

Impact économique des changements climatiques sur les revenus agricoles à Matéri au Bénin

Alain Oloni AGANI^{1*}, Afio ZANNOU², Anne FLOQUET³ et Gauthier BIAOU⁴

¹ *Université Nationale d'Agriculture, Département d'Economie Rurale, Agroéconomie et Gestion, Laboratoire d'Analyse des dynamiques Sociales et du Développement, Abomey-Calavi, Bénin*

² *Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, Laboratoire d'Agroéconomie et d'Agrobusiness, 01 BP 526, Cotonou, Bénin*

³ *Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, Laboratoire d'Analyse des Dynamiques Sociales et du Développement, Abomey-Calavi, Bénin*

⁴ *Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, Département d'Economie, de Socio-Anthropologie et de Communication pour le développement rural, Abomey-Calavi, Bénin*

(Reçu le 15 Décembre 2023 ; Accepté le 18 Janvier 2024)

* Correspondance, courriel : aganioloni@yahoo.fr

Résumé

Les changements climatiques constituent une menace pour le secteur agricole surtout dans les pays en développement où l'agriculture est essentiellement pluviale. L'objectif de cette étude est de quantifier l'impact économique des changements climatiques sur le revenu agricole afin d'amener les agriculteurs à mieux connaître les pertes qu'ils subissent et d'inciter les décideurs à agir. Matéri, l'une des Communes du Bénin les plus vulnérables aux effets néfastes des changements climatiques a servi de cadre à cette recherche. La collecte des données socioéconomiques et de production est faite sur un échantillon de 383 agriculteurs alors que les données climatiques sont obtenues auprès l'Agence de la Météorologie du Bénin. L'approche ricardienne d'impact économique des changements climatiques a été utilisée. Les six modèles testés sont globalement significatifs au seuil de 1 % et les coefficients de détermination (R^2) varient entre 5 % et 40 % au fur et à mesure qu'on passe d'un modèle à un autre. Les précipitations pendant la saison humide sont plus propices à l'augmentation du revenu agricole mais dommageables lorsqu'elles sont excessives. Les ménages qui adoptent des mesures d'adaptation ont, un revenu net supérieur aux ménages qui ne les adoptent pas. Ainsi, l'assolement et la rotation des cultures procurent un revenu net supplémentaire de 67.000 FCFA/ha. L'augmentation de la température de 1°C pendant la saison humide entraîne une amélioration du revenu agricole de 29.983 FCFA/ha. Les effets néfastes des changements climatiques sont ressentis sur le revenu agricole. La relation entre le revenu et les facteurs climatiques sont non linéaires et l'adoption d'une mesure d'adaptation améliore le revenu agricole.

Mots-clés : *approche ricardienne, stratégie d'adaptation, revenu agricole, Bénin.*

Abstract

Economic impact of climate change on farm incomes in Matéri, Benin

Climate change poses a threat to the agricultural sector, especially in developing countries where agriculture is predominantly rain-fed. The main objective of this research is to quantify the economic impact of climate change on agricultural income in Benin, in order to increase farmers' awareness of the losses they are suffering and to encourage decision-makers to take action. Matéri, one of Benin's Communes most vulnerable to the adverse effects of climate change, served as the setting for this research. Socio-economic and production data were collected from a sample of 383 farmers, while climatic data were obtained from the Benin meteorological agency. The Ricardian approach to the economic impact of climate change was used. The six models tested are globally significant at the 1 % threshold, and coefficients of determination (R^2) vary between 5 % and 40 % as we move from one model to another. Rainfall during the wet season is more conducive to increasing farm income, but damaging when excessive. Households that adopt adaptation measures have a higher net income than those that do not. For example, crop rotation and crop rotation provide an additional net income of 67,000 FCFA/ha. A temperature increase of 1 °C during the wet season improves farm income by 29,983 FCFA/ha. The adverse effects of climate change are felt on farm income. The relationship between income and climatic factors is non-linear, and the adoption of an adaptation measure improves farm income.

Keywords : *ricardian approach, adaptation strategy, agricultural income, Benin.*

1. Introduction

Les changements climatiques sont de plus en plus largement admis malgré l'incertitude qui subsiste [1] et se manifestent entre autres par l'élévation de la température moyenne, des poches de sécheresses, la variation des précipitations, la recrudescence des tempêtes dévastatrices. De ce fait, ils constituent un risque majeur capable de compromettre les progrès réalisés au niveau mondial dans plusieurs domaines [2]. Leurs effets profonds sont désormais clairement visibles sur le secteur agricole, dont dépendent la production alimentaire et l'économie du monde [3]. Les impacts des changements climatiques sur le secteur agricole varient suivant le type d'agriculture pratiquée. En effet, l'agriculture pluviale est plus menacée par la variation de la pluviométrie. Ainsi, dans les pays en développement où l'agriculture est essentiellement pluviale avec une capacité d'adaptation limitée et assurant directement la subsistance d'une grande partie de la population, les conséquences attendues sont plus importantes [4]. De même la vulnérabilité des petits exploitants agricoles aux changements climatiques est plus grande car ils dépendent d'une agriculture essentiellement pluviale, cultivent des terres peu fertiles et ont un accès limité au soutien technique ou aux ressources financières qui devraient leur permettre d'investir dans une agriculture plus résiliente au climat [5]. Dans la plupart de ces pays en développement, le secteur agricole reste le principal moteur de développement économique [6 - 8]. Au Bénin, le secteur agricole occupe 70 % de la population active, contribue pour près de 36 % au Produit Intérieur Brut (PIB), fournit entre 75 à 90 % des recettes d'exportation [9]. Malgré son importance dans l'économie, ses performances restent peu satisfaisantes et sont aggravées par les changements climatiques. Il est dominé par des petites exploitations agricoles [10] aux performances erratiques et très dépendant des facteurs climatiques. Dans certaines localités, les rendements des cultures pourraient baisser de façon significative allant de 20 % pour le coton à 30 % pour le maïs à l'horizon 2050 [11]. Or le coton contribue pour une part importante aux recettes d'exportation avec un effet d'entraînement sur les autres secteurs et joue donc un rôle important dans l'économie [12, 13]. Quant au maïs, il occupe près de 70 % des emblavures céréalières au Bénin [14] et constitue de nos jours la céréale la plus consommée comparativement au riz et au sorgho [15].

La plupart des études menées se sont focalisées sur l'aspect agronomique de l'impact des changements climatiques sur la production agricole. A l'aide des scénarii du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) et de divers modèles agronomiques, la baisse de rendement des cultures est appréciée sans prendre en compte les stratégies d'adaptation que les producteurs développent pour réduire leur vulnérabilité aux effets néfastes des changements climatiques [16, 17]. Tout en rendant compte avec précision des réactions biologiques des cultures aux changements des facteurs environnementaux, ces méthodes ne parviennent généralement pas à prendre en compte le comportement humain dans le système agricole réel [18]. Du coup, les agriculteurs sont considérés comme attentistes, ne faisant rien pour une meilleure résilience de leur système de production. Or, plusieurs études, à travers le monde, ont montré que les producteurs agricoles développent des stratégies d'adaptation face aux effets néfastes des changements climatiques [19, 20]. En agissant de la sorte, les impacts des changements climatiques sont surestimés. Au regard des menaces que font peser les changements climatiques sur le secteur agricole et pour une meilleure quantification de leurs effets, il paraît opportun de connaître la relation entre les paramètres climatiques et le revenu des agriculteurs en milieu réel tout en y intégrant les réactions de ces derniers. La présente étude vise à quantifier l'impact économique des changements climatiques sur les revenus agricoles au Bénin afin de mieux édifier les agriculteurs et les décideurs.

