IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'AGRICULTURE: APPORTS ET LIMITES DES ETUDES RICARDIENNES.

Fabrice Essé Ochou

▶ **To cite this version:**

Fabrice Essé Ochou. IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'AGRICULTURE: APPORTS ET LIMITES DES ETUDES RICARDIENNES.. Milieux et Changements globaux. Université Felix Houphouet-Boigny de Cocody-Abidjan; Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement (CIRED)-CNRS, Campus du Jardin Tropical, 45 bis, avenue de la Belle Gabrielle, 94736 Nogent-sur-Marne Cedex, 2018. Français. NNT : . tel-02068898

HAL Id: tel-02068898

https://hal.science/tel-02068898

Submitted on 15 Mar 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE
DES SCIENCES ECONOMIQUES ET DE GESTION
(UFR-SEG)

CENTRE INTERNATIONAL DE RECHERCHE SUR L'ENVIRONNEMENT ET LE DEVELOPPEMENT
(FRANCE)

Année académique 2017-2018

THESE UNIQUE présentée par :

OCHOU Essé Fabrice

Soutenue publiquement le 10 Décembre 2018

pour l'obtention du grade de : **DOCTEUR EN SCIENCES ECONOMIQUES**

IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'AGRICULTURE EN AFRIQUE : APPORTS ET LIMITES DES ETUDES RICARDIENNES

Sous la direction de

Monsieur BALLO Zié

Maître de Conférences Agrégé à l'Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody

Et la Co-direction de

Monsieur Philippe QUIRION

Directeur de Recherche CIRED-CNRS, France

Membres du Jury :

M. **Mama OUATTARA** Professeur Titulaire, Université Félix Houphouët-Boigny (Président)
M. **BALLO Zié** Maître de Conférences Agrégé, Université Félix Houphouët-Boigny (Directeur)
M. **Philippe QUIRION** Directeur de Recherche, CIRED, France (Co- Directeur)
M.**AKA Brou Emmanuel** Maître de Conférences Agrégé, Université Félix Houphouët-Boigny (Rapporteur)
M. **Patrice DUMAS** Maître de Recherche, CIRAD/CIRED, France (Rapporteur)
M. **MANTSIE Willy-Rufin** Maître de Conférences Agrégé, Université Marien NGOUABI, Congo

A ma très chère et tendre épouse, **Anne-Judith**

Remerciements

Je crois sincèrement que c'est la partie la plus difficile d'une thèse. Allez, je me jette !

Je remercie tout d'abord l'ambassade de France en Côte d'Ivoire pour la bourse du Service de Coopération et d'Action Culturelle qui m'a permis d'effectuer mes différents séjours scientifiques.

Mes sincères remerciements vont ensuite à mes directeurs de thèse. Merci au Professeur **BALLO Zié** (Maître de conférences Agrégé) pour ses nombreux conseils et encouragements. Sans lui, je sais que je n'aurais certainement pas entamé cette thèse. Je tiens à dire un merci particulier au Professeur **Philippe QUIRION** (Directeur de Recherche, CIRED)**.** En écrivant son nom, les mots rigueur et disponibilité me viennent à l'esprit. Un bel accueil, une proximité et un suivi régulier au CIRED pendant 18 mois repartis sur trois ans m'ont assuré un cadre de travail idéal. Les nombreuses rencontres, échanges, séances de travail et les 859 mails échangés ne diront pas le contraire !

J'exprime ma gratitude à mes rapporteurs **Patrice DUMAS** (Maître de Recherche, CIRAD/CIRED) et **AKA Brou Emmanuel** (Professeur Agrégé des Sciences Economiques). Je remercie aussi les Professeurs **Mama OUATTARA** (Professeur Titulaire) et **MANTSIE Willy-Rufin**, (Maître de Conférences Agrégé) qui font l'honneur de participer au jury de soutenance.

J'ai trouvé le jardin tropical extraordinaire. Les femmes et les hommes du CIRED le rendent encore plus beau. Je suis passé par presque tous les bureaux du CIRED et à chaque fois, ce fut une belle expérience. Merci à Yann le taquin, Laurent mon ami, William, Meriem, Elsa, Rémi, Audrey, Jules, Eoin, le porte-parole du Gaélique, Roberto (Ne sois plus fan du Barça je t'en prie !), Abdou, Vincent Viguié, Franck Nadaud pour ses nombreuses orientations en statistique, l'incontournable Eleonore et tous les autres.

Ma reconnaissance va aussi à l'Université Felix Houphouët-Boigny à travers l'école doctorale des Sciences Economiques et Gestion et le CIRES (Centre Ivoirien de Recherches Economiques et Sociales). Le Centre de calcul restera un lieu mythique pour les doctorants.

Je voudrais remercier tous mes amis de la 3ème promotion du Nouveau Programme Troisième Cycle Interuniversitaire. Comment oublier nos séances de présentations de travaux et de retrouvailles autour des succulents mets sur les bords de la lagune Ebrié. Ce furent de véritables moments d'encouragement mutuel. Un merci particulier à William Ahouakan, PhD et Pierre Ouattara, PhD pour leurs apports tout au long de cette thèse.

Je ne peux oublier tous mes amis de la 27ème promotion du Lycée Scientifique (AS27) pour les mots d'encouragements incessants. Vous avez toujours cru en moi. Merci.

