin d'informations opportunes qui leur permettront d'aborder les questions pertinentes liées au climat, notamment les réponses aux catastrophes et la planification. Ainsi, une approche participative en mettant en place des consortia pour chaque secteur prioritaire (Modèles/scénarios, Agriculture, inondations et Santé). L'approche consiste à associer les institutions, les services techniques et les ministères sectoriels dans l'élaboration de la méthodologie afin de réaliser les tâches suivantes : (i) corriger les biais des modèles à travers le développement de méthodes statistiques de réduction d'échelle associés aux données observées ; (ii) permettre aux Ministères sectoriels et aux autorités locales de développer de stratégies d'adaptation et de prendre des mesures adaptées localement par une utilisation approfondie des modèles d'impact.

La complexité de l'impact des scénarios climatiques sur la production agricole nécessite ce dialogue entre institutions, chercheurs, services techniques et agriculteurs pour une meilleure représentation des systèmes agricoles afin de proposer des stratégies d'adaptation et de résilience dans les systèmes de petits exploitants.

Devant cet impératif à s'adapter face au changement climatique, le Sénégal suit le processus des Plans Nationaux d'Adaptation (PNA) en 2010 suite à la Conférence de Cancun.

Comme dans les autres pays qui se sont inscrits dans ce processus, il vise à renforcer les interventions entreprises dans le cadre des programmes d'Actions Nationaux aux fins d'Adaptation (PANA) déjà existants et qui constituaient des réponses à court terme face aux changements climatiques. Il est conçu pour aider les pays en développement, et en particulier les pays les moins avancés (PMA), à satisfaire à moyen et à long terme leurs besoins en adaptation aux changements climatiques. En conformité avec l'évolution des négociations internationales sur le climat, le Sénégal a lancé son processus PNA en 2015. Il est considéré comme la feuille de route nationale qui encadre les politiques et projets en matière de changement climatique relativement à la mise en œuvre de la contribution déterminée au niveau national (CDN).

• II. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Il s'agira de suivre une procédure allant du traitement des données jusqu'à la quantification de l'impact. Plus spécifiquement de mettre en œuvre une série de démarches et d'outils :

- Traitement, analyse et inter-comparaison des données CMIP6
- Tendances futures des indicateurs agro-climatiques
- Modélisation dynamique des cultures
- Relier les GCM et les modèles de culture
- Construire des scénarios de rendement dans le futur
- Organisation de séminaires méthodologiques avec le consortium Agriculture ;
- Production et diffusion de connaissances et de méthodologies pour la prise de décision

L'approche utilisée ici consiste à produire des estimations plausibles de l'impact du changement climatique sur l'agriculture. Pour cela, une approche de modélisation qui intègre des modèles climatiques, agricoles et économiques sera adoptée. Cet effort multidisciplinaire visant à intégrer systématiquement ces trois types de modèles permettra de quantifier l'impact du changement climatique sur le secteur de l'Agriculture, d'élaborer des stratégies d'adaptation et enfin de simuler le coût de l'adaptation pour le secteur de l'agriculture.

Les différentes couches de modélisation sont décrites avec le schéma conceptuel suivant.

