

**JOURNAL OF APPLIED ECONOMICS AND
MANAGEMENT OF ORGANIZATIONS
(JAEMO)**

***REVUE D'ECONOMIE APPLIQUÉE ET DE
GESTION DES ORGANISATIONS
(REAGO)***



Vol. 2 – N° 2 – june / juin 2026

Email : jaemoeditor@gmail.com

Online : www.lread.ml

ESJI Eurasian
Scientific
Journal
Index
www.ESJIndex.org
<http://esjindex.org/search.php?id=7919>

**Open Access
Journal**

ASCI
Asian Science Citation Index

<https://www.ascidatabase.com/masterjournalist.php?v=17501>

EDITORIAL LINE

Journal of Applied Economics and Management of Organizations (JAEMO) publishes scientific manuscripts in the field of economics and management sciences as well as in very close fields. Nowadays, economics and management sciences have progressed a lot to the point that they have made alliances with neighboring sciences. This journal aims to promote very specialized, original and innovative scientific research.

Currently, the journal publishes in two languages: French and English. The JAEMO journal is biannual (one issue in June and the second in December). The articles to be published by the journal must deal with a very clear problem in the fields as defined above, present the conceptual framework, the well-provided methodology, the quality data with rigorous treatment and the results that can contribute to scientific research and applied policies.

Theoretical articles are also welcome as long as they indicate the modeled stylized facts and the intuitions on advanced theories. These types of manuscripts must demonstrate advanced conceptualization and use rigorous methodological tools to pave the way for future empirical verifications. In any case, the journal remains very demanding on scientific rigor.

PUBLICATION AND FORMAT

The journal is published in electronic and paper versions under the ISSN 1987-1694 twice a year. The online version is available in PDF format in the form of the complete volume or offprints. The edited version is in A4 format.

LIGNE EDITORIALE DE LA REVUE

Journal of Applied Economics and Management of Organizations (JAEMO) publie les manuscrits scientifiques dans le domaine des sciences économiques et de gestion ainsi que dans les domaines très proches. De nos jours, les sciences économiques et de gestion ont beaucoup progressé au point qu'elles ont fait des alliances avec les sciences voisines. Cette revue se veut faire la promotion de la recherche scientifique très pointue, originale et innovante.

Actuellement, la revue publie dans deux langues qui sont le français et l'anglais. La revue JAEMO est semestrielle (un numéro le mois de juin et le second en décembre). Les articles à publier par la revue doivent porter sur une problématique très claire dans les domaines tels que définis ci-dessus, présenter le cadre conceptuel, la méthodologie bien fournie, les données de qualité avec un traitement rigoureux et les résultats pouvant contribuer à la recherche scientifique et aux politiques appliquées.

Les articles théoriques sont aussi les bienvenus pour autant qu'ils indiquent les faits stylisés modélisés et les intuitions sur des théories avancées. Ces types de manuscrits doivent faire preuve d'une conceptualisation avancée et user d'outils méthodologiques rigoureux pour ouvrir la voie à des vérifications empiriques futures. En tout état de cause, la revue reste très exigeante sur la rigueur scientifique.

PARUTION ET FORMAT

La revue paraît en version électronique et en version papier sous l'ISSN 1987-1694 deux fois par an. La version en ligne est disponible en format PDF sous forme du volume complet ou des tirés à part. La version éditée est en format A4.

SCIENTIFIC COUNCIL ECONOMIC SCIENCES

CONSEIL SCIENTIFIQUE SCIENCES ECONOMIQUES

Pr Ahmadou Aly MBAYE, Université Cheikh Anta Diop ; Pr Birahim Bouna NIANG, Université Cheikh Anta Diop ; Pr Maman Nafiou MALAM MAMAN, Université Abdou Moumouni de Niamey ; Pr Jean-Jacques EKOMIE, Université Omar Bongo ; Pr Adama DIAW, Université Gaston Berger de Saint Louis ; Pr Gilbert Marie Aké N'GBO Université Félix Houphouët Boigny ; Pr Kimséyinga SAVADOGO, Université Thomas SANKARA ; Pr Pam ZAHONOGO, Université Thomas SANKARA ; Pr Noel THIOMBIANO, Université Thomas SANKARA ; Pr Omer COMBARY, Université Thomas SANKARA ; Pr Youssoufou HAMADOU DAOUDA, Université Djibo HAMANI ; Pr Denis ACCLASATO, Université d'Abomey Calavi ; Pr Charlemagne IGUE, Université d'Abomey Calavi ; Pr Akoété AGBODJI, Université de Lomé ; Pr AKLESSO Egbendewe-Mondzozo, Université de Lomé ; Pr Akilou AMADOU, Université de Lomé ; Pr Chérif Sidy KANE, Université Cheikh Anta Diop ; Pr Ousmane Papa KANTE, Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako.

ECONOMIC SCIENCES READING COMMITTEE

COMITE DE LECTURE SCIENCES ECONOMIQUES

Pr Birahim Bouna NIANG, Université Cheikh Anta Diop ; Pr Pam ZAHONOGO, Université Thomas SANKARA ; Pr Noel THIOMBIANO, Université Thomas SANKARA ; Pr Omer COMBARY, Université Thomas SANKARA ; Pr Maman Nafiou MALAM MAMAN, Université Abdou Moumouni de Niamey ; Pr Youssoufou HAMADOU DAOUDA, Université Djibo HAMANI de Tahoua ; Pr Denis ACCLASATO, Université d'Abomey Calavi ; Pr Charlemagne IGUE, Université d'Abomey Calavi ; Pr Akoété AGBODJI, Université de Lomé ; Pr AKLESSO Egbendewe-Mondzozo, Université de Lomé ; Pr Akilou AMADOU, Université de Lomé ; Pr Chérif Sidy KANE, Université Cheikh Anta Diop ; Pr PILO Mikémina, Togo, Université de KARA ; Pr Ndiack FALL, Université Cheikh Anta Diop ; Pr MOHAMED BELLO Ibrahim, Université Djibo HAMANI ; Pr LOKONON Kounagbè Odilon Boris, Université de Parakou ; Pr ZOUNGRANA Tibi Didier, Université Thomas SANKARA.

SCIENTIFIC COUNCIL MANAGEMENT SCIENCES

CONSEIL SCIENTIFIQUE SCIENCES DE GESTION

Pr Tidjani Bassirou, Université Cheikh Anta Diop de Dakar ; Pr Augustin Anassé Adja Anassé, Université de Bouaké ; Pr Nadédjo Bigou-Lare, Université de Lomé ; Pr El Bachir Wade, Université Cheikh Anta Diop de Dakar ; Pr Serge Francis Simen Nana, Université Cheikh Anta Diop de Dakar ; Pr Zakari Yaou KAKA, Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako ; Pr Bertrand Sogbossi Bocco, Université de Parakou ; Pr Jean Paul Mamboudou, Université Omar Bongo de Libreville ; Pr Emmanuel Hounkou, Université d'Abomey-Calavi ; Pr Judith B. Glidja, Université d'Abomey-Calavi ; Pr Rosaline Worou H., Université d'Abomey-Calavi ; Pr Karima Sylla Doucouré, Université d'Abomey-Calavi ; Pr Yao Messah Kounetsron, Université de Lomé ; Pr Mamadou Toe, Université Thomas Sankara de Ouagadougou ; Pr Jean-Max Kono Abe, Université de Yaoundé II ; Pr Adama Tahirou Younoussi Meda, Université Djibo Hamani de Tahoua ; Pr Birahim Gueye, Université Gaston Berger de Saint Louis ; Pr Seydou Sané, Université Gaston Berger de Saint Louis ; Pr Balibié Serge Auguste Bayala, Université Ouaga II ; Pr Boubacar Baïdari, Université Abdou Moumouni de Niamey ; Pr Désirée Altante Biboum, Université de Douala ; Pr Raphaël Nkaleu, ESSEC de Douala ; Pr Fatou Diop Sall, Université Gaston Berger de Saint Louis ; Pr Jean-Claude Kouladoun Ousseuknadji, Université de N'Djamena, Tchad.

MANAGEMENT SCIENCES READING COMMITTEE

COMITE DE LECTURE SCIENCES DE GESTION

Pr Serge Francis Simen Nana, Université Cheikh Anta Diop de Dakar ; Pr Yaou Zakari Kaka, Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako ; Pr Boubacar Baidari, Université Abdou Moumouni de Niamey ; Pr Balibié Serge Auguste Bayala, Université Ouaga II ; Pr Désirée Altante Biboum, Université de Douala ; Pr Judith Glidja, Université d'Abomey-Calavi ; Pr Karima Sylla Doucouré, Université d'Abomey-Calavi ; Pr Birahim Gueye, Université Gaston Berger Saint Louis ; Pr Yao Messah Kounetsron, Université de Lomé ; Pr Raphaël Nkaleu, ESSEC de Douala – Tsotso Kouévi, Université de Lomé ; Pr Djaoudath Alidou, Université de Parakou ; Pr Tanko A. Tankpé, Université de Kara ; Pr Fatou Diop Sall, Université Gaston Berger de Saint Louis ; Pr Augustin Anassé Adja Anassé, Université de Bouaké ; Pr Nadédjo Bigou-Lare, Université de Lomé ; Pr El Bachir Wade, Université Cheikh Anta Diop de Dakar ; Pr Houdou Attikou Diallo, Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako ; Pr Amara Nimaga, Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako ; Pr Boubacar Kamissoko, Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako.