Aussi vrai que le manguier produit la mangue, aussi vrai je suis né d'une merveilleuse famille, certes modeste mais pleine d'amour. Le mot merci est tellement faible pour qualifier ma reconnaissance. Papa, Maman, Sandrine, Seldiche, Judith et surtout Papa, Professeur Ochou. Tu m'as dès le début motivé à aller le plus loin possible. Dans les moments où j'ai voulu abandonner (eh oui c'est arrivé), tu m'as toujours encouragé. Merci pour tout.

J'ai dû omettre certaines personnes. Je remercie donc tous ceux qui de près ou de loin m'ont soutenu d'une manière ou d'autre.

Louis Pasteur disait que : « Un peu de science éloigne de Dieu, mais beaucoup y ramène ». En espérant que cette thèse soit le début d'une longue aventure scientifique qui me rapprochera encore plus de Lui, je rends grâce à Dieu de m'avoir donné le souffle de vie, la santé nécessaire et la force de faire cette thèse.

Résumé.

Dans cette thèse, nous montrons que même si le modèle ricardien contribue grandement à l'analyse de l'impact des changements climatiques sur l'agriculture, il n'est pas toujours adéquat pour les pays en voie de développement, notamment africains. Nous expliquons donc dans le premier essai, à travers une analyse de la littérature les circonstances de la naissance du modèle ricardien, les études employant ce modèle, les critiques subies et les nouvelles approches proposées. Il ressort de cette analyse que le débat continue sur « la meilleure approche » à utiliser pour évaluer l'impact des changements climatiques sur l'agriculture. Le second essai, en prenant le cas de la Côte d'Ivoire, nous montre que les revenus des agriculteurs ivoiriens du Centre et de Nord baissent suite à un climat futur défavorable. Cette analyse est un apport significatif du modèle ricardien parce que ce pays n'a jamais bénéficié de ce type d'étude et l'approche par zone climatique a permis d'être plus précis dans les mesures d'impact. Enfin, le dernier essai démontre que le biais de prix est l'une des limites qui affectent négativement le modèle ricardien utilisé pour les pays africains. En se basant sur le Burkina Faso, nous montrons donc que ce biais engendre une sous-estimation de l'impact des changements climatiques sur l'agriculture en Afrique.

Mots clés : Changement Climatique, modèle ricardien, agriculture, zones climatiques, Afrique, Biais de Prix, coupe instantanée, Données de panel.

Abstract

In this thesis, we show that although the Ricardian model widely contributes to the analysis of climate change impact on agriculture, it is not always adequate for developing countries, especially in Africa. We therefore explain in the first chapter, through an analysis of the literature, the Ricardian model birth circumstances, the studies using this model, the criticisms and the proposed new approaches. It comes out that the debate continues on "the best approach" to use in assessing the impact of climate change on agriculture. The second chapter, taking the case of Côte d'Ivoire, shows us Ivoirian farmers revenues of the Center and North decrease against an unfavorable future climate. This analysis is a significant contribution of the Ricardian model because this country has never benefited from this type of study and the climate zone approach has made it possible to be more precise in impact measurements. Finally, the last chapter demonstrates that price bias is one of the limits that negatively affects the Ricardian model used for African countries. Based on Burkina Faso, we thus show that this bias leads to an underestimation of the impact of climate change on agriculture in Africa.

Key words: Climate change, Ricardian model, agriculture, climate zones, Africa, Price bias, Cross section data, panel data.

Sommaire.

Remerciements ... **ii**
Résumé. ... **iv**
Sommaire ... **vi**
Liste des figures ... **xi**
Liste des tableaux ... **xiii**
Sigles et Acronymes ... **xiv**
INTRODUCTION GENERALE ... **2**
1. Contexte ... 2
2. Effets visibles du Changement Climatique sur l'Afrique ... 2
3. Recherche de solutions face aux effets du Changement Climatique ... 3
4. L'Agriculture au cœur de la croissance économique en Afrique Subsaharienne ... 4
5. Le modèle ricardien, une méthode pour évaluer l'impact du climat sur l'Agriculture. ... 5
6. L'Afrique bénéficie d'un nombre restreint d'études. ... 6
7. Objectifs général et spécifiques de la thèse ... 7
8. Plan de la thèse ... 7
Références bibliographiques ... 9
Essai 1 : REVUE DE LITTERATURE SUR LE MODELE RICARDIEN ET SON DEVELOPPEMENT. ... **11**
1. Introduction ... 12
2. L'approche agronomique ou fonction de production ... 13
2.1. Approche de « région comparable ». ... 13
2.2. Modèle de croissance des cultures. ... 14
2.2.1. Etude sur une région spécifique ... 14
2.2.2. Etude à l'échelle mondiale. ... 15
2.3. Les études récentes sur l'Afrique ... 17
2.4. Discussion de l'adaptation dans les différentes utilisations du modèle « fonction de production ». ... 19
3. L'approche Ricardienne ... 20
3.1. La critique faite au modèle de « fonction de production » ... 20
3.2. Présentation de l'Article fondateur du modèle ricardien : (Mendelsohn Nordhaus et Shaw, 1994 (MNS)) ... 22
3.3. Les développements de l'approche ricardienne ... 22
4. Critiques sur le modèle ricardien ... 27
4.1. Les principales critiques ... 27
4.1.1. La non-prise en compte de l'irrigation. ... 27
4.1.2. L'hypothèse de constance des prix. ... 34