2. Matériel et méthodes

2-1. Milieu d'étude

Pour apprécier son niveau de vulnérabilité aux effets néfastes des changements climatiques, le Bénin a élaboré en 2008 son Programme d'Action National aux fins de l'Adaptation aux changements climatiques [21]. Dans ce programme, les zones agroécologiques les plus vulnérables aux manifestations des changements climatiques ont été identifiées. Au total, quatre des huit zones agroécologiques du Bénin ont été déclarées les plus vulnérables aux effets néfastes des changements climatiques, dont la zone IV Ouest-Atacora à laquelle appartient la commune de Matéri qui a été retenue pour servir de cadre à cette étude et présentée sur la *Figure 1*. Suivant le quatrième Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH 4), la Commune de Matéri, en 2013, compte 113.958 habitants dont 58.282 femmes soit 51,14 %. Les agriculteurs sont au nombre de 90.923 soit un taux de 79,22 %. La taille moyenne des ménages est de 7 personnes [22]. La densité moyenne est estimée à 27,73 habitants/Km². La Commune de Matéri, couvrant une superficie de 4 800 km² est située dans le département de l'Atacora, au Nord-Ouest de la République du Bénin, entre 10° 38' et 11° 4' de latitude Nord et 0° 48' et 1° 10' de longitude Est. Elle est sous l'influence d'un climat soudano-sahélien marqué par un régime pluviométrique uni modal caractérisé par une alternance entre saison sèche et saison pluvieuse d'égale durée avec une pluviométrie annuelle qui oscille entre 900 et 1000 mm. Les vents secs et frais sont caractéristiques de la période de l'harmattan et les températures varient entre 40°C et 17°C. La rivière Pendjari forme une boucle autour de la Commune. Les différents types de sols, la végétation et le climat favorisent le développement des activités agricoles, d'élevage, de pêche et autres sous la pression foncière due à la poussée démographique, la présence de la Réserve de Biosphère de la Pendjari, les couloirs de transhumance, les montagnes et la sahélisation poussée qui limitent l'accès à la terre [23].

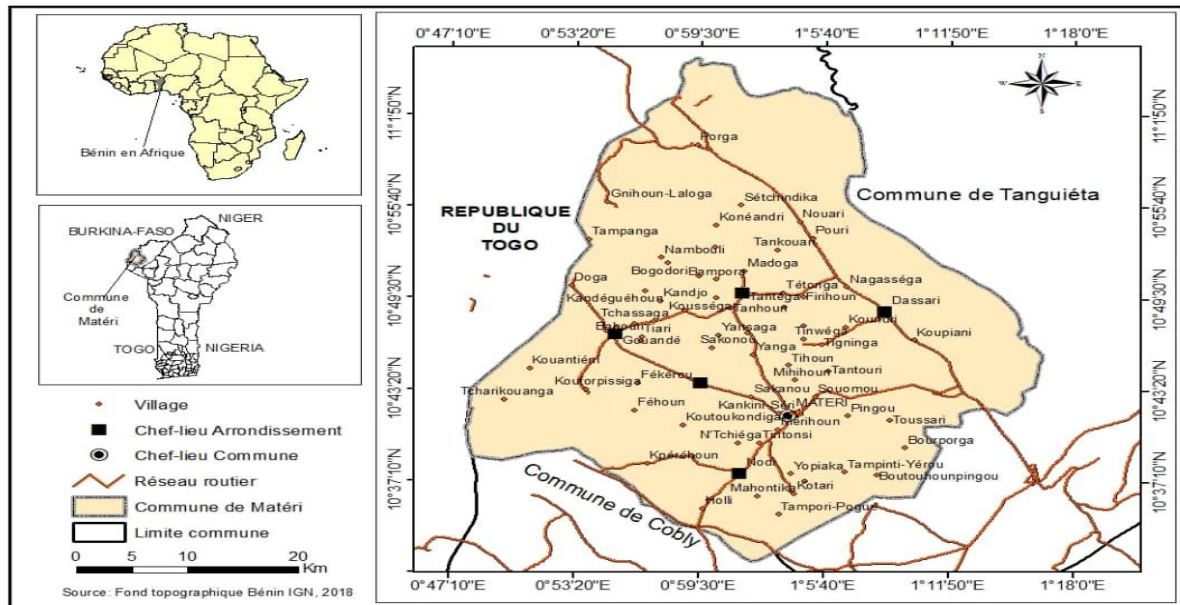


Figure 1 : Carte du milieu d'étude

2-2. Collecte de données

2-2-1. Échantillonnage

A l'instar des différentes études menées sur les changements climatiques dans le secteur agricole, les unités d'observation sont constituées des exploitations agricoles [24]. En effet, c'est à ce niveau que les différentes décisions liées aux stratégies pour une amélioration des résultats de l'exploitation se prennent [25]. Elles sont représentées par leur chef d'exploitation qui en même temps est le chef de ménage. Ce choix est fondé sur l'hypothèse selon laquelle ce sont les chefs de ménage qui décident des pratiques d'adaptation agricole et que leurs connaissances, leurs perceptions, etc. devaient être prises en compte avant tout [26]. Les ménages dirigés aussi bien par des hommes que par des femmes ont été retenus dans une approche centrée sur le genre. Il a été tenu grand compte de l'âge des chefs de ménage [27 - 29], les changements climatiques étant un phénomène qui s'observe dans la durée. De ce fait, les personnes âgées sont privilégiées afin qu'elles puissent décrire les manifestations des changements climatiques ainsi que l'impact noté sur leurs activités. L'âge et l'expérience de l'exploitant agricole ont été croisés dans le cadre de cette recherche afin de tirer profit des phénomènes vécus et des connaissances acquises par ce dernier. La taille totale « N » de l'échantillon qui a été soumis au questionnaire a été obtenue en utilisant une approximation de la loi binomiale suivant la **Formule** ci-après [30] :

$$N = \frac{U_{1-\frac{\alpha}{2}}^2 \cdot \alpha \cdot p(1-p)}{d^2} \quad (1)$$

avec, N : taille de l'échantillon ; $U_{1-\frac{\alpha}{2}}^2$: 1,96 ; P : proportion de la population ayant le caractère recherché et d = marge d'erreur admise.

La valeur p de la formule ci-dessus est déterminée au cours d'une enquête exploratoire conduite dans la Commune de Matéri. Au total, six (06) villages ont été choisis au hasard à raison d'un village par arrondissement. Pour l'ensemble des villages sélectionnés, trente (30) personnes, indépendamment de leur activité, ont été prises au hasard et soumises à une question à savoir : avez-vous connaissance des

changements climatiques ? Le nombre 30 est retenu car il a été prouvé par des travaux antérieurs qu'il permet d'avoir une bonne approximation de la distribution normale lorsque la taille globale de la population est supérieure à 30 [30]. La proportion de réponse positive obtenue correspond à la valeur p qui est de 53,33 %. Pour tout paramètre à estimer à partir de l'enquête, la marge d'erreur prévue est de 5 %. Ainsi, la taille N de l'échantillon déterminée est égale à 383 individus. Les six arrondissements que compte la Commune de Matéri ont été pris en compte. Les données de l'Institut National de la Statistique et de la Démographie (INStAD) et surtout l'effectif des ménages agricoles est utilisé pour déterminer le poids de chaque arrondissement dans la taille totale de l'échantillon. Ainsi, la représentativité d'un arrondissement est fonction de son poids agricole (Nombre de ménages agricoles / Nombre de ménage total). Il en est de même pour les villages. Vingt-cinq villages sur les cinquante-six que compte la commune ont été sélectionnés soit 44,65 %. Il a été procédé à un tirage au sort aléatoire sans remise d'un nombre donné de village par arrondissement. Le choix des enquêtés dans chaque village a été fait au hasard. Une fois les villages tirés au hasard, le nombre de personnes à enquêter est déterminé en tenant compte du nombre de ménages agricoles dans chaque village. Des focus groups et des entretiens semi-structurés ont été aussi effectués auprès de personnes ressources (Responsables en charge du développement agricole, les autorités locales, etc.). Les informations obtenues de ces focus groups et entretiens semi-structurés ont permis de mieux orienter les entretiens structurés au moyen de questionnaire.

2-2-2. Élaboration et test du questionnaire

Sur la base des informations recueillies dans la revue de littérature, une liste des 35 mesures et stratégies d'adaptation aux changements climatiques pratiquées par les producteurs a été établie. Cette dernière a été amendée dans les focus groups. Au terme de ce processus, certaines mesures et stratégies ont été supprimées comme par exemple la gestion durable de l'eau (irrigation, collecte des eaux pluviales, etc.). En somme, 17 mesures ont été retenues. Elles sont regroupées en cinq grandes catégories de par leur similitude et leur complémentarité que sont l'ajustement des pratiques et du calendrier agricoles, la diversification des cultures, la gestion durable des terres, la diversification des sources de revenu et les pratiques religieuses comme dans le cas d'autres travaux [24]. Ces mesures et stratégies ont servi de base à l'élaboration du questionnaire pour l'enquête formelle. La formulation des questions, le langage et la compréhension univoque sont pris en compte. La formulation des questions a été suffisamment murie pour permettre sa bonne compréhension par les enquêtés. Afin de vérifier la validité du questionnaire, un pré test a été organisé auprès de trente (30) exploitants agricoles pris au hasard dans la commune de Matéri. A l'issue de ce processus, des reformulations ont été faites, des questions doublons ont été supprimées sans pour autant porter atteinte à la stratégie de triangulation des informations collectées. Un meilleur ordre a été établi dans l'admission des questions. Un gain de temps est ainsi noté dans le processus pour conserver un bon niveau de concentration de l'enquêté.

