



REPUBLIQUE DU BENIN

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE

SCIENTIFIQUE

(MESRS)

UNIVERSITE D'ABOMEY – CALAVI

(UAC)

FACULTE DES SCIENCES ECONOMIQUES ET DE GESTION

(FASEG)

Mémoire présenté en vue de l'obtention des crédits associés au diplôme de

LICENCE PROFESSIONNELLE EN SCIENCE ECONOMIQUE

Option: Economie
Spécialité : Analyse des Politiques de Développement

EFFET DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE
RENDEMENT DE LA PRODUCTION DU MAÏS AU
BENIN

Réalisé et présenté par :

Ali Assou EDALO

&

Jérémy DOUVI

Sous la direction du :

Pr. Alastair S. ALINSATO

Enseignant à la FASEG/UAC

Composition du jury

1^{er} membre

Président

2^{eme} membre

Dr. ALAKONON Calixte

Pr. Alastair S. ALINSATO

M. AGBOKPANZO Tanguy

Soutenu le 19 Février 2021

AVERTISSEMENT

LA FACULTE DES SCIENCES ECONOMIQUES ET DE GESTION
N'ENTEND DONNER AUCUNE APPROBATION NI IMPROBATION
AUX OPINIONS EMISES DANS CE MEMOIRE. CES OPINIONS
DOIVENT ETRE CONSIDEREES COMME PROPRES A LEURS
AUTEURS.

DEDICACE 1

A :

- mon père Gbenonchi EDALO
- ma mère Marie KACLEVI

Ali Assou EDALO

DEDICACE 2

A :

- mon père Fambo DOUVI
- ma mère Egnoké ETOH

Jérémie DOUVI

REMERCIEMENTS

Ce travail étant le fruit d'une conjonction, d'engagement, d'assistance d'exhortation et d'encouragements de la part de plusieurs personnes ; nous manifestons ici nos sincères reconnaissances. Ainsi, nous remercions sincèrement :

- Notre maître de mémoire Professeur Alastair S. ALINSATO, pour avoir accepté de suivre et de coordonner ce travail. Son appui très cordial, ses conseils et ses critiques objectifs ont été très bénéfiques dans la conception, la réalisation et la présentation de ce travail ;
- Au Professeur Denis ACCLASSATO HOUENSOU, Doyen de la FASEG ;
- Docteur Théophile WOTTO, Vice Doyen de la FASEG ;
- À tout le corps professoral et au personnel administratif de la FASEG/UAC pour les efforts consentis dans le cadre de notre formation ;
- Docteur SALIGA, pour avoir accepté de suivre en permanence ce travail, malgré ses multiples occupations, pour ses nombreux conseils, ses suggestions et orientations, sa rigueur et son goût du travail bien fait
- Les honorables membres du jury, pour avoir accepté sacrifier une partie de leur précieux temps pour apprécier ce travail ;
- Nos familles respectives pour leurs différents soutiens ;
- Enfin, tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

LES SIGLES ET ACRONYMES

ASECNA	Agence pour la Sécurité de la Navigation Aérienne en Afrique
CCNUCC	Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques
CLCAM	Caisse Locale de Crédits Agricoles et Mutuels
CC	Changement Climatique
DEP	Diagnostic Evaluation Participatif
DFID	Département du Développement International
ECVR	Etude sur les Conditions de Vie des ménages Ruraux
FAO	Organisation des Nations Unies pour l’Alimentation et l’Agriculture
FPA	Forum pour le Partenariat avec l’Afrique
GES	Gaz à Effet de Serre
GIEC	Groupe Intergouvernemental d’Experts sur l’évolution du Climat
INRAB	Institut National de Recherches Agricoles du Bénin
INSAE	Institut National de la Statistique et de l’Analyse Economique
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MAEP	Ministère de l’Agriculture, de l’Elevage et de la Pêche
MCO	Moindres Carrés Ordinaires
MCE	Modèle à Correction d’Erreur
PIB	Produit Intérieur Brut
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement
PNUE	Programme des Nations Unies pour l’Environnement
RDH	Rapport sur le Développement Humain

LISTE DES TABLEAUX

Tableau n°1 : Prédiction de signes des variables	14
Tableau n°2 : Résultats du test de stationnarité en niveau.....	18
Tableau n° 3 : Test de stationnarité en différence première	18
Tableau n°4 : Régression du modèle de long terme (MCO).....	19

LISTE DES GRAPHIQUES

Graphe n°1 : Evolution du rendement de la production de maïs au cours du temps.....	20
Graphe n°2 : Evolution du dioxyde de carbone dans le temps	20
Graphe n° 3 : Evolution du rendement en présence du CO2	21

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE ET METHODOLOGIQUE DE L'ETUDE.....	4
SECTION 1 : PROBLEMATIQUE, OBJECTIFS, HYPOTHESES ET INTERET DE L'ETUDE	5
SECTION 2 : LA REVUE DE LITTERATURE ET LA METHODOLOGIE DE RECHERCHE	8
CHAPITRE II : PRESENTATION, ANALYSE DES RESULTATS ET RECOMMANDATIONS.....	17
SECTION 1 : PRESENTATION DES RESULTATS ET VERIFICATION DES HYPOTHESES	18
SECTION 2 : LIMITES ET RECOMMANDATIONS	23
CONCLUSION	24
REFERENCES BIBLIOGRAPHIES	26

RESUME

Au Bénin, l'agriculture est considérée comme un secteur clé et représente une grande importance dans l'économie. Son importance se distingue par ses effets d'entraînement non seulement en aval mais aussi en amont vis-à-vis des secteurs non agricoles. Cependant, sa situation est relativement fragile, en raison des aléas climatiques. Le changement climatique est supposé affecter directement et indirectement la croissance économique par la réduction du rendement du secteur agricole. Le modèle est testé pour la Tunisie. La présente étude a pour objectif, d'analyser l'effet du changement climatique sur le rendement de la production du maïs au Bénin sur une période allant de 1987 à 2019. Pour y parvenir, nous avons effectués une régression de MCO. Les résultats issus de l'analyse de la régression économétriques réveillent quelques variables déterminantes du changement climatique et du rendement dont les plus importants sont : La température ; la précipitation.

Mots clés : Agriculture ; climat ; rendement

ABSTRACT

In Benin, agriculture is considered a key sector and is of great importance in the economy. Its importance is distinguished by its ripple effects not only downstream but also upstream vis-à-vis non-agricultural sectors. However, its situation is relatively fragile, due to the vagaries of the weather. Climate change is assumed directly and indirectly economic growth by reducing the output of the agricultural sector. The model is tested for Tunisia. The objective of this study is to analyze the effect of climate change on the yield of maize production in Benin over a period from 1987 to 2019. The results of the econometric regression analysis reveal a few determining variables. climate change and performance, the most important of which are: temperature; precipitation.

Keywords: Agriculture; weather; yield



INTRODUCTION

Le changement climatique est aujourd'hui, un fait établi qui suscite des inquiétudes de la part d'organismes internationaux, de groupes d'experts, de décideurs politiques et de simples citoyens suite aux effets qu'il occasionne tant à l'endroit des humains que de la planète.

Les effets du CC se ressentent partout et dans différents domaines mais sont plus accentués dans l'hémisphère Sud pour au moins deux raisons. Il s'agit d'abord d'un ensemble de pays plus chauds que la moyenne mondiale et par suite plus vulnérables aux élévations de température. Alors que l'augmentation des températures semble être une tendance forte appuyée par plusieurs travaux (Lobell et Field 2007 ; Asseng et *al.* 2013 ; Eyshi Rezaei et *al.* 2014 ; Sultan et *al.* 2014), l'évolution du régime des précipitations est encore très incertaine. Selon le GIEC (2017), « le changement climatique s'étend comme variation de l'état du climat que l'on peut déceler par des modifications de la moyenne et ou de la variabilité de ses propriétés et qui persiste pendant une longue période ».