4.1.3. L'adaptation sans coût. 36
4.2. Les autres thèmes de critiques. 38
4.2.1. Non prise en compte du Bétail. 38
4.2.2. Non prise en compte de l'effet du CO_2 39
4.2.3. Relation convexe entre la valeur des terres ou le revenu et les variables climatiques. 39
4.2.4. Biais d'agrégation 40
5. Nouvelle approche de l'utilisation du modèle ricardien avec données de panel. 41
5.1. Critique de DG sur le modèle ricardien : Non stabilité des coefficients dans le temps. 41
5.2. Proposition de DG, (2007) 42
5.3. Critiques sur l'article de DG 42
5.3.1. Critique sur la méthode d'utilisation du panel par DG 42
5.3.2. Critique sur les données et les résultats dans DG. 42
5.4. L'utilisation des données de panel peut-elle s'appeler méthode ricardienne ? 43
6. Conclusion 45
Références bibliographiques 47
Essai 2 : IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES REVENUS AGRICOLES : UNE APPLICATION DU MODELE RICARDIEN A LA COTE D'IVOIRE. 54
1. Introduction. 55
2. Revue de la littérature. 56
3. Méthodologie 60
3.1. Les déterminants du climat ivoirien. 60
3.2. Choix des zones climatiques. 61
3.2.1. Choix basé sur la littérature. 61
3.2.2. Choix basé sur nos propres calculs. 65
3.3. Modèle théorique 66
3.4. Modèle empirique 67
3.5. Description des données 68
3.5.1. La variable dépendante. 68
3.5.2. Les variables climatiques 68
3.5.3. La main d'œuvre salariée par hectare 70
3.5.4. Les sols. 70
3.6. Les différentes estimations 74
3.6.1. Estimation par zones. 74
3.6.1.1. Zone Sud 74
3.6.1.2. Zone Centre 74
3.6.1.3. Zone Nord. 74
3.6.2. Estimation avec l'ensemble du pays. 74

4. Résultats et interprétations. ... 75
4.1. Résultats après estimations ... 75
4.2. Interprétations des résultats. ... 78
5. Simulation de l'impact du futur Climat sur les revenus nets par hectare. ... 83
5.1. Prédiction dans le Centre. ... 85
5.2. Prédictions dans le Nord. ... 86
6. Conclusion ... 89
Références bibliographiques ... 91
Annexes ... 94
Annexe 1 : Carte pédagogique ... 94
Annexe 2 : Les régressions. ... 95
Annexe 3 : Calcul du seuil ... 122
Annexe 4 : Calcul des élasticités. ... 122
Annexe 5 : Résultats de la CAH ... 123
Annexe 6 : Scénarios de référence. ... 126
Essai 3 : IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'AGRICULTURE : DETERMINATION DE L'EXISTENCE D'UN BIAIS DE PRIX DANS LES ETUDES RICARDIENNES. ... 128
1. Introduction. ... 130
2. Revue de la littérature ... 132
3. Méthodologie ... 133
3.1. Hypothèse ... 134
3.2. Justification de la zone d'étude, modèle et données ... 134
3.2.1. Justification de la zone d'étude ... 134
3.2.1.1. Brève description des caractéristiques climatiques du Burkina Faso. ... 135
3.2.2. Justification du modèle utilisé ... 135
3.2.3. Les données ... 137
3.2.3.1. La Valeur totale de la production par hectare ... 137
3.2.3.2. Les rendements totaux ... 137
3.2.3.3. Les variables climatiques ... 138
3.2.3.3.1. Choix des variables climatiques. ... 139
3.2.3.4. L'indice des Prix : ... 141
3.2.3.5. Descriptions des données ... 142
3.3. Méthode d'estimation ... 142
3.3.1. Procédure d'estimation. ... 142
3.3.2. Présence d'effets fixes annuels. ... 143
3.3.3. Pondération avec les superficies. ... 144
4. Résultats ... 145

4.1. Tableau des résultats. ... 145
4.2. Analyse et interprétations des résultats. ... 146
4.2.1. Effet des précipitations de Juin-Juillet sur le rendement total en kilocalories par hectare. 146
4.2.2. Effet des précipitations cumulées de Juin-Juillet sur la valeur de la production totale par hectare 147
4.2.3. Comparaison des effets de la pluie sur le rendement et la valeur de la production pour Juin-Juillet. ... 147
4.2.4. Effet des précipitations cumulées d'Août-Septembre sur rendement total en kilocalories par hectare. ... 148
4.2.5. Effet des précipitations cumulées d'Août-Septembre sur la valeur totale de la production. ... 149
4.2.6. Comparaison des effets de la pluie d'août et Septembre sur le rendement et la valeur de la production ... 149
4.3. Vérification avec l'indice de prix de Paasche ... 150
5. Quantification du biais de prix. ... 151
6. Conclusion et discussions. ... 154
Références bibliographiques ... 155
Annexes ... 159
Annexe partie 1. ... 159
1. Carte du Burkina Faso ... 159
2. Liste des provinces correspondant aux abscisses des figures 3.1 et 3.2. ... 159
2.1. Correspondance des provinces en abscisse de la figure 3.1 ... 159
2.2. Correspondance des provinces en abscisse de la figure 3.2 ... 159
3. Statistiques descriptives des différents mois de la saison des pluies. ... 160
4. Matrice des corrélations entre les variables choisies (Précipitations de Juin à Juillet et d'Août à Septembre ... 160
5. Calcul des élasticités. ... 160
Annexe partie 2 : Les régressions sous STATA 13 ... 164
1. Tests de racine unitaire ... 164
2. Régressions ... 167
2.1. Sur le Rendement total en kcal/ha ... 167
2.2. Sur la valeur de la production totale par hectare. ... 169
2.3. Sur l'indice de Paasche ... 171
2.4. Sur l'indice de Laspeyres pour vérifier les résultats de l'indice de Paasche. ... 173
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES ... 175
1. Principaux résultats ... 175
2. Limites de la recherche ... 176
3. Pistes d'amélioration ... 177