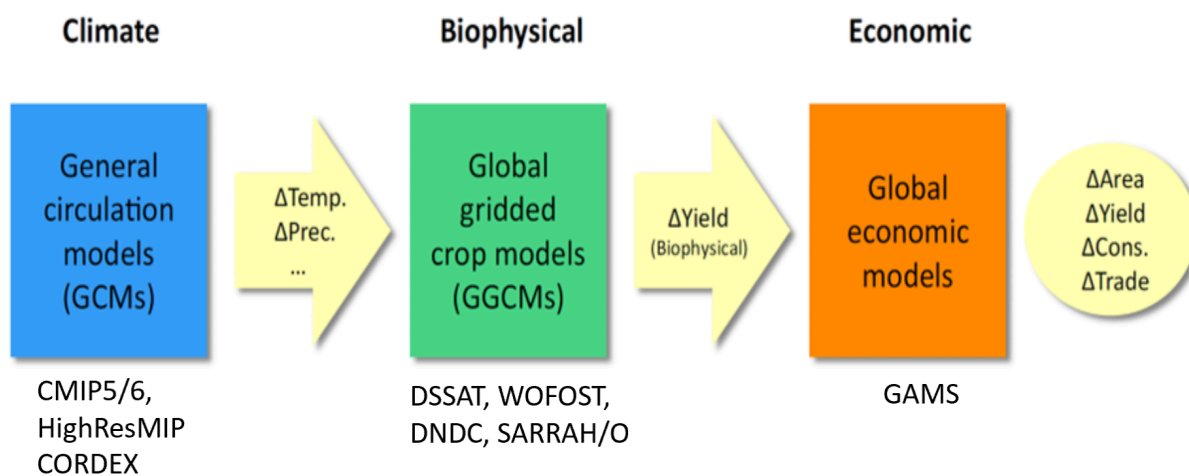


FIGURE 1 : LA CHAÎNE DE MODÉLISATION DE L'IMPACT, DU CLIMAT AUX EFFETS SUR LES CULTURES ET L'ÉCONOMIE. ABRÉVIATIONS : TEMP, TEMPÉRATURE ; PREC, PRÉCIPITATIONS ; CONS, CONSOMMATION.

Les modèles de circulation générale (MCG) utilisent une voie de concentration représentative (gaz à effet de serre) (RCP) et de trajectoires socio-économiques (SSP) pour produire des données sur les changements des variables climatiques telles que la température et les précipitations entre autres. Les modèles de croissance des cultures basés sur les processus utilisent les résultats climatiques comme intrants pour simuler les effets biophysiques sur les rendements et la biomasse. Ces derniers sont à leur tour intégrés dans les modèles économiques. Les modèles économiques simulent ainsi les réponses des variables économiques clés aux changements dans les rendements biophysiques des cultures. Ce processus permet de représenter une diversité d'approches pour décrire les interactions entre l'homme et le Climat et le marché.

• III. RÉSULTATS

◦ III.1. ÉVALUATION DE L'IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES SYSTÈMES AGRICOLES

L'objectif général est de déterminer les tendances passées et futures des rendements du Mil. Le choix du Mil s'explique par plusieurs facteurs. D'abord par son expansion territoriale. En effet, l'arachide est cultivée dans la plupart des zones agro écologiques. Ensuite, il y a des aspects liés à la disponibilité des données de calibrage. Les données de rendement, de biomasse et de LAI des essais expérimentaux pour les variétés d'arachide Fleur 11 (~90 jours) et 73-33 (~110 jours) en 2014 ont été utilisées pour calibrer les modèles de culture. L'étalonnage a pris en compte la longueur de la période de croissance pour et la phénologie avec le traitement ISRA To à la dose recommandée (150Kg NPK). La date de semis ou de levée des cultures est une donnée de gestion importante pour les modèles de culture. Si la date de semis est utilisée comme donnée d'entrée, la date d'émergence, la floraison et la maturité sont calculées à partir de la somme des températures entre le semis et l'émergence (TSUMEM), entre l'émergence et la floraison et entre la floraison et la maturité. Ainsi, plusieurs modèles dynamiques de cultures alimenté avec les simulations CMIP6 sur différents scénarios socioéconomiques SSP seront utilisés.

▪ III.1.1. TENDANCES PASSÉES ET FUTURES DES RENDEMENTS DU MIL

Les simulations du modèle de culture WOFOST (WOrld FOod STudies) sur ce site du bassin arachidier (Nioro), montre une baisse des rendements de Mil qui pourrait atteindre -75% pour le scénario SSP585 -50% pour le SSP245 et -25% pour le SSP126 d'ici la fin du siècle.