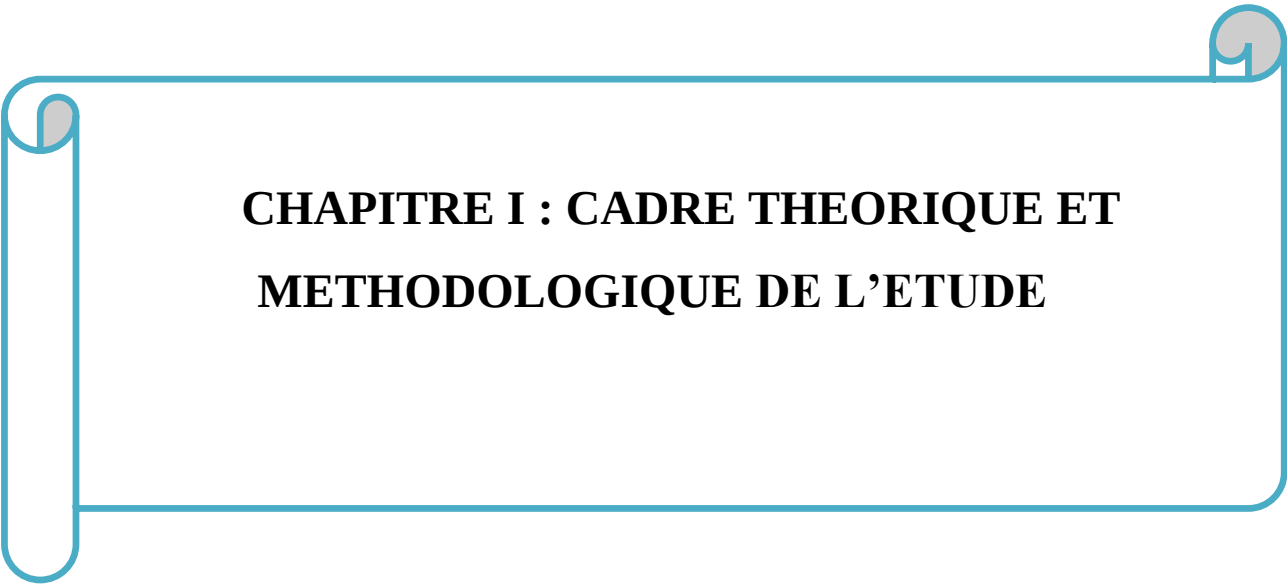
Les changements climatiques désignent aussi les modifications du climat regroupant tous les éléments qui constituent le temps, à savoir la température, les précipitations et les vents. Mais on parle beaucoup d'un changement du climat vers son réchauffement.

Le réchauffement climatique consiste en fait en une augmentation des degrés de la température due aux émissions accrues de gaz à effet de serre, imputable essentiellement aux activités humaines. Le réchauffement climatique provoquera d'importantes modifications du climat et aura de sérieuses répercussions écologiques, économiques et sociales sur les générations actuelles et futures.

Beaucoup de travaux ont montré le caractère évolutif et progressif des phénomènes climatiques. Les travaux de Agbossou et Akponikpé (2003) ont montré que les variations dans le bilan hydrique ne compromettent pas encore dangereusement le blocage du cycle du maïs, la spéculation la plus cultivée dans le pays. Mais si le rythme des variations persiste, ce qui s'observe déjà, la production nationale de maïs sera hypothéquée (Agbossou et AKponikpè, op.cit). Les impacts directs des changements climatiques sur l'agriculture portent sur les comportements des cultures, les modifications pédologiques et les baisses de rendements (MEPN, 2008).

Dans le but de bien appréhender la notion du changement climatique et le rendement de la production agricole, notre étude est portée sur le thème « l'effet du changement climatique sur le rendement de la production du maïs au Bénin ».

Notre étude est composée de deux chapitres : le premier chapitre traite du cadre théorique de l'étude, et le second chapitre est axé sur la présentation des résultats, la vérification des hypothèses et quelques suggestions à l'endroit des autorités.



CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE ET METHODOLOGIQUE DE L'ETUDE

Nous avons trouvé l'occasion de réserver ce chapitre au cadre théorique de notre étude. Ce chapitre est subdivisé en deux sections. La première présente la problématique, les objectifs et les hypothèses et la seconde présente, la revue de littérature.

SECTION 1 : PROBLEMATIQUE, OBJECTIFS, HYPOTHESES ET INTERET DE L'ETUDE

Dans cette section nous avons dans un premier temps identifiés les problèmes spécifiques issus de la problématique de notre recherche et à l'énumération des séquences de résolution de ladite problématique, ensuite nous passons à la formulation des objectifs et des hypothèses de l'étude et enfin énoncés l'intérêt de notre étude.

Paragraphe 1 : problématique

Les changements climatiques constituent une menace pour l'environnement et le développement durable (MEPN, 2008). Selon le quatrième rapport du Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du climat (GIEC), les communautés pauvres seront les plus vulnérables du fait de leurs capacités d'adaptation limitées et de leur grande dépendance des ressources à forte sensibilité climatique (MEPN). Les régions pauvres de l'Afrique par exemple seront confrontées aux problèmes les plus graves dus à l'interruption de l'offre de service de l'écosystème dans la mesure où ils dépendent de ces services pour subvenir à leurs besoins fondamentaux (Wilcke et *al.*, 2007). Dans un continent déjà chaud, un réchauffement supplémentaire associé à des fluctuations exagérées de la pluviométrie n'avantagera probablement pas les régions intertropicales alors que par coïncidence ou non, ces régions semblent être habitées par les plus pauvres du monde (Reilley et *al.*, 1994).

Le Bénin, pays de l'Afrique de l'Ouest est donc aussi confronté à ce défi de siècle que constituent les changements climatiques. Les secteurs les plus affectés par ces changements climatiques sont ceux des ressources en eaux, de l'énergie, des zones côtières, de la santé, de l'agriculture et de la foresterie (MEPN, 2008). Au Bénin, l'agriculture constitue l'activité principale près de 70% de la population active s'adonnent aux activités agricoles et contribue à la formation du Produit Intérieur Brut (PIB) à hauteur de 36% (MEPN). Mais il est à remarquer que l'environnement devient de plus en plus dégradant et la terre ne répond plus favorablement aux efforts consentis par les paysans.

Les populations rurales de l'Afrique subsaharienne sont particulièrement exposées aux aléas climatiques dans la mesure où elles sont étroitement dépendantes de l'agriculture pluviale, qui

représente près de 93 % des terres cultivées. Rappelons en effet que 80 % des céréales consommées en Afrique subsaharienne proviennent de cette production traditionnelle et que le secteur agricole emploie 70 % de la totalité de la main-d'œuvre (FAO, 2003), représentant entre 15 et 20 % du PIB. Outre cette dépendance, la croissance rapide de ces populations et leur pauvreté, ne leur permettant pas un accès aux adaptations technologiques (mécanisation, engrais, irrigation), constituent des facteurs aggravant les impacts socio-économiques du climat (PNUD, 2004). Les impacts directs des changements climatiques sur l'agriculture portent sur les comportements des cultures, les modifications de la composition du sol et les baisses de rendements (MEPN, 2008). Aussi le MEPN (2008) a-t-il montré lors de l'élaboration du Programme d'Action National d'Adaptation aux changements climatiques (PANA) qu'au niveau des cultures s'observent des phénomènes de raccourcissement des cycles végétatifs et de floraison précoce, dus à l'élévation de la température.

Le dérèglement et les déficits pluviométriques saisonniers enregistrés ont perturbé les cycles culturaux, bouleversé le calendrier agricole paysan et rendu non fonctionnelles les normes culturelles empiriques en vigueur chez les populations paysannes (Houndénou, 2015 ; Ogouwalé, 2018). Cette situation est due à l'indigence pluviométrique (Afouda, 2009), à la réduction de la durée des saisons agricoles (Issa, 2015), au réchauffement thermique et à la péjoration pluviométrique (Ogouwalé, 2014), indicateurs de l'évolution des climats. Le futur de cette région dépend donc de la capacité du secteur agricole à relever le défi de nourrir sa population qui croît rapidement. Or, ce défi sera d'autant plus difficile à relever que le changement climatique est aujourd'hui à l'œuvre et ne sera certainement pas sans conséquences sur l'agriculture en Afrique comme ailleurs. Dans le département du Zou, dans les années 1980 et 1990, la succession de deux cycles de culture dans l'année (maïs en premier cycle, cotonnier en second cycle) était largement prédominante (Colnard et Agoua, 1995 ; Pigé, Baissière et Wiley, 2001) cité par Agbossou (2017).