2-2-3. Focus group

Au niveau des producteurs, quatre (04) groupes ont été constitués. Il s'agit du groupe des hommes, ceux des femmes, des jeunes hommes puis enfin celui des jeunes filles. Chaque groupe a regroupé dix (10) personnes. Le même principe a été respecté au niveau des éleveurs. Des informations sur les risques climatiques et les stratégies d'adaptations ont été collectées et affinées en leur sein.

2-2-4. Entretien avec les interprofessions

Le travail a été également fait avec les interprofessions des producteurs, éleveurs et transformateurs. Des échanges ont eu lieu avec les responsables des faitières pour mieux comprendre l'impact des changements climatiques sur leurs activités et le rôle de l'interprofession pour sa meilleure gestion. Un guide d'entretien

a permis de mieux diriger ces séances d'échange qui ont porté sur : (i) la perception des changements climatiques, (ii) les potentiels risques et impacts des changements climatiques sur la production agricole ; (iii) les impacts des changements climatiques sur la rentabilité/profitabilité économique.

2-2-5. Conduite des enquêtes

Les données socio-démographiques, les mesures et stratégies d'adaptation/ d'atténuation et les données économiques de l'exploitation ont été collectées auprès du chef de ménage qui est en même temps le chef d'exploitation. Ces données ont porté entre autres sur les caractéristiques socio-démographiques, les rendements des spéculations, les superficies emblavées, les productions totales, les intrants agricoles, etc.

2-3. Méthodes d'analyse

Dans la littérature, plusieurs approches ont été utilisées pour apprécier l'impact économique des changements climatiques sur le secteur agricole. Dans la présente recherche, c'est l'approche ricardienne qui a été utilisée.

2-3-1. Approche ricardienne

C'est une approche transversale d'étude de la production agricole. Mise au point par David Ricardo (1772 - 1823) à partir des études sur les valeurs foncières qui devrait refléter la productivité nette de la terre, elle a été utilisée en 1994 par Mendelsohn pour estimer l'impact des changements climatiques sur l'agriculture. Par la suite, elle est devenue une approche très utilisée pour apprécier l'impact économique des changements climatiques sur l'agriculture de par le monde [31 - 34]. Mais son application dans l'ensemble des zones les plus vulnérables aux effets néfastes des changements climatiques du Bénin n'est pas encore effective. Son originalité réside dans le fait qu'il a établi que la rente foncière refléterait la productivité nette des terres agricoles. Ainsi, le revenu net agricole (V) représente la valeur actuelle de la productivité future de la terre. Ce principe est capturé par l'Équation suivante [35] :

$$V = \int P_{LE} e^{-\varphi t} dt \\ = \int [\sum P_i Q_i(X, F, Z, G) - \sum RX] e^{-\varphi t} dt \quad (2)$$

où, P_{LE} : Revenu net par hectare ; P_i : Prix de marché de la culture i ; Q_i : Quantité produite de la culture i ; F : Vecteur des variables climatiques ; Z : Ensemble des variables édaphiques ; G : Ensemble des variables socio-économiques ; X : Vecteur des facteurs de production (autres que la terre) ; R : Vecteur des prix des facteurs de production ; t : Temps et ; φ : Taux d'actualisation.

L'agriculteur est supposé choisir X qui maximise son revenu net en fonction des caractéristiques de l'exploitation et tenant compte du prix du marché. Le modèle ricardien est une forme réduite du modèle qui examine comment un ensemble de variables exogènes ici F , Z et G affectent la valeur de la ferme. Le modèle ricardien dans sa forme standard repose sur une formulation quadratique du climat :

$$V = B_0 + B_1 F + B_2 F^2 + B_3 Z + B_4 G + \mu \quad (3)$$

Où μ : le terme d'erreur et ;

F et F^2 : Termes linéaires et quadratiques pour la température et les précipitations.

Le recours aux termes quadratiques pour les variables climatiques révèle la non linéarité de la relation entre le climat et le revenu net. De son signe dépendra la forme de la fonction de revenu net. Ainsi, lorsque le terme

quadratique est positif, la fonction de revenu net aura une forme en U et lorsqu'il est négatif, la fonction sera en forme de cloche. De ***l'Équation (3)***, nous pouvons dériver l'impact marginal des variables climatiques sur le revenu comme suit :

$$E[dV/df_i] = E[\beta_{1,i} + 2 * \beta_{2,i} * f_i] = \beta_{1,i} \tag{4}$$

Le coefficient du terme linéaire de chaque variable climatique reflète donc l'impact marginal de cette variable sur la valeur à la ferme. Le changement du bien être U, résultant du changement du climat de C₀ à C₁ peut être mesuré comme suit :

$$\Delta U = V(C_1) - V(C_0) \tag{5}$$

2-3-2. Spécification du modèle

✓ **Forme fonctionnelle**

En 2003, le modèle ricardien standard a été développé [35]. Tenant compte des résultats sur l'importance des variables climatiques autres que la température et les précipitations, des variables additionnelles peuvent être intégrées notamment l'évapotranspiration potentielle (E), l'humidité (H) et la vitesse du vent (W) [36].

$$V = B_0 + B_1F + B_2F^2 + B_3Z + B_4G + B_5E + B_6H + B_6W + \mu \tag{6}$$

En se référant au modèle standard et s'inspirant des travaux effectués sur le Burkina Faso, la forme fonctionnelle suivante a été retenue [37] :

$$RN = B_1temp_sh + B_2temp_sh^2 + B_3temp_ss + B_4temp_ss^2 + B_5precip_sh + B_6precip_sh^2 + B_7precip_ss + B_8precip_ss^2 + \sum_{j=1}^m \mu_j Z_j + C^{te} \tag{7}$$

où, *temp_sh* et *temp_ss* = sont les températures moyennes respectivement pour la saison humide et la saison sèche ; *precip_sh* et *precip_ss* = pluviométries totales respectivement pour la saison humide et la saison sèche ; *z_j* : ensemble des caractéristiques des exploitations ; *B, α* et *μ* : coefficients des variables et ; *C^{te}* : une constante.

2-3-3. Types de variables

La variable dépendante est le revenu net des producteurs. Il est calculé pour chaque exploitant agricole et par culture. Le revenu net est la recette issue de la production diminuée du coût de production y afférent. Ce dernier inclut le coût des semences, des fertilisants (engrais chimiques et organiques), des pesticides (herbicides et insecticides), des équipements et matériels agricoles, des pertes post-récoltes, du stockage, de la main d'œuvre salariale et la valorisation de la main d'œuvre familiale, etc. Les variables indépendantes : Quatre groupes de variables ont été utilisés. Il s'agit des variables liées aux paramètres climatiques (température et précipitation), aux inputs utilisés dans le processus de production, aux stratégies d'adaptation face aux variabilités climatiques, aux caractéristiques propres aux agriculteurs et les cultures produites. Pour les variables climatiques, deux périodes ont été définies. Il s'agit de la période sèche qui correspond à la saison sèche et la période humide qui correspond à la saison des pluies. Ainsi, la température saison sèche est la moyenne des températures de la saison sèche alors que celle de la période humide équivaut à la moyenne des températures de la saison des pluies. Au niveau de la précipitation, ce sont les cumuls de quantité d'eau recueillie pendant chaque période qui ont été considérés.

2-3-4. Étapes d'estimation du modèle

L'objet de la recherche est de quantifier l'impact économique des changements climatiques sur les revenus agricoles. Pour y parvenir, il faudra établir la relation entre les facteurs climatiques et non climatiques et le revenu agricole, ensuite déterminer les impacts marginaux et les élasticités de la précipitation et de la température sur le revenu agricole. Pour y arriver, six modèles ont été estimés :

- *Étape 1* : Le modèle a pris en compte uniquement les variables climatiques notamment la température et la pluviométrie. Il s'agit du modèle sans adaptation [34] ;
- *Étape 2* : un modèle intégrant les variables climatiques et celles de l'adaptation globale aux variabilités climatiques ;
- *Étape 3* : un modèle intégrant les variables climatiques, l'adaptation globale aux variabilités climatiques et les inputs utilisés ;
- *Étape 4* : un modèle intégrant les variables climatiques, l'adaptation globale aux variabilités climatiques, les inputs utilisés et les cultures produites ;
- *Étape 5* : un modèle intégrant les variables climatiques, chacune des mesures/stratégies d'adaptation, les inputs et les cultures produites ;
- *Étape 6* : un modèle intégrant les variables climatiques, chacune des mesures/stratégies d'adaptation, les inputs, les cultures produites et les caractéristiques propres aux agriculteurs.

