



WWJMRD 2022; 8(12): 36-48
www.wwjmr.com
International Journal
Peer Reviewed Journal
Refereed Journal
Indexed Journal
Impact Factor SJIF 2017:
5.182 2018: 5.51, (ISI) 2020-
2021: 1.361
E-ISSN: 2454-6615

NDZENGA-OBA Friston Norel
Université Marien NGOUABI,
The Republic of the Congo.

Changement climatique et agriculture en République du Congo : application d'une approche ricardienne

NDZENGA-OBA Friston Norel

Abstract

The objective of this study is to assess the impact of climate change on agriculture in the Republic of Congo. In order to achieve this objective, the Ricardian approach was used to estimate the effects of climate change on agricultural added value. The ARDL (AutoRegressive Distributed model. Lag in French autorégressif à retards échelonnés) and specific tests were used for estimates. The results learned from this work show that average temperatures and average rainfall heights are the main climatic variables that affect agricultural land production, yields, productivity or incomes. Moreover, it also brings out the relationship between climate and agricultural value added is non-linear and that of the two climate variables only annual average temperatures are significant unlike average annual precipitation. The signs of linear and quadratic terms are opposite. This means that temperature positively affects income to a certain level above which it becomes harmful to crops.

Keywords: climate change; poverty; agricultural added value; Ricardian approach; ARDL model.

1.1. Introduction

Stiglitz¹ (2019) souligne que « le monde est en situation d'urgence climatique nécessitant la mise en place des innovations et d'interventions régulières des Etats sur les prix des énergies fossiles et la taxe sur le carbone car l'économie de marché ne pourra pas faire face seule vis-à-vis de ces changements ». A cet effet, la lutte contre le réchauffement climatique peut se doubler d'une création d'emplois, et d'une réduction des inégalités en réponse aux différentes crises sociales et politiques. De nouvelles formes d'organisation découlant d'un nouveau contrat social avec le gouvernement, les marchés et la société civile sont alors nécessaires et pourraient permettre de recouvrer des profits plus durables et plus partagés.

La recrudescence de certains phénomènes météorologiques extrêmes tels que des températures élevées, les précipitations qui se font de plus en plus rares ou abondantes avec des degrés d'acidité de plus en plus élevés selon les zones géographiques, le ruissellement des eaux plus important, la vitesse des vents plus forte, des érosions et appauvrissements des sols, l'ensablement, l'élévation du niveau de la mer, les incendies de forêt, et les tempêtes (GIEC, 2014). Ainsi, ces changements climatiques ont augmenté la probabilité de voir se produire certains types de phénomènes climatiques et météorologiques extrêmes (Zhang et al., 2019) et qui devraient intensifier certains phénomènes à l'avenir (Hallegatte et al., 2007 ; Bush et Lemmen, 2019 ; Kahn et al., 2019 ; Acevedo et al., 2020 ; Stern et al., 2021).

Le changement climatique serait alors une menace pour l'économie mondiale. Cependant, de tous les secteurs affectés par le réchauffement climatique, l'agriculture dans le sens large serait le secteur le plus directement vulnérable au changement compte tenu de sa dépendance structurelle aux conditions météorologiques, (Vincent et al., 2015; Hsiang, 2016 ; European Environment Agency, 2019). Le secteur devrait connaître de fortes variations du volume et de la qualité de sa production. Cette situation constitue un à la fois un préjudice économique et social d'autant plus qu'en dehors de l'Afrique du Nord et de l'Afrique Australe, la main-d'œuvre du continent est fortement agricole, concerne plus 60% de la population économiquement active d'autant plus que l'agriculture de la région demeure pluviale et

Correspondence:
NDZENGA-OBA Friston Norel
Université Marien NGOUABI,
The Republic of the Congo.

¹ Stiglitz est le lauréat du prix Nobel d'économie en 2001

extensive (Gollin, 2009).

Les résultats du dernier Recensement Général Agricole (RGA 2014–2017) ressortent qu'au Congo, un village agricole sur cinq (un total de 684 villages agricoles) soit 20,92% des villages connaissent un déficit pluviométrique alors que l'agriculture demeure encore traditionnelle et pluviale. Par ailleurs, 928 villages agricoles soit 28,39% sont sujets à l'appauvrissement des sols : ce problème peut avoir un lien direct ou indirect avec le changement du climat. Il apparaît aussi dans ce RGA que 81,34% des villages agricoles soit 2.659 villages sur 3.269 voient leurs cultures décimées par des maladies et que les dégâts occasionnés par des prédateurs touchent 2.326 villages soit 71,15% alors que la divagation des animaux (1.862 villages soit 56,96%), et l'enclavement des zones de production concerne 2001 villages (soit 61,21% des villages). Toutes ces difficultés ont un lien direct ou indirect avec le changement climatique et aggravent la pauvreté.

Les statistiques sur la production et les rendements agricoles attestent une baisse progressive de la valeur ajoutée agricole, c'est-à-dire une régression de la part de l'agriculture dans le PIB partant approximativement de 24% en 1960, à 18% en 1970, 12% en 1980, 13% en 1990, 10% en 1994, 5% en 2000, 4% en 2010 et autour de 9% en 2020 (Banque Mondiale, WDI, 2022). Au niveau des cultures, l'évolution des rendements de l'igname (à partir des données de la base FAOSTAT, 2022) traduit une croissance globale qui se rapproche des 31,52% entre 1960 et 2020 soit une croissance annuelle de 0,48% seulement. Par ailleurs, l'analyse séquentielle par période à partir de la même base nous révèle que les rendements croissaient au rythme de 1,39% l'an entre 1960 et 1973 puis baissaient entre 1973 et 2020 à 0,24% par an. Cette évolution a entraîné une baisse globale de 47,38% soit une diminution de 1,12% par année entre 1960 et 2020. Quant à la production de l'arachide entre 1961 et 2020, elle n'a quasiment pas changé sinon un léger fléchissement de 0,06% par an. Son évolution se distingue par une baisse enregistrée entre des périodes de production ascendante entre 1979 et 1993 et entre 1997 et 2012 avec un taux relativement faible de 0,6%. Le reste du temps traduit une diminution de la production. Sur le volet des rendements agricoles de l'arachide, ils sont globalement décroissants perdant à peu près le quart de leur valeur de 1961 soit une régression de 0,5% par année².

Le score du Global Hunger Index en français Indice Mondial de la Faim (GHI) était de 38,9% en 1990, 41,1% en 1995, 33,8% en 2000, 34,7% en 2006, 27,8% en 2012 et 26,0% en 2020 soit un recul autour de 13 points traduisant le passage d'un niveau alarmant à un niveau grave. Le constat fait est que plus d'un quart de la population souffre de faim et que la faim au Congo recule moins vite que le rythme mondial et celui de la sous-région Afrique subsaharienne (pertes respectives de 17,2 points, 19,5 points contre 12,9 points respectivement pour le monde, l'Afrique Subsaharienne, et le Congo sur 30 ans).

Quoiqu'occupant la majorité des actifs congolais, plus de 60% de la population économiquement active, l'agriculture ne satisfait pas toujours les besoins alimentaires de la population congolaise aussi bien au niveau végétal qu'animal laissant donc le pays largement tributaire des

importations agro-alimentaires pour couvrir 80 à 90% de ses besoins en céréales et 50% des besoins en poissons (FAO, 2015) pour un montant s'élevant à plus de 163 milliards de FCFA en 2010, à plus de 200 milliards de FCFA en 2011 (FAO, 2012) et à plus 700 milliards de nos jours³ altérant de plus bel la situation de la pauvreté. Cela est d'autant plus paradoxal que le pays dispose d'un potentiel de production agricole de plus de 10 millions d'hectares dont seulement 2% (soit 200.000 ha) sont valorisés (Banque Mondiale, WDI, 2021).

Bouka Biona et Mpoundza (2009) ont montré que c'est à partir des années 1970 que l'on a commencé à constater une tendance à la hausse pour les températures et les précipitations avec une variabilité climatique modérée. Ainsi, le changement climatique a des effets néfastes sur l'agriculture. Cependant, les agriculteurs adoptent certaines mesures d'adaptation telles que la modification du calendrier cultural, la rotation et l'association des cultures, l'adoption des cultivars, des variétés résistantes aux fortes chaleurs et à l'humidité en sont des exemples dans l'agriculture. Aussi, l'augmentation des prix de vente des produits agricoles reste la réponse la plus commune pour compenser la hausse des coûts de production et des pertes dus au changement climatique.

Malgré la mise en place des stratégies d'adaptation, la situation ne semble pas s'améliorer considérablement. Assurément, ces dernières ne s'avèrent pas toujours efficaces, efficientes et performantes du fait des contraintes financières ou techniques existantes. Les résultats du RGA 2014–2017 révèlent que neuf villages agricoles sur dix sont concernés par le problème d'accès au crédit, soit 93,06% des villages agricoles (3.042 villages) alors qu'un meilleur accès aux crédits permettrait aux agriculteurs d'augmenter leurs rendements et leurs capacités de production, de limiter dans le pire des cas les pertes par l'acquisition des intrants (semences améliorées, engrais, matériels de labourage de sols, d'ensemencement, de récolte et de décorticage, pesticides et insecticides, systèmes d'arrosage fixes ou mobiles, etc.). L'encadrement technique relatif aux nouveaux procédés de production combiné aux connaissances et savoirs ancestraux qui devraient constituer une sorte de bouclier face à la résurgence climatique reste insignifiant pour les agriculteurs. En effet, 2.925 villages agricoles soit 89,48% du total des villages jugent avoir un encadrement technique insuffisant. Il en est de même pour l'accès aux semences améliorées qui, devraient répondre au problème d'appauvrissement ou de fertilisation des sols, mais demeure encore un casse-tête pour les agriculteurs. Les résultats du RGA 2014–2017 attestent que 87,86 % des villages agricoles (soit 2.872 villages agricoles) sont en manque de semences améliorées ou certifiées et d'engrais. Ainsi, l'objectif de cette étude consiste à vérifier l'impact du changement climatique en République du Congo. Notre contribution va s'atteler à répondre à la question suivante : le changement climatique a-t-il impacté d'agriculture congolaise entre 1960 et 2020.