PUBLICATION DIRECTOR / DIRECTEUR DE PUBLICATION

M. Issoufou SOUMAILA MOULEYE, Maître de Conférences Agrégé

EDITORIAL TEAM / EQUIPE DE REDACTION

Dr Amadou BAMBA, Dr Boubacar KAMISSOKO, Dr Abdoulaye MAÏGA, Dr Abdoulaye Soumaïla MOULAYE, Dr Yaya SIDIBE, Dr Souaïbou Samba Lamine TRAORE, Dr Abdoulaye N'Tigui KONARE, Dr Aminata S. Coulibaly, Dr Khalid DEMBELE, Dr Kadia CISSE, Dr Bakary BERTHE, Dr Bakary KONE, Dr Sidiki KOUMA.

TECHNICAL TEAM AND SECRETARIAT

EQUIPE TECHNIQUE ET SECRETARIAT

Djimé Silamakan DIAWARA

Ibrahim Ahmadou TOURE

Fousseyni BAGAYOGO

© *Journal of Applied Economics and Management of Organizations*

SUMMARY / SOMMAIRE

Titres et Auteurs / Titles and Authors	Pages
Supportisme et logiques actantielles dans le « sponsoring de saison » du football au Cameroun <i>Supporters' culture and Actantial Logic in "Season Sponsorship" in Cameroonian Football</i> Léopold NGODJI TCHEUTOU	1-17
Adaptation de l'agriculture vivrière (riz, mil, sorgho et maïs) face aux effets de la variation du climat au Mali <i>Adaptation of subsistence agriculture (rice, millet, sorghum, and maize) to the effects of climate variability in Mali</i> Mahamadou Bassirou TANGARA - Kadia CISSE - Barazi Tagalifi MAIGA	18-34
L'approche de la RSE pour l'exploitation aurifère durable au bénéfice du développement local : Cas du Mali <i>CRS approach for sustainable gold mining in favor of local development: Case of Mali</i> Amadou DOLO - Boubacar SY - Boureima CISSE et Balla CAMARA	35-57
Effets du Travail Non Rémunéré sur la Sécurité Alimentaire au Mali <i>Effects of Unpaid Work on Food Security in Mali</i> Fousseny DIALLO- Tiémoko SOUMAORO - Yacouba SANGARE - Aly Badara SAMASSEKOU	58-71
Influence des pratiques de développement des ressources humaines sur la performance sociale des PME de la Commune Urbaine de Labé en Moyenne Guinée <i>The Impact of Human Resource Development Practices on the Social Performance of SMEs in the Urban Municipality of Labé, Central Guinea</i> Dr Siaka FAROKO - Dr Mamadou Malal BALDE - Dr Abdoulaye KEITA - Dr Mohamed Sékou SIMPARA	72-91
Management de la supply chain et performance logistique dans le secteur de télécommunications au Mali : le cas d'Orange Mali <i>Supply chain management and logistics performance in the telecommunications sector in Mali: The case of Orange Mali</i> Zakari Yaou KAKA - Daouda DIARRA - Boubacar KAMISSOKO	92-107

Gestion des ressources humaines et incitation des femmes bénéficiaires dans les activités génératrices de revenus cas du projet de savonnerie de Dogoni <i>Human resource management and incentives for women beneficiaries in income generating activities: the case of the Dogoni soap-making project</i> Bourama DEMBELE - Sory DOLO - Kalifa DIARRA - Amadou A MAIGA	108-121
Mobilité géographique au Mali : contrainte institutionnelle et opportunité de développement des compétences professionnelles <i>Geographical mobility in Mali: institutional constraint and opportunity for professional skills development</i> Bourama DEMBELE - Kalifa DIARRA - Amadou DOLO - Jacob COULIBALY	122-134
Apport de la gestion prévisionnelle des emplois et des compétences dans les relations sociales dans le secteur bancaire au Mali : cas de la Coris Bank International <i>Contribution of forward planning of jobs and skills to the social relations in banking sector: case of Coris Bank International Mali</i> Dr Bocar Issiaka YALCOUE et Pr Zakari Yaou KAKA	135-146
Effet de l'éducation sur la gestion des risques des producteurs de riz dans la zone de l'Office du Niger au Mali <i>Effect of Education on the Perception and Management of Farms among rice Producers in the Office du Niger zone in Mali.</i> Moussa DOUGNON - Boubacar SY- Abdoul Karim DIAMOUTENE	147-160
Dysfonctionnements dans le processus de recrutement des agents de santé et leurs impacts sur la performance des ressources humaines : cas du centre de santé de référence de Sikasso (Mali) <i>Dysfunctions in the recruitment process of healthcare workers and their effects on human resource performance: a case study of the Sikasso district referral health center (CSRéf), Mali.</i> Zakari Yaou KAKA - Mohamed SANOGO - Sory SAMASSEKOU	161-179
Rôle de la digitalisation dans la performance financière des cabinets d'expertise comptable au Mali : cas de la Société d'expertise comptable Diarra <i>The role of digitalization in the financial performance of accounting firms in Mali: the case of Société d'expertise comptable Diarra</i> Oumar SY - Hamane ADIAWIAKOYE - Sory SAMASSEKOU - Boubacar KAMISSOKO	180-201

Les mutations entrepreneuriales du secteur public malien face aux programmes d'ajustement structurels : de l'indépendance à la souveraineté économique (1960-2026) <i>Entrepreneurial Mutations of Mali's Public Sector under Structural Adjustment Programs: From Independence to Economic Sovereignty (1960-2026)</i> Dr Mahamane Chirfi ASCOFARÉ	202-218
---	-----------------------



Adaptation de l'agriculture vivrière (riz, mil, sorgho et maïs) face aux effets de la variation du climat au Mali

Adaptation of subsistence agriculture (rice, millet, sorghum, and maize) to the effects of climate variability in Mali

Mahamadou Bassirou TANGARA¹, Kadia CISSE², Barazi Tagalifi MAIGA³

1 - Enseignant -Chercheur Economiste du développement, Université des Sciences Sociales et Gestion de Bamako (USSGB), Mali ; Email : mb.t75@mesrs.ml ; mbtangara@gmail.com ;

2- Enseignante-Chercheure Economiste du développement, Université des Sciences Sociales et Gestion de Bamako (USSGB), Mali ; Email : kadiacisse009@gmail.com

3- Chercheur Agroéconomiste, Association pour la lutte contre l'Insécurité Alimentaire et la Résilience aux changements Climatiques, Mali ; Email : mbarazitagalifi@yahoo.fr

Résumé

Le présent papier analyse les effets des variables climatiques, notamment la pluviométrie et la température, sur le revenu net agricole des productions vivrières au Mali, et de déterminer les stratégies d'adaptation. A partir de l'approche ricardienne révisée, les résultats indiquent que, dans les zones agricoles aménagées, les précipitations durant la saison sèche ont un effet positif et significatif sur le revenu agricole des cultures vivrières. Les sols argileux, les semences améliorées, les engrais organiques, la subvention des intrants, l'élevage, exercent un effet positif et significatif.

Mots clés : Agriculture vivrière, adaptation, revenu agricole, modèle ricardien révisé, Mali.

Abstract

This paper analyses the effects of climatic variables, particularly rainfall and temperature, on net agricultural income from food crops in Mali, and identifies adaptation strategies. Using the revised Ricardian approach, the results indicate that, in developed agricultural areas, rainfall during the dry season has a positive and significant effect on agricultural income from food crops. Clay soils, improved seeds, organic fertiliser, input subsidies and livestock farming have a positive and significant effect.

Key words: Subsistence farming, adaptation, agricultural income, revised Ricardian model, Mali.

1. Introduction

Les débats autour du réchauffement planétaire deviennent de plus en plus préoccupants. Selon, le dernier rapport du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC 2023), les émissions gaz à effet de serre liées aux activités humaines provoquent le réchauffement environ 1,1 °C en moyenne la planète par rapport à l'ère préindustrielle. Ses impacts varient selon les régions et leur vulnérabilité (GIEC, 2023) affectant, notamment sur les migrations et l'agriculture surtout des zones arides comme le sahel (Jan and Gabrielle 2021; Wiggins et al. 2023). Face à ces risques, une transition rurale s'impose. Elle passe par des stratégies d'adaptation dont la "Green Transition" (Wiggins et al. 2023). En effet, la dégradation des sols

et la baisse des précipitations favorisent la désertification du Sahel, particulièrement dans les années 60 et 80. Cette situation, marquée par de sécheresses récurrentes a transformé chaque année plus de 20 millions d'hectares de terres fertiles en terre stériles. En outre, plusieurs études soulignent la détérioration des conditions de vie et de travail de la population dans ces régions (Ncube et al., 2016 ; Dardel et al., 2014 ; Niang et al., 2014 ; Mortimore et al., 2009 ; Sultan et Janicot, 2003).

