
Actes de la deuxième conférence internationale sur la Francophonie économique

L'ENTREPRENEURIAT ET L'INSERTION PROFESSIONNELLE DES JEUNES ET DES FEMMES EN AFRIQUE FRANCOPHONE

Université Mohammed V de Rabat, 2-4 mars 2020

IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'UTILISATION DE TERRE ET LA PRODUCTION DU RIZ : CAS DES PAYS DE LA CEDEAO

Mazignada Sika LIMAZIE

*Doctorante en Sciences Economiques,
Université de Lomé, Togo
sika.limazie@gmail.com*

RÉSUMÉ –Cet article examine l'impact du changement climatique sur l'utilisation de terre et la production du riz dans la Communauté Economique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO). Un modèle bioéconomique a été utilisé pour simuler les implications du changement climatique sur l'utilisation de terre et la production du riz selon deux scénarios de concentration représentatives (RCP) et quatre conditions socio-économiques dominantes (SSP). Les résultats suggèrent que la superficie du riz sera plus faible, plus élevée ou restera la même en fonction des conditions futures (combinaisons de scénarios climatiques et socio-économiques). En termes de production, les résultats ont montré que la production du riz connaîtra un déclin la plupart des années pour tous les pays de la région à l'exception du Niger et du Sénégal, quels que soient les scénarios climatiques et socio-économiques. L'ampleur et la direction des impacts varient selon les unités géographiques.

Mots-clés : Utilisation de terres, Production du riz, Modèle bioéconomique, Changement climatique.

Les idées et opinions exprimées dans les textes sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement celles de l'OFE ou celles de ses partenaires. Aussi, les erreurs et lacunes subsistantes de même que les omissions relèvent de la seule responsabilité des auteurs

1. Introduction

La production du riz est essentielle pour assurer la sécurité alimentaire en Afrique (Djagbaa, et al., 2018; van Oort & Zwart, 2017). Cependant, l'offre locale du riz n'est pas toujours suffisante pour répondre à la demande de la population (Arouna et al, 2015). En effet, les systèmes de production existants sont moins performants et ne répondent pas à la demande croissante du riz. Cette faible productivité du riz induit la vulnérabilité de nombreux ménages agricoles aux chocs extérieurs (Kunimitsu, 2015). L'accroissement de la population, l'urbanisation rapide et le changement de préférence dans les habitudes de consommation, ainsi que la faible croissance de la productivité du riz ont progressivement généré d'importantes importations du riz par les pays d'Afrique de l'Ouest (David-Benz et al., 2004). Cette forte dépendance aux importations déséquilibre gravement la balance commerciale des Etats africains, menace la souveraineté et la sécurité alimentaire et charrie de potentiels germes de déstabilisation sociale.

Pour réduire les importations du riz et répondre à la demande croissante (6% par an), la production du riz en Afrique de l'Ouest doit être accrue. Ainsi, après la crise alimentaire de 2008, de nombreux efforts ont été déployés par les gouvernements ouest africains pour augmenter la production du riz. En conséquence, le taux de croissance des rendements est passé de 11 kg/ha/an avant 2007 à 108kg /ha/an après la crise du riz de 2008. La contribution de l'augmentation du rendement à la production est passée de 24% sur la période 2000-2007 à 71% sur la période 2007-2012 (FAO, 2013). Toutefois, l'écart entre la demande de consommation et la production n'est pas encore comblé.

Le changement climatique, faisant référence à toute variation du climat dans le temps, due soit à la variabilité naturelle ou à l'activité humaine (GIEC, 2007), va générer de sérieuses menaces à la réalisation d'une croissance durable de la production du riz. Par conséquent, des efforts supplémentaires sont nécessaires pour augmenter les rendements afin de réduire l'écart. Pour augmenter les rendements, il faudra envisager de meilleures options de stratégies d'adaptation afin d'anticiper l'impact du changement climatique sur la riziculture. Dans ce contexte, il est crucial de se poser la question suivante : « Quel est l'impact du changement climatique sur l'utilisation de terre et la production du riz dans les pays de la CEDEAO ? ».

Cet article a pour objectif d'évaluer l'impact du changement climatique sur l'utilisation de terre et la production du riz des pays de la CEDEAO. Bien qu'il y ait un nombre croissant d'études analysant l'impact du changement climatique sur production agricole (Lokonon et al., 2019 ; van Oort et Zwart, 2017 ; Gerardeaux et al., 2013, Lobell et al., 2011), cette recherche est la première, à notre connaissance, à utiliser le modèle bioéconomique pour évaluer l'impact potentiel du changement climatique sur la riziculture des pays de la CEDEAO. L'article est organisé comme suit. La section 2 décrit la méthodologie utilisée. La section 3 présente les principaux résultats. Une conclusion contenant des recommandations de politiques économiques adéquates ainsi que les implications pour la recherche future sera présenté dans la section 4.

2. Méthodologie

Pour évaluer l'impact du changement climatique sur l'utilisation de terre et la production du riz, cet article se base sur un modèle bioéconomique avec un agent économique représentatif, neutre à l'égard du risque et maximisant les profits. Le modèle intègre le Système d'Information biophysique et Géographique (SIG) dans un modèle de programmation mathématique économique régionale. Le modèle est construit à partir d'un corpus de modèles bioéconomiques régionaux d'équilibre partiel antérieurs (McCarl et Spreen 1980 ; Chang, 2002 ; Spreen, 2006, Lokonon et al, 2019). Les facteurs climatiques tels que la température, les précipitations, ainsi que les facteurs non climatiques tels que la fertilité des sols, la démographie, les prix des cultures et les coûts de production sont exogènes dans le modèle. Seules les superficies de terre choisies dans le cadre de divers systèmes de culture sont endogènes. Les rendements des cultures sont fournis au modèle bioéconomique par un simulateur économétrique. La composante SIG fournit des paramètres relatifs aux Zones Agro-Climatiques et aux Sols (ZACS) tels que l'utilisation de terre pour les cultures.

Le modèle de programmation mathématique économique est un modèle d'optimisation spatiale qui utilise tous les paramètres exogènes pour déterminer la répartition de terres entre les systèmes de culture. La figure 1 ci-dessous résume la structure générale du modèle bioéconomique. Les sous-sections suivantes décrivent les principales composantes du modèle bioéconomique.