L'estimation des paramètres des modèles est faite par la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO) à l'aide du logiciel STATA 15. Le pouvoir explicatif du modèle est déterminé à partir du coefficient de détermination (R^2) couplé à l'analyse de la variance. Les signes attendus de ces variables sont consignés dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : Variables introduites dans les modèles

Variables	Description	Signes attendus	
Variable dépendante			
Revenu net agricole			
Variables indépendantes			
Changement climatique			
TEMP_SH	Température saison humide #	+/-	
TEMP_SH2	Température saison humide au carré #	+/-	
PRECIP_SH	Précipitation saison humide #	+/-	
PRECIP_SH2	Précipitation saison humide au carré #	+/-	
PRECIP_SS	Précipitation saison sèche #	+/-	
Precip_SS2	Précipitation saison sèche au carré #	+/-	
Caractéristique du producteur agricole			
MENAG	Taille du ménage #	+	
VULG	Contact avec les services de vulgarisation (1 = Oui / 0 = Non)	+	
GROUPEMENT	Appartenance à un groupement de producteur (1 = Oui / 0 = Non)	+	
SEXE	Genre (1 = Homme / 0 = Femme)	+	
AGE	Age du producteur #	+	
EDUCLEVEL	Education formelle (1 = Oui / 0 = Non)	+	
Inputs			
SARCLAGEG	Nombre de sarclage #	+	
USEINSECT	Utilisation des insecticides (1 = Oui / 0 = Non)	+	
USEHERBS	Utilisation des herbicides (1 = Oui / 0 = Non)	+	
USE	Utilisation de l'engrais chimique de synthèse (1 = Oui / 0 = Non)	+	
QUA LITE DU SOL	PAUVRE	Sol Pauvre (1 = Oui / 0 = Non)	-
	PEUFERTILE	Sol Peu fertile (1 = Oui / 0 = Non)	-

Stratégie d'adaptation		
ADAPG	Adaptation générale (Avoir adopté au moins une pratique/technique d'adaptation = 1)	+
DIVERCULT	Production de plus de 2 cultures (1 = Oui / 0 = Non)	+
INTRONO	Introduction de nouvelles spéculations (1 = Oui / 0 = Non)	+
AUGEMSUP	Augmentation de superficie pour la production (1 = Oui / 0 = Non)	+
CULTOL	Production de culture tolérante à la sécheresse (1 = Oui / 0 = Non)	+
ASSOLMNT	Assolement et rotation des Cultures (1 = Oui / 0 = Non)	+
RESIDUSR	Gestion des résidus de récolte (1 = Oui / 0 = Non)	+
ESPEGE	Mise en terre des espèces régénératrices de la fertilité du sol (1 = Oui / 0 = Non)	+
ACTNAGR	Activités extra-agricole (1 = Oui / 0 = Non)	+
INTEGR	Intégration de l'agriculture à l'élevage (1 = Oui / 0 = Non)	+
PRIERES	Prières (1 = Oui / 0 = Non)	+
Cultures produites		
MAIS	Production de Maïs	+
COTON	Production de Coton	+
SOJA	Production de Soja	+
NIEBE	Production de Niébé	+
RIZ	Production de Riz	+
SESAME	Production de Sésame	+

3. Résultats et discussion

3-1. Caractéristiques des agriculteurs

Les résultats de l'enquête de terrain à Matéri montrent que :

- l'activité agricole est pratiquée aussi bien par les hommes que par les femmes avec une forte dominance de la gent masculine qui représente 78 % [38]. Ces statistiques se réfèrent au chef de ménage qui gère l'exploitation et traduisent également les difficultés d'accès à la terre par les femmes [39, 40]. Plusieurs ethnies se côtoient avec une dominance des Biali qui représentent 81 % de l'échantillon de la recherche. En termes de religion, le christianisme vient en tête avec 60 % de pratiquant alors que les religions endogènes comptent le petit effectif d'adepte notamment 09 %.
- La situation matrimoniale est presque uniforme avec 97 % de personnes mariées (une épouse ou plus) et une taille moyenne du ménage de 8 ± 2 personnes. Ceci constitue un potentiel de main-d'œuvre familiale à valoriser pour mettre le ménage à l'abri de sa rareté qui s'observe de plus en plus dans le Nord du Bénin [41, 42].
- L'accès à l'éducation formelle n'est pas assez partagé au sein de la population. En effet, 55 % d'entre eux n'ont pas été à l'école alors que 42 % ont fait le cycle primaire sans pour autant le finaliser. L'agriculture est la principale activité dans la localité avec une moyenne des emblavures par enquêté de $5,59 \pm 2,89$ hectares, repartis sur plusieurs exploitations. Cependant, ils exercent une activité secondaire à 74 % et bénéficient de l'accompagnement des agents d'encadrement à 96 %. Cette pluriactivité est une stratégie développée par les agriculteurs pour accroître leurs revenus [43] et lutter contre les changements climatiques.
- Leur âge varie entre 32 et 56 avec une moyenne de 42 ans. Leur expérience dans l'activité agricole est de 16 ± 04 ans. Ils sont pour la plupart fils d'agriculteur et ont grandi dans l'activité. Ils n'ont donc pas bénéficié d'une formation formelle ou spécifique avant de démarrer leur activité. La vie associative est bien partagée car 68 % des personnes interrogées appartiennent à une organisation villageoise. Au Togo, la quasi-totalité des producteurs (94 %) sont membres d'une organisation paysanne [6]. Ce cadre

facilite le partage des expériences entre pairs sur les questions liées aux changements climatiques. Le contact avec les agents d'encadrement est signalé par 96 % des personnes interrogées à raison d'une visite en moyenne par semaine. Il s'agit des structures de l'Agence Territoriale de Développement Agricole (ATDA) et quelques agents des projets et programmes intervenant dans la zone. La culture dominante est le maïs pratiqué par 92 % des enquêtés. Le **Tableau 2** donne le détail des caractéristiques sociodémographiques des ménages enquêtés.

Tableau 2 : Caractéristiques sociodémographiques des agriculteurs de Matéri

Variables	Modalités	Effectif	Fréquence (%)
Sexe	Féminin	86	22,45
	Masculin	297	77,55
Ethnie	Biali	310	80,94
	Gourmantché	69	18,02
	Peulh	4	1,04
Religion	Endogène	35	9,14
	Aucun	72	18,80
	Chrétienne	229	59,79
	Musulmane	47	12,27
Situation matrimoniale	Marié	373	97,39
	Veuf	8	2,09
	Célibataire	2	0,52
Niveau d'éducation	Aucun	209	54,57
	Primaire	162	42,30
	Secondaire	12	3,13
Alphabétisation	Non	351	91,65
	Oui	32	8,36
Contact avec la vulgarisation	Oui	369	96,35
	Non	14	3,65
Activité principale	Agriculture	383	100
Activité secondaire	Non	99	25,85
	Oui	284	74,15

3-2. Données des modèles de régressions

Le **Tableau 3** présente les résultats des modèles de régressions. Il ressort globalement que les modèles sont significatifs au seuil de 1 % lorsqu'on se réfère aux probabilités de significativité du test de Fisher-Snedecor. Les coefficients de détermination (R^2) des modèles varient entre 5 % et 40 % au fur et à mesure qu'on passe d'une étape à l'autre. En d'autres termes, l'introduction d'une nouvelle variable ou le passage d'une étape à une autre améliore la qualité de l'ajustement. Toutefois, la variation du revenu agricole par hectare des producteurs reste faiblement expliquée par la variation des variables explicatives introduites dans le modèle. Néanmoins, ces modèles restent satisfaisants au regard des résultats obtenus dans le cadre d'études similaires [34 - 45]