Au Mali, l'économie est largement dominée par le secteur agricole. Il emploie 75 % de la population active et contribue entre 33% et 38% du Produit Intérieur Brut (PIB), selon les années (UNU-INRA 2014). Dans l'annuaire statistique de la Cellule de Planification et de Statistique du secteur du développement rural (CPS/SDR) de 2022, on peut noter une baisse de la production céréalière de 0,3% pour le mil ; 10% pour le riz et augmentation légère de 4% du sorgho et 0,1% du riz des cinq dernières années (2017-2022). On peut également constater une diminution de la production totale de 8 819 248 tonnes en 2022 de céréales comparativement aux objectifs Plan de campagne prévu (10 500 526).

Par ailleurs, des études autour des changements climatiques au Mali montrent que le pays est durement touché par les effets des changements climatiques (Traore et al. 2017a ; Generoso 2015a ; Traore et al., 2013 ; Paturel et al. 2010 ; Butt et al. 2005 ; Ardoin et al. 2003). Il s'agit principalement de la sécheresse d'inondations, de vents forts (vents violents), de fortes variations de températures. Au vu de ces constats, plusieurs politiques et stratégies ont été adoptées au Mali. Notamment, le Programme d'Action Nationale d'Adaptation (PANA) aux effets néfastes des Changements Climatiques en 2007 ; la Politique Nationale sur les Changements Climatiques (PNCC), qui a abouti à l'élaboration d'une Stratégie Nationale des changements climatiques (SNCC) en 2011 et la promotion de la recherche dans le domaine. Malgré ces efforts, les aléas climatiques peuvent aujourd'hui encore être source de disette pour les ménages ruraux et ainsi accroître leur vulnérabilité au Mali. Or, la plupart de ces ménages tirent leur revenu de l'agriculture. De ce fait, l'effet des changements climatiques pose d'énormes défis aux ménages ruraux (Ncube et al. 2016; Cabral 2012).

Compte tenu de l'importance du secteur agricole dans l'économie malienne et la persistance du phénomène au Mali, il devient nécessaire de connaître les effets qu'engendrent la variation de la pluviométrie et de la température sur les cultures vivrières d'une part. D'autre part, d'analyser les stratégies d'adaptation adoptées par les ménages ruraux et leurs effets sur le revenu agricole. Il est à noter que la présente étude s'effectue dans les régions de Kayes, Koulikoro, Sikasso, Ségou et Mopti. Le Choix de ces régions découle de leurs caractéristiques en termes de production vivrières d'une part et d'autre part de par leur position géographique.

Suite aux différents constats ci-dessus et les enjeux environnementaux, l'objectif de la présente étude est de déterminer : (i) les effets de la variation de la pluviométrie et de la température sur le revenu net agricole de la production vivrière au Mali ; (ii) les effets des stratégies d'adaptation sur le revenu net agricole de la production vivrière au Mali.

Contrairement à la plupart des études empiriques antérieures qui s'appuient sur des données agrégées ou d'enquêtes pour une étude spécifique à une zone spécifique avec une seule culture, l'apport majeur de cette étude est qu'elle utilise une enquête représentative au niveau national et conçue dans l'optique de recueillir toutes les données sur l'agriculture, des populations rurales ainsi que sur leurs revenus. Un autre apport majeur provient de la méthodologie utilisée qui est celle du modèle ricardien révisé qui consiste à analyser l'effet des modifications climatiques sur la rente foncière.

La suite de cet article s'articule autour de quatre sections principales. La première section présente les évidences empiriques sur les effets des changements climatiques sur le revenu agricole, en s'appuyant sur une revue de la littérature existante. La deuxième détaille la méthodologie adoptée, notamment les données utilisées et le modèle économétrique retenu pour l'analyse. Les résultats obtenus sont ensuite exposés et discutés dans la troisième section, avec un focus sur leurs implications pratiques et politiques. Enfin, la quatrième section porte sur la conclusion qui synthétise les principaux enseignements de l'étude et propose des pistes de réflexion pour l'adaptation du secteur agricole face aux changements climatiques.

2. Effets des changements climatiques sur le rendement agricole et le revenu agricole : évidences empiriques

L'adaptation est un changement de procédures, de pratiques et de structures visant à limiter ou effacer les dommages potentiels, ou à tirer bénéfice des opportunités créées par la variabilité et les changements climatiques (Dimon 2008). Pour atténuer, les impacts des changements climatiques sur l'agriculture, l'adaptation de l'agriculture est souvent préconisée (Abdul-jalil et al. 2023). Cette adaptation se résume à un ensemble de réajustements opérés ou auto-opérés à l'intérieur des systèmes naturels et humains, en réponse curative ou préventive aux stimuli climatiques actuels et futurs ou leurs effets en vue d'atténuer leur nuisance ou d'en tirer opportunément profit (Ogouwalé 2006).

Plusieurs méthodes sont utilisées pour évaluer les effets des changements climatiques sur le revenu net agricole, pouvant être regroupées en deux grandes approches (Ouédrago et al., 2006) : (i) l'approche structuraliste ou de fonction de production et (ii) l'approche ricardienne. Chacune de ces approches disposent des avantages et des limites en termes d'analyse sur le climat. Selon Mendelsohn et al.(2007), la limite de l'une est souvent considérée comme l'avantage de l'autre. L'approche de fonction de production utilise les modèles interdisciplinaires pour capter la réponse agronomique des cultures et à travers les effets estimés, simulés les changements dans la production. L'avantage de son utilisation réside dans sa capacité à offrir des informations détaillées sur les réponses physiques, biologiques et économiques des cultures, ainsi que les ajustements possibles. Elle dispose également des limites, par exemple, elle ne permet pas d'intégrer les mesures d'adaptation (Schimmelpfennig et al. 1996).

Concernant l'approche ricardienne, basée sur des relations statistiques entre les variables climatiques et les indicateurs socio-économiques, a comme avantage d'intégrer de façon implicite, des mesures d'adaptation aux conditions climatiques locales. Cette mesure de l'adaptation dispose deux approches qui s'opposent. La première est d'ordre micro-économique, repose sur l'hypothèse de la rationalité des acteurs. Elle est basée sur le fait que le fonctionnement d'ensemble du système économique découle des comportements individuels. Dans ce sens, elle est considérée comme une démarche déductive, à l'inverse de la démarche macro-économique, qui analyse les phénomènes économiques par le haut et s'intéresse, par exemple, à l'investissement général, ou au revenu global des ménages agricoles (Dedehouanou et al. 2011). Pour garantir la validité des mesures d'adaptation, Ostrom (2009) suggère de considérer plusieurs échelles et niveaux d'analyse en partant de la perspective rationnelle de l'exploitation agricole pour embrasser son capital social aux niveaux local, régional et national.

Du point de vue empirique, des récentes études se sont préoccupées surtout de l'effet des variables climatiques sur les rendements et à l'adaptation de l'agriculture face aux changements climatiques et des défis climatiques pour l'agriculture au Sahel, etc. De ces études, un consensus semble se dégager par rapport aux effets négatifs des changements climatiques sur le rendement

agricole (Benhim 2006; Casse et al. 2016 ; Bello et Maman, 2015 ; Ouédraogo 2012; Ouédraogo et al., 2006 ; Reilly et al. 1996; Schlenker et Roberts, 2008 ; Ouédraogo, Some, et Dembélé 2010). Cependant, d'autres études ont pu mettre en évidence des effets positifs des changements climatiques (Bozzola et al. 2018). Au Mali, Butt et al., (2005), ont observé que sous l'influence des changements climatiques, les rendements des cultures varient de manière notable, oscillant entre une baisse de 17 % et une hausse de 6 %.

Par ailleurs, de nombreuses recherches mettent en évidence que la production et le revenu agricole sont fortement influencés par les variations de températures et de précipitations (Bozzola et al. 2018 ; Fonta et al. 2018 ; Wood et Mendelsohn 2015 ; Kurukulasuriya et Mendelsohn, 2008 ; Butt et al., 2005). De façon similaire, les effets négatifs à moyen et long terme de la variation climatique sur l'agriculture ont été mis en lumière dans d'autres contextes géographiques. Ainsi, Bosello et al., (2013) ont montré que les variations climatiques persistent comme un défi majeur pour la productivité agricole au Niger. Maiga et Sidibé (2023), dans leurs travaux sur le sud du Mali, soulignent les impacts adverses des changements climatiques sur la production agricole. Des résultats analogues ont été rapportés par Adjovi et al. (2018) et Yai et al. (2014) dans le sud du Bénin. Au-delà de la production agricole (rendement agricole), plusieurs études se sont intéressées à la relation entre les variables climatiques et les revenus agricoles (Bozzola et al. 2018 ; Fonta et al. 2018 ; Kurukulasuriya et Mendelsohn, 2007 ; Wood and Mendelsohn 2015). Les études montrent que le changement de conditions climatiques est associé à une baisse des revenus nets de l'agriculture particulièrement en Afrique Subsaharienne.