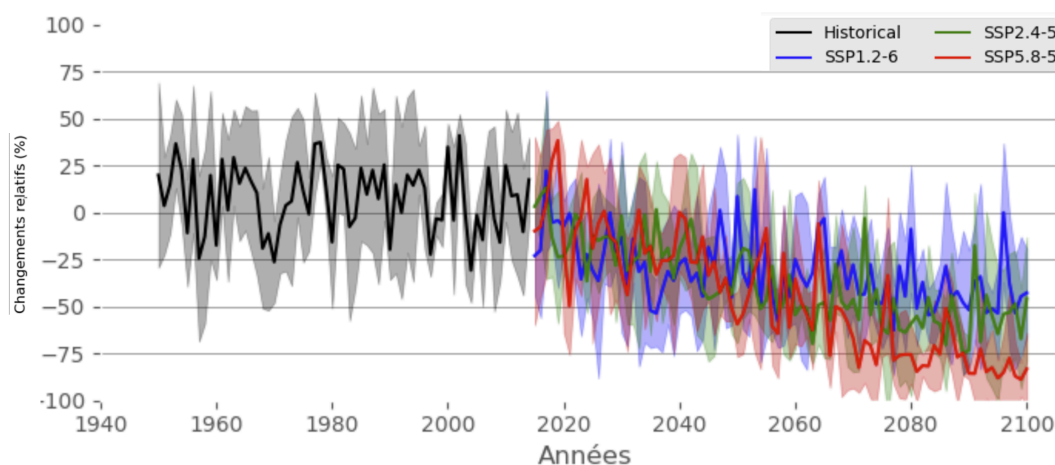


FIGURE 2: CHANGEMENT DES RENDEMENTS DE MIL À NIORO SOUS TROIS SCÉNARIOS SOCIOÉCONOMIQUES (SSP126, SSP245 ET SSP585)

La figure 2 montre les tendances des rendements du Mil sur la période historique 1955-2014 et la période future 2015-2100. Les enveloppes désignées montrent les

incertitudes associées aux différents forçages climatiques fournis par les simulations CMIP6 pour trois scénarios socio-économiques SSP1-2.6, SSP2-4.5 et SSP5-8.5. Une tendance à la baisse est clairement observée pour toutes les cultures et tous les modèles climatiques, à l'exception de l'arachide avec DSSAT, qui montre une tendance plus mitigée, les rendements augmentent même avec le scénario SSP1-2.6. Ces résultats sont en parfaite cohérence avec ceux de Sultan et al., (2019), qui ont démontré que les incertitudes doivent être prises en compte lors de l'évaluation de l'impact du changement climatique sur l'agriculture, qui est souvent un peu plus élevé en raison de la couche supplémentaire d'incertitude dans les modèles de culture.

Dans l'ensemble, les incidences prévues varient en fonction du forçage radiatif et de la sensibilité climatique à l'équilibre des MCG, qui sont des facteurs déterminants pour les projections de rendement des cultures. Les impacts projetés sont généralement moins variables lorsque le forçage radiatif est faible, et les scénarios d'émission plus élevés gonflent l'incertitude des modèles de culture (SSP 585), ce qui est tout à fait cohérent avec l'étude de référence de Jägermeyr et al. (2021). La question est maintenant de savoir quelles sont les stratégies les plus efficaces pour inverser la tendance des rendements d'arachide.

■ *III.1.2. EFFICACITÉ DES STRATÉGIES D'ADAPTATION POUR LE SECTEUR AGRICOLE.*

Plusieurs options d'adaptation sont identifiées. Il s'agit :

- Système d'alerte précoce
- Renforcement de la recherche sur les variétés adaptées (cycle court et température)
- Renforcement de la résilience par la diversification des systèmes de production (promotion de système intégré)
- Institutionnalisation de l'utilisation de l'information et des services climatiques
- Gestion des risques et catastrophes liés au climat
- Promotion de l'assurance agricole
- Stratégies et gestion du post récolte (stockage, séchage...)
- Spécialisation des zones agro écologiques en fonction des projections climatiques