2. Lien théorique et empirique entre changement climatique et agriculture

Les impacts de la variabilité du changement climatique sur la production agricole résultant de la hausse des

² Calcul de l'auteur à partir des données de FAOSTAT (consulté le 23 mai 2022)

³ Communiqué de presse conjoint entre FAO-Gouvernement congolais, novembre 2020

températures, de la variation de l'ampleur, de la fréquence et de la distribution des précipitations et des incidences d'événements extrêmes tels que les inondations, les sécheresses, les cyclones et l'élévation du niveau de la mer ont été négatifs ces derniers temps (GIEC, 2013 ; Kotir, 2011). L'influence dominante du climat sur l'ensemble de l'agriculture montre les limites de la production alimentaire (Fazal et Abdul Wahab, 2013 ; Adhikari *et al.*, 2015). Et les conséquences négatives sur l'agriculture, à leur tour, ont une incidence directe sur les agriculteurs en termes de sécurité alimentaire, de diversification des revenus et moyens d'existence à travers le monde, en particulier dans les pays en développement (Brown, 2008 ; Khee Mee et Keong, 2011). Le changement climatique actuel, caractérisé par une augmentation des températures, une modification des précipitations, etc., diminuerait les rendements agricoles dans la plupart des régions. Les pertes lors des jours les plus chauds expliqueraient en majorité de cette diminution (Carleton et Hsiang, 2016).

Desanker et Justice (2001) présentent les températures comme un paramètre qui contrôle tous les processus physiologiques dont les insectes, les plantes, les cultures, la vie des poissons et d'autres espèces marines. Cette affirmation nous permet davantage d'élargir le champ d'action du changement climatique sur l'évolution des cultures. Ainsi, les effets d'une baisse des rendements agricoles pourraient être exacerbés par la prolifération (reproduction, croissance, migration, résistance ou adaptation) de nouvelles espèces d'insectes ou de bactéries ou encore de mauvaises herbes. Ces dernières s'attaquent aux cultures et sont toutes sensibles à la température, à l'humidité et pour certaines d'entre elles aux concentrations de CO₂ dans l'atmosphère (Deutsch *et al.*, 2018). Comprendre comment le changement climatique agira sur les parasites, les agents pathogènes et les mauvaises herbes devient crucial pour prévenir, anticiper et limiter les répercussions du changement climatique sur l'agriculture.

Les espèces végétales envahissantes, telles que les mauvaises herbes, ont une remarquable faculté d'adaptation au changement climatique, comme le laisse supposer la gamme étendue de latitudes sous lesquelles on les trouve actuellement. De plus, les espèces envahissantes ont souvent la capacité de se disperser rapidement. Ce qui leur permet de changer de zone en réaction aux changements de climat. Il s'en suit que ces espèces risquent de devenir des espèces dominantes dans certaines régions (Dukes et Mooney, 1999). Il faut également s'attendre à ce que le changement climatique diminue l'efficacité des pesticides, ce qui nous forcerait à modifier nos modèles prévisionnels de maladies et nos stratégies de gestion des maladies (Chakraborty, 2000 ; Patterson, 1999). Cela pourrait aussi entraîner des applications plus massives et plus fréquentes de pesticides et, partant, menacer les organismes non visés et augmenter la pollution de l'eau et de l'air (Patterson, 1999) en plus d'augmenter les coûts liés à l'utilisation des pesticides (Chen et McCarl, 2001). On prévoit des tendances semblables en ce qui concerne l'utilisation et les coûts des herbicides (Archambault *et al.*, 2002).

Seo et Mendelsohn (2007) ont appliqué l'approche ricardienne aux pays latino-américains en examinant un échantillon de plus de 2 500 exploitations agricoles dans sept pays. Les résultats indiquent que la valeur de la terre et les revenus nets sont sensibles au climat. Les petites et les grandes exploitations agricoles réagissent à la température

selon un schéma ascendant puis descendant. Des régressions distinctes pour les fermes irriguées et les fermes non irriguées révèlent que les fermes non irriguées sont plus sensibles à la température, mais que les fermes irriguées sont plus sensibles aux précipitations.

La littérature sur l'application de l'approche ricardienne a fait l'objet de nombreuses études sur le lien entre le changement climatique et l'agriculture. Nous pouvons citer Ouda (2007), Nefzi et Bouzidi (2008), Jeder *et al.* (2013), Zouabi (2016), Amouzay (2020) au Maghreb portant sur les pays suivants : l'Algérie, la Libye, le Maroc, la Mauritanie, la Tunisie et l'Égypte. En Afrique subsaharienne, nous pouvons énumérer : Gbetibouo et Hassan (2005), Mano et Nhemachena (2007), Temesgen *et al.* (2007), Kurukulasuriya et Mendelsohn (2006 ; 2008a ; 2008b), Seo et Mendelsohn (2008), Deressa et Hassan (2009), Molua (2009), Ajetomobi *et al.* (2010), Ouedraogo (2012). Les pays ayant fait l'objet de ces études sont : Burkina-Faso, Cameroun, Éthiopie, Ghana, Kenya, Niger, Sénégal, RSA, Zambie, Zimbabwe, Nigéria, Tanzanie et Côte d'Ivoire. Les résultats de ces études nous font paraître de façon générale que malgré la petite avance que compte l'agriculture du Maghreb sur celle des pays du Sud Sahara que la relation que entre le climat et l'agriculture est tout 'abord non-linéaire. Nous notons que dans les deux zones géographiques du continent, l'agriculture demeure familiale et pluviale. Présentement, compte tenu du climat chaud du continent, les températures ont des effets négatifs sur l'agriculture : ces effets ne se ressentent pas de la même façon, pouvant être légers, modérés, ou extrêmes et quelques rares fois positifs dus aux effets fertilisants du CO₂ et à l'effet anti-transpirant des plantes à moins qu'il y ait phénomène de surchauffe, selon la situation géographique et la structure de l'économie. Quant aux précipitations, elles restent bénéfiques pour l'ensemble des pays et sont pour le continent la variable la plus déterminante du fait qu'elles apportent l'essentielle de l'irrigation annuelle.

3. Approche Ricardienne ou Hédonique

3.1. Cadre conceptuel, forces et limites

Les premières approches économétriques utilisées pour calibrer les fonctions de dommages recouraient à des données en coupe transversale (Mendelsohn, *et al.*, 1994). Mendelsohn *et al.*, (1994) ont fourni une réponse à la grande lacune de l'approche fonction de production en introduisant l'approche ricardienne. Cette approche aussi appelée approche hédonique (Lobell et Burke, 2010) doit son nom au célèbre économiste Ricardo en raison de sa théorie qui assume que la rente foncière reflèterait la productivité nette des terres agricoles. Ainsi, la valeur des terres agricoles reflèterait la valeur actualisée des productivités nettes futures (Mendelsohn et Dinar, 2003 ; Kurukulasuriya et Mendelsohn, 2008 ; Sarker et Rashid, 2012). Essentially, cette approche tente de mesurer directement l'effet du climat sur la valeur des terres et le rendement agricole en utilisant une étude en coupe transversale. Cette méthode repose sur l'hypothèse d'efficacité des marchés et donc sur le fait que la valeur des terres agricoles reflète la valeur actualisée des revenus futurs issus de l'exploitation la plus productive de la terre. Cette approche examine donc, dans différentes conditions climatiques, un échantillon représentatif d'agriculteurs et considère une corrélation entre le revenu net et les

conditions agro-climatiques (Mendelsohn *et al.*, 1994). En d'autres termes, la valeur foncière ou la rente est considérée comme une fonction du climat, des conditions économiques et physiques, le rôle minimal ou marginal de chaque élément comme intrant dans le revenu agricole est donc déterminé en régressant le revenu net sur un ensemble de variables d'entrée de l'environnement (Mendelsohn *et al.*, 1994).

Cette méthode permet théoriquement d'identifier les effets de long terme du changement climatique en supposant qu'on peut inférer à partir des différences de climats observées entre des régions (analyse géographique) les effets d'une hausse de température au sein d'une même région (analyse temporelle) (Moore et Kolstad, 2019). Cette approche suppose de considérer que les différences de comportements économiques (investissements, méthodes de production, etc.) entre deux régions sont le fruit d'une optimisation qui s'est effectuée en fonction du climat, et qui représente un équilibre stabilisé de long terme. En s'intéressant au prix des terres agricoles dans différents environnements, cette approche étudie implicitement la gamme complète des stratégies d'adaptation possibles des agriculteurs. En fait, en étudiant le comportement des agriculteurs dans leur climat respectif, l'on observe à la fois comment ils se sont adaptés face au climat qui les entoure. En se appuyant sur le comportement de l'agriculteur dans le climat plus chaud, on peut déduire comment l'agriculture de la région la plus nordique va réagir suite aux changements climatiques qui rendraient son environnement plus chaud et plus humide dans le futur. À première vue, cette approche vient mettre en avant-scène un agriculteur rationnel tel que la théorie économique le conçoit. Il apparaît que cette méthode a le principal avantage de considérer une adaptation efficace dans sa prédiction (Mendelsohn et Dinar, 2003).