Ces analyses empiriques permettent de confirmer que les changements climatiques engendrent une instabilité significative au sein des systèmes agricoles. Cette instabilité ne se limite pas à la seule production, mais affecte également les dynamiques socio-économiques des communautés rurales. Cela soulève la nécessité d'adopter des stratégies d'adaptation aux effets des changements climatiques de la part des ménages agricoles. L'agriculture s'est toujours adaptée aux conditions climatiques à travers, par exemple, la distribution du bétail, l'irrigation dans les zones arides, des cultures thermolabiles en basses latitudes, les cultures en hautes latitudes, les systèmes de cultures de décrues, etc. (McCarl et al., 2016 ; Iwédiga et al., 2012 ; Madjigoto 2003).

En outre, Kergomard (2009) met en avant le fait que les conditions économiques et sociales des populations jouent un rôle déterminant dans la définition des stratégies d'adaptation. Par conséquent, ces stratégies ne sont ni fixes ni universelles mais évoluent dans le temps et varient selon les espaces. Ainsi, au Togo, dans la plaine de l'Oti, Iwédiga et al. (2012) montrent que l'assèchement progressif des terres et leur dégradation poussent les agriculteurs à déplacer le front agricole vers les abords des cours d'eau. Cette migration permet l'exploitation de terres humides et fertiles, qui constitue une réponse adaptative majeure face à la sécheresse dans cette région. De manière similaire, au Tchad, dans la plaine inondable de l'inter-fleuve Chari-Logone, les paysans adoptent le système de culture de décrues, tel que documenté par Madjigoto (2003). Cette pratique repose sur l'exploitation des terres laissées humides après le retrait des eaux, permettant ainsi de s'adapter aux conditions climatiques arides.

C'est dans ce contexte que nous examinons les effets des variables climatiques et les stratégies d'adaptation à la variation du climat sur les cultures vivrières au Mali. De façon spécifique, nous analysons les effets de la variation de la pluviométrie et de la température sur la production

vivrière (le maïs, le sorgho et le riz) et l'effet des stratégies d'adaptation adoptées par les exploitations agricoles concernant le revenu net des cultures vivrières.

3. Méthodologie

3.1. Modèle théorique ricardien

D'une manière générale, il existe deux approches fondamentales d'estimation des effets climatiques sur la production agricole : l'approche structurelle et l'approche spatiale analogique (Schimmelpennig et al. 1996). L'approche structurelle combine des réponses agronomiques des plantes aux décisions économiques des agriculteurs. Cependant, l'approche spatiale exploite les différences observées dans la production agricole et le climat entre les régions. Ces approches sont réputées être complémentaires.

Sur le plan empirique, plusieurs méthodes sont utilisées pour évaluer l'effet des changements climatiques sur l'agriculture (McCarl et al., 2016). Nous pouvons citer quelques modèles testés empiriquement tels que le Modèle d'Equilibre Général Calculable (MECG) utilisé par Cabral, (2012), pour étudier l'effet des aléas climatiques sur les disparités régionales de la pauvreté au Sénégal ; le modèle *International Computable Equilibrium System* « en français Système d'équilibre international compatible » (ICES) utilisé par Bosello et al. (2013) pour étudier l'adaptation de l'agriculture nigériane au changement climatique ; et un modèle ricardien révisé qui a été utilisé dans d'autres recherches (Mendelsohn et Dinar, 2003 ; Behin, 2015).

L'utilisation du modèle ricardien dans sa forme initiale pour estimer les effets des changements climatiques a été critiquée. La principale critique concernait surtout le fait que le modèle ne prenait pas en compte l'irrigation et d'autres sources d'eau dans l'analyse de l'effet des changements climatiques sur l'activité agricole (Darwin, 1999). Ainsi, un modèle ricardien révisé a été proposé par Mendelsohn et Dinar (2003) pour remédier à cette lacune. Ces auteurs ont utilisé des proxys hydrologiques pour évaluer la façon dont l'eau de surface affecte la valeur des terres agricoles et la sensibilité de l'agriculture aux changements climatiques aux États-Unis. Ce modèle ricardien révisé est utilisé par Benhim (2006) pour faire une évaluation économique de l'impact climatique sur l'agriculture sud-africaine. Dans le même registre, Martin et Vaitkeviciute (2016) ont utilisé un modèle ricardien simplifié pour mesurer l'impact économique du changement climatique sur les activités agricoles de la Côte-d'Or par la méthode des prix hédoniques.

Dans le cas de notre étude, nous mobilisons le modèle ricardien révisé (Mendelsohn et Dinar 2003 ; Ouédraogo et al., 2006). Cette approche repose sur l'analyse de l'effet des modifications climatiques sur la rente foncière. La rente foncière est supposée théoriquement être un bon proxy, en situation de concurrence pure et parfaite de la valeur ajoutée dégagée par l'activité agricole (Martin et Vaitkeviciute 2016 ; Elsa et Jaune, 2016). Dans le contexte malien, plusieurs études ont tenté d'analyser l'effet des variables climatiques sur l'agriculture (Generoso 2015a; Jankowska et al., 2012 ; Kouressy et al., 2008 ; Traore et al., 2013; 2017b ; Mouleye, 2019). D'une manière générale, ces études se sont focalisées sur les liens entre les effets des changements climatiques et l'agriculture et l'adaptation des cultures vivrières

3.2. Modèle empirique ricardien

Le modèle ricardien est une approche qui tente de mesurer directement l'effet du climat sur la valeur des terres et le rendement agricole en utilisant des données en coupe transversale. Dans ce modèle l'hypothèse de base est que les rentes foncières reflèteraient la productivité nette des

terres agricoles. En conséquence, la valeur agricole (V) reflète la valeur actualisée de la productivité nette future (Mendelsohn et Dinar, 2003). Le principe est résumé par l'équation suivante :

$$V = \int PLE e^{-\delta t} dt$$

$$= \int [\sum_i^n P_i Q_i (X, F, Z, G) - \sum_i^n R_i X] e^{-\delta t} dt \quad \text{où } i = 1, 2, \dots, n \text{ cultures} \quad (1)$$

Et

PLE = 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 de facteurs édaphiques ;
 G = ensemble de variables socio-économiques ;
 X = vecteur d'intrants achetés (autre que la terre) ;
 R = vecteur de prix des intrants ;
 t = temps ;
 δ = taux de remise.

Le modèle est basé sur une hypothèse de base selon laquelle les ménages maximisent le rendement de leur production par le choix d'intrant (X) en fonction des caractéristiques de leur exploitation sous la contrainte des conditions climatiques (F), des conditions des sols (Z), des caractéristiques des variables socio-économiques (G) et des prix des facteurs (R). Basé sur la réponse observée des cultures et des agriculteurs aux conditions climatiques, ce modèle examine comment l'ensemble des facteurs F, Z, et G affectent le rendement agricole. En résumé, le modèle ricardien utilise les observations actuelles des performances des exploitations agricoles selon les différentes zones climatiques (Ouédrago et al., 2006 ; Bello et Maman 2015; Mendelsohn et Seo 2007 ; Benhim, 2006 ; Schimmelpfennig et al., 1996).

L'intérêt majeur de ce modèle repose dans la mesure de l'effet des variables environnementales exogènes (F, Z, G) sur la valeur agricole par la variation des conditions environnementales. A travers la régression de la valeur agricole sur le climat, la terre et d'autres variables de contrôle, la méthode permet de mesurer comment la rentabilité agricole varie avec le climat local en contrôlant d'autres facteurs (Benhim 2006). Le modèle ricardien standard est un modèle quadratique sur le climat et se présente de la manière suivante :

$$V = \beta_0 + \beta_1 F + \beta_2 F^2 + \beta_3 Z + \beta_4 G + \mu \quad (2)$$

où μ est le terme d'erreur. F et F² capturent les termes linéaires et quadratiques pour les températures et les précipitations ; Z représente un vecteur de conditions liées au sol et G un ensemble de variables socio-économiques. L'induction des termes quadratiques pour les variables climatiques permet d'analyser la non-linéarité de la relation entre le rendement agricole et le climat. La forme de la fonction dépend du signe du terme linéaire et du terme quadratique de l'équation. Lorsque le terme linéaire est négatif et que le terme quadratique est positif, la fonction est en forme de U et lorsque le terme linéaire est positif et que le terme quadratique est négatif, la fonction est en forme de colline. Plusieurs formes sont possibles en fonction des signes relatifs de termes linéaires et quadratiques. Cependant, étant donné que le modèle est basé sur la recherche agronomique et l'analyse en coupes transversales, la relation entre valeur agricole et la

température doit avoir une forme en colline (Mendelsohn et Dinar 2003 ; Benhim 2006). Ceci montre que pour chaque culture, il y a une température connue à laquelle cette culture pousse le mieux durant les saisons. A cause de l'imperfection des marchés fonciers et de la faible documentation des valeurs agricoles dans des pays en développement, les recettes agricoles nettes sont utilisées à la place des valeurs foncières (Benhim 2006).