A ce niveau de l'étude, quatre options ont été communiquées au modèle afin de mesurer leur efficacité dans un futur proche et lointain. Ces stratégies étaient centrées sur l'irrigation à deux niveaux, i) Stress Hydrique (SH) où l'apport d'eau est ajusté aux besoins de la plante, en tenant compte de son état de stress, des conditions climatiques et de l'humidité du sol, et ii) SH HIGH, une approche similaire à SH, mais avec une plus grande quantité d'eau. Pour la fertilisation, nous augmentons la dose recommandée (DR) de 30 %. La DR est de 150 kg/ha pour l'engrais composé 6-20-10 pour les arachides et de 150 kg/ha pour l'engrais composé 15-10-10 pour le millet. Dans les deux cultures, nous avons appliqué 100 kg/ha d'urée au moment de l'ensemencement. La figure 2 montre l'évolution des rendements dans ces options que sont les niveaux d'irrigation, les doses de fertilisation (NPK) et le déplacement du calendrier cultural (Date de semi).

La dose recommandée de NPK pour le Mil a été maintenue dans les simulations. Dans cette configuration, l'irrigation et le déplacement du calendrier cultural restent les deux options les plus efficaces. Cependant leur efficacité est plus élevée dans le futur proche (horizon 2050). D'ailleurs, si l'on considère le scénario SSP585, ces options ne seront pas en mesure d'obtenir un gain positif en rendement dans le futur lointain.