Cependant, cette méthode comporte plusieurs problèmes. D'abord, elle doit être interprétée comme la borne supérieure des bénéfices potentiels des changements climatiques sur l'agriculture. Ensuite, parce qu'elle sous-estime les contraintes liées aux stratégies d'adaptation en omettant de modéliser certaines variables, notamment celles qui caractérisent la composition des sols qui peuvent limiter la migration des cultures ou la disponibilité en eau d'irrigation dans certaines régions (Cline, 1996 ; Reinsborough, 2003). Une autre faiblesse est qu'elle néglige les coûts de transition, puisqu'elle compare deux régions a priori dans un état stationnaire vis-à-vis de l'adaptation aux conditions climatiques. Or les coûts de transition de court-moyen terme pour s'adapter au changement climatique sont probablement significatifs⁴. Cette méthode sous-estimerait donc les impacts en ignorant les coûts d'adaptation et en ne considérant que les équilibres de long terme. En plus, elle part du principe qu'il existe un prix constant (Mendelsohn *et al.*, 1994), ce qui pourra entraîner selon Cline (1996) un biais dans le calcul du bien-être.

Par ailleurs, l'approche n'évalue cependant pas les effets du climat sur les rendements des cultures individuelles

(Kaufmann, 1998). En outre, le modèle ne peut pas résumer l'influence du changement climatique sur la variabilité des rendements comme largement rapporté dans la littérature (Barnwal et Kotani, 2010). En sus, cette approche étudie la réponse agricole dans les conditions climatiques actuelles en vue d'anticiper d'éventuels dommages futurs. Cependant, le fait que les conditions climatiques actuelles ne reflètent pas nécessairement la réalité climatologique dans le futur en constitue alors une limite (Weber et Hauer, 2003). Au-delà des problèmes mentionnés ci-dessus, cette méthode comporte le risque que les résultats soient en partie biaisés par une corrélation fallacieuse entre les variables climatiques et les variables inobservables non prises en compte par le modèle tel que l'environnement institutionnel par exemple (Acemoglu, *et al.*, 2002 ; Rodrick, *et al.*, 2004) et qui ont également un impact sur la production économique⁵.

À côté de ce problème, nous évoquons le fait que la méthode peut être influencée par les variables omises car elle ne tient pas compte des variables indépendantes du temps ou spécifiques comme les compétences des agriculteurs ou la qualité du sol (Barnwal et Kotani, 2010 ; Di Falco, 2014). Soulignons également que cette méthode exige des données provenant de diverses zones agro-écologiques ou de stations météorologiques, ce qui n'est point facile pour le chercheur individuel en raison de contraintes financières et temporelles. Enfin, elle suppose que l'agriculteur réagit directement aux stimuli climatiques, tandis que plusieurs études ont démontré que les agriculteurs sont lents à utiliser des stratégies d'adaptation en réponse à l'environnement climatique notamment en raison de l'inertie causée par les programmes gouvernementaux et les assurances agricoles (Smit et McLeman, 2006 ; Smit, *et al.*, 1996). En conséquence, alors que l'approche fonction de production a tendance à surestimer les dommages causés par les changements climatiques sur l'agriculture, l'approche Ricardienne quant à elle a tendance à les sous-évaluer. C'est pourquoi, bien souvent, les deux approches présentent des résultats diamétralement opposés.

3.2 Spécification de l'approche ricardienne

Mendelsohn *et al.* (1994) ont fourni une réponse à la grande lacune de l'approche fonction de production en introduisant l'approche Ricardienne. Essentiellement, cette approche tente de mesurer directement l'effet du changement du climat sur la valeur des terres et le rendement agricole en utilisant des données en coupe transversale. Cette méthode repose sur l'hypothèse d'efficacité des marchés et donc sur le fait que la valeur des terres agricoles reflète la valeur actualisée des revenus futurs issus de l'exploitation la plus productive de la terre. En s'intéressant au prix des terres agricoles dans différents environnements, cette approche étudie implicitement la gamme complète des stratégies d'adaptation possibles des agriculteurs. Cette approche semble être attirante, car elle vient mettre à l'avant-scène un agriculteur rationnel tel que la théorie économique le conçoit. Ceci permet de mesurer la contribution de chaque facteur aux résultats et de détecter les effets du changement climatique à long terme sur la valeur agricole de la terre. Cette approche est rentable et effective, puisque les données secondaires sur

⁴ Mejia, *et al.*, (2018). Les auteurs de cette étude estiment que si les pays à faible revenu avaient une structure économique tertiarisée similaire à celle des pays développés, cela réduiraient leurs coûts du changement climatique de 30%.

⁵ Kolstad et Moore (2019).

les coupes transversales peuvent être relativement faciles à recueillir sur le climat, les facteurs de production et socio-

économiques (Deressa et Hassan, 2009).

$$VAA = f(F, Z, G) \quad (1)$$

$$VAA = \int PLE e^{-\delta t} dt \quad (2)$$

$$= \int [\sum_i^n P_i Q_i(X, F, Z, G) - \sum RX] e^{-\delta t} dt \text{ où } i = 1 \ 2 \ 3 \ \dots \ n \ \text{culture} \quad (3)$$

Où : PLE est le revenu net par hectare ;
VAA est la valeur ajoutée agricole en pourcentage du PIB ;
 P_i est le prix de marché de la culture i ;
 Q_i est la quantité produite de la culture i ;
F est le vecteur des variables climatiques ;
Z est l'ensemble des facteurs édaphiques (variables liées aux sols).
G est l'ensemble des facteurs socioéconomiques tels que l'accès au crédit, la population agricole, la consommation des engrais, le nombre de machines agricoles, etc. ;
X est le vecteur des facteurs de production (autres que la terre) ;
R est le vecteur des prix des facteurs de production (des inputs) ;
t est le temps ;

δ est le taux d'intérêt rémunérant la rente de la terre
L'hypothèse sur laquelle se fonde ce modèle est que les ménages vont maximiser le rendement de leur production par le choix des intrants (X) en fonction des caractéristiques de leur exploitation sous réserve des conditions climatiques (F) aux conditions des sols (Z), aux caractéristiques des variables socio-économiques (G) et aux prix des facteurs (R). Ce modèle examine comment l'ensemble des variables exogènes, F et G, affectent le rendement agricole. Le modèle est basé sur les réponses observées des cultures et des fermiers aux conditions climatiques. Il utilise les observations actuelles des performances des exploitations agricoles selon les différentes zones climatiques (Mendelsohn et al. 1994 ; Mendelsohn et Dinar, 1998 ; 2003). Il mesure également comment la rentabilité agricole varie avec le climat local en contrôlant les autres facteurs.

Le modèle ricardien standard est un modèle quadratique sur le climat qui permet de tester le lien entre « le changement climatique et la pauvreté ». Ainsi, le modèle utilisé dans cette étude est basé sur une fonction de la valeur ajoutée agricole définie de la façon suivante :

$$VAA = f(F, Z, G) \quad (1)$$

Nous en déduisons la forme :

$$VAA = \alpha_0 + \alpha_1 F + \alpha_2 F^2 + \alpha_3 Z + \alpha_4 G + \varepsilon_t \quad (4)$$

Où ε_t représente le terme d'erreur ;

F et F^2 capturent les termes linéaires et quadratiques pour les températures et les précipitations. L'introduction des

termes quadratiques pour les variables climatiques permet d'analyser la non-linéarité de la relation entre le rendement agricole et le climat.

De l'équation (3), nous pouvons dériver l'impact marginal des variables climatiques sur le rendement comme proposé par Kurukulasuriya and Mendelsohn (2006) :

$$E\left[\frac{dVAA}{df_i}\right] = \beta_{1,i} + 2 * \beta_{2,i} * E[f_i] \quad (5)$$

Le coefficient du terme linéaire de chaque variable climatique représente l'impact marginal de cette variable sur le rendement des cultures.

Le changement du bien-être U, résultant du changement du climat de C0 à C1 peut être mesuré comme suit :

$$\Delta U = VAA(C1) - VAA(C0) \quad (6)$$

L'hypothèse de prix constants dans le modèle selon Cline (1996) biaise les résultats du fait qu'elle peut permettre à une surestimation des effets du changement climatique. Cependant, malgré l'inconvénient de l'hypothèse de prix constants, Mendelsohn (2000) souligne la complexité des effets des prix dans la modélisation et affirme qu'« à moins que les scénarios suggèrent des conséquences catastrophiques, le fait que les prix sont maintenus constants peut ne pas être un problème majeur pour l'approche ricardienne ».

F = ensemble de variables captant le changement climatique (TEMP = Température moyenne annuelle en °C, TEMP2 = Température moyenne annuelle au carré, PREC = Précipitation moyenne annuelle en mm et PREC2 = Précipitation moyenne annuelle au carré) ;

Z = un panier des variables concernant les terres (TA = Terre agricole en pourcentage du territoire, TAR = Terre arable en pourcentage du territoire, TCEP = Terre cultivée en permanence en pourcentage du territoire).