Dans l'extrême sud du Couffo, Roech et *al.* (2008) cité par Agbossou (2017) indiquent que trois récoltes de maïs dans l'année pouvaient être obtenues sur vertisols. Selon l'auteur, aux dires des acteurs de l'agriculture de ces zones, cette succession culturale tend aujourd'hui à disparaître, (Agbossou, 2017). De même Ogouwalé (2016) indique pour le Couffo et le centre Bénin (zones théoriquement à répartition bimodale des pluies) que la petite saison sèche tend à disparaître, laissant place à une longue saison des pluies dont l'installation est plus tardive. A cet effet, quels sont les effets du changement climatique sur le rendement de la production du maïs au Bénin ?

Telle est la question qui fait l'objet de notre recherche. Pour mieux cerner les contours de cette question centrale, nous la décomposons en des questions spécifiques suivantes :

- Quel est l'effet de la hausse de la température sur le rendement de la production du maïs ?
- Quel est l'effet de la baisse des précipitations annuelles sur le rendement de la production du maïs ?

Paragraphe 2 : Objectifs, hypothèses et l'intérêt de l'étude

A. Objectifs et hypothèses de l'étude

L'objectif général de la présente étude est d'analyser l'effet du changement climatique sur le rendement de la production du maïs au Bénin.

De manière spécifique, il s'agit de :

- ✓ Apprécier l'effet de la hausse de la température sur le rendement de la production du maïs au Bénin.
- ✓ Analyser l'effet de la baisse des précipitations annuelles sur le rendement de la production du maïs au Bénin.

Afin d'atteindre ces objectifs, nous avons émis certaines hypothèses, il s'agit de :

- La hausse de la température affecte négativement le rendement de la production du maïs au Bénin.
- La baisse des précipitations annuelles impacte positivement le rendement de la production du maïs au Bénin.

B. L'intérêt de l'étude

L'intérêt de la présente étude est de fournir une meilleure compréhension de l'effet du changement climatique sur le rendement de la production du maïs. Ceci permettra aux autorités publiques et privées de prendre des mesures strictes afin d'échapper aux conséquences de ce changement climatique dans la future.

SECTION 2 : LA REVUE DE LITTÉRATURE ET LA METHODOLOGIE DE RECHERCHE

Il s'agit ici de passer en revue les concepts importants organisés autour de la question de recherche d'une part et de présenter la nature et la source des données, et la méthode adoptée dans le cadre du traitement de ces données d'autres parts.

Paragraphe 1 : La revue de littérature

La revue de littérature permet dans le cadre de toute recherche de s'assurer au préalable de l'état de connaissances sur les problèmes identifiés. En effet, cette revue nous a amené à prendre connaissance de certains concepts et de la contribution que certains auteurs ont eu à fait surtout ou en partie de la problématique posée. C'est cela qui nous a permis d'identifier les points essentiels non abordés et de comprendre ces différentes études en tenant compte des réalités de nos jours. Dans le but de réussir notre analyse, nous avons essayé de passer en revue les contributions des auteurs ayant précédemment abordés des thématiques entrant dans le cadre de notre travail.

1) Clarification conceptuelle

Dans le but de bien circonscrire notre étude et du fait qu'un même concept peut avoir plusieurs sens et fait l'objet d'une confusion, il convient de définir certains concepts qui reviendront souvent dans la présente étude.

a. Changement climatique

Les changements climatiques sont une modification du statut des précipitations et une augmentation prononcée des températures au cours du temps. Cette dernière définition ne prend en compte que deux paramètres du climat : les précipitations et la température. Les modifications au niveau du vent deviennent récurrentes et affectent l'agriculture. (Houssou-Goe, 2008).

b. Précipitation annuelle

Sont dénommées précipitations, toutes les eaux météoriques qui tombent sur la surface de la terre, tant sous forme liquide (bruine, pluie, averse) que sous forme solide (neige, grésil, grêle) et les précipitations déposées ou occultes (rosée, gelée blanche, givre,). Elles sont provoquées par un changement de température ou de pression. Les précipitations constituent l'unique « entrée » des principaux systèmes hydrologiques continentaux que sont les bassins versants. (Reilley et *al.*, 1994).

c. Température

La température est une grandeur physique mesurée à l'aide d'un thermomètre et étudiée en thermométrie. Dans la vie courante, elle est reliée aux sensations de froid et de chaud, provenant du transfert thermique entre le corps humain et son environnement. En physique, elle se définit de plusieurs manières : comme fonction croissante du degré d'agitation thermique des particules (en théorie cinétique des gaz), par l'équilibre des transferts thermiques entre plusieurs systèmes ou à partir de l'entropie (en thermodynamique et en physique statistique). La température est une variable importante dans d'autres disciplines : météorologie et climatologie, médecine, et chimie. L'échelle de température la plus courante est le degré Celsius, dans laquelle la glace (formée d'eau) fond à 0 °C et l'eau bout à environ +100 °C dans les conditions standard de pression. Dans les pays utilisant le système impérial (anglo-saxon) d'unités, on emploie le degré Fahrenheit où la glace fond à +32 °F et l'eau bout à +212 °F. L'unité du Système international d'unités (SI), d'utilisation scientifique et définie à partir du zéro absolu, est le kelvin dont la graduation est presque identique à celle des degrés centigrades.

2) Points des contributions antérieures

En climatologie, le recours à la modélisation pour proposer des projections de changement climatique est aujourd'hui largement utilisé : c'est sur ce type d'analyse que le GIEC élabore ses rapports d'évaluation du changement climatique ainsi que ses recommandations aux décideurs (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Groupe de travail I) 2016). Les 16 projections réalisées à l'aide d'ensembles de modèles de climat globaux (GCMs) ont encore quelques difficultés pour reproduire correctement des climats locaux, mais l'amélioration des méthodes de réduction d'échelle et la création de modèles climatiques régionaux permettent aujourd'hui d'élaborer des prévisions plus fiables (Semenov et Stratonovitch 2018). Les prévisions par ensembles de modèles offrent une vision probabiliste de l'évolution du climat, car les prévisions de chaque modèle d'un ensemble sont considérées comme équiprobable, et la dispersion entre les modèles est considérée comme reflétant l'incertitude existante quant à la prévision de climats futurs (Semenov et Stratonovitch 2018). La prospective en agronomie implique d'étudier de manière combinée le changement climatique, les changements et adaptations possibles des pratiques des agriculteurs, ainsi que les réponses des différentes espèces végétales dans divers systèmes de culture à ces changements.

La grande complexité des interactions entre climat, pratiques, espèces/systèmes de culture fait de la modélisation un outil très intéressant pour les études d'impact du changement climatique sur les cultures (Hatfield et *al.* 2014 ; Eyshi Rezaei et *al.* 2017), car elle permet d'explorer une grande quantité de scénarios (climat/cultures/pratiques) en un temps restreint. Les modèles de culture présentent cependant une grande diversité (structures, formalismes, simplifications de processus), et chaque modèle est susceptible de répondre différemment des autres à des changements de pratiques et de climat pour une même culture (Asseng et *al.* 2013). De récentes études ont privilégié une approche par ensembles de modèles, imitant ainsi les méthodes utilisées par les climatologues, afin de s'affranchir des erreurs propres à chaque modèle et considérer la dispersion des modèles de culture comme reflétant l'incertitude de la réponse des cultures aux changements (Asseng et *al.* 2015 ; Martre et *al.* 2017).