Le revenu net agricole est la somme des revenus tirés des cultures, de l'élevage et d'autres activités agricoles. Toutefois, dans l'analyse du revenu agricole, l'accent doit être mis sur les revenus nets des cultures. Une évaluation complète des impacts doit inclure les revenus provenant de l'élevage et d'autres activités agricoles (Benhim 2006). Cependant, la mesure dans laquelle chacune de ces activités agricoles répond aux variables climatiques peut être différente. Les analyses séparées sont donc importantes pour la formulation d'une politique efficace. Aussi, il existe une possibilité de substitution ou de complémentarité entre ces différentes activités agricoles (comme option d'adaptation) contre les réchauffements climatiques. Il est donc important que cela puisse ressortir dans cette analyse d'impacts.

De l'équation (2), nous dérivons l'effet marginal des variables climatiques sur le rendement agricole :

$$E \left[\frac{dV}{dF_i} \right] = E [\beta_{1,i} + 2 * \beta_{2,i} * F_i] \quad (3)$$

avec F_i une variable climatique (i) de F . Le coefficient du terme linéaire de chaque variable climatique représente son effet marginal sur le rendement des cultures.

Le changement du bien-être U qui résulte du changement du climat de C_0 à C_1 peut être mesuré par l'équation (4) :

$$\Delta U = V(C_1) - V(C_0) \quad (4)$$

Cline (1996) souligne que l'hypothèse de prix constant dans le modèle biaise les résultats en conduisant à une surestimation des effets des changements climatiques. Cependant, Mendelsohn et Dinar (2003) rassure par rapport à cet inconvénient et affirme qu'à moins que les scénarios suggèrent des conséquences catastrophiques, le fait que les prix soient maintenus constants peut ne pas être un problème majeur pour l'approche ricardienne.

3.3. Spécification du modèle de l'effet des variables climatiques sur le revenu brut

Cette étude examine l'effet des variables climatiques et les sources d'eau (eaux de surface, eaux souterraines et de l'irrigation) sur les revenus bruts. Conformément à Mendelsohn and Dinar (2003), l'eau issue des précipitations, intégrée directement au niveau des exploitations, est implicitement prise en compte dans le cadre du modèle ricardien. L'irrigation peut également modifier la relation entre les cultures et le climat (Benhim 2006). Ainsi, l'irrigation constitue une option d'adaptation importante qui aide à contrôler les effets négatifs attendus des climats plus chauds sur la production agricole et les revenus des cultures. Ces sources d'eau sont introduites dans le modèle en termes linéaires et quadratiques.

Le modèle spécifique est donné en équation (5) :

$$V = \beta_0 + \beta_1 F + \beta_2 F^2 + \beta_3 Z + \beta_4 G + \beta_5 L + \beta_6 W + \beta_7 W^2 + \mu \quad (5)$$

où W est un vecteur de variables hydrologiques qui captent les sources d'eau autres que les précipitations, telle que l'irrigation. L'introduction du bétail dans le modèle capte la possibilité de complémentarité ou de substitution entre les différentes cultures agricoles comme stratégie d'adaptation aux effets du changement climatique (Benhim 2006).

2.1. Modèles stratégiques sans et avec adaptation

En se basant sur les études empiriques de Bello and Maman (2015) ; Ouédraogo et al. (2010) et Benhim (2006) et compte tenu de la spécificité du climat et les caractéristiques de l'agriculture au Mali, nous optons pour les formes fonctionnelles suivantes :

Le modèle sans adaptation (modèle 1) inclut uniquement les variables climatiques et les caractéristiques physiques du sol (températures, précipitation, et facteurs édaphiques) :

$$V_{net,ha} = \beta_0 + \beta_1 temp_{sp} + \beta_2 temp_{ss} + \beta_3 precip_{sp} + \beta_4 precip_{ss} + \beta_5 temp_{sp}^2 + \beta_6 temp_{ss}^2 + \beta_7 precip_{sp}^2 + \beta_8 precip_{ss}^2 + \sum_{i=1}^n \alpha_i Soli + \mu \quad (6)$$

où $temp_{sp}$ et $precip_{sp}$ sont respectivement la température moyenne et la précipitation de la saison pluvieuse pendant que $temp_{ss}$ et $precip_{ss}$ sont la température moyenne et la précipitation de la saison sèche et μ le terme d'erreur.

Le modèle avec stratégies d'adaptation (modèle 2) inclut, en plus des variables climatiques, les variables liées aux stratégies d'adaptations adoptées par les exploitations et les facteurs édaphiques :

$$V_{net,ha} = \beta_0 + \beta_1 AccèsTech + \beta_2 TypLab + \beta_4 ModSem + \beta_4 TypSem + \beta_5 TypCult + \beta_6 MisJac + \beta_7 Eng + \beta_9 FumOrg + \beta_{10} ProdPhyt + \beta_{11} Bét + \sum_{i=1}^n \alpha_i Zi + \mu \quad (7)$$

où $AccèsTech$, $TypLab$, $ModSem$, $TypSem$, $TypCult$, $MisJac$, Eng , $FumOrg$, $ProdPhyt$ et $Bét$ sont respectivement accès aux services de vulgarisation, type de labour, type de semence, type de culture, mise en jachère, utilisation d'engrais chimiques, utilisation de fumure organique, utilisation de produits phytosanitaires et possession de bétail ; Z est un vecteur de facteurs édaphiques et μ le terme d'erreur.

2.2. Description des variables

Avant de préciser les variables explicatives retenues dans les modèles empiriques, nous discutons brièvement la variable dépendante de l'étude.

2.2.1 Variable dépendante

La variable dépendante (V) est le revenu net de culture par hectare cultivé, par opposition à la terre agricole. La terre agricole comprend outre la superficie cultivée, la superficie en bétail et en volaille et d'autres activités agricoles telle que la foresterie (Benhin, 2006). Dans ce contexte, le recours au revenu net de culture par hectare cultivé donne une vision plus correcte du rendement net de chaque culture et par conséquent, il devient plus facile de capter la contribution de chaque culture à la productivité globale de l'exploitation.

2.2.2 Variables explicatives

Les variables explicatives comprennent les variables climatiques (F), les facteurs édaphiques (Z), les variables socio-économiques (G), le bétail (L), les variables hydrologiques (W). Le

Tableau 1 résume les variables explicatives retenues dans les modèles spécifiés plus haut, leurs modalités de mesures et les signes attendus.

Tableau 1 : variables, mesures associées et signes attendus

Variable	Mesures	Signes attendus
Facteurs climatiques		
Température	Moyenne par saison (pluvieuse et sèche)	-
Précipitation	Précipitation par saison (pluvieuse et sèche)	-
Irrigation	Pratique de l'irrigation (1/0)	+
Intrants		
Type de Semences	Semences améliorée (1/0)	+
Fumure organique	Quantité de composte (kg)	+
Produit phytosanitaire	Quantité : herbicide, pesticides (kg)	+
Bétail	Possession de bétail (1/0)	+/-
Facteurs édaphiques		
Type de sol	Argileux, Latéritique/rouge, Sableux, autres	+/-
Relief de la parcelle	Plaine, Plateau, Pente forte, Pente faible, Autre	+/-
Erosion	A bâti un ouvrage pour lutter contre l'érosion	+
Caractéristiques socio-économiques		
Accès à la technologie	Accès aux services de vulgarisation	+
Taille de l'exploitation	Nombre d'individus en charge de l'exploitation	+
Subvention d'intrants	Accès aux subventions d'intrant (1/0)	+

Source : Auteur

En ce qui concerne, les variables climatiques nous retenons les températures et les précipitations. Nous intégrons aussi le carré de ces variables dans le but de déterminer l'effet de seuil. Pour la terre, nous avons retenus les principaux sols des zones agro-climatiques du pays, il s'agit des sols sableux, argileux, latéritiques ou rouges. Les variables socio-économiques portent essentiellement sur l'éducation du chef d'exploitation, l'âge, l'accès à la technologie, la nature du titre foncier, la taille de la famille. L'irrigation prend surtout en compte la pratique de l'irrigation avec comme source d'eau, le fleuve, le lac ou la mare, le barrage ou retenu d'eau, le puits et le forage.

L'estimation du modèle est faite en plusieurs étapes. Dans la première étape, nous intégrons les variables climatiques, ensuite les variables hydrologiques et enfin les variables édaphiques. La première étape d'estimation basée uniquement sur les variables physiques (climat, ruissèlement et terre) permet de définir un modèle sans adaptation. Dans la deuxième étape d'estimation, nous intégrons les caractéristiques des exploitations agricoles dans le premier modèle pour capter les effets des variables d'adaptations sur le revenu agricole.