G = ensemble des variables socio-économiques comme par exemple : le niveau d'éducation, l'âge, l'accès au crédit, le sexe, le nombre de machines agricoles, etc. Dans notre cas nous n'avons retenu que la POPA = Population agricole en pourcentage de la population totale, et CSE = Consommation des engrais en Kg/ha de terres arables selon la disponibilité de nos données.

L'équation (1) de notre modèle proposé dans la méthode peut se réécrire sous la forme suivante :

$$VAA = f(TEMP, TEMP2, PREC, PREC2, TA, TAR, TCEP, POPA, CSE) \quad (1')$$

Le modèle (2') contient une variable dépendante (VAA) et neuf variables explicatives dont sept de contrôle (PREC, PREC2, TA, TAR, TCEP, POPA, CSE). Ces variables sont essentiellement annuelles et couvrent la période de 1960 à 2020.

3.3. Sources de données

Le champ d'étude de notre sujet se délimite sur la période allant de 1960 à 2020. Pour mesurer et anticiper l'impact du changement climatique sur l'agriculture d'un pays, il est

nécessaire de disposer des données climatiques qui doivent servir à la réalisation de cet objectif. Notre base de données est hétérogène, car fournie par de nombreuses sources. Elles sont pour l'essentiel constituées de celles de la Banque mondiale, de la FAO, de la Direction des Statistiques Agropastorales (DSAP), du Centre National de la Statistique et des Etudes Economiques (CNSEE) aujourd'hui Institut National de la Statistique (INS), des Enquêtes congolaises auprès des ménages (ECOM) 1 et 2, du Recensement général de la population et de l'habitat

(RGPH) (1974, 1984, et 2007), de l'enquête 1960-1961, du bilan agroalimentaire et définition de grandes optiques d'une nouvelle politique agricole pour les prochaines années (Ministère du Développement Rural, 2000), des données des Directions Régionales, du résultat de l'enquête agricole 1990, du RGA (1985/1986 et 2014/2017), des annuaires Statistiques Agricoles (1982, 1986, 1988, 1990, 1996), du Plan Quinquennal (1982-1986).

3.4 Méthode d'estimation

3.4.1.1. Détermination du degré d'intégration des

variables du modèle

En commençant par le test de la racine unitaire de la VAA, on constate que la P-valeur (0,712) du test de la présence ou non de la racine unitaire est supérieur à 5% (Tableau 1). Ce qui signifie qu'on va procéder au test de nullité de la tendance déterministe par un test de Wald. Ce dernier nous donne une statistique de test dont la P-valeur (0,0235) est inférieure à 5%.

D'après les résultats du tableau 1, il ressort que la VAA du Congo entre 1960 et 2020 est non stationnaire.

Tableau 1: Test de DFA sur les variables du modèle.

	MODELE 3				MODELE 2				MODELE 1	
	Test de la racine unitaire	Conclusion	Test	Conclusion	Test de la racine unitaire	Conclusion	Test	Conclusion	Test de la racine unitaire	Conclusion
VAA	0.712	Faire le test de Wald	0.0235	I(1)+T+C						
CSE	0.3135	Faire le test de Wald	0.0478	I(1)+T+C						
POP	0.4073	Faire le test de Wald	0.0719	Passer au modèle 2	0.9934	Faire le test de Wald	0.0109	I(1)+C		
PREC	0	Faire le test de Student	0.5509	Passer au modèle 2	0	Faire le test de Student	0	I(0)+C		
PREC2	0	Faire le test de Student	0.5385	Passer au modèle 2	0	Faire le test de Student	0	I(0)+C		
TA	0.9241	Faire le test de Wald	0.257	Passer au modèle 2	0.9344	Faire le test de Wald	0.5209	Passer au modèle 1	0.913	I(1)
TAR	0.8905	Faire le test de Wald	0.2413	Passer au modèle 2	0.6695	Faire le test de Wald	0.4519	Passer au modèle 1	0.7832	I(1)
TCEP	0.8778	Faire le test de Wald	0.265	Passer au modèle 2	0.9902	Faire le test de Wald	0	I(1)+C		
TEMP	0.0003	Faire le test de Student	0.0006	TS						
TEMP2	0.0003	Faire le test de Student	0.0005	TS						

Source : auteur

En procédant de la sorte pour les autres variables, on constate que toutes les variables du modèle sont stationnaires en différence première sauf les variables PREC et PREC2. Ces dernières sont stationnaires à niveau [I(0)]. A cet effet, nous appliquons le modèle Auto Régressif à Retard Echelonné (ARDL).

appliquons cette approche afin d'étudier l'impact du changement climatique sur la pauvreté au Congo.

Si l'on a deux variables explicatives (X et Z) et une variable à expliquer (Y), la forme du modèle ARDL (p, q, r) serait :

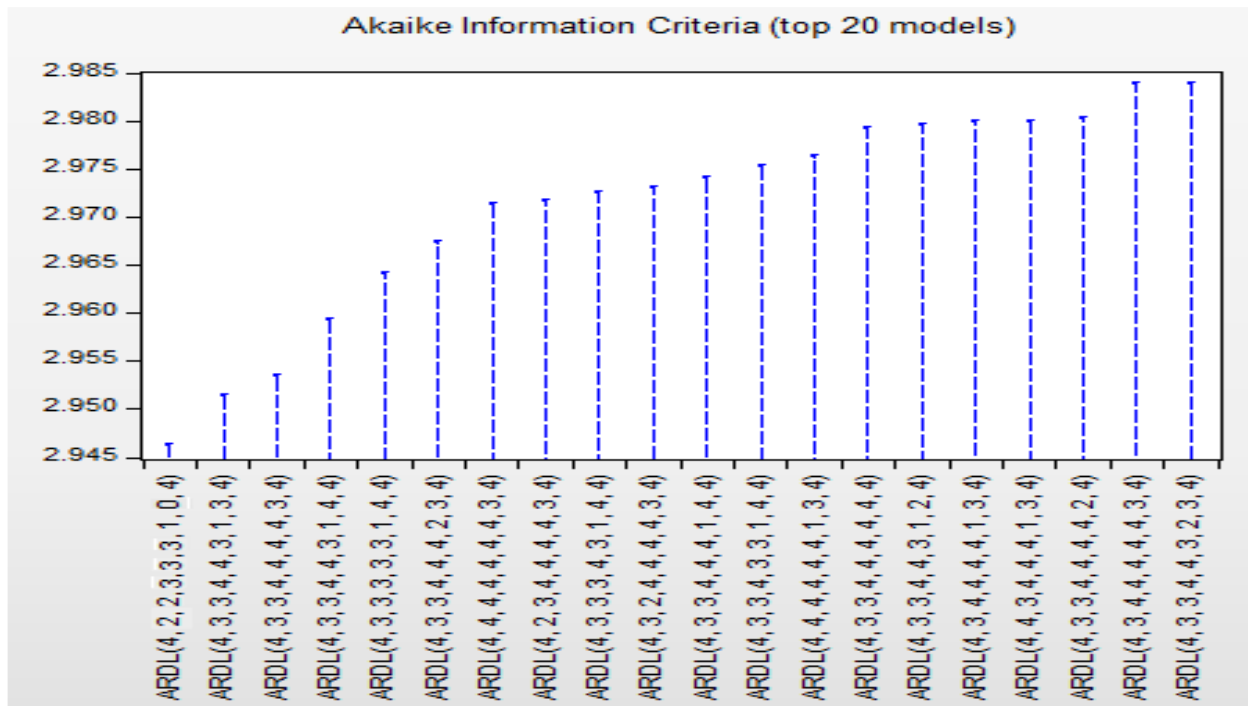
3.4.2. Présentation du modèle ARDL

3.4.2.1. Cadre spécifique du modèle

Dans la mesure où certaines variables sont stationnaires et d'autres comportent une racine unitaire, on retient un modèle ARDL. Le modèle autorégressif à retards échelonnés (ARDL) proposé par Pesaran et Shin (1998) et Pesaran et al (2001) permet, d'une part, de tester les relations de long terme en utilisant le test des limites « bounds test » sur des séries qui ne sont pas intégrées de même ordre et, d'autre part, d'obtenir des meilleures estimations sur des échantillons de petite taille (Narayan, 2005). Ainsi, l'ARDL donne la possibilité de traiter simultanément la dynamique de long terme et les ajustements de court terme. C'est dans ce contexte que nous

$$\Delta(Y_t) = \alpha_0 + \alpha_1 Y_{t-1} + \alpha_2 X_{t-1} + \alpha_3 Z_{t-1} + \sum_{i=1}^p (\beta_i * \Delta(Y_{t-i})) + \sum_{i=0}^q (\theta_i * \Delta(X_{t-i})) + \sum_{i=0}^r (\rho_i * \Delta(Z_{t-i}))$$

Graphique 1 : Critère de Schwarz sur les vingt meilleurs modèles



Le modèle ARDL estime $(p + 1)^k$ régressions, avec p le nombre de retard optimal et k, le nombre des variables explicatives dans l'équation. Pour le nombre de retard optimal, on utilise les critères de choix à savoir les critères d'Akaike, de Schwarz ou d'Hannan-Quinn. Dans notre cas, nous avons neuf (09) variables explicatives (k=9). Cependant, il ressort de nos données, un lien de colinéarité entre les variables TA et TAR. A cet effet, nous avons éliminé dans le modèle, celle qui n'avait pas un lien linéaire avec la variable dépendante (TAR). Ainsi, en gardant les huit variables explicatives et en choisissant

vingt meilleurs modèles, on remarque que le modèle optimal est le ARDL (4,2,2,3,3,1,0,4).