2.1. Modèle de rendement de culture

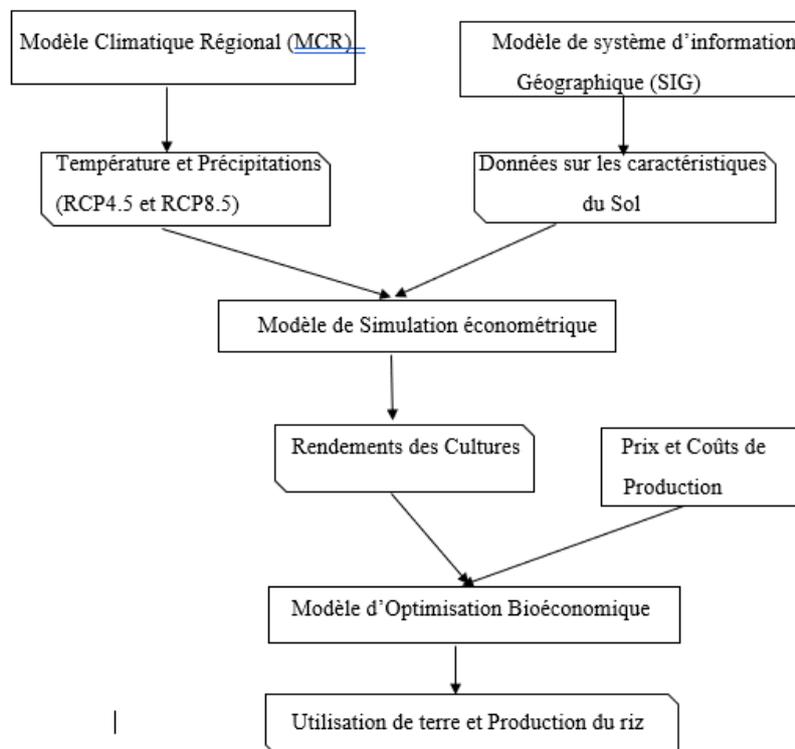
Cette recherche adopte une approche régression (Chang, 2002) pour estimer le rendement des cultures. Les rendements moyens des Zones Agro-Climatiques (ZAC) des cultures de 2004 selon trois types de sols ont été recueillis et utilisés dans les régressions économétriques. Les variables climatiques et non climatiques sont souvent utilisées pour estimer les modèles de réponses des rendements de cultures (Chang, 2002). Cette recherche suppose que le rendement des cultures ne dépend que du climat et des conditions du sol. Actuellement, l'agriculture est principalement pluviale dans les pays de la CEDEAO et l'utilisation des technologies et des engrais est peu répandue et reste marginale.

Toutefois, des variations peuvent survenir dans des conditions environnementales similaires, en raison des changements technologiques. Par conséquent, dans cet article, nous avons ajusté le résultat pour tenir compte des effets du changement technologique. Le modèle économétrique d'estimation des rendements des cultures sous sa forme générale est présenté comme suit :

$$Y = Z[f(\text{climat}, \text{sols})] \quad (1)$$

Ce modèle est utilisé pour chaque culture et groupe de cultures inclus dans les analyses au niveau de chaque Zone Agro-Climatique (ZAC). On suppose que la température et les précipitations moyennes à long terme (1975-2004 ; 30 ans) de mai à novembre sont les principaux facteurs climatiques qui prévalent pendant les stades phénologiques du développement des cultures. Ainsi, les données climatiques utilisées sont relatives à la moyenne à long terme (30 ans) et non aux conditions météorologiques de 2004.

Figure 1: Structure générale du modèle bioéconomique



Les types de sol sont inclus dans le modèle pour tenir compte des caractéristiques du sol. Sur la base du modèle général où Z représente l'effet du changement technologique, le modèle empirique suivant est utilisé pour estimer la réponse du rendement des cultures:

$$Y_{ZAC} = Zf(temp_{ZAC}, temp_{ZAC}^2, vtemp_{ZAC}, precip_{ZAC}, precip_{ZAC}^2, vprecip_{ZAC}, argile_{ZAC}, limon_{ZAC}) \quad (2)$$

Où Y est le rendement des cultures par hectare, $temp$ est la température mensuelle moyenne (en °C), $vtemp$ est la variabilité mensuelle de la température capturée par la variance d'avril à novembre, $precip$ désigne les précipitations totales d'avril à novembre (en mm), $vprecip$ est la variabilité mensuelle des précipitations capturées par la variance, $argile$ et $limon$ sont des variables muettes qui permettent de saisir l'effet des caractéristiques des sols sur le rendement des cultures. La dynamique du progrès technologique est représentée par l'équation (3). Cette spécification a pour objectif d'éviter un processus non stationnaire.

$$\log(Z_t) = 0,06 * \left(\frac{t}{1+t}\right)^{60} + 0,98 * \log(Z_{t-1}) + U_t; Z_0 = 1 \quad (3)$$

Où U_t est un processus de bruit blanc positif avec une distribution normale tronquée $\mathcal{N}(0, 0.005)$. L'idée derrière cette formulation de progrès technologique est de permettre une augmentation moyenne de rendement de 1% par an (Egbenewe et al., 2017).

2.2. La composante SIG du modèle bioéconomique

Le SIG est utilisé pour concevoir une carte consolidée des ZAC, des sols, de l'utilisation des terres, des pays, des bassins hydrographiques et des sous-bassins hydrographiques. Les décisions relatives à la production agricole sont prises au niveau de la ZAC. Cependant, les informations sur les pays, par bassin et par sous-bassin sont utilisées pour agréger l'allocation de terre et la production agricole aux niveaux du pays, du sous-bassin et du bassin. En raison de contraintes techniques, cinq principaux bassins de la CEDEAO, à savoir les bassins du Niger, de la Volta, de la Gambie, du Sénégal et du Lac Tchad sont considérés dans le modèle. L'information sur les terres cultivées par ZAC est obtenue à partir d'une carte d'utilisation des terres tirée de recherches antérieures (Sebastian, 2014 ; FAO, 2015a ; Wart et al., 2013) pour calculer les parts des terres qui sont utilisées comme coefficients d'agrégation pour les résultats de modélisation.