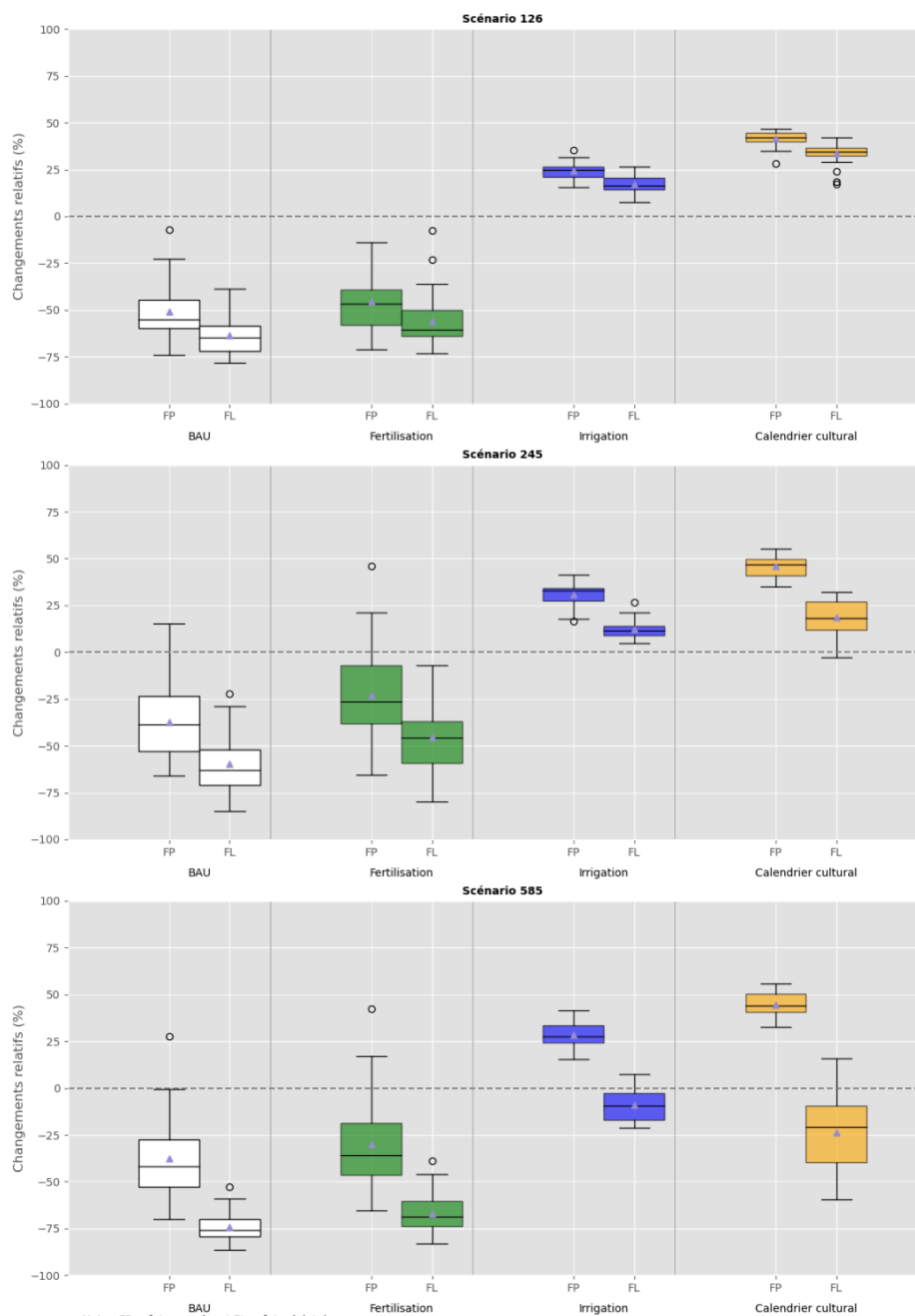


FIGURE 3: CHANGEMENT DES RENDEMENTS DE MIL À NIORO SOUS TROIS SCÉNARIOS SOCIOÉCONOMIQUES (SSP126, SSP245 ET SSP585) EN FONCTION DES OPTIONS D'ADAPTATION ET DU BAU