2.3. Sources de données

Nous utilisons des données secondaires sur des variables climatiques, la production agricole (maïs, mil, sorgho et riz) et les variables socio-économiques. Les données sur la production agricole et les caractéristiques socio-économiques des exploitations proviennent de la base LSMS – ISA (Living Standards Measurement Study - Integrated Surveys on Agriculture) du Mali. Quant aux données sur les variables climatiques, elles sont obtenues auprès de la Direction Nationale de la Météorologie (Mali-Météo).

Tableau 2 : Statistiques descriptives des variables

Variable	Kayes n= 553	Koulikoro n=1212	Sikasso n=1422	Ségou n=1331	Mopti n=718	Total n= 5236
Pluviométrie saison pluvieuse	132,89	131,39	222,7	94,22	115,6	144,73
Pluviométrie saison sèche	1,3	2,84	10,01	7,04	12,70	7,04
Température saison pluvieuse (°C)	35,7	32,79	32,79	37,02	35,79	34,59
Température saison sèche (°C)	37,79	37,20	35,59	34,90	36,90	36,20
Irrigation (%)	0,00	0,04	0,06	0,36	1,03	1,49
Semences améliorées (1/0) (%)	1,11	2,12	6,25	3,21	1,66	14,34
Engrais chimique (1/0) (%)	0,36	4,28	16,56	5,67	2,65	29,53
Fumure organique (1/0) (%)	0,97	9,03	7,66	10,87	5,86	34,40
Produit phytosanitaire (1/0) (%)	1,36	5,19	12,17	2,20	0,99	21,91
Possession Bétail (1/0) (%)	0,97	3,67	3,72	3,51	2,20	14,08
Erosion (1/0) (%)	10,10	23,11	26,89	25,19	13,56	98,85
Type de sol						
Argileux (1/0) (%)	5,08	11,27	11,13	6,25	3,59	37,32
Latéritique /Rouge (1/0) (%)	0,53	1,01	2,81	0,86	0,48	5,69
Relief de la parcelle						
Plaine (1/0) (%)	7,96	20,24	11,02	16,58	9,76	65,57
Accès à la technologie (1/0) (%)	4,28	17,44	22,94	20,59	9,91	75,15
Taille Exploitation	13,38	13,09	15,64	13,62	12,12	13,82
Subvention d'intrants (1/0) (%)	0,17	6,28	15,72	7,30	2,54	32,01

Source : auteurs à partir des données des différentes sources de données utilisées

Notes : n = nombre d'observations.

3. Résultats et discussions

Nos résultats sont globalement significatifs selon le test de Fisher-Snedecor. Le coefficient de détermination (R^2) du modèle sans adaptation est de 0,20. L'intégration des variables d'adaptation améliore notablement la qualité de l'ajustement, avec un R^2 de 0,52. Ces résultats soutiennent l'idée selon laquelle, les stratégies d'adaptation mises en œuvre par les exploitants agricoles ont un effet positif sur leurs revenus.

De façon spécifiques les résultats contenus dans le tableau 3 ci-dessous révèlent que la précipitation en saison sèche a un effet positif sur le revenu agricole des cultures vivrières (riz, le mil, le sorgho et le maïs) statiquement significatif au seuil de 10%. Ce résultat n'est pas propre au Mali comme le montre l'étude de (Ouédraogo 2012) menée au Burkina Faso. Cependant, le contexte du Mali est assez révélateur sur les techniques de conservations des sols. En effet, au Mali, les terres agricoles sont aménagées à travers les courbes de niveau, les tranchés et les cordons pierreux qui sont des techniques de conservation des sols et bénéfiques pour les cultures vivrières pendant la saison sèche.

Les effets des sols argileux sur le revenu agricole des céréales sont positifs dans tous les modèles. Ce résultat peut être attribué aux caractéristiques spécifiques de ce type de sol au Mali, notamment sa capacité de rétention d'eau, qui est particulièrement adaptée à la culture de plusieurs types de céréales. Au Mali, les cultures vivrières telles que le riz, le mil, le sorgho et le maïs sont souvent cultivées sur des sols argileux. Ces sols présentent une bonne capacité de rétention d'eau et sont également fertiles, ce qui en fait un atout pour ces cultures. La fertilisation des sols s'inscrit également dans la politique de développement agricole et la politique de la subvention des intrants agricole du pays. Contrairement au Burkina Faso, où les effets des sols, notamment les sols Luvic Arenosols (Ql), Eutric Gleysols (Re), Solodic Planosols (Ws), Gleyic Luvisols (Lg), Ferric Luvisols (Lf), Phinthic Luvisols (Lp), Vertic Cambisols (Bv), Chromic Cambisols (Vc), Euric Cambisols (Be), Dystric Nitosols (Nd), Lithosols (I)

influencent négativement le revenu agricole (Ouédraogo 2012). Les caractéristiques générales des sols au Burkina Faso qui sont d'un faible niveau de fertilité et d'une faible capacité de rétention en eau expliquent cette situation (Somé et Dembélé, 1996).

Les semences améliorées et les engrais organiques influent positivement et significativement au seuil de 1% sur le revenu agricole des cultures vivrières. L'utilisation des fumures organiques et les semences améliorées permettent d'augmenter de la productivité agricole et par conséquent les revenus des producteurs. La subvention des intrants agricoles (semences améliorées et engrais) a un effet positif sur le revenu agricole statistiquement significatif à 1%. La subvention des intrants agricole facilite l'accès aux intrants (semence améliorée et engrais) à un prix abordable et qui s'inscrit dans la politique nationale de sécurité alimentaire et nutritionnelle au Mali.

L'élevage a un effet positif sur le revenu agricole des cultures vivrières (riz, le mil, le sorgho et le maïs) statistiquement significatif à 1%. L'intégration agriculture et l'élevage permettent d'améliorer la productivité des cultures vivrières à travers des engrais organiques par le fumier de l'élevage et le développement de la traction animale. Cette technique d'association élevage et agriculture est de plus en plus pratiquée au Mali dans une approche de diversification et de résilience aux effets du changement climatique. Mais également, elle permet aux exploitants de pouvoir facilement financer leurs besoins en fonds de roulements. Cela revêt d'une importance capitale pour le développement des activités rurales dans un contexte où les services financiers formels n'atteignent pas beaucoup de ménages ruraux à cause du coût de transactions et administratifs élevé (Banerjee et al. 2021).

En outre, nos résultats montrent que la taille de l'exploitation et le relief de la parcelle de type plaine influent négativement sur le revenu agricole des cultures vivrières. L'augmentation de la taille de l'exploitation entraîne des coûts de main d'œuvre supplémentaire qui influence négativement sur le revenu agricole. Face à cela, la mécanisation agricole constitue une stratégie efficace d'adaptation. En effet, elle permet de réduire les coûts de la main d'œuvre et par conséquent d'augmenter le revenu des producteurs. Concernant les plaines, elles sont des zones humides. La non-maitrise de l'eau et le non-aménagement des plaines affectent négativement sur la productivité agricole à travers la baisse du rendement et le revenu des exploitants. Dans ce contexte, les stratégies d'aménagements basées sur le développement de l'irrigation à petite échelle permettent de contrer les effets négatifs du changement climatique, de rendre plus rentable l'élevage et l'agriculture mais également de libérer tout le potentiel création d'emplois liés à l'irrigation et à l'électrification rurale via le système solaire (Wiggins et al. 2023).

Tableau 3 : Résultats des modèles de régression

Variables	Modèle sans adaptation		Modèle Avec adaptation	
	Ensemble des exploitations		Ensemble des exploitations	
	Coef	T	Coef	T
Variables climatiques				
Température saison pluvieuse	78204,4	0,64	94665,4	0,78
Température saison sèche	- 243075,9	-0,88	-139359	-0,51
Précipitation saison pluvieuse	901,5762	0,3	1559,953	0,52
Précipitation saison sèche	28772,88*	1,86	27479,61*	1,79
Température saison pluvieuse au carré	- 486,53	-0,59	- 594,51	-0,73
Température saison sèche au carré	5109,71	0,97	3260,816	0,62
Précipitation saison pluvieuse au carré	-3,88	-0,3	- 9,98763	-0,78

Variables	Modèle sans adaptation Ensemble des exploitations		Modèle Avec adaptation Ensemble des exploitations	
	Coef	T	Coef	T
Précipitation saison sèche au carré	270,01	0,38	252,92	0,36
Variables édaphiques				
Type de sol (argile)	123221,4***	2,56	109551,5 **	2,3
Type de sol (Latéritique/rouge)	- 46862,32	-0,48	- 52992,02	-0,55
Relief de la parcelle (Plaine)	- 52498,9***	-2,6	- 49812,95***	-2,5
Erosion	183377,9	0,65	-20502,4	-0,07
Caractéristiques socio-économiques				
Accès à la technologie			65533,76	1,56
Taille de l'exploitation			- 276942,7***	-11,92
Subvention d'intrants			85126,19**	1,64
Bétail			163726,9 ***	2,64
Intrants agricoles				
Type de Semences (amélioré)			224352,5 ***	3,56
Fumure organique			99977,29**	2,16
Produit phytosanitaire			18754,88	0,32
Constante	1125958	0,22	-416744,7	-0,08
Nombre d'observations	5 178		5 178	
F	9,2		15	
R²	0,2		0,52	

Source : auteurs à partir des données des différentes sources de données utilisées

* Significatif au seuil de 10%; ** Significatif au seuil de 5%; *** Significatif au seuil de 1%.