L'obtention du modèle optimal permet de vérifier la cointégration des variables. A cet effet, on va appliquer le test de Pesaran et al. (2001) ou le test de cointégration aux bornes (bounds test).

La statistique F pour le test ARDL est 5,2038, elle dépasse toutes les valeurs critiques pour les limites supérieures. Ce résultat conduit à rejeter l'hypothèse de non-relation à long terme. Cela indique qu'il existe une longue relation d'équilibre entre la pauvreté et les efficacités techniques.

Tableau 2 : Test de cointégration de Pesaran.

F-Bounds Test		Null Hypothesis: No levels relationship		
Test Statistic	Value	Signif.	I(0)	I(1)
Asymptotic: n=1000				
F-statistic	5.203844	10%	1.85	2.85
k	8	5%	2.11	3.15
		2.5%	2.33	3.42
		1%	2.62	3.77
Finite Sample: n=60				
Actual Sample Size	57	10%	-1	-1
		5%	-1	-1
		1%	-1	-1
Finite Sample: n=55				
		10%	-1	-1
		5%	-1	-1
		1%	-1	-1

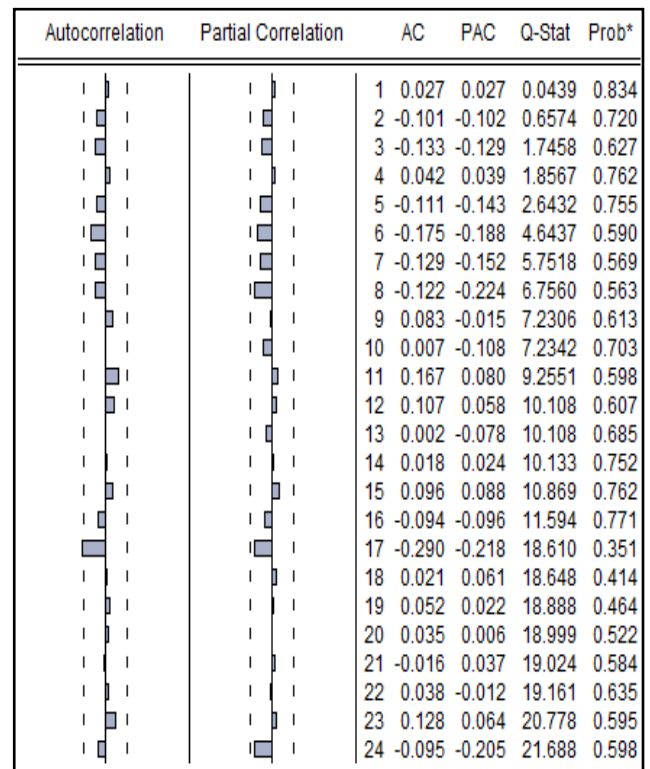
Sur la base des résultats obtenus ci-haut, nous pouvons estimer les paramètres de notre modèle. Les résultats du modèle obtenus dans le tableau 2 indiquent que le terme de correction d'erreur est négatif (-0,437209) et statistiquement significatif à 5%. Plus précisément, ce terme implique que près de 43,72% des déséquilibres de la

valeur ajoutée agricole au cours de la période précédente sont ajustés dans la période en cours. En d'autres termes, il faut environ 2 ans et 3 mois⁶ pour atteindre le niveau d'équilibre à long terme.

⁶ 1/0,437209 = 2,2872 ans (2ans et 0,2872*12 = 3 mois).

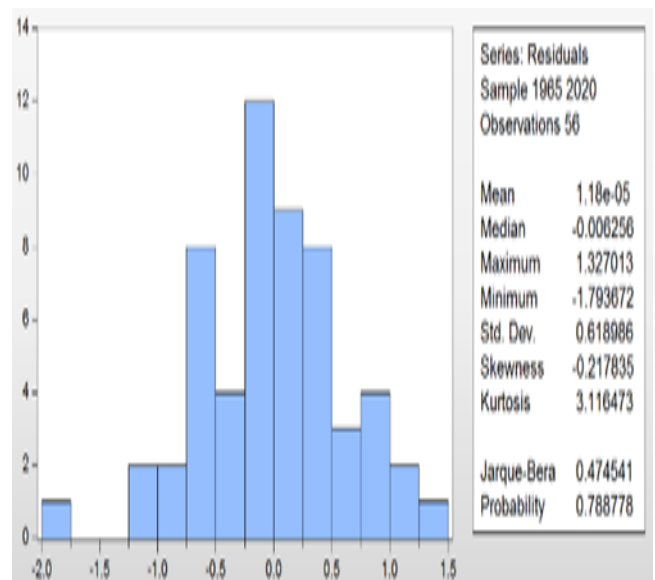
Tableau 3 : Estimation du modèle ARDL.

Dependent Variable: D(VAA)				
Method: Least Squares				
Date: 04/17/22 Time: 19:49				
Sample (adjusted): 1965 2020				
Included observations: 56 after adjustments				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
VAA(-1)	-0.437209	0.165748	-2.637792	0.0173
TEMP(-1)	-88.59305	36.53015	-2.425204	0.0267
TEMP2(-1)	1.738034	0.759936	2.287081	0.0353
PREC(-1)	0.238663	0.245231	0.973216	0.3441
PREC2(-1)	-7.53E-05	7.61E-05	-0.989243	0.3364
TA(-1)	31.47452	10.71596	2.937164	0.0092
TCEP(-1)	-125.4287	43.12167	-2.908716	0.0098
POPA(-1)	-0.229992	0.138290	-1.663111	0.1146
CSE(-1)	-0.178885	0.097293	-1.838620	0.0835
D(VAA(-1))	-0.108317	0.246452	-0.439506	0.6658
D(VAA(-2))	-0.025801	0.231057	-0.111664	0.9124
D(VAA(-3))	-0.070375	0.216338	-0.325301	0.7489
D(VAA(-4))	0.537856	0.240357	2.237738	0.0389
D(TEMP)	-19.07115	74.58048	-0.255712	0.8012
D(TEMP(-1))	-101.1912	119.4381	-0.847227	0.4086
D(TEMP(-2))	-198.0170	108.5820	-1.823663	0.0858
D(TEMP2)	0.408914	1.503325	0.272006	0.7889
D(TEMP2(-1))	2.086687	2.420730	0.862007	0.4007
D(TEMP2(-2))	3.994511	2.200963	1.814892	0.0872
D(PREC)	0.046668	0.065724	0.710071	0.4873
D(PREC(-1))	-0.146107	0.176388	-0.828327	0.4190
D(PREC(-2))	-0.116419	0.118519	-0.982286	0.3397
D(PREC(-3))	-0.084574	0.069439	-1.217961	0.2399
D(PREC2)	-1.52E-05	2.03E-05	-0.746695	0.4655
D(PREC2(-1))	4.64E-05	5.51E-05	0.841626	0.4117
D(PREC2(-2))	3.65E-05	3.71E-05	0.982609	0.3396
D(PREC2(-3))	2.54E-05	2.18E-05	1.168269	0.2588
D(TA)	-0.760523	12.84041	-0.059229	0.9535
D(TA(-1))	-32.96091	12.77539	-2.580031	0.0195
D(TA(-2))	-16.95839	10.26413	-1.652199	0.1168
D(TA(-3))	4.164523	8.341089	0.499278	0.6240
D(TCEP)	-25.14039	60.38732	-0.416319	0.6824
D(TCEP(-1))	66.82690	61.67307	1.083567	0.2937
D(POPA)	1.473373	0.511662	2.879581	0.0104
D(CSE)	-0.045857	0.133195	-0.344283	0.7349
D(CSE(-1))	0.149196	0.112790	1.322773	0.2034
D(CSE(-2))	0.074963	0.104311	0.718656	0.4821
D(CSE(-3))	0.167258	0.114286	1.463505	0.1616
D(CSE(-4))	-0.009103	0.111138	-0.081909	0.9357
R-squared	0.792434	Mean dependent var	-0.216279	
Adjusted R-squared	0.328464	S.D. dependent var	1.358635	
S.E. of regression	1.113365	Akaike info criterion	3.253369	
Sum squared resid	21.07287	Schwarz criterion	4.663882	
Log likelihood	-52.09433	Hannan-Quinn criter.	3.800222	
Durbin-Watson stat	1.937372			



Graphique 1 : Corrélogramme simple et partiel des résidus du modèle

De même, au regard des résultats se trouvant sur le graphique 03, il ressort que la P-valeur du test de Jarque-Bera (0,788778) est largement supérieure à 5%. Ce qui signifie que les résidus suivent la loi normale⁷.



Graphique 2 : Test de la normalité des résidus du modèle

3.4.2.2. Test de robustesse du modèle

Avant d’interpréter les résultats du modèle à court et à long terme, nous allons d’abord vérifier si les hypothèses émises sur le modèle sont validées. Il s’agit, entre autres, des tests stochastiques (la stationnarité, la non auto-corrélation, l’homoscédasticité et la normalité des résidus), des tests de la stabilité des paramètres (CUSUM simple et CUSUM au carré) et du test de spécification du modèle (test de Ramsey).

Les résultats du graphique 02 nous informent que les résidus du modèle sont stationnaires.

⁷ Nous avons utilisé le test de Jarque et Bera.