D'autres auteurs conseillent plutôt le recours à des modèles ad hoc construits spécifiquement pour des problématiques et environnements particuliers, évitant ainsi d'inclure dans les ensembles des modèles de culture inappropriés (Sinclair et Seligman 1996 ; Affholder et *al.* 2012). De précédents travaux ont déjà été réalisés en climat Soudano-Sahélien à l'aide de modèles ad hoc pour des études centrées sur les rendements (Affholder et *al.* 2013), l'étude des interactions entre climat et pratiques agricoles (Affholder 1997 ; Traoré et *al.* 2011) ainsi que d'impact du changement climatique sur les rendements (Sultan et *al.* 2013 ; Eyshi Rezaei et *al.* 2016 ; Sultan et *al.* 2016). Le modèle CELSIUS utilisé dans certaines études est également un modèle ad hoc conçu pour un environnement Soudano-Sahélien et intégrant des composantes de plusieurs des modèles utilisés dans les travaux cités ci-dessus, validés et publiés. En outre, pour quantifier les liens entre le climat et l'agriculture, un prérequis est de construire un modèle qui permet de transcrire l'information climatique (températures et/ou précipitations, par exemple) en termes de variables agronomiques (rendements agricoles, biomasse). Ce type de modèle est particulièrement utile pour synthétiser les connaissances existantes sur les relations climat/plante, explorer des hypothèses de changements de climat ou de pratiques agricoles, identifier des variables clés sur lesquelles la recherche doit mettre l'accent et construire des scénarios pour le futur. Deux approches distinctes sont généralement employées : la première se fonde sur des modèles agronomiques statistiques et la seconde sur des modèles mécanistes, les deux cherchant à estimer la productivité agricole en réponse au climat. Les modèles agricoles empiriques sont fondés sur une relation statistique dérivée de données observées et liant les rendements agricoles, à un endroit donné, à des variables climatiques.

Bien qu'une telle relation soit relativement facile à établir, calibrer et valider un modèle statistique robuste demande de longues séries de données (climat et rendements). Cette relation revêt cependant un avantage notoire, puisqu'elle peut être établie directement à grande échelle (e.g. nationale) en utilisant des données climatiques agrégées spatialement, afin de prédire les rendements sur de vastes régions. Cette approche est notamment utilisée par Lobell et *al.* (2008) et Schlenker et Lobell (2016) qui considèrent que cela permet une évaluation simple des futurs impacts climatiques à une échelle pertinente pour informer les décideurs. L'autre approche est la modélisation « mécaniste » ou « dynamique », fondée sur des équations représentant les processus physiologiques de la croissance des cultures (assimilation du carbone et des nutriments, transpiration...) et de leur développement en réponse au climat (e.g. apparition des organes successifs, phase végétative et reproductive...). Étant donné que cette approche permet en théorie de saisir les effets intrasaisonniers et non linéaires du climat sur les cultures, la plupart des études d'impact en agriculture utilisent un modèle mécaniste (Roudier et *al.*, 2011).

Cependant, tous les modèles de ce type n'ont pas la même approche physiologique et n'atteignent pas le même niveau de détail. En particulier, l'effet positif sur la photosynthèse d'une concentration atmosphérique élevée en CO₂ (Tubiello et *al.*, 2007 a et 2007 b) n'est pas pris en compte dans tous les modèles mécanistes (Salack, 2006). De plus, ces modèles nécessitent de nombreux paramètres et sont de ce fait utilisés à l'échelle de la parcelle où ces données sont disponibles et peuvent être considérées comme homogènes : ils ne fournissent pas directement d'information sur les impacts climatiques à plus large échelle. Il faut noter qu'une troisième approche, l'analyse Ricardienne (Mendelsohn et *al.*, 1994) est également utilisée pour estimer l'impact du changement climatique sur l'agriculture en Afrique de l'Ouest (Kurukulasuriya et Mendelsohn, 2008 ; Molua, 2009). Cette approche se concentre sur le revenu net des exploitations agricoles au lieu des rendements agricoles et, à la différence de la plupart des études d'impact, prend en compte les stratégies d'adaptation.

Paragraphe 2 : Méthodologie de recherche

1. Nature et source des données

La revue documentaire constitue la base de toute étude scientifique. Elle s'est déroulée tout au long de la période de l'étude, de la phase d'élaboration du protocole de recherche à celle de la rédaction complète du mémoire. Elle a été consacrée à la collecte, à l'exploitation et à la synthèse de la littérature disponible sur l'effet des changements climatiques sur le rendement

de la production. Elle nous a permis de bien appréhender notre sujet de recherche, de fixer des objectifs et d'en cerner les différents contours. Plusieurs centres de documentations ont été mis à notre contribution pour la collecte des informations. Il s'agit entre autre de la bibliothèque, des recherches sur l'internet, des articles, des mémoires, des revues scientifiques traitant des questions relatives aux problèmes liés à notre thème.

Pour étudier l'effet des changements climatiques sur la production, la littérature dominante a très souvent recours à des fonctions de production (voir par exemple, Mendelson et Dinar 1999 ; Darwin et autre 1996 ; Nordhaws et Shaw 1994 ; Kurukulasuriya et Ajwad 2007). Pour analyser l'impact des variables du changement climatique, deux approches sont principalement : l'approche Ricardienne, et l'approche par les fonctions de production ou le modèle de simulation.

✓ Le Modèle de Ricardo

Cette approche initiée par (Nordhaws et Shaw 1994), a essayé de capturer l'influence de facteurs économiques, climatiques, environnementaux sur la valeur de la superficie agricole, selon une méthode dite de Ricardo, du nom de l'économiste classique David Ricardo, qui a observé que la valeur de la terre refléterait sa rentabilité dans un marché parfaitement compétitif. Le concept de base de l'approche Ricardienne est que la valeur de la terre est corrélée avec le climat, habituellement la température et la précipitation. Sur cette base théorique on peut mesurer l'impact de la variable environnementale sur la valeur actuelle de la terre en examinant le rapport entre les variables climatiques et la valeur de la terre. L'impact économique du changement des variables environnementales est évalué par le changement en valeur de la terre à travers différentes conditions. Puis, selon les effets nocifs ou bénéfiques des changements climatiques sur l'accumulation des bénéfices nets à long terme déterminé par la valeur de la terre (Mendelson et autre 1999).

✓ Le modèle de simulation

Les modèles sont fondés sur des expériences commandées où des récoltes sont cultivées dans des champs ou des laboratoires qui simulent différents climats et niveaux de CO₂ afin d'estimer les réponses et les rendements d'une variété spécifique de récolte à certains climats. Les évolutions de ces modèles n'incluent pas les effets d'adaptation des fermiers aux conditions climatiques changeantes. En conséquence, leurs résultats tendent à exagérer les dommages des

variations des précipitations ou de la température sur la production agricole (Mendelson et Dinar 1999).

❖ **Source des données**

Dans le cas de notre travail, nous mesurons l'effet du changement climatique sur le rendement de la production du maïs par une régression linéaire, les Moindre Carré Ordinaire (MCO) à l'aide du logiciel STATA. Les données sont issues du site de la Banque Mondiale et de l'INSAE sur le changement climatique. Ces données vont de 1987 à 2019 soit 33 observations, ce qui donne un sens à notre estimation.

2 Méthode d'estimation du modèle

❖ **Présentation du modèle**

Pour capter les effets du changement climatique sur l'agriculture au Bénin, nous nous inspirons du modèle de la fonction du type Cobb-Douglas qui se présente comme suit

$$Y_T = f(K_t; L_t; Ra_t) = AK^\alpha L^\beta Ra^\theta$$

Avec Y_T le PIB à la date t , K_t , le capital ; L_t , la main-d'œuvre et Ra le rendement sur secteur agricole, α est l'élasticité de rendement de l'emploi de travail, β est l'élasticité de l'output par rapport au capital, θ est l'externalité associée à la performance du secteur agricole.

Conformément à la théorie de **Mutigan et Sala-I-Martin (1993)**, ce modèle peut être modifié de sorte que les caractéristiques générales des fonctions Cobb-Douglas soient compatibles avec celles du changement climatique.

Ainsi notre modèle se présente comme suit ;

$$REND_t = f(TEMP_t; PRECI_t; CO2_t; ECART_t) \quad (1)$$

D'où le modèle à estimer est le suivant :

$$REND_t = \beta_0 + \beta_1 (TEMP) + \beta_2 (PRECI) + \beta_3 (CO2) + \beta_4 (ECART) + \varepsilon_t \quad (2)$$

❖ **Rôle, types, source des variables et signe attendu des variables**

✓ **La variable expliquée ou variable endogène**

Le rendement de la production, mesurer par (REND) est la variable expliquée ou la variable endogène et permet de mesurer le rendement de la production de maïs.