4. Discussions et Perspectives 177
Références bibliographiques...... 180
TABLES DES MATIERES 181

Liste des figures

Figure 0.1: Diminution de la superficie des Glaciers du mont Kilimandjaro de 1912 à 2003 (modifié de Cullen et al., 2006) 3
Figure 0.2: Part de l'Agriculture dans le PIB total en 2014..... 5
Figure 1.1 Nombre de citations par année de Mendelsohn et al. (1994) 13
Figure 1.2: Biais dans les études de fonction de production..... 21
Figure 2.1: Zones climatiques en Côte d'Ivoire basées sur les moyennes de 1961 à 1975 61
Figure 2.2 :Découpage climatique de la Côte d'ivoire et les variations de température et précipitations pour l'année 2007..... 63
Figure 2.3 : Répartition des revenus nets par hectare moyens par zones..... 68
Figure 2.4 : Répartition de la nature des exploitations agricoles selon les zones climatiques en Côte d'Ivoire..... 72
Figure 2.5 : Fonction de réponse de la température pendant les saisons de pluies au Centre. 79
Figure 2.6 : Fonction de réponse des précipitations pendant les saisons de pluies au Centre 80
Figure 2.7: Fonction de réponse de la température pendant les saisons de pluies au Nord 81
Figure 2.8 : Fonction de réponse des précipitations pendant les saisons de pluies au Nord... 81
Figure 2.9 : Carte pédologique de la Côte d'Ivoire. (ORSTOM, 1960) 94
Figure 2.10 : Dendrogramme 125
Figure 3.1: Répartition de la température moyenne dans les 45 provinces pendant la saison des pluies sur l'ensemble des 12 années. 139
Figure 3.2 : Répartition des précipitations cumulées dans les 45 provinces pendant la saison des pluies sur l'ensemble des 12 années. 140
Figure 3.3 : Fonction de réponse des précipitations cumulées de Juin-Juillet sur le rendement total en kilocalories par hectare..... 146
Figure 3.4 : Fonction de réponse des précipitations cumulées de Juin à Juillet sur la valeur totale de la production par hectare..... 147
Figure 3.5 : Effet de la pluie de Juin-Juillet sur le rendement total et sur la valeur de la production totale..... 148
Figure 3.6 : Fonction de réponse des précipitations cumulées d'Août-Septembre sur le rendement total en kilocalories par hectare 148
Figure 3.7 : Fonction de réponse des précipitations cumulées d'Août et Septembre sur la valeur totale de la production par hectare. 149
Figure 3.8 : Effet de la pluie d'Août-Septembre sur le rendement total et sur la valeur de la production totale 150

Figure 3.9 : Effet des précipitations cumulées d'Août-Septembre de l'année précédente sur l'indice de Paasche. 151
Figure 3.10 : Variations du rendement et valeur de la production selon les différents scénarios153
Figure 3.11 : Carte du Burina Faso avec les 45 provinces. 159
Figure 3. 12 : Nuage de points des rendements du maïs, mil et sorgho en fonction des précipitations cumulées de Juin-Juillet 161
Figure 3.13: Nuage de points des rendements du maïs, mil et sorgho en fonction des précipitations cumulées d'Août-Septembre 161
Figure 3.14 : Nuage de points des valeurs de production du maïs, mil et sorgho en fonction des précipitations cumulées de Juin-Juillet 162
Figure 3.15: Nuage de points des valeurs de production du maïs, mil et sorgho en fonction des précipitations cumulées d'Août-Spetembre 162
Figure 3.16 : Moyenne des températures et des précipitations cumulées dans les 45 provinces163

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Récapitulatif des études utilisant le modèle ricardien en Afrique 26
Tableau 2.1 : Villes enquêtées selon les zones climatiques 64
Tableau 2.2 : Les classes obtenues. 66
Tableau 2.3 : Moyennes des températures par saison des pluies et corrélations dans les zones Sud et Centre. 69
Tableau 2.4 : Villes et sols correspondants. 71
Tableau 2.5 : Récapitulatif des statistiques des données utilisées. 73
Tableau 2.6: Résultats après estimation sur échantillon entier.(Avec fermes modernes et traditionnelles.) 76
Tableau 2.7 : Résultats après estimation sur fermes traditionnelles uniquement. 76
Tableau 2.8 : Résultats après estimation sur fermes modernes uniquement. 77
Tableau 2.9 : Impact marginal du climat sur le revenu (FCFA/ha) (à partir des coefficients du tableau 1.7 de l'échantillon total) 82
Tableau 2.10 : Températures selon les différents scénarios 84
Tableau 2.11: Précipitations selon les différents scénarios. 84
Tableau 2.12 : Résultat de l'impact du changement climatique sur les revenus nets par hectare (en FCFA) pour le Centre. 85
Tableau 2.13 : Résultat de l'impact de la température sur les revenus nets par hectare (en FCFA) pour le Nord 86
Tableau 2.14 : Résultat de l'impact des précipitations sur les revenus nets par hectare (en FCFA) pour le Nord 87
Tableau 2.15 :Revenus nets par hectare selon les différents scénarios climatiques et la référence au Centre. 126
Tableau 2.16 : Revenus nets par hectare selon les différents scénarios climatiques et la référence au Nord. (Pour la température) 126
Tableau 2.17 : Revenus nets par hectare selon les différents scénarios climatiques et la référence au Nord. (Pour les précipitations) 126
Tableau 3.1 : Statistiques descriptives 142
Tableau 3.2 : Résultats des différentes estimations. 145
Tableau 3.3 : Quantification du biais de prix. 152

Sigles et Acronymes

ASECNA : Agence pour la SECurité de la Navigation Aérienne en Afrique et à Madagascar

CAH : Classification Ascendante Hiérarchique

CCNUCC : Commission Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques.