Tableau 4 : Test d'homoscédasticité des résidus du modèle.

Heteroskedasticity Test: Breusch-Pagan-Godfrey				
F-statistic	1.002426	Prob. F(39,16)	0.5212	
Obs*R-squared	39.73707	Prob. Chi-Square(39)	0.4371	
Scaled explained SS	3.875225	Prob. Chi-Square(39)	1.0000	
Test Equation:				
Dependent Variable: RESID^2				
Method: Least Squares				
Date: 04/18/22 Time: 03:26				
Sample: 1965 2020				
Included observations: 56				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-984.4510	1467.725	-0.670733	0.5120
VAA(-1)	-0.150668	0.089307	-1.687078	0.1110
TEMP(-1)	99.38359	127.4240	0.779944	0.4468
TEMP2(-1)	-2.074990	2.595675	-0.799403	0.4358
PREC(-1)	-0.118614	0.123240	-0.962467	0.3501
PREC2(-1)	3.77E-05	3.84E-05	0.981666	0.3409
TA(-1)	-3.698381	5.776080	-0.640292	0.5310
TCEP(-1)	18.08066	24.36654	0.742028	0.4688
POPA(-1)	0.057505	0.077219	0.744703	0.4672
CSE(-1)	0.015933	0.059600	0.267337	0.7926
D(VAA(-1))	0.130329	0.134123	0.971701	0.3457
D(VAA(-2))	0.096781	0.114800	0.843047	0.4116
D(VAA(-3))	0.107042	0.113802	0.940599	0.3609
D(VAA(-4))	0.105424	0.131011	0.804696	0.4328
D(TEMP)	-13.40466	44.21223	-0.303189	0.7657
D(TEMP(-1))	-47.72874	108.0836	-0.441591	0.6647
D(TEMP(-2))	-72.39524	78.89919	-0.917566	0.3725
D(TEMP2)	0.256674	0.892073	0.287728	0.7772
D(TEMP2(-1))	0.993268	2.196009	0.452306	0.6571
D(TEMP2(-2))	1.482048	1.601837	0.925217	0.3686
D(PREC)	-0.013554	0.032925	-0.411670	0.6860
D(PREC(-1))	0.092176	0.088101	1.046259	0.3110
D(PREC(-2))	0.050085	0.058775	0.852155	0.4067
D(PREC(-3))	0.020320	0.034441	0.589989	0.5634
D(PREC2)	4.56E-06	1.02E-05	0.446372	0.6613
D(PREC2(-1))	-2.88E-05	2.76E-05	-1.045450	0.3114
D(PREC2(-2))	-1.80E-05	1.84E-05	-0.866985	0.3988
D(PREC2(-3))	-6.46E-06	1.08E-05	-0.598499	0.5579
D(TA)	-2.788033	6.729652	-0.414291	0.6842
D(TA(-1))	-2.411979	6.368458	-0.378738	0.7099
D(TA(-2))	5.947998	5.501156	1.081227	0.2956
D(TA(-3))	-11.98260	4.169867	-2.873617	0.0110
D(TCEP)	-3.058485	30.11560	-0.101558	0.9204
D(TCEP(-1))	12.82248	31.67390	0.404828	0.6910
D(POPA)	0.068914	0.288068	0.239229	0.8140
D(CSE)	0.037856	0.076520	0.494725	0.6275
D(CSE(-1))	0.082359	0.057624	1.429234	0.1722
D(CSE(-2))	0.005709	0.062165	0.091838	0.9280
D(CSE(-3))	0.023383	0.066461	0.351832	0.7296
D(CSE(-4))	-0.011397	0.055110	-0.206811	0.8388
R-squared	0.709591	Mean dependent var	0.378301	
Adjusted R-squared	0.001718	S.D. dependent var	0.552399	
S.E. of regression	0.551924	Akaike info criterion	1.824997	
Sum squared resid	4.873930	Schwarz criterion	3.271677	
Log likelihood	-11.09993	Hannan-Quinn criter.	2.385872	
F-statistic	1.002426	Durbin-Watson stat	2.835857	
Prob(F-statistic)	0.521195			

Le tableau 05 donne les résultats du test de Breusch-Godfrey pour $p=2^8$. A la lecture de ce tableau, nous constatons qu'aucun retard n'est significatif (toutes les P-valeurs de RESID (-1) et de RESID (-2) sont supérieures à 5%). Par conséquent, nous concluons à une non-autocorrélation des erreurs.

Tableau 5 : Test de non auto corrélation des résidus du modèle.

Breusch-Godfrey Serial Correlation LM Test				
F-statistic	0.318725	Prob. F(2,15)	0.7319	
Obs*R-squared	2.262800	Prob. Chi-Square(2)	0.3194	
Test Equation:				
Dependent Variable: RESID				
Method: Least Squares				
Date: 04/18/22 Time: 02:56				
Sample: 1965 2020				
Included observations: 56				
Presample missing value lagged residuals set to zero.				
Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
VAA(-1)	-0.008405	0.187952	-0.044719	0.9649
TEMP(-1)	5.088723	59.31491	0.085792	0.9328
TEMP2(-1)	-0.107042	1.226634	-0.087265	0.9316
PREC(-1)	-0.008339	0.282074	-0.029564	0.9768
PREC2(-1)	3.00E-06	8.86E-05	0.033899	0.9734
TA(-1)	-1.812216	19.03237	-0.095218	0.9254
TCEP(-1)	4.836798	70.57842	0.068531	0.9463
POPA(-1)	0.017075	0.218462	0.078161	0.9387
CSE(-1)	0.000929	0.103348	0.008992	0.9929
D(VAA(-1))	-0.003788	0.383712	-0.009871	0.9923
D(VAA(-2))	0.126477	0.309534	0.408603	0.6886
D(VAA(-3))	0.003302	0.266925	0.012369	0.9903
D(VAA(-4))	0.023802	0.268054	0.088797	0.9304
D(TEMP)	12.22462	97.79509	0.125002	0.9022
D(TEMP(-1))	1.889122	169.8972	0.011119	0.9913
D(TEMP(-2))	-24.50502	117.8945	-0.207679	0.8383
D(TEMP2)	-0.247473	1.973806	-0.125379	0.9019
D(TEMP2(-1))	-0.035097	3.440879	-0.010200	0.9920
D(TEMP2(-2))	0.492203	2.390554	0.205895	0.8396
D(PREC)	-0.003078	0.077234	-0.039852	0.9687
D(PREC(-1))	-0.008142	0.187361	-0.043457	0.9659
D(PREC(-2))	-0.017798	0.126104	-0.141134	0.8896
D(PREC(-3))	-0.014058	0.074605	-0.188438	0.8531
D(PREC2)	1.11E-06	2.42E-05	0.045761	0.9641
D(PREC2(-1))	2.51E-06	5.87E-05	0.042659	0.9665
D(PREC2(-2))	5.61E-06	3.96E-05	0.141625	0.8893
D(PREC2(-3))	4.35E-06	2.34E-05	0.185823	0.8551
D(TA)	4.669517	16.68387	0.279882	0.7834
D(TA(-1))	0.318422	15.87450	0.020059	0.9843
D(TA(-2))	1.595372	13.50180	0.118160	0.9075
D(TA(-3))	1.036424	10.18135	0.101796	0.9203
D(TCEP)	-0.427296	63.86041	-0.006691	0.9947
D(TCEP(-1))	-4.052585	64.73317	-0.062604	0.9509
D(POPA)	0.079336	0.549643	0.144341	0.8872
D(CSE)	-0.023900	0.166203	-0.143803	0.8876
D(CSE(-1))	-0.008664	0.118427	-0.073162	0.9426
D(CSE(-2))	0.009377	0.110205	0.085091	0.9333
D(CSE(-3))	0.001943	0.123605	0.015694	0.9877
D(CSE(-4))	-0.031921	0.137157	-0.232730	0.8191
RESID(-1)	0.108207	0.585272	0.184883	0.8558
RESID(-2)	-0.374409	0.493518	-0.758653	0.4598
R-squared	0.040764	Mean dependent var	1.18E-05	
Adjusted R-squared	-2.517198	S.D. dependent var	0.618986	
S.E. of regression	1.160857	Akaike info criterion	3.283179	
Sum squared resid	20.21385	Schwarz criterion	4.760226	
Log likelihood	-50.92901	Hannan-Quinn criter.	3.858076	
Durbin-Watson stat	2.075375			

Les résultats du tableau 6 révèlent qu'il n'y a pas une variable importante oubliée dans le modèle. En effet, la P-valeur de la variable « FITTED^2 » étant loin d'être significative (P-valeur=0,6445>>>0,05), nous permet de conclure que le modèle est bien spécifié.

⁸ Quand $p=1$, on parle du test de Durbin-xatson (DW).