2.3. Le modèle d'optimisation empirique

Le modèle bioéconomique empirique repose sur l'hypothèse comportementale économique selon laquelle un agriculteur représentatif choisirait parmi un ensemble de sept systèmes de culture auxquels il attribuerait des ressources foncières afin de maximiser les rendements par rapport aux coûts déclarés. La région de modélisation est composée des pays membre de la CEDEAO. Toutefois, le Cap-Vert n'est pas inclus dans la modélisation en raison de l'indisponibilité des données. Par conséquent, compte tenu des rendements moyens des cultures et des coûts de production, l'agriculteur représentatif répartit les ressources entre les divers systèmes de culture pour produire des cultures qui maximisent les rendements de chaque ZACS. L'énoncé mathématique du modèle empirique est un programme quadratique exprimé comme suit :

$$\text{Max}_{X_{zis}, h_{zd}} \sum_{z=1}^{39} \sum_{i=1}^7 \sum_{k=1}^{14} \sum_{s=1}^3 \left[\rho_{kz} p_{ki} (\varphi_{zkis} X_{zis} - \delta_{zkis} X_{zis}^2) - \sum_{d=1}^{12} c_{zid} X_{zis} \right] \quad (4)$$

Sous contrainte de :

$$\sum_{i=1}^7 X_{zis} \leq \beta_{zs}, \forall z = 1 \text{ à } 39, \quad s = 1 \text{ à } 3, \quad (5)$$

$$\sum_{s=1}^7 \sum_{i=1}^7 \alpha_{id} X_{zis} \leq f_{zd} + h_{zd}, \forall z = 1 \text{ à } 39, d = 1 \text{ à } 12, \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^7 \sum_{s=1}^3 m_{zi} X_{zis} + \sum_{d=1}^{12} w_{zd} \frac{h_{zd}}{\mu} + \sum_{i=1}^7 \sum_{s=1}^3 q_z X_{zis} \leq \gamma_z, \quad \forall z = 1 \text{ à } 39 \quad (7)$$

Les ensembles, les paramètres et les variables utilisés dans le modèle sont définis dans le tableau 1 ci-dessous. La fonction objectif (4) contient deux expressions. La première expression $(\sum_{z=1}^{39} \sum_{i=1}^7 \sum_{k=1}^{14} \sum_{s=1}^3 \rho_{kz} p_{ki} (\varphi_{zkis} X_{zis} - \delta_{zkis} X_{zis}^2))$ est le revenu total de la production agricole de toutes les cultures et de tous les groupes de cultures. Le terme $(\varphi_{zkis} X_{zis} - \delta_{zkis} X_{zis}^2)$ définit le niveau de production quadratique obtenu par la multiplication de l'expression linéaire calibrée du rendement marginal $(\varphi_{zkis} - \delta_{zkis} X_{zis})$ par la quantité de terre X_{zis} affectée à la production des cultures. La deuxième expression $(\sum_{z=1}^{39} \sum_{i=1}^7 \sum_{k=1}^{14} \sum_{s=1}^3 \sum_{d=1}^{12} c_{zid} X_{zis})$ représente le total des coûts variables pour tous les systèmes de culture et pour toutes les unités de surface. L'équation (5) est l'expression des contraintes liées aux ressources en terres cultivées. L'équation (6) représente les contraintes de main d'œuvre et l'équation (7) tient compte des contraintes de liquidité. Il convient de noter que les rendements de la partie production de la fonction de profit sont fournis par les simulations économétriques. L'offre de la main d'œuvre et de liquidité sont exogènes et dépendent des scénarios socio-économiques.

2.4. Paramétrage du modèle

Les paramètres utilisés dans le modèle bioéconomique proviennent de plusieurs sources. En plus du rendement des cultures, une enquête documentaire intensive a permis de recueillir des données sur les paramètres socio-économiques restants nécessaires pour réaliser l'optimisation. En fait, de nombreux paramètres socioéconomiques utilisés dans la modélisation proviennent de recherches déjà publiées (par exemple Kutcher et Scandizzo, 1981 ; Yilma, 2005 ; Paloma et al., 2012; Louhichi and y Paloma, 2014; Lokonon et al., 2019). D'autres paramètres socio-économiques ont été tirés de World Development Indicators (WDI) (Banque mondiale, 2015) et de la base de données de la FAO (FAO, 2015b). Certains paramètres socio-économiques ont été projetés de 2010 à 2100.

Tableau 1 : Définitions des ensembles, des paramètres et des variables

Ensembles, paramètres et variables	Définition
Ensembles	
i	Ensemble des sept cultures et groupes de cultures étudiés dans le modèle
s	Ensemble des trois types de sol
d	Ensemble des 12 mois de l'année
t	Ensemble de périodes de 5 ans allant de 2010 à 2100 avec 2004 comme année de référence
z	Ensemble des 39 zones agro-climatiques (ZAC)
k	Ensemble des 14 pays inclus dans les analyses
Paramètres	
β_{zs}	Terres cultivées par ZAC et type de sol (ha)
α_{id}	Besoins en main-d'œuvre par culture et par groupe de cultures et par mois (homme-jour)
p_{ki}	Prix des cultures par pays (USD par tonne)
m_{zi}	Coûts technologiques de la culture i , et par ZAC (USD)
w_{zd}	Main-d'œuvre salariée par ZAC, par mois (USD par homme-jour)
f_{zd}	Travail familial par ZAC, par mois (homme-jour)
q_z	Coûts fonciers par ZAC (USD)
γ_z	Fonds de roulement par ZAC (USD)
ρ_{kz}	Part des terres cultivées dans les ZAC à l'intérieur des pays
μ	Nombre de jours ouvrables par mois
Variables	
X_{zis}	Quantité de terres dans chaque ZAC allouées aux cultures ou groupes de cultures i , et par type de sol (ha)
h_{zd}	Main-d'œuvre salariée pour compléter la main-d'œuvre familiale par mois dans chaque ZAC (homme-jour)

Cette recherche s'appuie sur des scénarios socio-économiques pour saisir l'incertitude quant aux perspectives économiques futures de la région. Les scénarios ne sont pas des projections, des prédictions ou des prévisions ; ils décrivent plutôt les conditions futures potentielles et la façon dont elles sont survenues (Wilkinson et Eidinow, 2008). Deux axes d'incertitude structurent les scénarios socio-économiques : (i) les priorités à court ou à long terme dominant dans la gouvernance régionale et (ii) les acteurs étatiques ou non étatiques sont la force motrice du changement dans la région, bien que de nombreux autres facteurs jouent un rôle clé dans les scénarios (Palazzo et al., 2014). Ces autres facteurs (par exemple la population, le PIB, la Stabilité politique) sont supposés se produire dans chaque scénario socio-économique afin de permettre des comparaisons entre eux. La présente recherche utilise quatre indicateurs socio-

économiques (ou Shared Socio-economic Pathways (SSP)) suivants, élaborés par Palazzo et al. (2014) :

- ✓ Liquidité, contrôle et calories : Ce scénario concerne des priorités à court terme avec des acteurs étatiques comme force dominante en Afrique de l'Ouest (SSP1) ;
- ✓ Autodétermination : Dans ce scénario, les acteurs étatiques sont dominants et les priorités à long terme prévalent en Afrique de l'Ouest (SSP2) ;
- ✓ La société civile au secours ? : Dans ce scénario, les acteurs non étatiques dominent et les questions à long terme sont prioritaires (SSP3) ;
- ✓ Se sauver soi-même : Dans ce scénario, les acteurs non étatiques ont la force motrice et les priorités à court terme dominant en Afrique de l'Ouest (SSP4).