CEA : Commission Economique pour l'Afrique

CEDEAO : Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest

COP : Conference of Parties

CPDN : Contributions Prévues Déterminées au niveau National

CRU : Climate Research Unit

ENV : Enquête sur le Niveau de Vie des Ménages (Côte d'Ivoire)

FAERE: The French Association of Environmental and Resource Economists

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

FIT : front Inter Tropical

FMI : Fonds Monétaire International

GCM: Global Circulation Model

GIEC : Groupe d'Expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

INS : Institut National de la Statistique (Côte d'Ivoire)

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Économique

ONU : Organisation des Nations Unies.

PIB : Produit Intérieur Brut

PND : Plan National de Développement (Côte d'Ivoire)

PNIA : Programme National d'Investissement Agricole. (Côte d'Ivoire)

PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement

SONAGESS : SOciété NAtionale de GEstion du Stock de Sécurité alimentaire (Burkina Faso)

SP/ CONAGESE : Secrétariat Permanent du Conseil National pour la Gestion de l'Environnement (Burkina Faso

INTRODUCTION GENERALE

1. Contexte

Cette thèse se situe dans le vaste champ de l'économie agricole et de l'environnement avec l'intention d'évaluer économiquement l'impact du changement climatique sur l'Agriculture dans certaines parties de l'Afrique subsaharienne et d'observer si certains modèles économiques couramment utilisés pour le faire, notamment le modèle ricardien, sont adaptés ou non à l'Afrique.

La problématique du changement climatique[1] mobilise la communauté internationale depuis la fin du 20ème siècle compte-tenu des changements environnementaux qui s'opèrent sous l'action de l'homme. L'Afrique ne demeure pas en reste puisqu'elle subit aussi, les effets pervers du changement climatique.

En effet, le continent Africain, avec une superficie de 29,8 millions de km², est considéré comme l'une des régions les plus vulnérables aux effets du changement climatique tant la question recouvre des enjeux multiples et cruciaux. Cette vulnérabilité toucherait davantage les populations rurales (agriculteurs, pêcheurs, chasseurs dont les moyens d'existence dépendent des ressources naturelles etc) du fait de la faiblesse ou l'inefficacité des politiques Etatiques de prévention ou de protection. (François et Taabni (2012)). Bien que des signaux positifs s'annoncent quant à son développement, celui-ci demeure, dans la majorité des pays, lié aux ressources naturelles. D'après les Perspectives Economiques en Afrique[2] (OCDE et al, (2013)), les ressources agricoles, extractives et énergétiques de l'Afrique sont la clef de l'accélération de sa croissance économique. L'impact du climat sur ces ressources peut donc occasionner un frein au développement.

De plus, l'Afrique se trouve face à une opportunité puisqu'elle n'a pas encore pris le tournant des pays industrialisés. L'avenir du continent pourrait dès lors reposer sur une prise en compte systématique de la dimension climatique.

2. Effets visibles du Changement Climatique sur l'Afrique

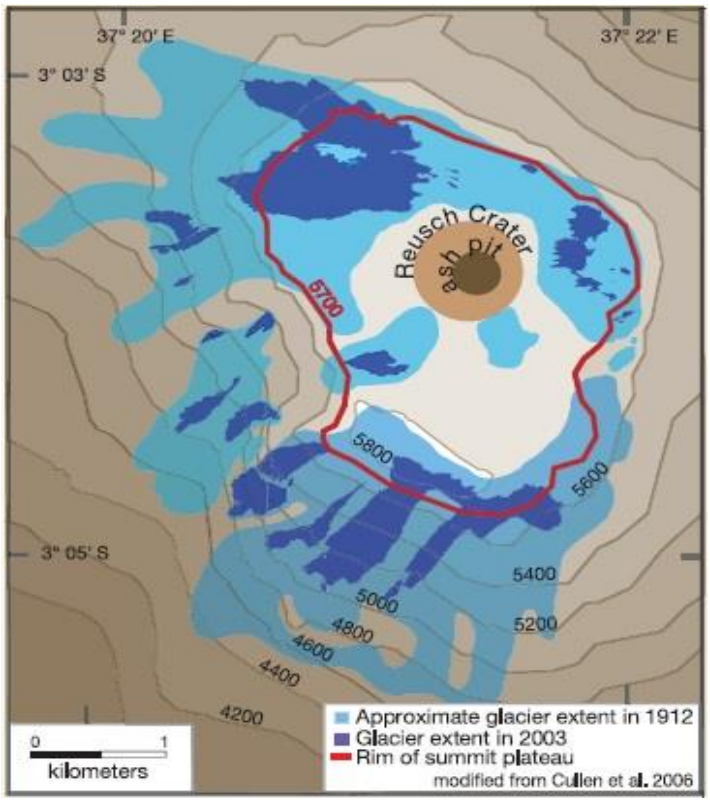
Les différents rapports du GIEC mentionnent que l'Afrique qui abrite la majorité des pays en développement est le continent le plus vulnérable dans divers secteurs face aux effets pervers du Changement Climatique même si le continent est celui qui contribue le moins aux émissions de Gaz à Effet de Serre.