Tableau 3 : Résultats du modèle ricardien

	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 3	Modèle 4	Modèle 5	Modèle 6
Revenu agricole	Coefficient (Ecart-type)	Coefficient (Ecart-type)	Coefficient (Ecart-type)	Coefficient (Ecart-type)	Coefficient (Ecart-type)	Coefficient (Ecart-type)
Changements climatiques						
Température saison humide #	-264724,9 (474797,8)	-279555,5 (468985,9)	-1019527** (447182)	-1832048*** (434282,8)	-1059903** (430316,5)	-1013635** (439518,9)
Température saison humide au carré #	4796,496 (8888,07)	5067,8 (8779,25)	18986,99** (8373,08)	34323,32*** (8138,49)	19909,23** (8063,34)	19037,78** (8235,25)
Précipitation saison humide #	4715,25 (6693,60)	4732,74 (6611,35)	12425,55** (6217,61)	22667,07*** (6020,60)	10369,69* (6027,73)	9503,68 (6145,81)
Précipitation saison humide au carré #	-3,16 (4,38)	-3,18 (4,32)	-8,19** (4,07)	-14,83*** (3,94)	-6,77* (3,94)	-6,20 (4,02)
Précipitation saison sèche #	-413,04 (2063,17)	-68,24 (2040,61)	420,69 (1898,83)	292,79 (1768,30)	1327,85 (1691,61)	1419,86 (1712,22)
Précipitation saison sèche au carré #	-9,65 (26,53)	-12,10 (26,22)	-50,99 ** (24,98)	-94,59 *** (24,41)	-62,19 *** (23,87)	-60,57 ** (24,37)
Adaptation générale (Avoir adopté au moins une pratique/ technique d'adaptation =1)	NI	55912,77*** (17326,24)	47024,27*** (16038,96)	37856,89** (15014,26)	NI	NC
Adaptation aux variabilités climatiques						
Production de plus de 2 cultures (1= Oui/ 0= Non)	NI	NI	NI	NI	12321,09 (16207,24)	12014,52 (16801,86)
Introduction de nouvelles spéculations (1= Oui/ 0= Non)	NI	NI	NI	NI	33783,63** (16206,34)	33090,63** (16810,13)
Augmentation de superficie pour la production (1= Oui/ 0= Non)	NI	NI	NI	NI	19260,74 (20657,23)	18663,02 (21340,02)
Production de culture tolérante à la sécheresse (1= Oui/ 0= Non)	NI	NI	NI	NI	49801,24*** (16858,76)	49422,97*** (17346,21)
Assolement et rotation des Cultures (1= Oui/ 0= Non)	NI	NI	NI	NI	67786,05*** (15222,68)	67760,41*** (16034,35)
Gestion des résidus de récolte (1= Oui/ 0= Non)	NI	NI	NI	NI	49700,74*** (14374,54)	49571,52*** (15421,53)
Mise en terre des espèces régénératrices de la fertilité du sol (1= Oui/ 0= Non)	NI	NI	NI	NI	50635,06*** (15141,19)	50997,2*** (16209,27)
Activités extra-agricole (1= Oui/ 0= Non)	NI	NI	NI	NI	28519,29* (15551,18)	28439,55* (16300,28)
Intégration de l'agriculture à l'élevage (1= Oui/ 0= Non)	NI	NI	NI	NI	36676,21** (14841,17)	37342,11* (15679,98)
Prières (1= Oui/ 0= Non)	NI	NI	NI	NI	128,49 (16069,74)	-1026,74 (16558,2)
Inputs						
Nombre de sarclage #	NI	NI	10509,7** (4474,68)	6161,75 (4245,11)	5054,97 (3988,08)	4887,008 (4050,26)
Utilisation des insecticides (1= Oui/ 0= Non)	NI	NI	45240,36*** (5662,77)	2710,55 (7849,31)	722,51 (7444,197)	1670,80 (7607,91)

Utilisation des herbicides (1= Oui/ 0= Non)	NI	NI	-17812,19 (42560,57)	-29798,98 (40026,39)	-35691,67 (37520,46)	-36825,64 (38057,65)
Utilisation de l'engrais (1= Oui/ 0= Non)	NI	NI	-24272,4 (59975,02)	-11842,47 (55817,74)	-29211,08 (52191,57)	-26442,76 (52648,91)
Peu fertile (1= Oui/ 0= Non)	NI	NI	3758,72 (4471,54)	3066,21 (4191,86)	2081,27 (4025,38)	1866,88 (4068,47)
Cultures produites						
Mais (1= Oui/ 0= Non)	NI	NI	NI	-1632,53 (7960,46)	-21158,5** (8429,83)	-18107,52** (8833,39)
Coton (1= Oui/ 0= Non)	NI	NI	NI	34117,28*** (6657,59)	21722,02*** (6514,20)	21128,73*** (6762,18)
Soja (1= Oui/ 0= Non)	NI	NI	NI	1733,86 (8113,46)	-752,76 (7644,71)	-998,32 (7716,99)
Niebe (1= Oui/ 0= Non)	NI	NI	NI	30488,61 (18732,34)	25874,49 (17616,95)	24288,95 (18184,57)
RIZ (1= Oui/ 0= Non)	NI	NI	NI	-18449,16*** (5817,43)	-25094,41*** (5564,39)	-25510,1*** (5634,87)
Sesame (1= Oui/ 0= Non)	NI	NI	NI	32925,48*** (6229,05)	24429,76*** (6014,41)	23627,02*** (6098,22)
Caractéristiques socio-économiques du producteur						
Taille du ménage #	NI	NI	NI	NI	NI	431,63 (1043,50)
Contact avec les services de vulgarisation (1=Oui/ 0=Non)	NI	NI	NI	NI	NI	7179,48 (11278,68)
Appartenance à un groupement de producteur (1=Oui/ 0=Non)	NI	NI	NI	NI	NI	3352,55 (4573,97)
Genre (1= Homme/ 0= Femme)	NI	NI	NI	NI	NI	-6488,51 (5702,48)
Age du producteur #	NI	NI	NI	NI	NI	114,37 (546,69)
Education formelle (1=Oui/ 0=Non)	NI	NI	NI	NI	NI	1697,92 (4086,87)
Constante	2110382 (4133527)	2244757 (4082945)	9231166*** (3917512)	1,63e+07*** (3828465)	1,05e+07*** (3752754)	1,01e+07*** (3840448)
Résumé	F(6, 376) = 4,30 Prob > F = 0,0003 R-squared = 0,0642 Adj R-squared = 0,0493 Root MSE = 45877	F(7, 375) = 5,27 Prob > F = 0,0000 R-squared = 0,0895 Adj R-squared = 0,0725 Root MSE = 45313	F(12, 370) = 9,42 Prob > F = 0,0000 R-squared = 0,2340 Adj R-squared = 0,2091 Root MSE = 41843	F(18, 364) = 11,01 Prob > F = 0,0000 R-squared = 0,3526 Adj R-squared = 0,3206 Root MSE = 38783	F(27, 355) = 10,73 Prob > F = 0,0000 R-squared = 0,4493 Adj R-squared = 0,4075 Root MSE = 36218	F(33, 349) = 8,79 Prob > F = 0,0000 R-squared = 0,4540 Adj R-squared = 0,4023 Root MSE = 36374

Nombre d'observations = 383 ; *** Significatif à 1 %, ** Significatif à 5 %, * Significatif à 10 %

3-2-1. Variables liées aux paramètres climatiques

Les résultats montrent que le coefficient de la variable température pendant la saison humide a une influence négative et significative au seuil 1 % au niveau du modèle 4 et au seuil de 5 % au niveau des modèles 3, 5 et 6. Le coefficient de la forme quadratique de cette variable a un effet positif au seuil de 10 %. Par ailleurs, le coefficient de la forme quadratique de cette variable a un effet positif et significatif au seuil de 1 % au niveau du modèle 4 et au seuil de 5 % au niveau des modèles 3, 5 et 6. De manière pratique, la température pendant la saison pluvieuse a un impact négatif sur le revenu du producteur. Des relations similaires entre la température pendant la saison pluvieuse et le revenu agricole ont été trouvées dans d'autres études [45, 46]. Le coefficient de la variable précipitation pendant la saison humide a un effet positif et significatif au seuil de

5 % au niveau du modèle 3, au seuil de 1 % au niveau du modèle 4 et au seuil de 10 % au niveau du modèle 5. Le terme quadratique de cette variable a un effet négatif et significatif au même seuil de significativité que le terme simple. Ceci indique que les précipitations pendant la saison humide seraient plus propices à l'augmentation du revenu agricole mais dommageables lorsqu'elles sont excessives [47]. L'influence négative de la température pendant la saison humide traduit l'impact négatif de l'augmentation de la température sur le cycle végétatif des cultures avec pour corollaire une forte évaporation et une faible disponibilité de l'eau au sol pour les cultures, ce qui affecte le rendement en fin de campagne. De plus, les plantes ont des exigences de base en matière de température pour achever une phénophase particulière ainsi que l'ensemble du cycle de vie [48]. Par ailleurs, pendant la saison sèche, le terme quadratique du coefficient de la variable précipitation a un effet négatif au seuil de 5 % sur le revenu agricole au niveau des modèles 3 et 6 puis au seuil de 1 % au niveau des modèles 4 et 5. Ces résultats montrent que la relation entre la précipitation et le revenu est non linéaire quelle que soit la saison considérée. Toutefois, la relation entre la précipitation et le revenu a une forme de U inversé pendant la saison humide et une forme U pendant la saison sèche. En revanche, l'augmentation des précipitations pendant la saison sèche ne serait pas bénéfique pour la production agricole et diminuerait le revenu agricole à travers la destruction des cultures, leur pourriture et la diminution de leur qualité. En somme, les activités agricoles sont influencées par les facteurs climatiques dont les plus importants sont la température et la pluviométrie. Cette influence se traduit dans le revenu agricole qui varie ainsi suivant l'évolution de ces facteurs [46].