Ces SSP ont été utilisés pour indexer les prix et les coûts dans le modèle bioéconomique. Les prix des cultures ont été projetés en fonction des taux d'inflation annuels. Les taux d'inflation diffèrent entre les pays de l'Union Economique et Monétaire Ouest-Africaine (UEMOA) et les pays non membres de l'UEMOA ; (i) SSP1 : 6% pour les pays de l'UEMOA et 12% pour les pays non membres, (ii) SSP2 : 2% pour les pays de l'UEMOA et 8% pour les pays non membres, (iii) SSP3 4% pour les pays de l'UEMOA et 10% pour les pays non membres et (iv) SSP4 : 8% pour les pays de l'UEMOA et 15% pour les pays non membres.

Les scénarios climatiques utilisés sont basés sur un Modèle Climatique Régional (RCM) développé par Sylla (2015). Ils sont utilisés pour projeter les rendements futurs des cultures, toutes choses égales par ailleurs. Le RCP 4.5, qui est un forçage futur des Gaz à Effet de Serre (GES) de niveau intermédiaire et le RCP 8.5, qui est un forçage des GES de niveau supérieur, sont considérés. Les projections climatiques sont principalement relatives aux précipitations et à la température de proximité de la surface ainsi qu'à l'évapotranspiration.

2.5. La calibration du modèle bioéconomique

Le modèle de programmation mathématique économique a été calibré avant d'être utilisé pour la simulation des impacts du changement climatique. Le calibrage du modèle adopté consiste à reproduire l'utilisation de terres observée pour l'année de référence (2004). Il s'agit de reproduire ou d'obtenir la valeur la plus proche de l'utilisation des terres observée pour diverses cultures en 2004. Pour la calibration, nous nous appuyons sur l'approche PMP traditionnelle (Howitt, 1995), qui est intensivement utilisée dans la littérature (Egbenwewe-Mondzozo et al., 2015 ; Heckeley et al., 2012). Cette méthode est couramment utilisée pour calibrer les modèles bioéconomiques régionaux (Howitt, 1995 ; Rohm et Dabbert, 2003). La force de cette approche réside dans le fait que la solution du modèle est proche des données observées (Kanellopoulos et al., 2010). Après ce processus de calibration, le modèle est en mesure de prédire l'allocation de terres cultivées au niveau national pour l'année 2004 avec un écart moyen en pourcentage absolu de 13,9%, ce qui se situe dans la fourchette acceptable pour la modélisation du comportement des agriculteurs (Hazell et Norton, 1986 ; Howitt, 1995).

3. Résultats et interprétations

Compte tenu de l'horizon à long terme, de 2004 à 2100 pour les évaluations de l'impact du changement climatique, les résultats ne doivent pas être interprétés comme une projection ou une prévision mais plutôt comme le résultat probable d'une interaction entre plusieurs forces motrices incertaines (Medellin-Azuara et al., 2011).

3.1. Utilisation de terre et production du riz sans changement climatique

Des simulations sans changement climatique sont réalisées pour comprendre les trajectoires de superficies et de production du riz selon les différents scénarios socio-économiques en l'absence de changement climatique dans la zone, définissant ainsi des scénarios de référence par rapport auxquels l'impact du changement climatique pourrait être estimé. Les résultats montrent que la superficie et la production du riz ont une tendance à la hausse au fil des ans. La superficie et la production de riz suivent les mêmes schémas dans tous les SSP. Cependant, au Sénégal, pendant la deuxième moitié du siècle, elles sont inférieures de presque 35% par rapport à celles de la première moitié.

3.2. Impact du changement climatique sur l'utilisation de terre du riz

La répartition des superficies du riz suit les mêmes schémas dans les SSP sous RCP4.5 et RCP8.5 (tableaux 2 et 3). Le changement climatique modéré a un impact négatif sur la superficie du riz de 2060 à la fin du siècle pour tous les pays de la sous-région. Cependant, les pays sont inégalement touchés. Certains pays comme le Bénin, le Burkina Faso et le Mali enregistreront respectivement une diminution de la superficie du riz de 8,5 %, 3,5 % et 6,8 % en 2080, tandis que d'autres pays comme la Gambie, la Guinée-Bissau et le Niger ne connaîtront aucun changement. L'impact du changement climatique sur la superficie du riz est également réparti de manière inégale entre les pays sous RCP8.5 (changement climatique sévère). En effet, les pays tels que le Bénin, le Burkina Faso, la Gambie, la Guinée-Bissau, le Mali, le Niger et le Sénégal ne connaîtront pas de changement de superficie du riz sous RCP8.5. Bien que d'autres pays commencent à subir les impacts négatifs du changement climatique sous ce scénario à partir de 2070, ces impacts deviennent positifs à la fin du siècle.

Il convient de mentionner que les impacts du changement climatique sur les superficies du riz sont plus importants lorsque le changement climatique est modéré que lorsqu'il est sévère. Il est également important de noter que les impacts du changement climatique sur les superficies de riz varient selon les ZAC au sein d'un même pays. Par exemple, la superficie du riz augmente pour les sols limoneux dans certaines ZAC telles que la ZAC 15 (augmentation de 22,26 %) d'ici 2090 dans des conditions socio-économiques et de changement climatique modéré définies par le SSP1. Dans des conditions de changement climatique sévère, des changements négatifs de la superficie du riz sont observés dans les sols limoneux pour la ZAC 3, tandis que des changements positifs sont observés dans les sols limoneux pour la ZAC 15.

Tableau 2 : Impact du changement climatique sur les superficies du riz sous RCP4.5