✓ **Les variables explicatives ou variables exogènes**

Les variables explicatives sont multiples et diverses. Elles se dégagent de la revue de littérature et du cadre du choix des indicateurs. Les variables explicatives retenues dans le cadre de notre étude sont :

TEMP : Température

PRECI : Précipitation

CO2 : L'émission du dioxyde de carbone s

ECART : L'écart de la température au cours de l'année

En effet, le changement climatique (le réchauffement du système climatique, pluviométrie irrégulière, insuffisance des précipitations) réduit le rendement du secteur agricole du fait de la baisse des disponibilités en eau, de la hausse des températures, de la longueur incertaine ou abrégée de la période de végétation, nous pouvons nous attendre à ce que le changement climatique en affectant de manière négative le rendement du secteur agricole, pourrait réduire l'effet de l'agriculture sur la croissance. Par ailleurs, la concentration en dioxyde de carbone CO2 (tonne métrique/habitant) est perçu comme indicateur de changement climatique (CC). En effet, selon un vaste consensus scientifique, Il est désormais certain que le changement climatique est dû en majeure partie aux émissions de gaz à effet de serre. Ces gaz, dont le dioxyde de carbone (CO2) est le plus important, emprisonnent la chaleur dans l'atmosphère terrestre, provoquant l'élévation des températures à l'échelle de la planète, et bouleversant les régimes climatiques naturels.

✓ **Signe attendu des variables**

Les signes attendus des variables dans le cadre de notre mémoire sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau n°1 : Prédiction de signes des variables

Variables	Nature	Signes attendus
Précipitation(PRECI)	mm	+
Température(TEMP)	°C	-

Source : Auteurs, 2020

❖ **Présentation de la méthodologie d'estimation.**

• **Méthode d'estimation**

La méthode des moindres carrés ordinaires(MCO) nous permettra de mener des estimations sur le modèle de l'étude à long terme et des tests de diagnostic (spécification) et vérification des hypothèses seront effectués pour l'analyse des résultats.

a. TEST DIAGNOSTIC**✓ DEGRE D'INTEGRATION : TEST DE STATIONNARITE**

Si une série est non stationnaire la différence peut la convertir en série stationnaire. Pour vérifier les stationnarités des séries ou non des variables et leur degré d'intégration, il faut réaliser le test de présence de racine unitaire. ADF (Duckey-Fuller Augmenté) est un test de présence de racine unitaire.

Lorsque la probabilité affectée au test est inférieure à 5% alors le logarithme népérien de la variable est stationnaire en niveau

✓ TEST DE COINTEGRATION

Un autre test à réaliser lorsqu'on travaille avec des séries temporelles est celui de la Cointégration. Le but de ce test a tendance de détecter si les variables possédant une racine unitaire ont une stochastique commune. Si tel est le cas, il existe une relation d'équilibre de deux variables provenant de séries non stationnaires qui est quant à elle stationnaire. Un test simple à utiliser est le test en deux étapes d'Engel et Granger (1987) qui est requise lorsque les séries sont intégrées de même ordre et de celle de Johansen SOREN (1988-1991) qui est requise quand l'ordre d'intégration des séries diffère. Un modèle à correction d'erreur (MCE) est envisageable, si le test de cointégration est vérifié. Ce type de modèle permet d'intégrer le court terme au cours d'une relation de long terme. Lorsque la probabilité affectée au test est supérieure à 5% alors les variables sont cointégrées.

b. TEST DE VALIDATION**✓ TEST D'AUTOCORRELATION**

Ce test nous permet de savoir si les erreurs sont corrélées entre elles ou non. L'hypothèse de non autocorrélation est acceptée si la probabilité associée à cette statistique est supérieure à 5% ou si BG (Breusch-Godfrey= nR^2) est inférieure à khi-deux

✓ TEST D'HETEROSCEDASTICITE DE WHITE

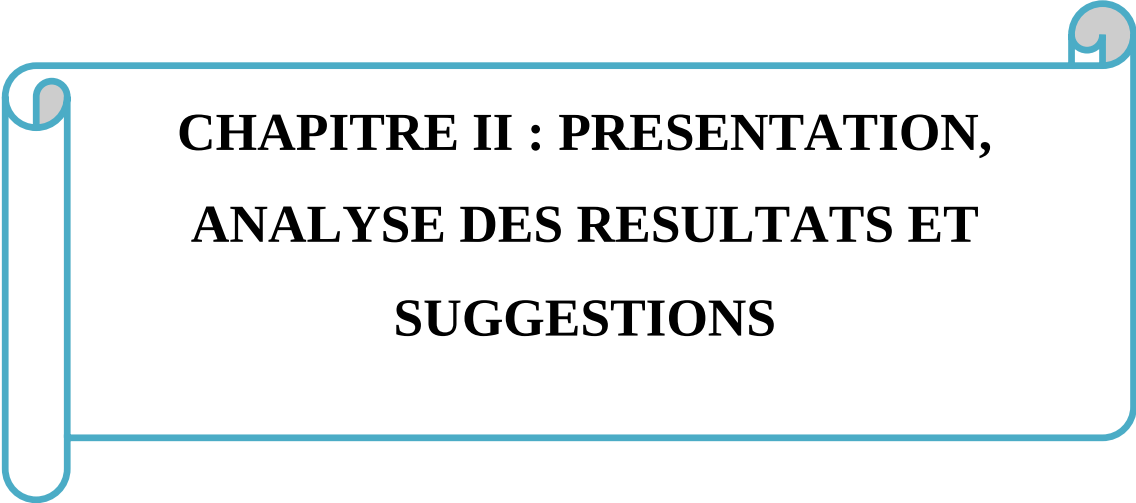
A l'aide de ce test, on vérifie si l'une des hypothèses pour avoir les estimateurs « Best

Linear Unbiased Estimator » (BLUE) c'est-à-dire estimateur sans biais, de variance minimale et convergente est respectée. Lorsque le terme d'erreurs à une variance constante ; on dit qu'il est homoscédastique, elle peut varier, on dira qu'il est hétéroscédastique. Si la probabilité attachée à cette statistique est supérieure à 5%, on accepte l'hypothèse d'homoscédastiques des erreurs.

Par contre, si cette probabilité est inférieure à 5%, on rejette l'hypothèse d'homoscédastiques des erreurs, alors les erreurs sont hétéroscédastiques.

➤ TEST DE NORMALITE

Les tests de Jarque-Bera (1984) fondés sur la notion de skewness (asymétrie) et de kurtosis (aplatissement), permet de vérifier la normalité d'une distribution statistique. On accepte l'hypothèse de normalité si la statistique de Jarque-Bera (JB) est inférieure à 5,99 ou de manière équivalente la probabilité est supérieure à 5%. On rejette l'hypothèse de normalité si JB est supérieur ou égal à 5,99 ou de manière équivalente la probabilité associée à cette statistique est inférieure à 5%. Ceci nous permet de vérifier si les erreurs sont normales ou non.



CHAPITRE II : PRESENTATION, ANALYSE DES RESULTATS ET SUGGESTIONS

Dans ce chapitre, nous avons présenté les résultats issus de notre recherche, les interprétés et les analysés afin de valider les hypothèses, et enfin les limites rencontrées et les recommandations envers les autorités.

SECTION 1 : PRESENTATION DES RESULTATS ET VERIFICATION DES HYPOTHESES

Paragraphe 1 : Présentation des résultats des différents tests

a) Tests de stationnarités

Tableau n°2 : Résultats du test de stationnarité en niveau

Variables	Probabilité	Décision
REND	0.0000	Stationnaire en niveau
TEMP	0.0000	Stationnaire en niveau
ECART	0.0873	Stationnaire en niveau
PREC	0.0000	Stationnaire en niveau
CO2	0.9983	Non stationnaire en niveau

Source : Réalisé à partir des tests de stationnarité

Les variables Rendement, Température, Ecart de température, et Précipitation sont stationnaires en niveau car la probabilité qui leur sont associé est inférieur aux seuils de décision (1%, 5% et 10%).

Tableau n° 3 : Test de stationnarité en différence première

Variables	Probabilité	Décision
dCO2	0.0012	Stationnaire en différence première

Source : Réalisé à partir des tests de stationnarité

La variable CO2 est stationnaire en différence première car sa probabilité est inférieur aux seuils critique.

b) Test de cointégration

La présence de * dans la régression nous montre que les variables sont cointégrées et par conséquent un modèle de MCE est faisable. Toutefois, le changement climatique est observé sur une longue période et par conséquent notre modèle sera beaucoup plus basé sur les Moindres Carrés Ordinaires (MCO).