Nos résultats permettent de soutenir que l'adaptation agricole peut atténuer certains effets négatifs des conditions climatiques au Mali. Par exemple, dans le modèle avec adaptation, l'effet des températures pendant la saison sèche, bien que négatif, est moins prononcé que dans le modèle sans adaptation, suggérant que l'adaptation réduit les pertes dues à la chaleur. De plus, les précipitations pendant la saison sèche ont un effet positif et significatif dans les deux modèles, mais l'adaptation renforce cet effet, soulignant l'importance de stratégies adaptées aux conditions climatiques pour optimiser les rendements agricoles. Le type de sol, notamment argileux, reste un facteur clé, avec un effet significativement positif sur la productivité, renforcé par les mesures d'adaptation. Cela démontre que les interventions agronomiques et climatiques peuvent améliorer la résilience des exploitations agricoles face aux changements climatiques.

4. Conclusion

Cette étude avait pour objectif d'analyser les effets de la variation de la pluviométrie et de la température sur le revenu net agricole de la production céréalière au Mali et les effets des stratégies d'adaptation sur le revenu net agricole de la production céréalière au Mali. Les résultats montrent l'importance des stratégies d'adaptation agricole pour atténuer les effets des conditions climatiques sur la productivité et les revenus des exploitations au Mali. En effet, l'intégration du modèle adaptation à améliorer le coefficient de détermination (R^2) 0,52 contre 0,20 dans le modèle sans adaptation ; ce qui souligne la pertinence des pratiques adaptatives mises en place par les agriculteurs.

L'utilisation de semences améliorées et d'engrais organiques a un effet significatif sur l'augmentation du revenu agricole, tout comme la subvention des intrants agricoles, qui facilite l'accès aux ressources essentielles à moindre coût. L'élevage joue également un rôle crucial, en complément de l'agriculture, en fournissant du fumier pour la fertilisation des sols et en favorisant la traction animale, contribuant ainsi à une meilleure productivité.

Cependant, certains facteurs limitent encore la rentabilité agricole, notamment l'augmentation de la taille des exploitations, qui engendre des coûts supplémentaires en main-d'œuvre, et les parcelles situées en plaine, où l'absence de maîtrise de l'eau réduit les rendements. Dans ce contexte, la mécanisation agricole et le développement de l'irrigation à petite échelle apparaissent comme des solutions efficaces pour améliorer la productivité et renforcer la résilience des exploitations face aux effets du changement climatique. Ainsi, cette étude met en évidence la nécessité d'accompagner les agriculteurs dans l'adoption de pratiques résilientes et dans l'accès à des infrastructures adaptées, afin de maximiser les bénéfices des stratégies d'adaptation et de garantir une production agricole durable au Mali. Par ailleurs, des futurs travaux peuvent intégrer des variables telles que l'accès au crédit, aux services de vulgarisation, l'assurance agricole, aux marchés qui pourraient renforcer ou limiter la capacité d'adaptation des producteurs et expliquer les différences observées entre exploitations

5. Références Bibliographiques

- Abdul-jalil, Sawsan, Agossoussi Thierry Kinkpe, Zuhail Elnour, Harald Grethe, Codjo Serge Aballo, Charles Codjo Acakpo, Byll O Kperou Gado, et al. 2023. "Impacts Du Changement Climatique Sur l ' Agriculture et l ' Ensemble de l ' Économie Du Bénin Avec Différentiation Des Pôles de Développement Agricole (PDA)," 1–14.
- Ardoin, Sandra, Helene Lubes-niel, Eric Servat, Alain Dezetter, Jean-francois Boyer, Gil Mahe, and Jean-Emmanuel Paturel. 2003. "Analyse de La Persistance de La Sécheresse En Afrique de l'ouest: Caractérisation de La Situation de La Décennie 1990." *Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions*, no. 278.
- Banerjee, Rupsha, Boukary Barry, Carmen Jaquez, Nick Meakin, Steve Wiggins, and Mohamed Yussuf. 2021. "The State of Finance in the Drylands: Formal and Informal Finance in Kenya, Mali and Somalia."
- Benhim, james KA. 2006. *Climate Change and African Agriculture*. <https://doi.org/10.4324/9781315621579-5>.
- Bosello, Francesco, Lorenza Campagnolo, and Fabio Eboli. 2013. "Climate Change and Adaptation: The Case of Nigerian Agriculture." *Fondazione Eni Enrico Mattei Working Papers. Paper 786*. <https://doi.org/10.1007/s10640-016-0105-4>.
- Bouba Traore, Marc corbeels, mark T.van Wijk, Mariana C.rufino, Ken E. Giller. 2013. "Effect of Climate Variability and Climate Change on Crop Production in Southern Mali." *European Journal of Agronomy* 49:115–25.
- Bozzola, Martina, Emanuele Massetti, Robert Mendelsohn, and Fabian Capitanio. 2018. "A Ricardian Analysis of the Impact of Climate Change on Italian Agriculture." *European*

- Review of Agricultural Economics* 45 (1): 57–79. <https://doi.org/10.1093/erae/jbx023>.
- Butt, T. A., B. A. McCarl, J. Angerer, P. T. Dyke, and J. W. Stuth. 2005. “The Economic and Food Security Implications of Climate Change in Mali.” *Climatic Change* 68 (3): 355–78. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-6014-0>.
- Cabral, François Joseph. 2012. “L’impact Des Aléas Pluviométriques Sur Les Disparités Régionales de Pauvreté Au Sénégal.” *Revue d’économie Du Développement* 20 (1): 69. <https://doi.org/10.3917/edd.261.0069>.
- Casse, Claire, Marielle Gosset, Théo Vischel, Guillaume Quantin, and Bachir Alkali Tanimoun. 2016. “Model-Based Study of the Role of Rainfall and Land Use/Land Cover in the Changes in the Occurrence and Intensity of Niger Red Floods in Niamey between 1953 and 2012.” *Hydrology and Earth System Sciences* 20 (7): 2841–59. <https://doi.org/10.5194/hess-20-2841-2016>.
- Cline, W. R. 1996. “The impact of global warming on agriculture: Comment”. *The American Economic Review* 86(5), 1309–1301.
- Darwin, Roy. 1999. “The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis: Comment.” *American Economic Review* 89 (4): 1049–1052. <https://doi.org/10.1257/aer.89.4.1049>.
- Dedehouanou, Houinsou, Euloge K Agbossou, Hervé Guibert, Pierre V Vissoh, Marx W Abidji, and Qawiyy A Ahounde. 2011. “Evaluating Impact of Climate Changes on Agricultural Practices: Sustainability of Adapting Measures in Benin.” *African Sociological Review/Revue Africaine de Sociologie*, 44–58.
- Dimon, R. 2008. “Adaptation Aux Changements Climatiques : Perceptions, Savoirs Locaux et Stratégies d’adaptation Développées Par Les Producteurs Des Communes de Kandi et de Banikoara, Au Nord Du Bénin.” Bénin: Université D’Abomey.
- Fonta, William M., Abbi M. Kadir, Aymar Y. Bossa, Karen M. Greenough, Bamba M. Sylla, and Elias T. Ayuk. 2018. “A Ricardian Valuation of the Impact of Climate Change on Nigerian Cocoa Production: Insight for Adaptation Policy.” *International Journal of Climate Change Strategies and Management* 10 (5): 689–710. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-05-2016-0074>.
- Generoso, Rémi. 2015a. “How Do Rainfall Variability, Food Security and Remittances Interact? The Case of Rural Mali.” *Ecological Economics* 114:188–98. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.03.009>.
- GIEC. 2023. “IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.” <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>.
- Iwédiga, Badabaté Diwédiga, Komlan Batawila, Kpérkouma Wala, Koffi Hounkpè, Apeti Koffi Gbogbo, Sêmihinva Akpavi, Thierry Tatoni, and Koffi Akpagana. 2012. “Exploitation Agricole Des Berges: Une Strategie D’adaptation Aux Changements Climatiques Destructrice Des Forêts Galleries Dans La {Plaine} De L’oti.” *African Sociological Review/Revue Africaine de Sociologie* 16 (1): 77–99.