[1]Le changement climatique se définit comme tout changement du climat qu'il soit dû à la variabilité naturelle ou activités humaines. Ce phénomène peut entraîner des dommages importants : élévation du niveau des mers, accentuation des événements climatiques extrêmes (sécheresses, inondations, cyclones, ...), déstabilisation des forêts, menaces sur les ressources d'eau douce, difficultés agricoles, désertification, réduction de la biodiversité, extension des maladies tropicales, etc. (GIEC, 2007).

[2]« Les PEA » est un rapport publié chaque année par la Banque Africaine de Développement (BAfD), le Centre de développement de l'OCDE, la Commission économique pour l'Afrique (CEA) et le Programme des Nations unies pour le développement (PNUD)

Déjà le rapport du GIEC de 2007 rapportait qu'entre 1912 et 2003, 80% de la glace qui couronnait le Mont Kilimandjaro lors des premiers relevés en 1912 a à présent disparu (voir figure ci-dessous). Cette disparition progressive mais spectaculaire du glacier de Kilimandjaro est due selon le GIEC au Changement Climatique, ce qui a pour conséquence l'assèchement de plusieurs cours d'eau (Rapport GIEC, 2007 ; page 440). Le dernier rapport du GIEC mentionne aussi que la pénurie d'eau impose un fardeau supplémentaire aux femmes et rend plus vulnérables les enfants et les personnes âgées. Le rapport note également que les sécheresses, les vagues de chaleur et les incendies de forêt exposent les personnes âgées à un danger physique, voire au décès. (Rapport GIEC, 2014 ; page 127)

Figure 0.1: Diminution de la superficie des Glaciers du mont Kilimandjaro de 1912 à 2003 (modifié de Cullen et al., 2006)



Source : GIEC 2007, Fig 9.2

3. Recherche de solutions face aux effets du Changement Climatique

La recherche de solutions viables en vue de réduire la vulnérabilité des populations face aux changements climatiques dans cette partie du monde est donc une préoccupation majeure pour les populations rurales elles-mêmes, les décideurs politiques et la communauté scientifique.

Les populations rurales expérimentent des techniques pour essayer de résister aux chocs climatiques qu'elles subissent.

Selon Dugué, (2012), les paysans qui en ont les moyens tentent de s'adapter ou au minimum de « résister » aux impacts des Changements Climatiques par des réponses individuelles ou collectives. Les réponses individuelles se basent le plus souvent sur des techniques de révision du calendrier agricole, le choix de nouvelles spéculations voire d'activités extra-agricoles ou de mobilité géographique. Ces stratégies ou logiques individuelles, précise-t-elle ont souvent un impact sur les dynamiques collectives de gestion des ressources. De façon générale, les agriculteurs ont la capacité de développer leurs propres réponses d'adaptation malgré les limites que ces dernières peuvent rencontrer. Par exemple, les stratégies d'adaptation développées par les paysans relèvent plus de la réaction aux changements que de la prévention du risque.

Concernant les décideurs politiques, le récent Accord de Paris (COP 21[3]) pris en Décembre 2015 dans le cadre de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), adopté par 195 pays, montre la détermination à endiguer le problème à travers des actions d'atténuation et d'adaptation. Les actions d'atténuation et d'adaptation sont contenues dans les Contributions Prévues Déterminées au niveau National (CPDN) qui ont été présentées par chaque Etat. D'ailleurs, certains pays développés tels que la France s'attachent à bâtir une « Alliance de Paris pour le Climat », qui permette de « contenir l'élévation de la température moyenne de la planète en dessous de 2°C d'ici 2100 et adapter nos sociétés aux dérèglements existants ».(« Adoption de l'accord de Paris », CCNUCC, (2015)) De plus, l'implication des décideurs politiques se traduit dans l'un des volets de cette « Alliance de Paris » par un mécanisme financier qui doit permettre de soutenir les pays en développement et de financer la transition vers des économies bas-carbone et résilientes, avant et après 2020. Aussi, des initiatives d'ordre privé comme le « Africa Progress Panel » dirigé par Kofi Annan[4] luttent pour un développement équitable et durable en Afrique.

Pour la communauté scientifique, il s'agit de mieux comprendre les impacts présents et futurs du climat en vue de proposer des solutions viables surtout d'un point de vue socio-économique. Les différents travaux du GIEC, dont le dernier rapport de 2013, montrent des impacts importants sur des secteurs vitaux tels que l'Agriculture, les ressources en eau, la pêche, l'énergie, la sécurité alimentaire. etc.