	SSP1						SSP2					
	2020	2060	2070	2080	2090	2100	2020	2060	2070	2080	2090	2100
Benin	0,0	0,0	0,0	-8,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-8,5	0,0	0,0
Burkina Faso	0,0	0,0	0,0	-3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-3,5	0,0	0,0
Cote d'Ivoire	0,0	-0,3	-1,9	-46,9	-2,1	-1,1	0,0	-0,3	-1,9	-46,9	-2,1	-1,1
Gambie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ghana	0,0	-1,4	-7,5	-12,4	-10,2	-5,7	0,0	-1,4	-7,5	-12,4	-10,2	-5,7
Guinée	0,0	-0,4	-2,2	-5,7	4,0	-1,8	0,0	-0,4	-2,2	-5,7	4,0	-1,8
Guinée Bissau	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Liberia	0,0	-1,7	-9,1	-10,6	-1,6	-8,6	0,0	-1,7	-9,1	-10,6	-1,6	-8,6
Mali	0,0	0,0	0,0	-6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-6,8	0,0	0,0
Niger	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nigeria	0,0	-1,6	-10,9	-36,2	-17,6	-9,7	0,0	-1,6	-10,9	-36,2	-17,6	-9,7
Sénégal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sierra Leone	0,0	-3,0	-17,0	-22,2	-28,6	-20,3	0,0	-3,0	-17,0	-22,2	-28,6	-20,3
Togo	0,0	0,0	0,0	-13,7	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	-13,7	2,7	0,0
	SSP3						SSP4					
	2020	2060	2070	2080	2090	2100	2020	2060	2070	2080	2090	2100
Benin	0,0	0,0	0,0	-8,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-8,5	0,0	0,0
Burkina Faso	0,0	0,0	0,0	-3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-3,5	0,0	0,0
Cote d'Ivoire	0,0	-0,3	-1,9	-46,9	-2,1	-1,1	0,0	-0,3	-1,9	-46,9	-2,1	-1,1
Gambie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ghana	0,0	-1,4	-7,5	-12,4	-10,2	-5,7	0,0	-1,4	-7,5	-12,4	-10,2	-5,7
Guinée	0,0	-0,4	-2,2	-5,7	4,0	-1,8	0,0	-0,4	-2,2	-5,7	4,0	-1,8
Guinée Bissau	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Liberia	0,0	-1,7	-9,1	-10,6	-1,6	-8,6	0,0	-1,7	-9,1	-10,6	-1,6	-8,6
Mali	0,0	0,0	0,0	-6,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-6,8	0,0	0,0
Niger	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nigeria	0,0	-1,6	-10,9	-36,2	-17,6	-9,7	0,0	-1,6	-10,9	-36,2	-17,6	-9,7
Sénégal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sierra Leone	0,0	-3,0	-17,0	-22,2	-28,6	-20,3	0,0	-3,0	-17,0	-22,2	-28,6	-20,3
Togo	0,0	0,0	0,0	-13,7	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	-13,7	2,7	0,0

Tableau 3 : Impact du changement climatique sur les superficies du riz paddy sous RCP8.5

	SSP1						SSP2					
	2020	2060	2070	2080	2090	2100	2020	2060	2070	2080	2090	2100
Benin	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Burkina Faso	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cote d'Ivoire	0,0	0,0	-1,9	-3,8	0,1	2,6	0,0	0,0	-1,9	-3,8	0,1	2,6
Gambie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ghana	0,0	0,0	-7,5	-8,4	-10,0	0,0	0,0	0,0	-7,5	-8,4	-10,0	0,0
Guinée	0,0	0,0	-2,2	-3,7	5,9	11,6	0,0	0,0	-2,2	-3,7	5,9	11,6
Guinée Bissau	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Liberia	0,0	0,0	-9,1	-10,2	-1,6	17,2	0,0	0,0	-9,1	-10,2	-1,6	17,2
Mali	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Niger	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nigeria	0,0	0,0	-10,9	-15,0	-14,9	0,2	0,0	0,0	-10,9	-15,0	-14,9	0,2
Sénégal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sierra Leone	0,0	0,0	-17,0	-22,1	-28,6	3,7	0,0	0,0	-17,0	-22,1	-28,6	3,7
Togo	0,0	0,0	0,0	-1,2	4,3	4,6	0,0	0,0	0,0	-1,2	4,3	4,6
	SSP3						SSP4					
	2020	2060	2070	2080	2090	2100	2020	2060	2070	2080	2090	2100
Benin	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Burkina Faso	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Cote d'Ivoire	0,0	0,0	-1,9	-3,8	0,1	2,6	0,0	0,0	-1,9	-3,8	0,1	2,6
Gambie	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ghana	0,0	0,0	-7,5	-8,4	-10,0	0,0	0,0	0,0	-7,5	-8,4	-10,0	0,0
Guinée	0,0	0,0	-2,2	-3,7	5,9	11,6	0,0	0,0	-2,2	-3,7	5,9	11,6
Guinée Bissau	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Liberia	0,0	0,0	-9,1	-10,2	-1,6	17,2	0,0	0,0	-9,1	-10,2	-1,6	17,2
Mali	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Niger	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nigeria	0,0	0,0	-10,9	-15,0	-14,9	0,2	0,0	0,0	-10,9	-15,0	-14,9	0,2
Sénégal	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sierra Leone	0,0	0,0	-17,0	-22,1	-28,6	3,7	0,0	0,0	-17,0	-22,1	-28,6	3,7
Togo	0,0	0,0	0,0	-1,2	4,3	4,6	0,0	0,0	0,0	-1,2	4,3	4,6

3.3. Impact du changement climatique sur la production du riz

À l'exception du Niger et du Sénégal, la production de riz a diminué la plupart des années pour tous les pays de la région de la CEDEAO, quels que soient les scénarios climatiques et socio-économiques (tableaux 4 et 5). Ces baisses varient entre 5 et 60 %, avec une moyenne de 11 % pour le RCP4.5 et entre 2 et 40 %, avec une moyenne de 8 % pour le RCP 8.5. Indépendamment des scénarios socio-économiques, il enregistrera une augmentation de la production du riz pour tous les pays de la CEDEAO, variant entre 0,1 et 9 % (avec une moyenne de 4,5 %) d'ici 2050 dans le cadre du RCP 4,5 et entre 0,3 et 23 % (avec une moyenne de 9,5 %) d'ici 2040, 2050 et 2060 dans le cadre du RCP 8.5. En outre, les pays comme le Niger et le Sénégal connaîtront une augmentation de la production de riz presque chaque année de la période d'étude, quels que soient les scénarios climatiques et socio-économiques. Toutefois, la répartition annuelle de ces impacts dépendra fortement des scénarios climatiques et socio-économiques. Par exemple, la production de riz au Niger augmentera pendant la période étudiée (c'est-à-dire entre 2010 et 2100) de 0,7 à 14,2 % (avec une moyenne de 6,1 %) sous SSP1 et du RCP4.5 et de 0,7 à 17,4 % (avec une moyenne de 5,2 %) sous SSP2 et du RCP4.5. Comme pour les superficies du riz, l'impact du changement climatique sur la production du riz présente également des hétérogénéités entre les ZAC. Par exemple, les ZAC 3 et 6 connaîtront une augmentation de la production du riz de 2045 à 2060 dans les sols argileux, sous l'impact d'un changement climatique à la fois modéré et sévère, associé au SSP1.