- Jan, Selby, and Daoust Gabrielle. 2021. "Rapid Evidence Assessment on the Impacts of Climate Change on Migration Patterns." *London: Foreign, Commonwealth and Development Office*.
- Jankowska, Marta M, David Lopez-Carr, Chris Funk, Gregory J Husak, and Zo? A Chafe. 2012. "Climate Change and Human Health: Spatial Modeling of Water Availability, Malnutrition, and Livelihoods in Mali, Africa." *Applied Geography* 33:4–15. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.08.009>.
- Jean, B. 1985. "Sécheresse et Désertification Au Mali. Situation Actuelle et Perspectives. Première Partie: La Situation Actuelle." <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/21798>.
- Kergomard, Claude. 2009. "Changement Climatique : Des Causes Physiques à La Géographie Des Risques." *Regards Croisés Sur l'économie* n° 6 (2). <https://doi.org/10.3917/rce.006.0033>.
- Kouressy, Mamoutou, Seydou Traoré, Vaksman? Michel, Grum Mikkell, Maikano Ibrahim, Soumaré Mamy, Pierre Sibiry Traoré, Didier Bazile, Michael Dingkuhn, and Amadou Sidibé. 2008. "Adaptation Des Sorghos Du Mali à La Variabilité Climatique." *Cahiers Agricultures* 17 (2): 95–100.
- Kurukulasuriya, Pradeep, and Robert Mendelsohn. 2008. "A Ricardian Analysis of the Impact of Climate Change on African Cropland." 2007. *African Journal of Agricultural and Resource Economics* 02 (1): 1–62. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-4305>.
- Madjigoto, R. 2003. "Des Cultures Pluviales à La Culture de Décru : Une Adaptation Du Système de Culture Aux Changements Climatiques. L'exemple de Moudourou, Tchad." *Organisation Spatiale et Gestion Des Ressources et Des Territoires* Acte de co (25-27 février).
- Madjigoto, Robert. 2003. "Des Cultures Pluviales à La Culture de Décru : Adaptation Du Système de Culture Aux Changements Climatiques L ' Exemple Du Terroir de Moudourou , Tchad." *Organisation Spatiale et Gestion Des Ressources et Des Territoires Ruraux*.
- Maiga, Amadou Abba, and Modibo SIDIBE. 2023. "IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES PRODUCTIONS AGRICOLES AU MALI: CAS DE BOUGOUNI" 8:270–88.
- Mamane Bello, Garba Hima, and Maman Nafiou Malam Maman. 2015. "A Ricardian Analysis of the Impact of Temperature and Rainfall Variability on Ag-Riculture in Dosso and Maradi Regions of Niger Republic." *Agricultural Sciences* 06 (07): 724–33. <https://doi.org/10.4236/as.2015.67070>.
- Martin, Elsa, and Jaune Vaitkeviciute. 2016. "Économie Rurale Climatique Sur l ' Agriculture de Côte-d ' Or." *Economie Rurale* 355.
- McCarl, Bruce A., Anastasia W. Thayer, and Jason P.H. Jones. 2016. "The Challenge of Climate Change Adaptation for Agriculture : An Economically Oriented Review." *Journal of Agricultural and Applied Economics* 48 (4): 321–44. <https://doi.org/10.1017/aae.2016.27>.

- Mendelsohn, Robert, and Ariel Dinar. 2003. "Climate, Water, and Agriculture." *Land Economics* 79 (3): 328–41.
- Mendelsohn, Robert, Ariel Dinar, and Pradeep Kurukulasuriya. 2007. "What Explains Agricultural Performance: Climate Normals or Climate Variance?" *Climate Change* 81:85–99.
- Mendelsohn, Robert O, and S Niggol Seo. 2007. "Changing Farm Types and Irrigation as an Adaptation to Climate Change in Latin American Agriculture."
- Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement. 2011. "Politique Nationale Sur Les Changements Climatiques Rapport Final." Mali.
- Mouleye Soumaila, Issoufou. 2019. "Effets Du Changement Climatique Sur Les Superficies Cultivées et Les Rendements Céréalières Au Mali." *REVUE CEDRES-ETUDES* 67 (1er Semestre 2019): 72–97.
- Ncube, Mkhululi, Nomonde Madubula, Hlami Ngwenya, Nkulumo Zinyengere, Leocadia Zhou, Joseph Francis, Talentus Mthunzi, Crespo Olivier, and Tshilidzi Madzivhandila. 2016. "Climate Change, Household Vulnerability and Smart Agriculture: The Case of Two South African Provinces." *Jamba: Journal of Disaster Risk Studies* 8 (2): 1–14. <https://doi.org/10.4102/jamba.v8i2.182>.
- Nestor René Ahoyo, Adjovi, Agboton Abdel-Aziz Gérard, Quenum Florent, Miassi Yann Emmanuel Sonagnon, Dossa Fabrice Kossivi, and Adedemi Oswald. 2018. "Variation Climatique et Production Vivrière Au Sud-Bénin : Cas de La Commune de Bohicon." *Afrique Science: Revue Internationale Des Sciences et Technologies*. <http://www.afriquescience.net>.
- Ogouwalé, E. 2006. "Changements Climatiques Dans Le {Bénin} Méridional et Central : Indicateurs, Scénarios et Prospective de La Sécurité Alimentaire." *LECREDE/ FLASH/ EDP/ UAC*.
- Ostrom, E. 2009. "A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems." *Science* 325 (5939): 419–22. <https://doi.org/10.1126/science.1172133>.
- Ouédrago, Mathieu, Leopold Some, and Youssouf Dmbélé. 2006. "Economic Impact Assessment of Climate Change on Agriculture in Burkina Faso : A Ricardian Approach." *Centre for Environmental Economics and Policy in Africa, University of Pretoria Discussion* (2).
- Ouédraogo, M., Dembélé, Y., & Somé, L. 2010. "Farmer Perceptions and Adaptation Options to Rainfall Change: Evidence from Burkina Faso." *Sécheresse* 21 (2): 87–96.
- Ouédraogo, Mathieu. 2012. "Impact Des Changements Climatiques Sur Les Revenus Agricoles Au Burkina Faso." *Journal of Agriculture and Environment for International Development-JAEID* 106 (1): 3–21.
- Paturel, Jean-Emmanuel, ALIMA DIAWARA, LINE KONG A SIOU, EMELINE TALIN, LUC FERRY, GIL MAHE, ALAIN DEZETTER, et al. 2010. "Caractérisation de La Sécheresse Hydropluviométrique Du Bani, Principal Affluent Du Fleuve Niger Au Mali." *Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources*, 661–67.

- Reilly, J. L., W. Baethgen, F. E. Chege, S. C. Van de Geijn, Iglesias A. Lin Erda, G. Kenny, D. Patterson, et al. 1996. "Agriculture in a Changing Climate: Impacts and Adaptations." Edited by R M Waston, R Moss Zinyowera, and D Dokken. *IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)*.
- Somé, L., and Y. Dembélé. 1996. "Péjoration climatique au Burkina Faso: impacts sur les productions agricoles." *Recherches Scientifique face aux problèmes de l'environnement». Actes de la 2ème édition du Forum national de la recherche scientifique et Technologique. Ouagadougou.*
- Schimmelpfennig, David, Jan Lewandrowski, John Reilly, Marinos Tsigas, and Ian Parry. 1996. "Agricultural Adaptation to Climate Change Issues of Longrun Sustainability." *Research in Agricultural and Applied Economics*.
- Schlenker, Wolfram, and Michael J Roberts. 2008. "Estimating the Impact of Climate Change on Crop Yields: The Importance of Nonlinear Temperature Effects."
- Traore, Bouba, Marc Corbeels, Mark T van Wijk, Mariana C Rufino, and Ken E Giller. 2013. "Effects of Climate Variability and Climate Change on Crop Production in Southern Mali." *European Journal of Agronomy* 49:115–25. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.04.004>.
- Traore, Bouba, Katrien Descheemaeker, Mark T. van Wijk, Marc Corbeels, Iwan Supit, and Ken E. Giller. 2017a. "Modelling Cereal Crops to Assess Future Climate Risk for Family Food Self-Sufficiency in Southern Mali." *Field Crops Research* 201:133–45. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.11.002>.
- Traore, Bouba, Katrien Descheemaeker, Mark T van Wijk, Marc Corbeels, Iwan Supit, and Ken E Giller. 2017b. "Modelling Cereal Crops to Assess Future Climate Risk for Family Food Self-Sufficiency in Southern {Mali}." *Field Crops Research* 201:133–45. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.11.002>.
- UNU-INRA. 2014. "2014 Annual Report."
- Wiggins, Steve, Peter Newborne, Colette Benoudji, Mamadou Diarra, Nene Kane, Marie Bernadette Kiebré, and Saadatou Sangaré. 2023. "A Rural Green Transition in the G5 Sahel," no. November. <https://www.sparc-knowledge.org/publications-resources/rural-green-transition-g5-sahel>.
- Wood, Stephen A, and Robert O Mendelsohn. 2015. "The Impact of Climate Change on Agricultural Net Revenue: A Case Study in the Fouta Djallon, West Africa." *Environment and Development Economics* 20 (1): 20–36. <https://doi.org/10.1017/S1355770X14000084>.
- Yai, Emmanuel D, Bernadin G C Ahodode, and Felix C Biauou. 2014. "Incidence Du Changement Climatique Sur Les Productions Agricoles : Cas de La Commune de Banikoara," 28.