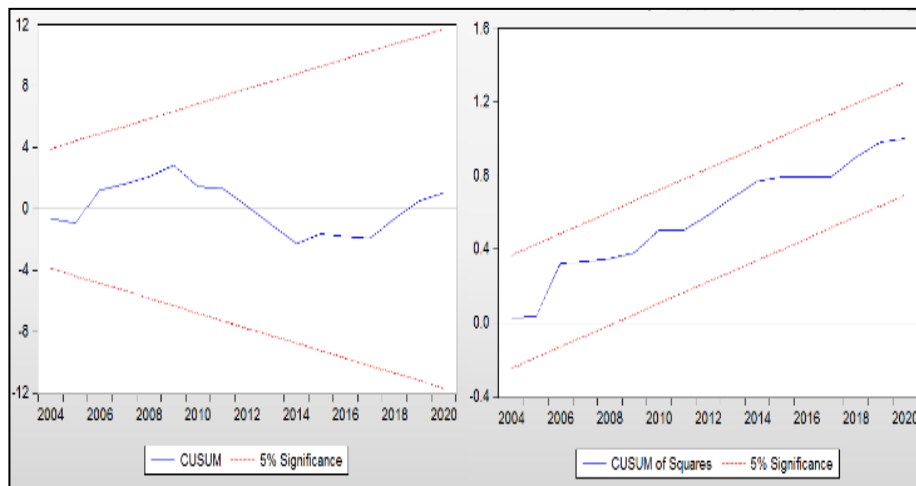
Tableau 6.: Test de RAMSEY.

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
VAA(-1)	-0.428418	0.170706	-2.509679	0.0232
TEMP(-1)	-87.89275	37.42641	-2.348415	0.0320
TEMP2(-1)	1.730232	0.778141	2.223545	0.0409
PREC(-1)	0.269721	0.259588	1.039033	0.3142
PREC2(-1)	-8.48E-05	8.05E-05	-1.053141	0.3079
TA(-1)	30.19433	11.30282	2.671399	0.0167
TCEP(-1)	-119.7853	45.74633	-2.618468	0.0186
POPA(-1)	-0.214482	0.145361	-1.475512	0.1595
CSE(-1)	-0.181321	0.099736	-1.818008	0.0878
D(VAA(-1))	-0.135628	0.258895	-0.523872	0.6075
D(VAA(-2))	-0.077936	0.261223	-0.298349	0.7693
D(VAA(-3))	-0.077282	0.221957	-0.348187	0.7322
D(VAA(-4))	0.541000	0.246150	2.197849	0.0430
D(TEMP)	-24.86634	77.33767	-0.321529	0.7520
D(TEMP(-1))	-128.5657	135.4176	-0.949401	0.3565
D(TEMP(-2))	-207.8817	113.1194	-1.837718	0.0847
D(TEMP2)	0.530032	1.560386	0.339680	0.7385
D(TEMP2(-1))	2.637719	2.741148	0.962268	0.3502
D(TEMP2(-2))	4.193240	2.292455	1.829148	0.0861
D(PREC)	0.051791	0.068159	0.759858	0.4584
D(PREC(-1))	-0.164932	0.184955	-0.891737	0.3857
D(PREC(-2))	-0.130645	0.125044	-1.044796	0.3116
D(PREC(-3))	-0.082773	0.071190	-1.162713	0.2620
D(PREC2)	-1.67E-05	2.10E-05	-0.793398	0.4392
D(PREC2(-1))	5.20E-05	5.77E-05	0.902517	0.3802
D(PREC2(-2))	4.07E-05	3.91E-05	1.042814	0.3125
D(PREC2(-3))	2.49E-05	2.23E-05	1.113917	0.2818
D(TA)	-3.342801	14.24557	-0.234656	0.8175
D(TA(-1))	-33.10134	13.08188	-2.530319	0.0223
D(TA(-2))	-16.03680	10.68877	-1.500341	0.1530
D(TA(-3))	4.881431	8.673952	0.562769	0.5814
D(TCEP)	-20.23661	62.69301	-0.322789	0.7510
D(TCEP(-1))	65.94487	63.16404	1.044026	0.3120
D(POPA)	1.502902	0.527550	2.848832	0.0116
D(CSE)	-0.029124	0.140920	-0.206670	0.8389
D(CSE(-1))	0.139338	0.117353	1.187345	0.2524
D(CSE(-2))	0.064616	0.109028	0.592651	0.5617
D(CSE(-3))	0.160388	0.117906	1.360312	0.1926
D(CSE(-4))	0.004016	0.117144	0.034279	0.9731
FITTED^2	0.052298	0.111194	0.470328	0.6445
R-squared	0.795265	Mean dependent var	-0.216279	
Adjusted R-squared	0.296223	S.D. dependent var	1.358635	
S.E. of regression	1.139778	Akaike info criterion	3.275352	
Sum squared resid	20.78550	Schwarz criterion	4.722032	
Log likelihood	-51.70987	Hannan-Quinn criter.	3.836227	
Durbin-Watson stat	1.897894			

Il ressort dudit graphique que toutes les deux courbes sont entièrement contenue dans l'air formé par les droites que représente le seuil de confiance. Ceci revient à dire que les

paramètres du modèle sont stables à long et à court terme.

Graphique 3 : Test de CUSUM et du carré de CUSUM.



3.5. Interprétation des résultats

Les résultats du modèle obtenus dans le tableau 2 indiquent que le terme de correction d'erreur est négatif (-0,437209) et statistiquement significatif à 5%. Plus précisément, ce terme implique que près de 43,72% des déséquilibres de la valeur ajoutée agricole au cours de la période précédente sont ajustés dans la période en cours. En d'autres termes, il faut environ 2 ans et 3 mois⁹ pour atteindre le niveau d'équilibre à long terme.

Les coefficients des différentes variables issus du tableau 3 indiquent que seules les températures, les terres agricoles, les terres cultivées en permanence et la population agricole sont significatifs au seuil de 5%. Cependant, seules les températures et les terres agricoles sont significatives à court et long terme. La relation entre la valeur ajoutée agricole et la température est non linéaire. Les signes des termes linéaires et quadratiques sont opposés. Ce qui signifie que la température et affecte positivement la valeur ajoutée agricole jusqu'à un certain niveau au-delà duquel chacune de ces variables devient néfaste pour les cultures. La relation entre la valeur ajoutée agricole et la température est en forme de « U ». Les terres agricoles ont un impact négatif sur la production agricole à court terme tandis qu'à long terme c'est l'effet inverse qui se produit. Ainsi, pour compenser la faible productivité des terres, les agriculteurs ont tendance à accroître les superficies cultivées. Cette stratégie permet certes d'augmenter la production, mais n'améliore généralement pas la productivité de la terre. Elle entraîne des baisses de rendement par manque de moyens pour l'entretien de grandes superficies (Ouédraogo et al., 2010).

Les terres cultivées en permanence n'ont de significativité qu'à long terme et influence négativement la valeur ajoutée agricole. Quant à la population agricole, elle n'a d'impact qu'à court terme sur la valeur ajoutée agricole avec un signe positif.

3.6. Implications de politique économique

Suivant les différents résultats obtenus de nos estimations, nous pouvons évoquer certaines implications de politique économique :

Il se pose un problème de résilience de l'agriculture face au climat notamment par la variable température. Pour

corriger cette défaillance, l'investissement dans la recherche & développement ou dans la recherche agronomique est nécessaire afin de mettre au point des cultures plus résistantes aux fortes températures, des techniques plus efficaces dans la conservation des terres et des produits agricoles, et dans la production des engrais naturels pour une meilleure fertilisation des terres.

L'encadrement technique est un facteur important à prendre en considération dans le cadre de l'acquisition et la diffusion de nouvelles connaissances, techniques et innovations aux agriculteurs pour garantir de meilleurs rendements.

La mécanisation de l'agriculture et l'investissement dans le développement rural peuvent contribuer à maintenir la valeur ajoutée agricole vis-à-vis du changement climatique par le maintien de la force de travail, la réduction de la pénibilité du travail et la lutte contre l'exode rural.

4. Conclusion

En définitive, il en ressort de ce travail que le changement climatique par sa variable température affecte l'agriculture congolaise. Cette relation est non linéaire et positive à court terme tandis qu'à long terme se produit l'effet inverse. La recherche agronomique ou la recherche et développement et l'investissement dans le développement rural peuvent constituer des pistes de solution face au changement climatique dans la génération des espèces culturales plus résistantes aux températures et la fertilisation des terres.

Reference

1. Acevedo S., Mrkaic M., Novta N., Pugacheva E., et Topalova P., 2020, "The Effects of Weather Shocks on Economic Activity: What are the Channels of Impact?" *Journal of Macroeconomics*, 65, 103207.
2. Adhikari U., Nejadhashemi A. P., Woznicki S. A., 2015, *Changement climatique en Afrique de l'Est : un examen de l'impact sur les principales cultures. Sécurité alimentaire et énergétique. Volume 4, Pages 110-132*
3. Ajetomobi J.O., Abidun A. et Hassan R.M., 2010, *Impact économique du changement climatique sur la riziculture irriguée au Nigeria*, *Research In Agricultural and Applied Economics Digital Library*, pp. 1-20
4. Barnwal P., et Kotani K., 2010, "Impact of variation in climatic factors on crop yield: A case of rice crop in

⁹ $1/0,437209 = 2,2872$ ans (2ans et $0,2872 \cdot 12 = 3$ mois).