Tableau 4 : Impact du changement climatique sur la production du riz sous RCP4.5

	SSP1										SSP2									
	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100		
Benin	-3,7	-8,0	-1,3	5,3	12,5	-1,3	-23,3	-11,6	-7,3	-3,7	-8,0	-1,3	5,3	12,5	-1,3	-23,3	-11,6	-7,3		
Burkina Faso	-1,2	-2,9	1,3	6,9	18,4	6,3	-11,8	-5,3	-0,7	-1,2	-2,9	1,3	6,9	18,4	6,3	-11,8	-5,3	-0,7		
Cote d'Ivoire	-5,4	-6,7	-0,9	5,5	3,1	-10,7	-61,0	-16,0	-9,0	-5,4	-6,7	-0,9	5,5	3,1	-10,7	-61,0	-16,0	-9,0		
Gambie	-5,0	-10,1	-5,5	0,1	12,3	-3,4	-19,1	-10,8	-7,9	-5,0	-10,1	-5,5	0,1	12,3	-3,4	-19,1	-10,8	-7,9		
Ghana	-7,6	-8,1	-1,4	4,0	-2,9	-17,2	-31,4	-20,9	-13,1	-7,6	-8,1	-1,4	4,0	-2,9	-17,2	-31,4	-20,9	-13,1		
Guinée	-11,5	-8,5	-1,8	3,6	-4,6	-18,3	-32,0	-14,0	-10,9	-11,5	-8,5	-1,8	3,6	-4,6	-18,3	-32,0	-14,0	-10,9		
Guinée Bissau	-12,0	-11,9	-4,3	2,5	-7,0	-15,1	-24,7	-18,3	-13,9	-12,0	-11,9	-4,3	2,5	-7,0	-15,1	-24,7	-18,3	-13,9		
Liberia	-14,0	-9,1	-2,9	1,7	-12,5	-27,7	-36,6	-17,4	-18,4	-14,0	-9,1	-2,9	1,7	-12,5	-27,7	-36,6	-17,4	-18,4		
Mali	-0,3	-0,9	2,1	7,4	19,3	7,9	-12,7	-3,5	1,4	-0,3	-0,9	2,1	7,4	19,3	7,9	-12,7	-3,5	1,4		
Niger	2,7	5,7	5,4	9,0	24,6	16,3	2,0	4,4	9,6	2,7	5,7	5,4	9,0	24,6	16,3	2,0	4,4	9,6		
Nigeria	-7,4	-9,2	-1,3	4,9	0,9	-18,2	-50,9	-26,4	-15,3	-7,4	-9,2	-1,3	4,9	0,9	-18,2	-50,9	-26,4	-15,3		
Sénégal	2,6	0,7	1,5	5,4	14,2	9,0	-0,9	6,6	9,0	2,6	0,7	1,5	5,4	14,2	9,0	-0,9	6,6	9,0		
Sierra Leone	-14,4	-10,9	-3,6	1,4	-15,9	-36,6	-47,5	-42,5	-32,2	-14,4	-10,9	-3,6	1,4	-15,9	-36,6	-47,5	-42,5	-32,2		
Togo	-5,6	-7,2	-0,8	5,8	9,0	-4,9	-30,7	-10,0	-7,0	-5,6	-7,2	-0,8	5,8	9,0	-4,9	-30,7	-10,0	-7,0		
	SSP3										SSP4									
	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100		
Benin	-3,7	-8,0	-1,3	5,3	12,5	-1,3	-23,3	-11,6	-7,3	-3,7	-8,0	-1,3	5,3	12,5	-1,3	-23,3	-11,6	-7,3		
Burkina Faso	-1,2	-2,9	1,3	6,9	18,4	6,3	-11,8	-5,3	-0,7	-1,2	-2,9	1,3	6,9	18,4	6,3	-11,8	-5,3	-0,7		
Cote d'Ivoire	-5,4	-6,7	-0,9	5,5	3,1	-10,7	-61,0	-16,0	-9,0	-5,4	-6,7	-0,9	5,5	3,1	-10,7	-61,0	-16,0	-9,0		
Gambie	-5,0	-10,1	-5,5	0,1	12,3	-3,4	-19,1	-10,8	-7,9	-5,0	-10,1	-5,5	0,1	12,3	-3,4	-19,1	-10,8	-7,9		
Ghana	-7,6	-8,1	-1,4	4,0	-2,9	-17,2	-31,4	-20,9	-13,1	-7,6	-8,1	-1,4	4,0	-2,9	-17,2	-31,4	-20,9	-13,1		
Guinée	-11,5	-8,5	-1,8	3,6	-4,6	-18,3	-32,0	-14,0	-10,9	-11,5	-8,5	-1,8	3,6	-4,6	-18,3	-32,0	-14,0	-10,9		
Guinée Bissau	-12,0	-11,9	-4,3	2,5	-7,0	-15,1	-24,7	-18,3	-13,9	-12,0	-11,9	-4,3	2,5	-7,0	-15,1	-24,7	-18,3	-13,9		
Liberia	-14,0	-9,1	-2,9	1,7	-12,5	-27,7	-36,6	-17,4	-18,4	-14,0	-9,1	-2,9	1,7	-12,5	-27,7	-36,6	-17,4	-18,4		
Mali	-0,3	-0,9	2,1	7,4	19,3	7,9	-12,7	-3,5	1,4	-0,3	-0,9	2,1	7,4	19,3	7,9	-12,7	-3,5	1,4		
Niger	2,7	5,7	5,4	9,0	24,6	16,3	2,0	4,4	9,6	2,7	5,7	5,4	9,0	24,6	16,3	2,0	4,4	9,6		
Nigeria	-7,4	-9,2	-1,3	4,9	0,9	-18,2	-50,9	-26,4	-15,3	-7,4	-9,2	-1,3	4,9	0,9	-18,2	-50,9	-26,4	-15,3		
Sénégal	2,6	0,7	1,5	5,4	14,2	9,0	-0,9	6,6	9,0	2,6	0,7	1,5	5,4	14,2	9,0	-0,9	6,6	9,0		
Sierra Leone	-14,4	-10,9	-3,6	1,4	-15,9	-36,6	-47,5	-42,5	-32,2	-14,4	-10,9	-3,6	1,4	-15,9	-36,6	-47,5	-42,5	-32,2		
Togo	-5,6	-7,2	-0,8	5,8	9,0	-4,9	-30,7	-10,0	-7,0	-5,6	-7,2	-0,8	5,8	9,0	-4,9	-30,7	-10,0	-7,0		