III.2. IMPACT ÉCONOMIQUE ET COÛT DE L'ADAPTATION

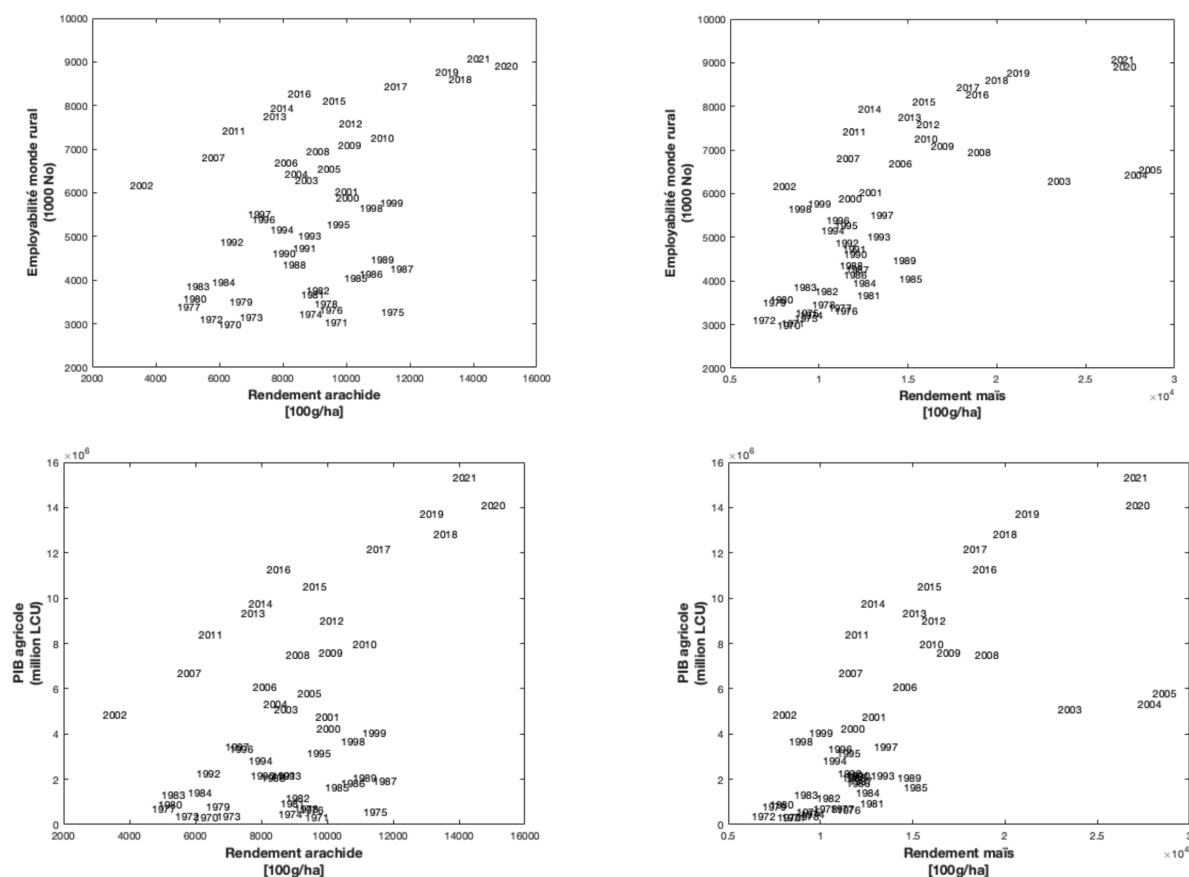


FIGURE 4 : RENDEMENTS DE L'ARACHIDE ET DU MAÏS EN FONCTION DE L'EMPLOYABILITÉ (PANEL EN HAUT) ET DU PIB AGRICOLE (PANEL EN BAS) DANS LE MONDE RURAL SUR LA PÉRIODE 1970-2021.

En explorant la base de données de la FAOSTAT, les données de rendements de l'arachide et du maïs sur le Sénégal sur la période 1970-2021 sont extraites, afin d'établir, s'ils existent, leurs liens avec l'employabilité du monde rural et le PIB agricole.

La figure 5 suggère que les rendements de l'arachide et du maïs augmentent avec l'employabilité du monde rural. L'année 2002 se démarque par une forte employabilité et des rendements faibles ; cela est dû à la sécheresse climatique qui sévissait dans le pays. La figure 4 quant à elle, montre que le PIB agricole est fonction croissante du rendement. Toutefois, entre les années 1970 et 2000, les rendements élevés sont accompagnés de PIB faible. Cela pourrait être attribué aux politiques agricoles mises en œuvre durant cette période.

Sur la période 1970-2021, plusieurs politiques se sont succédé : le Programme Agricole (1960-1980), le Programme de Redressement Économique et Financier (1981-1984), la Nouvelle Politique Agricole (1985-1994), les Programmes, Lettres et Déclaration de politique de Développement Agricole (1995-2003) et le Programme d'Accélération de la Cadence de l'Agriculture Sénégalaise (2013-aujourd'hui).

Dans le cadre d'une démarche d'adaptation au changement climatique, ce travail est crucial pour la planification future de stratégies d'adaptation face au changement climatique. Les résultats ainsi obtenus serviront à alimenter des modèles d'évaluation intégrés qui auront pour but de modéliser des stratégies d'adaptation pour le monde rural. Ce qui est recherché dans cette partie, c'est la conduite d'actions conduisant à des réponses « optimales » au changement climatique (impliquant à la fois des réductions d'émissions, des adaptations et un certain degré d'acceptation de dommages). Le terme de réponse optimale signifiant la minimisation des coûts sociaux à supporter pour se prémunir contre les effets du Changement climatique.