4. L'Agriculture au cœur de la croissance économique en Afrique Subsaharienne

L'un des défis que posent les changements climatiques est celui du maintien, de l'accroissement et de l'adaptation des productions agricoles dans le contexte des changements climatiques. L'Agriculture constitue l'une des catégories dont dépendent de nombreuses économies en Afrique

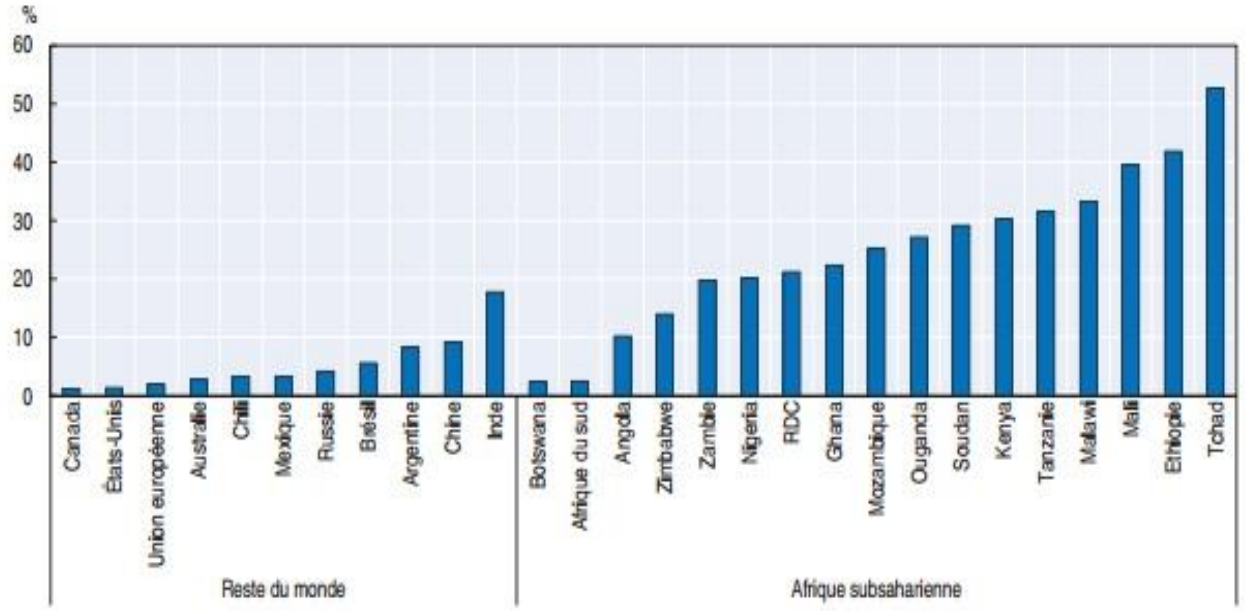
[3] Conference of Parties 21.

[4]Kofi Annan, ex Secrétaire Général de l'ONU entre 1997 et 2006 et prix Nobel de la Paix.

subsaharienne. En effet, le secteur agricole est au cœur de l'économie de ces pays. Il représente en moyenne environ 15% du Produit Intérieur Brut (PIB) (OCDE/FAO 2016). Le graphique ci-dessous nous montre que la part de l'Agriculture dans le PIB en Afrique subsaharienne est plus importante que celle du reste du monde même s'il y a des disparités entre les pays (de 3% au Botswana à environ 50% au Tchad).

Aussi, l'agriculture emploie plus de la moitié de la population active totale (FMI, 2012) et fournit un moyen de subsistance à une multitude de petits producteurs dans les zones rurales. Les petites exploitations représentent environ 80 % de l'ensemble des exploitations agricoles et emploient directement environ 175 millions de personnes (Alliance for a Green Revolution in Africa, 2014).

Figure 0.2: Part de l'Agriculture dans le PIB total en 2014



Source : Banque Mondiale (2016) dans OCDE/FAO (2016)

5. Le modèle ricardien, une méthode pour évaluer l'impact du climat sur l'Agriculture.

Pour apporter des réponses appropriées afin de rendre les populations résilientes face aux changements climatiques dans le secteur agricole, il est fondamental de mener des études pour comprendre le niveau d'impact de ces changements.

C'est dans ce cadre que de nombreuses analyses socio-économiques sont menées à travers le monde. Les économistes ont donc proposé plusieurs méthodes d'évaluations des impacts des changements climatiques sur l'agriculture dont le modèle ricardien (Mendelsohn et al, 1994) depuis plus d'une vingtaine d'années.

Le modèle ricardien, développé par Mendelsohn et al, (1994), est l'une des études pionnières en la matière car elle a été la première à mesurer le niveau d'impact du changement climatique sur le

revenu des agriculteurs. L'utilisation du revenu des agriculteurs, contrairement au rendement comme l'ont fait ses prédécesseurs dans les modèles dits « agronomiques » ou « fonction de production », permet de prendre en compte l'adaptation des fermiers. En fait, le revenu final du planteur constitue le résultat de ses ventes moins ses dépenses après qu'il ait utilisé toutes les formes d'adaptations possibles face aux différents aléas dont le changement du climat.

Les nombreuses applications du modèle ricardien ont permis de connaitre le niveau actuel et futur de l'impact économique des changements climatiques sur l'Agriculture à travers le monde et sur certaines parties de l'Afrique. Par exemple, pour ce qui concerne le Continent Africain, environ 16 pays ont fait l'objet d'analyse utilisant le modèle ricardien. De façon générale, il ressort de ces études que les changements climatiques auront des impacts négatifs sur le revenu agricole. Il convient de noter que ces pertes sont parfois ponctuées par des gains pour certains pays, ce qui montre qu'il y a aussi une hétérogénéité à l'intérieur du continent.

Malgré cet apport important du modèle ricardien, de nombreux auteurs ont relevé des limites non négligeables surtout dans son application (Cline (1996) ; Deschênes et Greenstone (2007) etc). Parmi ces limites, l'hypothèse de constance de prix est celle qui semble la moins adaptée aux pays en développement. En fait, dans cette hypothèse, Mendelsohn et al. (1994) stipulent que dans l'évaluation de l'impact des Changements Climatiques sur la valeur de la terre, la valeur de la production ou le revenu, les prix des cultures sont constants d'une zone à une autre, les marchés étant parfaits. Or c'est loin d'être le cas pour les pays en développement qui ont des difficultés à cause du manque d'infrastructures telles que les routes bitumées. Ce biais de prix constituerait donc l'une des faiblesses majeures du modèle ricardien en ce qui concerne les pays en développement dont l'Afrique.