Tableau 5 : Impact du changement climatique sur la production du riz sous RCP8.5

	SSP1										SSP2								
	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100	
Benin	-1,2	0,6	5,2	14,9	16,4	3,7	-14,6	-8,8	0,3	-1,2	0,6	5,2	14,9	16,4	3,7	-14,6	-8,8	0,3	
Burkina Faso	0,2	1,4	4,6	12,6	20,2	10,0	-6,0	-0,2	7,7	0,2	1,4	4,6	12,6	20,2	10,0	-6,0	-0,2	7,7	
Cote d'Ivoire	-3,6	-0,2	6,0	12,5	10,9	-1,4	-17,7	-8,7	-0,8	-3,6	-0,2	6,0	12,5	10,9	-1,4	-17,7	-8,7	-0,8	
Gambie	-2,5	-4,7	0,3	5,0	13,8	-1,8	-15,4	-6,2	1,9	-2,5	-4,7	0,3	5,0	13,8	-1,8	-15,4	-6,2	1,9	
Ghana	-4,7	-3,1	2,3	5,6	2,7	-12,7	-23,4	-18,1	-2,0	-4,7	-3,1	2,3	5,6	2,7	-12,7	-23,4	-18,1	-2,0	
Guinée	-8,5	-0,2	5,0	10,1	6,1	-6,7	-20,0	-8,6	4,7	-8,5	-0,2	5,0	10,1	6,1	-6,7	-20,0	-8,6	4,7	
Guinée Bissau	-6,7	-9,3	-2,2	-3,4	-4,6	-10,7	-15,6	-7,5	-1,0	-6,7	-9,3	-2,2	-3,4	-4,6	-10,7	-15,6	-7,5	-1,0	
Liberia	-10,1	-1,4	2,9	4,4	-2,5	-18,2	-26,2	-12,7	12,4	-10,1	-1,4	2,9	4,4	-2,5	-18,2	-26,2	-12,7	12,4	
Mali	0,6	1,3	4,5	11,3	20,7	11,7	-3,0	2,9	9,9	0,6	1,3	4,5	11,3	20,7	11,7	-3,0	2,9	9,9	
Niger	2,1	0,7	3,3	6,6	23,5	18,6	8,3	14,3	19,3	2,1	0,7	3,3	6,6	23,5	18,6	8,3	14,3	19,3	
Nigeria	-4,7	-1,6	4,4	9,6	7,6	-11,3	-26,5	-19,5	-1,2	-4,7	-1,6	4,4	9,6	7,6	-11,3	-26,5	-19,5	-1,2	
Sénégal	4,6	1,4	3,8	6,7	19,1	16,5	10,5	16,4	15,7	4,6	1,4	3,8	6,7	19,1	16,5	10,5	16,4	15,7	
Sierra Leone	-10,5	-5,1	0,7	0,2	-7,8	-30,4	-40,0	-39,0	-2,6	-10,5	-5,1	0,7	0,2	-7,8	-30,4	-40,0	-39,0	-2,6	
Togo	-3,0	1,5	6,4	14,1	14,7	2,1	-15,3	-5,0	4,4	-3,0	1,5	6,4	14,1	14,7	2,1	-15,3	-5,0	4,4	
	SSP3										SSP4								
	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090	2100	
Benin	-1,2	0,6	5,2	14,9	16,4	3,7	-14,6	-8,8	0,3	-1,2	0,6	5,2	14,9	16,4	3,7	-14,6	-8,8	0,3	
Burkina Faso	0,2	1,4	4,6	12,6	20,2	10,0	-6,0	-0,2	7,7	0,2	1,4	4,6	12,6	20,2	10,0	-6,0	-0,2	7,7	
Cote d'Ivoire	-3,6	-0,2	6,0	12,5	10,9	-1,4	-17,7	-8,7	-0,8	-3,6	-0,2	6,0	12,5	10,9	-1,4	-17,7	-8,7	-0,8	
Gambie	-2,5	-4,7	0,3	5,0	13,8	-1,8	-15,4	-6,2	1,9	-2,5	-4,7	0,3	5,0	13,8	-1,8	-15,4	-6,2	1,9	
Ghana	-4,7	-3,1	2,3	5,6	2,7	-12,7	-23,4	-18,1	-2,0	-4,7	-3,1	2,3	5,6	2,7	-12,7	-23,4	-18,1	-2,0	
Guinée	-8,5	-0,2	5,0	10,1	6,1	-6,7	-20,0	-8,6	4,7	-8,5	-0,2	5,0	10,1	6,1	-6,7	-20,0	-8,6	4,7	
Guinée Bissau	-6,7	-9,3	-2,2	-3,4	-4,6	-10,7	-15,6	-7,5	-1,0	-6,7	-9,3	-2,2	-3,4	-4,6	-10,7	-15,6	-7,5	-1,0	
Liberia	-10,1	-1,4	2,9	4,4	-2,5	-18,2	-26,2	-12,7	12,4	-10,1	-1,4	2,9	4,4	-2,5	-18,2	-26,2	-12,7	12,4	
Mali	0,6	1,3	4,5	11,3	20,7	11,7	-3,0	2,9	9,9	0,6	1,3	4,5	11,3	20,7	11,7	-3,0	2,9	9,9	
Niger	2,1	0,7	3,3	6,6	23,5	18,6	8,3	14,3	19,3	2,1	0,7	3,3	6,6	23,5	18,6	8,3	14,3	19,3	
Nigeria	-4,7	-1,6	4,4	9,6	7,6	-11,3	-26,5	-19,5	-1,2	-4,7	-1,6	4,4	9,6	7,6	-11,3	-26,5	-19,5	-1,2	
Sénégal	4,6	1,4	3,8	6,7	19,1	16,5	10,5	16,4	15,7	4,6	1,4	3,8	6,7	19,1	16,5	10,5	16,4	15,7	
Sierra Leone	-10,5	-5,1	0,7	0,2	-7,8	-30,4	-40,0	-39,0	-2,6	-10,5	-5,1	0,7	0,2	-7,8	-30,4	-40,0	-39,0	-2,6	
Togo	-3,0	1,5	6,4	14,1	14,7	2,1	-15,3	-5,0	4,4	-3,0	1,5	6,4	14,1	14,7	2,1	-15,3	-5,0	4,4	

4. Conclusion

Cet article examine l'impact du changement climatique sur l'utilisation de terre et la production du riz dans la CEDEAO. Il adopte une approche bioéconomique basée sur les caractéristiques environnementales des zones agro-climatiques et des sols (ZACS) pour prévoir les impacts du changement climatique dans la CEDEAO. Les résultats suggèrent que la superficie du riz sera plus faible, plus élevée ou restera la même en fonction des conditions futures (combinaisons de scénarios climatiques et socio-économiques). En termes de production, des effets négatifs sont observés la plupart des années pour tous les pays de la région à l'exception du Niger et du Sénégal, quels que soient les scénarios climatiques et socio-économiques. Une transformation structurelle du secteur agricole est donc inévitable pour compenser les impacts négatifs du changement climatique afin d'atteindre un meilleur niveau de vie pour la population. Les résultats ne sont pas uniformes d'un pays à l'autre, et entre les ZAC ; ce qui met en évidence les disparités entre les unités géographiques.