3-2-2. Variables d'adaptations aux variabilités climatiques

Le coefficient de la variable adaptation générale a un impact positif et significatif sur le revenu agricole net par hectare, au niveau des modèles 2, 3 et 4. Il en résulte que les ménages qui adoptent des mesures d'adaptation générale ont, ceteris paribus, un revenu net supérieur aux ménages qui n'adoptent pas cette mesure. Les stratégies d'adaptation aux changements climatiques ont un impact positif sur le revenu agricole des producteurs [45]. Au Burkina Faso, face aux effets néfastes des changements climatiques, les agriculteurs optimisent leurs rendements grâce à des stratégies d'adaptation comme la conservation de l'eau, l'ajustement des dates de semis, l'irrigation, l'utilisation de fosses à fumier et l'adoption de variétés adaptées, augmentant ainsi leurs revenus et intensifiant la production [29]. Toujours dans la même perspective, les agriculteurs mettent en place des systèmes d'adaptation pour résister aux effets néfastes des changements climatiques et garantir leur sécurité alimentaire [49, 50].

3-2-3. Adaptations aux changements climatiques

De manière spécifique, les coefficients des variables assolement et rotation des cultures dans les modèles 5 et 6 montrent un impact positif et significatif sur le revenu agricole net par hectare. Les ménages pratiquant l'assolement et la rotation des cultures ont, ceteris paribus, un revenu net de 67.000 FCFA/ha de plus que ceux qui ne le font pas. L'assolement et la rotation des cultures, en tant que techniques d'agriculture durable, augmentent le revenu des producteurs en boostant la productivité, ce qui génère un surplus de produits agricoles à commercialiser [51]. Au nord du Bénin, ces techniques sont reconnues comme des mesures de gestion intégrée de la fertilité des sols (GIFS) [52]. Ces pratiques permettent de maintenir la fertilité des sols sur le long terme et d'éviter leur appauvrissement rapide. Des sols riches permettent d'obtenir de meilleurs rendements et donc d'augmenter les revenus. Cette pratique permet également de limiter l'agriculture itinérante sur brûlis qui est responsable de la dégradation du couvert végétal et des puits de carbone et par conséquent l'augmentation de la concentration des Gaz à Effet de Serre (GES) dans l'environnement, principale cause des changements climatiques. Le coefficient de la variable gestion des résidus de récolte dans les modèles 5 et 6 a également un impact positif et significatif sur le revenu agricole net par hectare. Les ménages qui adoptent cette pratique ont, un revenu net de 50.000 FCFA/ha de plus que ceux qui ne la pratiquent pas.

La valorisation des résidus de récolte est une technique de gestion durable des terres (GDT) utilisée et vulgarisée par les projets de développement au Bénin [53]. En effet, les résidus de récolte (pailles, tiges, feuilles, etc.) contiennent des nutriments qui peuvent être restitués au sol s'ils sont bien gérés. Leurs effets sont comparables à ceux de l'engrais organique utilisé dans certaines exploitations de cacaoyers en Côte d'Ivoire [54]. Ils permettent d'une part de maintenir la fertilité des sols, contribuant ainsi à accroître la productivité et la rentabilité de l'exploitation agricole et d'autre part de réduire la quantité de fertilisant chimique à utiliser, minimisant donc le coût de production. De la même manière, le coefficient de la variable mise en terre des espèces régénératrices de la fertilité du sol dans les modèles 5 et 6 a un impact positif et significatif sur le revenu agricole net par hectare. Les ménages qui adoptent cette mesure ont, ceteris paribus, un revenu net de 28.000 FCFA/ha de plus que ceux qui ne le font pas. Des études ont prouvé que planter des espèces comme le mucuna, *Crotalaria juncea L.* et *Brachiaria ruziziensis* aide à rendre le sol plus fertile. Ces méthodes naturelles améliorent la production et donc les revenus des agriculteurs [55 - 57]. De plus, ces plantes aident à prévenir l'érosion du sol, préservant ainsi la qualité du sol pour les futures saisons de culture. Le coefficient de la variable intégration de l'agriculture à l'élevage dans les modèles 5 et 6 influence positivement et significativement le revenu agricole net par hectare. En effet, les ménages qui adoptent cette stratégie ont, ceteris paribus, un revenu net moyen de 36.000 FCFA/ha de plus que ceux qui ne le font pas. De nombreux éleveurs adoptent l'association agriculture-élevage comme stratégie pour faire face aux changements climatiques [58]. En effet, cette stratégie permet aux éleveurs d'utiliser le fumier et les déchets animaux pour fertiliser le sol permettant ainsi d'accroître la productivité agricole [59]. La pratique des semis précoces ou tardifs a également un effet positif et significatif sur le revenu agricole net par hectare. Les ménages qui adoptent cette stratégie d'adaptation ont, ceteris paribus, un revenu net de 49.138 FCFA/ha de plus que ceux qui ne la font pas. Cette stratégie permet aux producteurs agricoles d'avoir de la récolte quelle que soit la longueur de la saison pluvieuse. Les agriculteurs adoptent le semis précoce à tardif pour s'adapter aux variations des précipitations dues aux changements climatiques, ce qui entraîne des changements dans les calendriers de culture. Cette méthode adaptative, courante en Afrique de l'Ouest, aide les producteurs à garantir la sécurité alimentaire de leur famille [49, 60, 61]. Le coefficient de la variable diversification agricole dans les modèles 5 et 6 a un effet positif et significatif sur le revenu agricole net par hectare. Les ménages qui font la production de plusieurs cultures à la fois ont un revenu net de 33.000 FCFA/ha de plus que ceux qui ne le font pas. De même, le coefficient de la variable qui mesure la production d'une culture tolérante à la sécheresse a un effet positif et significatif sur le revenu agricole net des producteurs. Les ménages qui adoptent la variété tolérante à la sécheresse obtiennent 49.000 FCFA de plus. La diversification et le choix de production d'une culture tolérante à la sécheresse sont des stratégies utilisées pour réduire le risque des pertes de récoltes dû à la variabilité climatique. Au Kenya, les agriculteurs ont diversifié leurs productions en changeant également des variétés [62]. La polyculture est aussi pratiquée par la majorité des exploitations maraîchères car elle présente plusieurs avantages [63].

3-2-4. Inputs

L'utilisation des insecticides a une influence positive et significative sur le revenu agricole net par hectare, spécifiquement dans le modèle 3. Les ménages qui utilisent des insecticides ont un revenu net de 45.000 FCFA/ha de plus que ceux qui n'utilisent pas d'insecticides. De même, le nombre de sarclage influence positivement le revenu agricole net par hectare, spécifiquement dans le modèle 3. En effet, face aux insectes nuisibles aux cultures, l'utilisation à dose raisonnée des insecticides associée aux opérations de sarclage améliore le revenu agricole des ménages. Plusieurs études ont démontré l'effet bénéfique de l'utilisation des pesticides sur la rentabilité agricole des cultures [64, 65]. Cependant, l'utilisation non judicieuse peut engendrer des impacts négatifs sur l'environnement et la santé humaine [66].