- Andhra Pradesh”, India. Economics and Management series.
5. Bouka Biona C. et Marcel Mpoundza, 2009, Impacts des Changements climatiques actuels et attendus en République du Congo
 6. Brown ME et Funk C.C., 2008, Sécurité alimentaire face au changement climatique. Administration nationale de l'aéronautique et de l'espace, document 131.
 7. Bush E. et Lemmen D.S., 2019, Rapport sur le climat en changement du Canada ; gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario), 2019, 446 p.
 8. Carleton T. A. et Hsiang S. M., 2016, "Social and economic impacts of climate", *Science*, 353(6304).
 9. Chakraborty, S., Tiedemann A.V. et Teng P.S., 2000, « Climate change: potential impact on plant diseases », *Environmental Pollution*, vol. 108, no 3, pp. 317-326.
 10. Chen C.C. et McCarl B.A., 2001, « An investigation of the relationship between pesticide usage and climate change », *Climatic Change*, vol. 50, no 4, pp. 475-487.
 11. Cline, W. R., 1996, "The impact of global warming of agriculture: comment". *The American Economic Review*, 1309-1311.
 12. Deressa T. et Hassan R. M., 2009, « Impact économique du changement climatique sur la production agricole en Ethiopie : preuves issues de mesures transversales », *Journal des économies africaines*, 2009, vol. 18, numéro 4, pp. 529-554
 13. Deressa T., Temesgen T., 2007, « Mesurer l'impact économique du changement climatique sur l'agriculture éthiopienne : approche ricardienne ». Document de travail sur la recherche sur les politiques ; N° 4342. Banque mondiale, Washington, DC
 14. Desanker P.V. and Justice C.O., 2001. "Africa and global climate change: critical issues and suggestions for further research and integrated assessment modeling". *Clim. Res.*, 17, 93-103.
 15. Deutsch C., 2018, "Increase in crop losses to insect pests in a warming climate", *Science*, 361(6405).
 16. Di Falco, S., 2014, "Adaptation to climate change in Sub-Saharan agriculture: assessing the evidence and rethinking the drivers", *European Review of Agricultural Economics*, 41(3), 405-430.
 17. Dukes J.S. et Mooney H.A., 1999, « Does global change increase the success of biological invaders? », *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 14, pp. 135-139.
 18. European Environment Agency, 2019, "Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe", EEA report n° 04.
 19. Fazal S. A., et Abdul Wahab S., 2013, "Economic impact of climate change on agricultural sector: A Review". *Journal of Transformative Entrepreneurship*, 1(1), 39-49.
 20. Gbetibouo G., et Hassan R., 2005, "Measuring the economic impact of climate change on major South African field crops: a Ricardian approach". *Global and Planetary Change*, 47(2), 143-152.
 21. GIEC, 2007, *Climate Change 2007: Synthesis Report*, Cambridge, UK et New York, Cambridge University Press.
 22. GIEC, 2012, *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change*
 23. GIEC, 2014. 5ème Rapport d'Évaluation (2013-2014).
 24. Gollin D. et Rogerson R., 2009. « La plus grande de toutes les améliorations : routes, agriculture et développement économique en Afrique », Documents de réunion 2009 759, Society for Economic Dynamics.
 25. Hallegatte S. et Théry D., 2007, Les impacts économiques futurs du changement climatique sont-ils sous-estimés ? *Revue d'économie politique* 2007/4 (Vol. 117)
 26. Hsiang S., 2016, "Climate econometrics", Annual review of resource economics, Volume 8. Adaptation - Summary for policy Makers. A special Report of Working Groups I & II. Retrieved from
 27. Jeder, H. Khalifa, A. B. Sghaier M., 2013, « Impact des changements climatiques sur l'agriculture dans la plaine de Jeffara sud-est tunisien », *The Journal of Agriculture and Environment for International Development*, Vol. 107 No. 2.
 28. Kahn, M.E., Mohaddes, K., Ng, R.N.C., Hashem Pesaran, M., Raissi, M. et Yang, J.-C., 2019, « Longterm macroeconomic effects of climate change: a cross-country analysis ». Document de travail du FMI (WP/19/215), Fonds monétaire international (FMI), Washington, D.C., 58 p.
 29. Khee P. C., Mee L. Y., et Keong, C., 2011, The economic impact of climate change and food security in Malaysia. Munich Personal RePEc
 30. Kotir J. H., 2011, "Climate change and variability in sub-Saharan Africa: a review of current and future trends and impacts on agriculture and food security". *Environment, Development and Sustainability*, 13(3), 587-605.
 31. Kurukulasuriya P. et Mendelsohn R., 2006, "A Ricardian analysis of the impact of climate change on African crop land. CEEPA Discussion Paper No. 8. Centre for Environmental Economics and Policy in Africa. Pretoria, South Africa: University of Pretoria.
 32. Kurukulasuriya P. et Mendelsohn R., 2008, "A Ricardian analysis of the impact of climate change on African cropland", *African Journal of Agriculture and Resource Economics*, 2(1).
 33. Kurukulasuriya P., Mendelsohn R. Hassan R., Benhin J., Deressa T., Diop M., Aïd H.M., Fosu K.Y., Gbetibouo G., Jaïn S., Mahamadou A., Mano R., Kabubo-Mariara J. El-Marsafawy S., Moluwa E., Ouda S, Ouédraogo M. Sène I., Maddison. D. Seo S.N., Dinar A., 2006, « L'agriculture africaine survivra-t-elle au changement climatique ? », Oxford University Press pour le compte de la Banque mondiale.
 34. Mano R. et Nhemachena C., 2007, "Assessment of the Economic Impacts of Climate Change on Agriculture in Zimbabwe: A Ricardian Approach", World Bank. Policy Research Working Paper No. 4292, 47 pages.
 35. Mejia S., 2018, "The Effects of Weather Shocks on Economic Activity: What are the Channels of Impact?", IMF Working Papers, Volume 18/144.
 36. Mendelsohn R. et Dinar A., 2003, « Climat, eau et agriculture ». *Économie foncière*, vol. 79, numéro 3, pp. 328-341.
 37. Mendelsohn R., 2000. "Efficient Adaptation to Climate Change" *Climatic Change* 45: 583-600
 38. Mendelsohn R., Nordhaus W. D., Shaw D., 1994, "The impact of global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis". *American Economic Review*, 84: pp. 753-771.

39. Molua E.L., 2009, "An empirical assessment of the impact of climate change on smallholder agriculture in Cameroon". *Global and Planetary Change*, 67(3), pp. 205-208.
40. Moore F.C. and Kolstad C.D., 2019, "Estimating the economic impacts of climate change using weather observations", NBER Working paper n° 25537.
41. Narayan P. K., 2005c, "The structure of tourist expenditure in Fiji: evidence from unit root structural break tests", *Applied Economics*, 37, 1157–61.
42. Nefzi A. et Bouzidi F., 2008, « Evaluation de l'impact économique du changement climatique sur l'agriculture au Maghreb »
43. Ouda S.A., Aïd H.M., El-Marsafawy S.M., 2007, « Évaluation des impacts économiques du changement climatique sur l'agriculture en Égypte : une approche ricardienne ». Document de travail sur la recherche sur les politiques ; N° 4293. Banque mondiale, Washington, DC.
44. Ouedraogo M., 2012, « Impact des changements climatiques sur les revenus agricoles au Burkina Faso », *Journal of Agriculture and Environment for International Development - JAEID* 2012, 106 (1): pp. 3 - 21
45. Patterson, D.T., Westbrook J.K., R.J.V. Joyce, P.D. Lingren et J. Rogasik. « Weeds, insects, and diseases », *Climatic Change*, vol. 43, no 4, 1999, pp. 711-727.
46. Pesaran M.H. et Shin Y., 1998, "An Autoregressive Distributed-Lag Modelling Approach to Cointegration Analysis". *Econometrics and Economic Theory in the 20th Century: The Ragnar Frisch Centennial Symposium*, 31, pp. 371-413.
47. Pesaran M.H., 2001, "ARDL modeling approach and the bounds test for cointegration", *Journal of Applied Econometrics*, 16(3), pp. 289–326.
48. Reinsborough M. J., 2003. « Un modèle ricardien des changements climatiques au Canada », *Revue canadienne d'économie*, Association canadienne d'économie, vol. 36(1), pages 21-40.
49. Sarker, M., et Rashid A., 2012, "Impacts of climate change on rice production and farmers' adaptation in Bangladesh". University of Southern Queensland
50. Seo S.N., et Mendelsohn R., 2008, « Une analyse ricardienne structurelle des impacts du changement climatique et des adaptations dans l'agriculture africaine ». Série de documents de travail sur la recherche sur les politiques 4603, Banque mondiale.
51. Smit B., et Lean RA Mc, 2006, « La migration en tant qu'adaptation au changement climatique, » *Changement climatique* 76(1): pp. 31-53
52. Smit B., McNabb D. et Smithers J., 1996, « Adaptation agricole aux variations climatiques », *Changement climatique*, vol. 33, pages 7-29.
53. Stern N., Bhattacharya A., Iyanyana M. et Oman G., (2021), *L'action climatique pour débloquent l'histoire de la croissance inclusive du 21e siècle*, Document de travail du FMI n° 2021/147, Pages :65
54. Stiglitz J.E, (2019), « *Peuple, pouvoir et profit : Le capitalisme à l'heure de l'exaspération sociale* », Edition les liens qui libèrent, 416 pages
55. Vincent, L.A., Zhang, X., Brown, R.D., Feng, Y., Mekis, E., Milewska, E.J., Wan, H. et Wang, X.L. « Observed trends in Canada's climate and influence of low-frequency variability modes », *Journal of Climate*, vol. 28, 2015, pp. 4545–4560.
56. Zhang X., Flato G., Kirchmeier-Young M., Vincent L., Wang X., Rong R., Fyfe J., Li G., et Kharin V.V., 2019, « Les changements de températures et de précipitations au Canada », Chapitre IV dans le *Rapport sur le climat changeant au Canada*, Ottawa, Ontario, 112-193