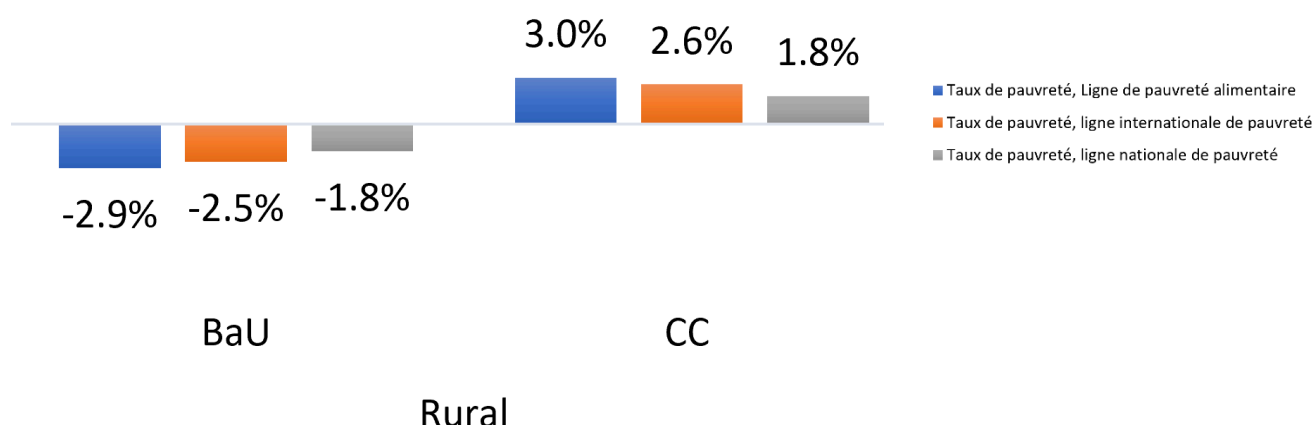


FIGURE 5 : EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA PAUVRETÉ DANS LE MONDE RURAL – VARIATION (%) DU TAUX DE PAUVRETÉ PAR RAPPORT AU BAU

Ces résultats indiquent qu'avec le changement climatique, le choc climatique se traduirait par un accroissement du taux de pauvreté et du coefficient de Gini. La variation de ces indicateurs va dans le même sens quelle que soit la ligne de pauvreté. La survenue d'un choc climatique pourrait par contre aggraver la pauvreté, notamment en milieu rural. Ceci pourrait s'expliquer par la forte dépendance au marché des ménages affectés par la variation des prix.

● IV. CONCLUSION

Les premiers résultats issus du traitement et de l'exploitation de ces données climatiques partagées indiquent clairement une évolution à la baisse du rendement du mil dans un contexte de changement climatique. Au Sénégal, les variations de précipitations liées au changement climatique ont eu des effets contrastés sur les rendements potentiels des cultures. Alors que le changement climatique a déclenché une hausse rapide et sans précédent des températures, il a également intensifié la variabilité des précipitations à l'échelle saisonnière et intra-saisonnière. D'une part, l'augmentation des précipitations - alimentée par l'influence directe du forçage radiatif du CO₂ sur la dynamique de la mousson - peut améliorer les rendements. D'autre part, la diminution des précipitations, résultant d'un forçage plus faible, peut réduire la productivité agricole. Malgré ces effets opposés, la baisse des rendements a

généralement prévalu, en grande partie à cause d'une réduction significative des précipitations tout au long du 21^e siècle.

Globalement, les impacts projetés s'échelonnent avec le forçage radiatif et avec la sensibilité climatique d'équilibre des MCG, qui constituent un déterminant important des projections de rendement des cultures. Les impacts projetés sont généralement moins variables lorsque le forçage radiatif est faible et les scénarios d'émissions plus élevés gonflent l'incertitude des modèles de culture (SSP585) ce qui est en parfaite cohérence avec l'étude de référence de Jägermeyr *et al.*, (2021). C'est sur cette base que quatre stratégies d'adaptation ont été comparées avec la situation « BaU ». Il s'agit de l'option : Irrigation qui se rapproche des méthodes conventionnelles ou l'information climatique n'est pas prise en compte, l'option : Fertilisation avec la dose recommandée recommandée en NPK et enfin l'option : déplacement du calendrier cultural.

En effet, une meilleure compréhension de la variabilité intra saisonnière des paramètres climatiques est essentielle pour pouvoir mettre en place des stratégies efficaces pour une agriculture résiliente face aux aléas du changement climatique.

Il est clair qu'avec ce cadre d'échange que constitue le groupe de réflexion, les interactions entre la recherche et les services techniques ministériels intégreront à chaque étape, de la méthodologie jusqu'à la reproduction des résultats les besoins exprimés par les parties prenantes. Ainsi, une base de données climat et des impacts climatiques sera disponible pour les partenaires techniques et stratégiques ce qui leur permettra de mieux réussir l'intégration de l'adaptation au changement climatique dans le processus de prise de décision à travers la CDN et les stratégies de long terme.