3-2-5. Cultures produites

En considérant les modèles 4, 5 et 6, qui prennent en compte les spéculations, on constate que les cultures pratiquées déterminent le revenu net des agriculteurs. Les coefficients des variables culture de coton et de sésame ont un effet positif et significatif sur le revenu net agricole des exploitations. Cependant, le coefficient de la variable production de riz a un effet négatif et significatif sur le revenu net agricole des exploitations. En revanche, le coton et le sésame améliorent significativement le revenu net des agriculteurs. Les exploitations agricoles pratiquant ces cultures ont des revenus nets agricoles relativement supérieurs à ceux des exploitations qui ne les pratiquent pas. Ces résultats paraissent évidents, car le profit net procuré par les activités agricoles varie d'une culture à une autre. Ceci est lié à la disparité de productivité, des dépenses de production et du prix de vente qui existe entre les différentes spéculations produites. Les variations de revenus nets agricoles observées concordent avec les différences de bénéfices nets révélées par la littérature entre les diverses spéculations agricoles. Par exemple, la marge nette moyenne de la production du riz est de 159.792 FCFA/ha [67]. La production du maïs, quant à elle, procure seulement un bénéfice net moyen de 94.865 FCFA/ha aux agriculteurs [68]. Par contre, la production du sésame confère aux agriculteurs une marge nette moyenne de 257.273 FCFA/ha [69].

3-3. Sensibilité des revenus agricoles par rapport aux paramètres de variabilités climatiques

Le **Tableau 4** montre l'effet marginal de la température et de la précipitation sur le revenu agricole des producteurs. Dans le modèle avec adaptation, l'effet marginal de la température pendant la saison humide est significatif au seuil de 5 %. En effet, lorsque la température augmente de 1°C, le revenu de la production agricole augmente de 29.983 FCFA/ha pendant la saison humide. Il est important de souligner qu'aucune différence significative n'est observée au niveau de la variable qui mesure la précipitation quelle que soit la période. Cela implique que des températures plus élevées pendant la saison des pluies profitent à certaines cultures. En effet, la production de maïs a besoin d'une température élevée au moment de l'ensemencement, mais une augmentation de la température au-delà d'une certaine limite peut entraîner une perte du rendement des cultures [70]. Les effets marginaux des températures de la saison humide sont corrélés négativement avec le revenu agricole [34, 71].

Tableau 4 : Effets marginaux de la température et de la précipitation sur le revenu agricole net

	Sans adaptation	Avec adaptation
	Effet marginal (Erreur type)	Effet marginal (Erreur type)
Température saison humide #	-1789,24 (12980,38)	29983,05** (12366,86)
Précipitation saison humide #	-135,51 (113,84)	-120,55 (100,12)
Précipitation saison sèche #	-1073,17 (2078,131)	-2723,488 (1843,65)

4. Conclusion

Les changements climatiques impactent négativement les activités agricoles et les ménages agricoles en paient le prix. L'impact sur le revenu est variable et la relation entre le revenu et les facteurs climatiques sont non linéaires. L'effet des facteurs climatiques notamment la précipitation et la température est fonction des saisons. Pendant que l'augmentation de la précipitation en saison humide améliore le revenu, l'augmentation de la température le réduit. Plusieurs mesures d'adaptations sont développées par les agriculteurs et elles sont toutes bénéfiques car améliorent leur revenu contrairement à ceux qui ne les utilisent pas. Au regard des variations des températures et des précipitations dans le long terme, les

conséquences des changements climatiques seront importantes dans le secteur agricole si des actions urgentes de lutte contre leurs effets néfastes ne sont pas prises. Ainsi, les actions d'adaptation doivent être encouragées et l'impact économique des changements climatiques davantage documenté dans le secteur agricole à travers les trois zones biogéographiques du Bénin.

Références

- [1] - V. KARIMI, E. KARAMI and M. KESHAVARZ, *Journal of Integrative Agriculture*, 17 (1) (2018) 1 - 15
- [2] - L. LIPPER, P. THORNTON, B. M. CAMPBELL, T. BAEDEKER, A. BRAIMOH, M. BWALYA, P. CARON, A. CATTANEO, D. GARRITY and K. HENRY, *Nature climate change*, 4 (12) (2014) 1068 - 1072
- [3] - N. K. ARORA, *Environmental Sustainability*, 2 (2) (2019) 95 - 96
- [4] - C. T. NGUYEN and F. SCRIMGEOUR, *Agricultural Economics*, 53 (1) (2022) 37 - 51
- [5] - M. B. HOLLAND, S. Z. SHAMER, P. IMBACH, J. C. ZAMORA, C. MEDELLIN MORENO, E. J. L. HIDALGO, C. I. DONATTI, M. R. MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ and C. A. HARVEY, *Climatic Change*, 141 (1) (2017) 139 - 153
- [6] - K. SANOU, S. AMADOU, K. ADJEGAN et K. TSATSU, *Agronomie Africaine*, 30 (1) (2018) 87 - 97
- [7] - N. ANDRIEU, B. SOGOBA, R. ZOUGMORE, F. HOWLAND, O. SAMAKE, O. BONILLA-FINDJI, M. LIZARAZO, A. NOWAK, C. DEMBELE et C. CORNER-DOLLOFF, *Agricultural Systems*, 154 (2017) 13 - 24
- [8] - J-N. E. DIATTA et T. M. N. NDIAYE, *Afrique Science*, 18 (4) (2021) 69 - 78
- [9] - BENIN, Stratégie nationale pour l'e-Agriculture au Bénin 2020-2024, (2019) 57
- [10] - H. C. SOSSOU, S. A. ADEKAMBI, V. CODJO and E. M. HOUEDJOFONON, *International Journal of Biological Chemical Sciences*, 15 (3) (2021) 1191 - 1207
- [11] - P. B. I. AKPONIKPÈ, P. TOVIHOUDI, B. LOKONON, E. KPADONOU, J. AMEGNAGLO, A. C. SEGNON, R. YEGBEMEY, M. HOUNSOU, M. WABI, E. TOTIN, A. FANDOHAN-BONOU, E. DOSSA, N. AHOYO, D. LAOUROU et A. Nestor, *Climate Analytics gGmbH*, (2019) 101
- [12] - N. GERGELY, *Africa Region Working Paper Series*, 125 (2009) 45
- [13] - E. SODJINO, L. C. GLIN, G. NICOLAY, S. TOVIGNAN and J. HINVI, *Agricultural and Food Economics*, 3 (1) (2015) 1 - 22
- [14] - J. A. YESSIFOU, A. S. AFOUDA et J. A. YABI, *European Scientific Journal*, 17 (29) (2021) 298 - 327
- [15] - B. S. C. POMALEGNI, R. N. AHOYO ADJOVI, P. C. KPADE, D. S. J. C. GBEMAVO, C. M. ALLAGBE, A. ADJANOHOUN et G. A. MENSAH, Capitalisation des études et autres travaux sur les chaînes de valeur du maïs au Bénin, (2019) 420
- [16] - K. TESFAYE, P. ZAIDI, S. GBEGBELEGBE, C. BOEBER, D. B. RAHUT, F. GETANEH, K. SEETHARAM, O. ERENSTEIN and C. STIRLING, *Theoretical Applied Climatology*, 130 (2017) 959 - 970
- [17] - S. K. ABD-ELMABOD, M. MUÑOZ-ROJAS, A. JORDÁN, M. ANAYA-ROMERO, J. D. PHILLIPS, L. JONES, Z. ZHANG, P. PEREIRA, L. FLESKENS and M. VAN DER PLOEG, *Geoderma*, 374 (2020) 114453
- [18] - C. CARTER, X. CUI, D. GHANEM and P. MÉREL, *Annual Review of Resource Economics*, 10 (2018) 361 - 380
- [19] - G. O'NEIL, G. P. TOVIHOUDI, N. OLLABODE, P. I. AKPONIKPE et J. A. YABI, *Annales de l'Université de Parakou-Série Sciences Naturelles et Agronomie*, 12 (1) (2022) 1 - 14
- [20] - T. Q. TRINH, R. F. RAÑOLA JR, L. D. CAMACHO and E. SIMELTON, *Land use policy*, 70 (2018) 224 - 231
- [21] - PANA, Programme d'action national aux fins de l'adaptation aux changements climatiques du Bénin, (2008) 81
- [22] - INSAE, Cahier des villages et quartiers de ville du département de l'Atacora, (2016) 38
- [23] - MDGL, Plan de Développement Communal de Materi, (2017) 276
- [24] - R. N. YEGBEMEY, J. A. YABI, G. B. AÏHOUNTON et A. PARÁISO, *Cahiers Agricultures*, 23 (3) (2014) 177 - 187
- [25] - M. OUEDRAOGO, Y. DEMBELE et L. SOME, Science et changements planétaires, *Sécheresse*, 21 (2) (2010) 87 - 96