Bien que cet article apporte plus de lumière sur les effets du changement climatique sur l'utilisation de terre et la production du riz dans les pays de la CEDEAO, en tenant compte des inefficacités dans la production du riz, il n'étudie pas les stratégies d'adaptation possibles pour atténuer ces impacts. Les conclusions appellent à davantage d'efforts en termes de stratégies d'adaptation adéquates pour compenser les impacts négatifs du changement climatique sur la production du riz en Afrique de l'Ouest. Notre approche de modélisation ne tient pas compte de la rareté de l'eau ni des changements de prix induits par le changement climatique. L'inclusion de ces facteurs pourrait plus ou moins affecter les résultats de ce papier. Cette question sera étudiée dans le cadre de recherches futures.

Bibliographie

- Calzadilla, A., Zhu, T., Rehdanz, K., Tol, R. S., & Ringler, C. (2009). Economy-wide impacts of climate change on agriculture in Sub-Saharan Africa . *Working Paper FNU, No. 170*, <http://hdl.handle.net/10419/28746>.
- Cassamá, V. L., Atewamba, C., & Kouame, E. (2015). Country profile on climate change, agricultural trade and food security in ECOWAS: Guinea-Bissau Report, Accra: United Nations University - Institute for Natural Resources in Africa. .
- Chang, C. C. (2002). The potential impact of climate changes on Taiwan's agriculture. *Agricultural Economics*, 27(2002), 51-64.
- Djagbaa, J. F., Sintondji, L. O., Kouyaté, A. M., Baggiee, I., Agbahungbab, G., Hamadound, A., & . Zwart, S. J. (2018). Predictors determining the potential of inland valleys for rice production development in West Africa. *Applied Geography*, 86-97.
- Egbedewe, A. Y., & al. (2017). Can intra-regional food trade increase food availability in the context of global climatic change in West Africa? *Climatic Change*, 145(1-2), 101–116.
- Egbedewe-Mondzozo, A., & al. (2015). Bioenergy Supply and Environmental Impacts on Cropland: Insights from Multi-market Forecasts in a Great Lakes Subregional Bioeconomic Model. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 117.
- Fall, A. A. (2018). Chaîne de valeur riz en Afrique de l'Ouest : Performance, enjeux et défis en Côte d'Ivoire, Guinée, Libéria, Mali, Sierra Léone et Sénégal. *J. Appl. Biosci.*
- FAO. (2015). *Land use systems of the world-Sub-Saharan Africa*. <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?id=37048>.

- Hazell, P., & Norton, R. (1986). *Mathematical programming for economic analysis in agriculture*. New York: MacMillan.
- Heckelei, T., Britz, W., & Zhang, Y. (2012). Positive Mathematical Programming Approaches – Recent Developments in Literature and Applied Modelling. *Biobased and Applied Economics*, 1(1), 109-124.
- IPCC. (2007a). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Kanellopoulos, A., Berentsen, P., Heckelei, T., Ittersum, M. V., & Lansink, A. O. (2010). Assessing the Forecasting Performance of a Generic Bio-Economic Farm Model Calibrated With Two Different PMP Variants. *Journal of Agricultural Economics*, 61(2), 274-294.
- Kutcher, G. P., & Scandizzo, P. L. (1981). *The Agricultural Economy of Northeast Brazil*. Baltimore and London: The Johns Hopkins University Press.
- Lokonon et al. (2019). The potential impact of climate change on agriculture in West Africa: A bio-economic modelling approach. *Climate Change Economics*, 10(4).
- Lokonon, B. O., Savadogo, K., & Mbaye, A. A. (2015). Assessing the impacts of climate shocks on farm performance and adaptation responses in the Niger basin of Benin. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, 10(3), 234-249.
- Louhichi, K., & Paloma, S. G. (2014). A farm household model for agri-food policy analysis in developing countries: Application to smallholder farmers in Sierra Leone. pp. 1-13. *Food Policy*, 45(2014).
- McCarl, B. A., & Spreen, T. H. (1980). Price Endogenous Mathematical Programming as a Tool for Sector Analysis. *American Journal of Agricultural Economics*, 62(1), 87-102.
- McCarl, B. A., Villavicencio, X., & Wu, X. (2008). Climate Change and Future Analysis: Is Stationarity Dying. *American Journal of Agricultural Economics*, 90(5), 1241-1247.
- Medellin-Azuara, J., Howitt, R. E., MacEwan, D. J., & Lund, J. R. (2011). Economic impacts of climate-related changes to California agriculture. *Climatic Change*, 109 (1), 387-405.
- Mendelsohn, R., Nordhaus, W., & Shaw, D. (1994). The impact of global warming on agriculture: a Ricardian analysis. *American Economic Review*, 84(4), 753–71.
- Palazzo, A., & al. (2014). Simulating stakeholder-driven food and climate scenarios for policy development in Africa, Asia, and Latin America: A multi-regional synthesis. *Copenhagen, Denmark: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture, CCAFS Working Paper*(109).
- Paloma, G. S., & al. (2012.). Rural poverty reduction and food security: The case of smallholders in Sierra Leone. *Seville: Luxembourg: Publications Office of the European Union*.
- Rhodes, E. R., Atewamba, C., & Kouame, E. (2015). *Country profile on climate change, agricultural trade and food security in ECOWAS: Sierra Leone Report*. Accra: United Nations University - Institute for Natural Resources in Africa.
- Rohm, O., & Dabbert, S. (2003). Integrating Agri-Environmental Programs into Regional Production Models: An Extension of Positive Mathematical Programming. *American Journal of Agricultural Economics*, 85(1), 254-265.
- Rosenzweig, C., & al. (2014.). Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison. *PNAS*, 111(9), 3268–3273.

- Seck, P., Digna, A., Mohanty, S., & Wopereis, M. (2013). Crop that feed the world 7: rice. *Food Security*, 4, 7–24.
- Spreen, T. H. (2006). Price Endogenous Mathematical Programming Models and Trade Analysis. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 38(2), 249-253.
- Sylla, B. M. (2015). *Development and Analysis of Climatological Baseline and Climate Change Scenarios for ECOWAS*. Accra: United Nations University Institute for Natural Resources in Africa (UNU-INRA).
- van Oort, P. A., & Zwart, S. J. (2017). Impacts of climate change on rice production in Africa and causes of simulated yield changes. *Global Change Biology*, 24, 1029–1045.
- van Wart, J., & al. (2013). Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. *Field Crops Research*, 143(2013), 44-55.
- WorldBank. (2015). World Development Indicators Database. Washington DC: World Bank.
- Yilma, T. D. (2005). Modeling farm irrigation decisions under rainfall risk in the White-Volta basin of Ghana: A tool for policy analysis at the farm-household level . *Bonn: University of Bonn*.