Tableau n°4 : Régression du modèle de long terme (MCO)

Variables	Coefficient (écart type)	Probabilité	Décision
TEMP	-26.713 * (3.75)	0.000	Significative
PREC	0.079 (0.052)	0.142	Non Significative
CO2	0.0039 (0.0089)	0.665	Non Significative
ECART	-46.259 (65.278)	0.484	Non Significative

Source : A partir du modèle de long terme

L'analyse de la régression montre que le nombre d'observation retenu par cette régression est de 33, la probabilité de Fisher est de 0,0000 est inférieur au seuil de 5% et le R^2 est égale à 0,7950 soit 79.50%. Ceci montre que le modèle est globalement significatif et les variations du rendement sont expliquées à 79.5% par les variables explicatives du modèle.

Par ailleurs, la présence des * dans le tableau montre que ces variables sont significatives car la probabilité qui leur sont associée est inférieur au seuil de décision, d'où l variable température est significative et explique le rendement de la production de maïs à long terme au Bénin.

Test d'autocorrelation

La prob = 0.7959 > 5% on accepte l'hypothèse de non autocorrélation. Donc, les erreurs sont non autocorrélées.

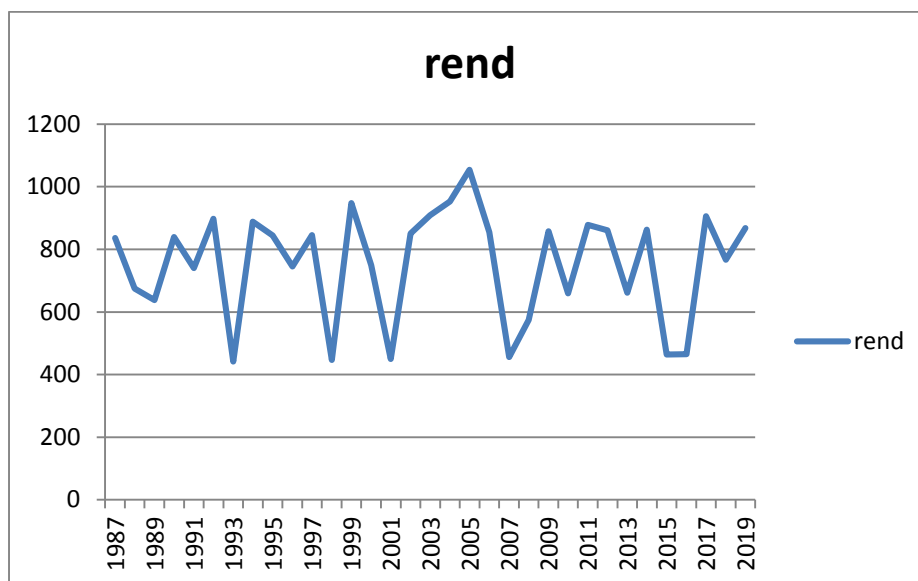
Test d'hétéroscédasticité

Prob= 0.2559 > 5% on accepte l'hypothèse d'homoscédasticité des erreurs. Par conséquent le terme d'erreurs à une variance constante.

Test de normalité des erreurs

Prob = 0.7587 > 5% donc on accepte l'hypothèse H_0 : normalité des erreurs. Donc les erreurs suivent une loi normale.

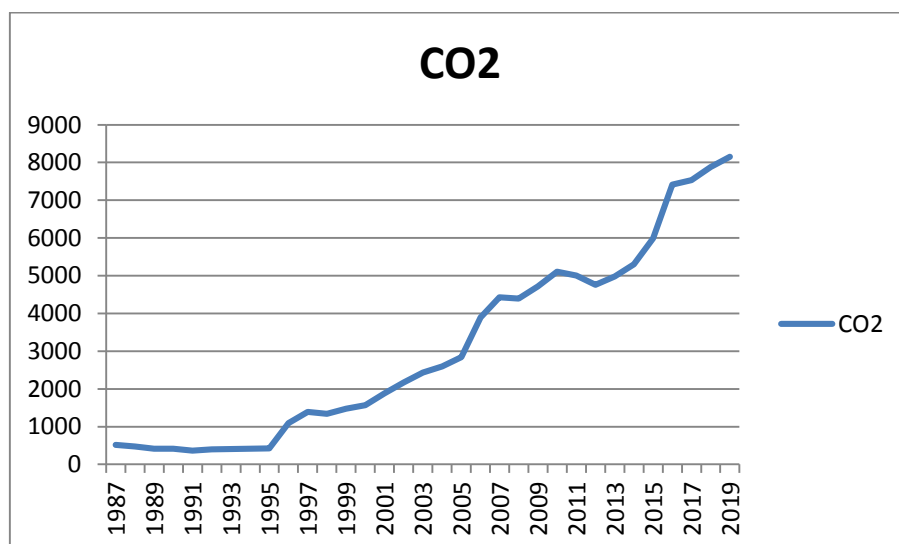
Graphe n°1 : Evolution du rendement de la production de maïs au cours du temps



Source : Réalisé par nous même à partir des données

De ce graphe, on constate une évolution du rendement de la production de maïs en dent de scie et constant dans le temps, ce qui montre qu'il y a des facteurs qui l'influencent dans le temps et qui l'empêchent de s'augmenter. Nous pouvons donc dire que cette influence est due à une augmentation de l'émission du CO₂ dans le temps.

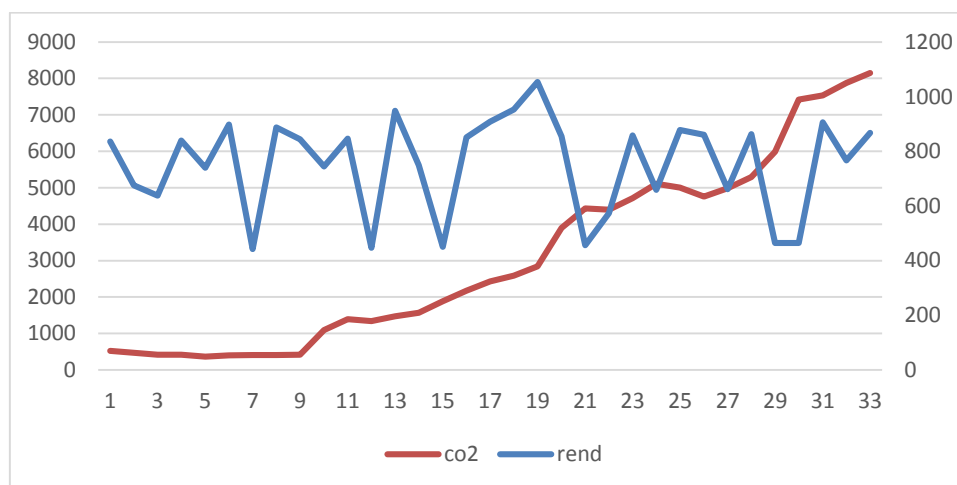
Graphe n°2 : Evolution du dioxyde de carbone dans le temps



Source : Réalisé par nous même à partir des données

Ce graphe montre une augmentation de l'émission du CO₂ tout au long de la période. Or les résultats de nos recherches montrent qu'une augmentation du dioxyde de carbone dans le temps entraîne une diminution du rendement de la production de maïs. On en déduit donc que c'est l'évolution croissante du CO₂ qui a rendu le rendement de la production constant et en dent de scie au cours du temps.

Graphe n°3 : Evolution du rendement en présence du CO₂



Source : Réalisé par nous même à partir des données

De ce graphe, on constate que plus le CO₂ augmente, affaibli le rendement de la production et le rend constant dans le temps. Ce résultat vient confirmer les conclusions faites des graphes précédentes.

Paragraphe 2 : Analyse et vérification des hypothèses

Dans ce paragraphe, nous avons analysé les résultats et vérifié les hypothèses. Dans le but d'analyser l'effet du changement climatique sur le rendement de la production de maïs, nous avons procédé à une analyse multi variée. L'avantage de cette analyse est qu'elle prend en compte les interrelations qui peuvent exister entre les variables explicatives d'une part et celles qui peuvent exister entre les variables explicatives sur la variable expliquée d'autre part.

1. Analyse et interprétation des résultats

D'après le tableau n° 17 (annexe), la probabilité associée aux coefficients des variables explicatives Température est inférieur au seuil de 5% et explique significativement le rendement de la production de maïs.