- [26] - P. I. AKPONIKPÈ, P. JOHNSTON and E. K. AGBOSSOU, in 2nd International conference on climate, sustainability and development in Arid Regions, Fartaleza-Ceara, Brazil, (2010)
- [27] - P. V. VISSOH, R. C. TOSSOU, H. DEDEHOUANOU, H. GUIBERT, O. C. CODJIA, S. D. VODOUHE et E. K. AGBOSSOU, *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 65 (260) (2012) 479 - 492
- [28] - H. K. NDAMBIRI, C. N. RITHO and S. G. MBOGOH, *International Journal of Food and Agricultural Economics*, 1 (1) (2013) 75 - 96
- [29] - P. KABORE, B. BARBIER, P. OUOBA, A. KIEMA, L. SOME et A. OUEDRAOGO, *la revue électronique en sciences de l'environnement*, 19 (1) (2019)
- [30] - P. DAGNELIE, *Statistique théorique et appliquée*, Ed. De Boeck, Belgique, (1998)
- [31] - R. MENDELSON, W. D. NORDHAUS and D. SHAW, *The American economic review*, 84 (4) (1994) 753 - 771
- [32] - P. KURUKULASURIYA and R. MENDELSON, *Policy Research Working Paper*, 4305 (2007)
- [33] - A. COSTER and A. J. ADEOTI, *Journal of Agricultural Science*, 7 (5) (2015) 67
- [34] - N. T. L HUONG, Y. S. BO and S. FAHAD, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18 (4) (2019) 449 - 457
- [35] - R. MENDELSON and A. DINAR, *Land economics*, 79 (3) (2003) 328 - 341
- [36] - P. ZHANG, J. ZHANG and M. CHEN, *Journal of Environmental Economics Management*, 83 (2017) 8 - 31
- [37] - M. OUEDRAOGO, *Journal of Agriculture Environment for International Development*, 106 (1) (2012) 3 - 21
- [38] - A. R. MITEU KALAMBAYI, G. SANKIANA MALANKANGA, C. KINKELA et A. BILOSO MOYENE, *Afrique Science*, 15 (1) (2019) 377 - 390
- [39] - N. K. LIBAA, *African Journal of Land Policy and Geospatial Sciences*, 2 (1) (2019) 30 - 45
- [40] - W. SOURATIE, F. KOINDA, B. DECALUWE et R. SAMANDOULOGOU, *Revue d'économie du développement*, 27 (3) (2019) 101 - 127
- [41] - F. ABOUDOU, I. LABIYI, M. FOK et J. YABI, *Agronomie Africaine*, 33 (2) (2021) 149 - 160
- [42] - B. AGALATI, H. A. EDJA, P. D. BIAOU, F. ABOUDOU et J. A. YABI, *Annales de l'Université de Parakou, Série Science Naturelle et Agronomie*, 8 (2) (2018) 125 - 135
- [43] - C. CERIANI-BAILLIF et A. DJOUAK, *Mondes en développement*, 182 (2) (2018) 115 - 130
- [44] - O. A. TUN, G. VAN HUYLENBROECK and S. SPEELMAN, *Climate*, 8 (1) (2020) 15
- [45] - E. SODJINOUE et S. K. HOUNKPONOU, *Annales de l'Université de Parakou-Série Sciences Naturelles et Agronomie*, 9 (1) (2019) 43 - 54
- [46] - A. MAHAMADOU, A. NDLKAG and H. M. NAFISSATOU, *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 39 (2) (2023) 608 - 616
- [47] - M. S. HOSSAIN, M. ARSHAD, L. QIAN, M. ZHAO, Y. MEHMOOD and H. KÄCHELE, *Ecological Economics*, 164 (2019) 106354
- [48] - S. SKENDŽIĆ, M. ZOVKO, I. P. ŽIVKOVIĆ, V. LEŠIĆ and D. LEMIĆ, *Insects*, 12 (5) (2021) 440
- [49] - J. B. K. VODOUNOU et Y. ONIBON DOUBOGAN, *Cybergeo : European Journal of Geography*, (2016)
- [50] - M. ARSHAD, H. KÄCHELE, T. J. KRUPNIK, T. AMJATH-BABU, S. ARAVINDAKSHAN, A. ABBAS, Y. MEHMOOD and K. MÜLLER, *International Journal of Sustainable Development, World Ecology*, 24 (6) (2017) 532 - 544
- [51] - P. D. NANA, N. ANDRIEU, I. ZERBO, Y. OUEDRAOGO et P.-Y. LE GAL, *Cahiers Agricultures*, 24 (2) (2015) 113 - 122
- [52] - S. A. ADEKAMBI, J. E. A. CODJOVI et J. A. YABI, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15 (2) (2021) 664 - 678
- [53] - S. C.-G. ASSOGBA, É. AKPINFA, G. GOUWAKINNOU, L. STIEM, F. AMADJI, P. M. ALLABI, R. AKPO, R. CANTY, B. AMADJI et C. MENESTIN, *Institute for Advanced Sustainability Studies*, (2017) 32
- [54] - K. J. A. MANHOUNOU, K. ZOUMANA, K. K. HYPOLITH, F. INZA et B. SIDIKY, *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 41 (3) (2024) 876 - 885

- [55] - P. H.TAÏDA, Agroécologie et gestion durable des sols en Afrique soudano-sahélienne, *Ed. L'Harmattan*, Cameroun, (2016)
- [56] - T. P. HINIMBIO, "Réhabilitation de la fertilité des sols par usage des bioressources (*Crotalaria juncea* L. et *Brachiaria ruziziensis* G. &E.) en zone cotonnière de l'Extrême-Nord, Cameroun", Thèse unique, Université de Maroua, Cameroun, (2019) 239 p.
- [57] - K. E. ABOTSI, G. ARTHAUD, E. BALEMBOIS, J.-M. BROU, L. C. VAULTIER, M. DAUBREY, Y. FARE, B. MATHOREL, C. NAVARETTE et M. DEL PILAR RUIZ, *Biodivers Conserv*, 15 (2022) 4097 - 4117
- [58] - Y. IDRISOU, O. OFFOUMON, H. WOROGO, A. ASSANI et I. ALKOIRET, *Livestock Research for Rural Development*, 32 (2020) 12
- [59] - P. ZAMUKULU, R. AYAGIRWE, A. NDEKO, E. BAGULA, J. MONDO, D. GANZA, D. K. MUSALE et G. N. MUSHAGALUSA, *Journal of Animal & Plant Sciences*, 41 (3) (2019) 7000 - 7014
- [60] - B. M. BIENFAIT, K. L. ANTOINE, B. B. J. PIERRE, M. M. THEODORE et B. L. Louis, *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 25 (2) (2019) 605
- [61] - G. NOUATIN, I. MOUNMOUNI, M. N. BACO, H. EDJA et J. DEDJAN, *CERES*, (2017) 178 - 199
- [62] - K. ASAYEHEGN GEBREEYESUS, L. TEMPLE, B. SANCHEZ and A. IGLESIAS, *Cahiers Agricultures*, 26 (2) (2017) 1 - 11
- [63] - S. S. NDJADI, R. K. VUMILIA, L. E. AHOTON, A. SAIDOU, B. D. OROU, Y. MUGUMAARHAHAMA, L. M. KAZAMWALI and G. N. MUSHAGALUSA, *Journal of Agricultural Science*, 12 (6) (2020) 136
- [64] - W. ALLOGNI, O. COULIBALY, G. BIAOU, G. MENSAH et M. SÆTHRE, *publications-chercheurs.inrab.bj*, (2015) 40 - 57
- [65] - A. M. NSUANDA, J. L. L. BONANE, T. Z. BAKELANA, K. N. MATONDO, G. M. NSUANDA, A. M. NKANZA et J. B. KALEMBA, *Afrique Science*, 14 (6) (2018) 126 - 137
- [66] - A. CHAIGNON, N. MUNIER-JOLAIN et M. LECHENET, *L'Humanité*, 2 (2017)
- [67] - K. ISSIAKA, T. CLARISSE et J. A. YABI, *Annales de l'Université de Parakou-Série Sciences Naturelles et Agronomie*, 9 (1) (2019) 123 - 132
- [68] - P. G. TOVIHOUDI, S. ADJIBA, N. OLLABODE, G. AIHOUNTON, P. IRENIKATCHE et J. YABI, *Agronomie Africaine*, 33 (3) (2021) 383 - 395
- [69] - R. N. YEGBEMEY, A. GBETO, D. M. DOHOU et A. J. YABI, *Annales de l'Université de Parakou-Série Sciences Naturelles et Agronomie*, 13 (1) (2023) 77 - 84
- [70] - M. KONTE et T. SOUMAORO, *Annale des Sciences Economiques et de Gestion*, 21 (2) (2022) 26
- [71] - T. OJO et L. BAIYEGUNHI, *Journal of Cleaner Production*, 310 (2021) 127373