En effet, à long terme, le rendement de la production de maïs ne dépend ici que de cette variable. On peut donc dire qu'à long terme, les producteurs maîtrisent le changement climatique et adoptent un système d'irrigation qui leur permettent de produire hors saison, ce qui fait que la précipitation de la pluie dans le temps n'a plus d'influence négative sur la production. La destruction de la couche d'ozone étant un élément capital du changement climatique, puisque les producteurs maîtrisent la précipitation, en adoptant des systèmes d'irrigation, alors ils maîtrisent également l'effet de l'émission du CO₂. Pour la culture de maïs, il ne faut ni trop de pluies, ni trop de soleil. Quand il y a trop de pluie, les graines pourrissent et ne germent pas ce qui diminue le rendement de la production. Et s'il y a trop de soleil, les graines germent, mais leurs feuilles sont aussitôt brûlées par la chaleur, ce qui baisse également le rendement de la production. En outre, il est à comprendre que l'eau rend les éléments nutritifs du sol accessibles aux plantes. Lorsqu'il y a de l'eau, le sol est mou, les nutriments se dissolvent et sont prélevés en solution, puis absorbés par les racines des plantes. D'où l'insuffisance ou la surabondance de l'eau impacte la production et les producteurs les ont maîtrisés en développant des systèmes d'irrigation et de drainage, ce qui leur permet de rentabiliser la production de maïs. Ayant donc une maîtrise parfaite de la pluie, ou de la précipitation et de l'émission du CO₂, alors le rendement de la production de maïs ne dépend donc que de la température. La température à long terme étant à l'origine du réchauffement, les producteurs l'intègrent dans leurs anticipations et finir par la maîtrisée à long terme au travers de leur système d'irrigation, ce qui justifie sa signification dans la régression

Vérification des hypothèses

A l'issu des résultats présentés dans les tableaux et les différentes analyses, issues des différents modèles, il ressort que l'augmentation de la température influence négativement le rendement agricole, ce qui montre que la température est une manifestation du changement climatique affectant ainsi le rendement de la production. Par conséquent, notre première hypothèse selon laquelle « la hausse de la température affecte négativement le rendement de la production du maïs au Bénin » est vérifiée. En ce qui concerne la deuxième hypothèse, les analyses issues du model révèle que, la précipitation dépend de la variabilité du climat et n'influence pas à long terme le rendement, car les producteurs développent avec le temps des systèmes d'irrigation et donc la production ne dépend plus de la précipitation. Mais à court terme, cette variable explique le rendement de la production de maïs au Bénin puisque ces producteurs ne se sont pas adaptés aux manifestations du changement climatique à court terme.

Notre deuxième hypothèse selon laquelle, « La baisse des précipitations annuelles impacte positivement le rendement de la production du maïs au Bénin » n'est pas vérifiée.

SECTION 2 : LIMITES ET SUGGESTIONS

Paragraphe 1 : Limites de l'étude

Dans ce paragraphe, nous avons présenté les difficultés auxquelles nous nous sommes confrontés lors de notre recherche.

Ainsi, dans le cadre de notre recherche, nombreuses sont les limites que nous avons rencontrées, lesquelles nous avons retracé. Il s'agit principalement de :

- ✓ La situation sanitaire (COVID-19), qui a constitué pour nous un véritable obstacle en ce sens que nos mouvements sont limités ainsi que nos contacts avec les personnes, pouvant nous aider et nous orientés dans la rédaction ;
- ✓ Non disponibilité des données sur le changement climatique au Bénin
- ✓ Non accès à certaines informations sur le rendement de la production de maïs au sein de la Commune, lesquelles nous avons jugés pertinentes.

Paragraphe 2 : Suggestions

Au vu des conclusions issues de nos analyses, pour maintenir une croissance économique durable, quelques suggestions méritent d'être faites à l'endroit des autorités. Il s'agit de :

- ✓ Développer les systèmes d'adaptation au changement climatique au Bénin ;
- ✓ Réduire l'émission des gaz qui détruisent la couche d'ozone ;
- ✓ Doter les producteurs du système d'irrigation ;
- ✓ Former les producteurs sur les manifestations du changement climatique et les dispositions éventuelles à prendre ;
- ✓ Développer les systèmes de production hors saison



CONCLUSION

A l'issu de notre étude, il paraît évident que l'impact du changement climatique sur l'agriculture n'est plus à démontrer, car il est, aujourd'hui, un fait établi qui suscite des inquiétudes de la part d'organismes internationaux, de groupes d'experts, de décideurs politiques et de simples citoyens suite aux effets qu'il occasionne tant à l'endroit des humains que de la planète. Le changement climatique constitue l'une des plus grandes sources de préoccupation de notre siècle. Du fait de l'étroite corrélation qu'il entretienne avec la croissance économique et de ses sortes incidences sur le niveau de la qualité de vie de la population. Anticiper les fluctuations et les changements climatiques est d'une importance primordiale pour l'agriculture. Dans le but de bien appréhender les manifestations du changement climatique sur l'agriculture, nous nous sommes intéressés à orienter nos recherches sur le thème : « l'effet du changement climatique sur le rendement de la production de maïs au Bénin ». Les résultats issus de l'analyse de notre régression économétrique réveillent quelques variables déterminantes du changement climatique et du rendement de la production de maïs au Bénin dont les plus importantes sont :

- ✓ La température mesuré par le réchauffement climatique dans l'année
- ✓ La précipitation de la pluie à court terme

Par ailleurs, l'analyse de ces éléments nous a conduits à certaines suggestions, à l'endroit des autorités et des producteurs pour mieux s'adapter aux effets du changement climatique dans le future. La mise en œuvre de ces différentes suggestions permettra sans doute aux gouvernants et aux cultivateurs de remédier à ce problème.

Nous espérons donc que les recherches ultérieures, se pencherons davantage sur d'autres aspects de l'étude, pour améliorer la qualité et la performance des infrastructures au Bénin pour une croissance économique durable.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIES

Affholder , Tottonell et Corbeels ,(2012). « Ad hoc modeling in agronomy: What have we learned in the last 15 years? Agronomy Journal », 104(3), pp.735–748.

Affholder ,(1994). « Influence de la fertilisation et du contrôle de l'enherbement sur la réponse des rendements du mil pluvial à un indice hydrique synthétique. In F.-N. Reyniers et Netoyo, eds. Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale. Vers une gestion des flux hydriques par les systèmes de culture ». pp. 191–203.

Afouda, (2009) « L'eau et les cultures dans le Bénin central et septentrional : étude de la variabilité des bilans de l'eau dans leurs relations avec le milieu rural de la savane africaine. Thèse de Doctorat nouveau régime, Université de Paris IV (Sorbonne), Institut de géographie », 428p.

Agbossou et Akponikpé ,(1999) « Changements climatiques et impacts sur la production de maïs (Zea mays) au Sud-Bénin », FSA/UNB.

Asseng, Martre et Ewert, (2015) « temperature in increase reduces global yields of major crops in four independent estimates »

Bénin (PANA- Bénin). Cotonou. 81p.

CNRS « climatologie de l'Espace Tropical », Université de Bourgogne, Centre de Recherche de Climatologie, Dijon », 341p.

Delecolle, Lecoq et Lot,(1994) « contribution à l'étude des ceratogopogonides de la Guadeloupe »

Eyshi Rezaei , Siebert et Bannayan ,(2014). «Combined impacts of climate and nutrient fertilization on yields of pearl millet in Niger ». European Journal of Agronomy, 55, pp.77–88.

GIEC (2007) Résumé à l'intention des décideurs.

Hatfield, Zauralde et Boote (2011). « Climate impacts on Agriculture : Implications for Crop Production ». Agronomy Journal, 103(2), pp.351–370.

Herman et Sobari (2015), « technology to anticipation the impact of climate change on cacao in dry land ».

Houndénou, (2015) « Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide : l'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation ». Thèse de Doctorat de géographie, UMR 5080, LECREDE/ FLASH/ EDP/ UAC, 302p.

Lobell, et Field,(2007). « Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental Research Letters* », 2(014002), pp.1–7.

MEPN (2008) « Programme d’Action National d’Adaptation aux changements climatiques »

Mendelson et Dinar, (1999) « climate change agriculture and developing countries »

Nordhaws et Shaw, (1994) l’impact du réchauffement climatique sur l’agriculture...

Ogouwalé ,(2014) « Changements climatiques et sécurité alimentaire dans le Bénin meridional ». Mémoire de DEA, UAC/EDP/FLASH, 119p.

Ogouwalé ,(2016) « Changements climatiques dans le Bénin méridional et central: indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire ». Thèse de Doctorat unique,

Ogouwalé ,Bokonon-Ganta et Fakoredé.,(2003)«Vulnérabilité de l’agriculture aux changements climatiques dans la région (centre du Bénin) : Quelles stratégies d’adaptation ». In Actes de l’atelier scientifique 1, Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB), pp 188-204.

Ozer, Hangnon et Perrin, (2003). « DISCUSSION of “Analysis of a Sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000; the drought continues” The Sahelian drought may have ended during the 1990s. *Hydrological Sciences Journal-Journal Des Sciences Hydrologiques*, 48(3), pp.489–492.

Palutikof, van der Linden and C.E. Hanson, (éds.), « Bilan 2007 des changements climatiques : Impacts, adaptation et vulnérabilité. Contribution du Groupe de travail II au quatrième Rapport d’évaluation. Rapport du Groupe d’experts intergouvernemental sur l’évolution du climat. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni.

Quan, Adeloye , et Tran. (2019) et Di-Falco, Birch et Kotir, (2011). «Adaptation to climate change and it’s impacts on wheat...»

Salack , Muller. et Gaye ,(2011). « Rain-based factors of high agricultural impacts over Senegal. Part I: Integration of local to sub-regional trends and variability. *Theoretical and Applied Climatology* », 106(1-2), pp.1–22.

Sauttier ,(1989) « Risques agricoles et risques alimentaires : Remarque sur un exemple andin. In M.Eldin et P. Milleville (eds). *Le risque en agriculture*. Edition de l’ORSTOM, collection « A travers les champs ». Paris.

Semenov et Stratonovitch, (2010). « Use of multi-model ensembles from global climate models for assessment of climate change impacts ». *Climate Research*, 41(1), pp.1–14.

Sultan.,Roudier et Salack, (2014). « Robust features of future climate change impacts on sorghum yields in West Africa ». Environmental Research Letters, 9(104006), pp.1–13.

Wahid, Gelani et Foolas, (2007), « Heat of tolerance in plants: an overview.... Botany. » (page 199 à 223) »

Wilcke, Ruysenaars et Vanderhineden, (2007) « utilisé la végétation pour améliorer la biorestauration in Situ »

ANNEXES

Tableau n°6: Test de stationnarité de Rend

```
. dfuller rend
```

Dickey-Fuller test for unit root		Number of obs = 32	
Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller		
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-5.931	-3.702	-2.980
MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000			

Tableau n°7 : Test de stationnarité de Temp

```
. dfuller temp
```

Dickey-Fuller test for unit root		Number of obs = 32	
Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller		
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-5.345	-3.702	-2.980

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

Tableau n°8 : Test de stationnarité de Supe

```
. dfuller supe
```

Dickey-Fuller test for unit root		Number of obs = 32	
Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller		
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value
Z(t)	-5.777	-3.702	-2.980

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0000

Tableau n°12: Test de stationnarité de en niveau et en différence première deCO2

```
. dfuller dco2
```

Dickey-Fuller test for unit root

Number of obs = 31

Test Statistic	Interpolated Dickey-Fuller			
	1% Critical Value	5% Critical Value	10% Critical Value	
Z(t)	-4.044	-3.709	-2.983	-2.623

MacKinnon approximate p-value for Z(t) = 0.0012

Tableau n° 13 : Test de cointégration

```
. vecrank rend temp preci co2 ecart
```

Johansen tests for cointegration

Trend: constant

Sample: 1989 - 2019

Number of obs = 31

Lags = 2

maximum				trace	5% critical
rank	parms	LL	eigenvalue	statistic	value
0	30	-713.0132	.	116.4585	68.52
1	39	-690.30684	0.76890	71.0458	47.21
2	46	-673.32865	0.66558	37.0894	29.68
3	51	-660.11339	0.57369	10.6589*	15.41
4	54	-655.44538	0.26004	1.3229	3.76
5	55	-654.78394	0.04178		

Tableau n° 14 : Test d'autocorrelation

S

```
. bgodfrey
```

Breusch-Godfrey LM test for autocorrelation

lags (p)	chi2	df	Prob > chi2
1	0.067	1	0.7959

H0: no serial correlation

```
*** 1999-1 ***
```

Tableau n°15 : Test d'hétéroscédasticité

```
. hettest
```

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity

Ho: Constant variance

Variables: fitted values of rend

chi2(1) = 1.29

Prob > chi2 = 0.2559

```
*** 1999-1 ***
```

Tableau n°16 : Test de normalité des erreurs

```
. sktest res
```

Skewness/Kurtosis tests for Normality

Variable	Obs	Pr(Skewness)	Pr(Kurtosis)	joint	
				adj chi2(2)	Prob>chi2
res	33	0.5705	0.6456	0.55	0.7587

```
hettest
```

Tableau n°17 : modèle de MCO

. reg rend temp preci co2 ecart

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	33
Model	776236.937	4	194059.234	F(4, 28)	=	27.15
Residual	200137.305	28	7147.76091	Prob > F	=	0.0000
				R-squared	=	0.7950
				Adj R-squared	=	0.7657
Total	976374.242	32	30511.6951	Root MSE	=	84.544

rend	Coef.	Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
temp	-26.7132	3.752995	-7.12	0.000	-34.40086	-19.02553
preci	.0793127	.0525424	1.51	0.142	-.0283155	.1869409
co2	.0039073	.0089186	0.44	0.665	-.0143616	.0221763
ecart	-46.25979	65.2782	-0.71	0.484	-179.9761	87.45654
_cons	1468.239	156.1226	9.40	0.000	1148.436	1788.042

Table des matières

AVERTISSEMENT	i
DEDICACE 1.....	ii
DEDICACE 2.....	iii
REMERCIEMENTS	iv
LES SIGLES ET ACRONYMES	v
LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES GRAPHIQUES	vii
SOMMAIRE	viii
RESUME.....	ix
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : CADRE THEORIQUE ET METHODOLOGIQUE DE L'ETUDE.....	4
SECTION 1 : PROBLEMATIQUE, OBJECTIFS, HYPOTHESES ET INTERET DE L'ETUDE	5
Paragraphe 1 : problématique.....	5
Paragraphe 2 : Objectifs, hypothèses et l'intérêt de l'étude	7
A. Objectifs et hypothèses de l'étude.....	7
B. L'intérêt de l'étude	7
SECTION 2 : LA REVUE DE LITTERATURE ET LA METHODOLOGIE DE RECHERCHE	8
Paragraphe 1 : La revue de littérature	8
1) Clarification conceptuelle.....	8
2) Points des contributions antérieures	9
Paragraphe 2 : Méthodologie de recherche	11
1. Nature et source des données	11
2. Méthode d'estimation du modèle	13
Tableau n°1 : Prédiction de signes des variables	14

CHAPITRE II : PRESENTATION, ANALYSE DES RESULTATS ET RECOMMANDATIONS	17
SECTION 1 : PRESENTATION DES RESULTATS ET VERIFICATION DES HYPOTHESES	18
Paragraphe 1 : Présentation des résultats des différents tests.....	18
Tableau n°2 : Résultats du test de stationnarité en niveau	18
Tableau n° 3 : Test de stationnarité en différence première.....	18
Tableau n°4 : Régression du modèle de long terme (MCO)	19
Graphe n°1 : Evolution du rendement de la production de maïs au cours du temps	20
Graphe n°2 : Evolution du dioxyde de carbone dans le temps.....	20
Graphe n°3 : Evolution du rendement en présence du CO2	21
Paragraphe 2 : Analyse et vérification des hypothèses	21
1. Analyse et interprétation des résultats.....	21
SECTION 2 : LIMITES ET SUGGESTIONS	23
Paragraphe 1 : Limites de l'étude.....	23
Paragraphe 2 : suggestions	23
CONCLUSION	24
REFERENCE BIBLIOGRAPHIE	26
ANNEXES	29
Table des matières	35