Une autre limite du modèle ricardien est que plusieurs auteurs dans son utilisation ne tiennent pas compte de l'hétérogénéité du climat qui peut exister à l'intérieur de certains pays.

Les estimations sont généralement faites de façon « globale » ; c'est-à-dire que pour un pays par exemple, un coefficient unique est déterminé pour expliquer l'impact actuel du climat sur le revenu des paysans. Ouédraogo (2012) à l'instar de plusieurs travaux sur l'Afrique, utilisent cette méthode. Cette méthode d'estimation pourrait donc être une faiblesse surtout pour les pays présentant une hétérogénéité climatique importante.

6. L'Afrique bénéficie d'un nombre restreint d'études.

La difficulté pour l'Afrique réside dans le faible nombre d'études (avec le modèle ricardien et d'autres méthodes) dont elle a été l'objet relativement au reste du monde. Hendrix (2017), dans son étude sur le « streetlight effect » dans la recherche sur le Changement climatique en Afrique,

montre comment les régions Africaines sont les moins étudiées sur le thème du changement climatique à cause du manque de données. L'idée développée est que les données collectées dans une région ou une zone donnée sont une sorte de « lampadaire » ou de « lumière de rue » qui éclaire et guide le choix des chercheurs. Ainsi, l'Afrique ayant moins de données, bénéficie d'un faible taux de recherches.

La présente thèse se veut donc être une contribution pour l'évaluation des impacts économiques des changements climatiques sur l'Agriculture en Afrique en général et en Afrique de l'Ouest en particulier à travers le modèle ricardien. Vu les nombreuses applications du modèle ricardien et les critiques qu'il a subies du fait de ses limites, la question qui nous guide tout au long de cette thèse est : Le modèle ricardien permet-il d'évaluer correctement l'impact du changement climatique en Afrique ? En d'autres termes, quel est l'apport du modèle ricardien dans l'évaluation des impacts du changement climatique et comment mettre en exergue ses limites surtout pour le continent Africain ?

7. Objectifs général et spécifiques de la thèse

En vue de répondre à cette question, l'objectif général de ce travail est donc de montrer que, malgré l'importance du modèle ricardien dans l'évaluation économique de l'impact des changements climatiques sur l'Agriculture, il demeure des limites dans son application pour les pays en développement. En vue d'atteindre cet objectif et de répondre à notre question, nous divisons notre objectif principal en trois objectifs spécifiques.

Le premier objectif spécifique est de montrer l'évolution du modèle ricardien tout au long de la littérature, c'est à dire de sa naissance jusqu'à ses applications récentes en passant par les critiques dont il a fait l'objet. Le second objectif spécifique est de montrer l'apport du modèle ricardien en procédant à une application de ce dernier sur la Côte d'Ivoire. Le troisième et dernier objectif spécifique vise à montrer l'une des limites de l'application du modèle ricardien, c'est-à-dire le biais de prix.

8. Plan de la thèse

Les trois objectifs spécifiques énumérés ci-dessus constituent les trois essais de notre thèse. La thèse est donc structurée de la manière suivante.

Le premier essai est intitulé « Revue de la littérature sur le modèle ricardien et son développement ». Il s'agit ici de montrer comment ce modèle est né, quelles sont les méthodes d'évaluations qui lui sont antérieures, comment il s'est développé et quelles sont les nouvelles approches. Cet essai vise aussi à apporter une partie de la réponse quant à l'apport de la méthode ricardienne.

Le second essai porte sur « l'impact des Changements Climatiques sur les revenus agricoles : Une application du modèle ricardien à la Côte d'Ivoire ». Il est question de préciser l'impact du changement climatique sur le revenu des agriculteurs Ivoiriens en appliquant le modèle ricardien avec des données en coupe instantanée. L'intérêt de cet essai réside non seulement dans le fait que, pour montrer l'apport du modèle ricardien, nous essayons de l'appliquer sur un territoire dans lequel cela n'a jamais été fait, mais aussi expliquer comment le modèle ricardien peut et doit s'adapter aux différents pays selon leur spécificité. En effet, la Côte d'Ivoire malgré sa petite superficie dispose de trois zones climatiques avec des saisons différentes. Il est donc évident que les agriculteurs de chacune des zones ne seront pas influencés de la même manière par un éventuel changement du climat. Une application du modèle ricardien est donc faite sur chacune des trois zones et aussi en prenant en compte l'ensemble du pays afin de capter l'impact particulier du climat.

Le troisième essai est consacré à l'« Impact du Changement climatique sur l'Agriculture, détermination de l'existence d'un biais de prix dans les études ricardiennes ». Cet essai veut démontrer que dans l'évaluation des impacts des changements climatiques utilisant le modèle ricardien, il y a un risque de sous-estimation de l'ampleur des dégâts climatiques. Plus précisément, le modèle ricardien estime l'impact du climat sur l'agriculture en utilisant une analyse en coupe instantanée qui relie le revenu des agriculteurs avec les variables climatiques avec pour hypothèse principale que les prix sont constants. Or en Afrique, plusieurs facteurs tels que le mauvais état des routes semblent ne pas garantir cette hypothèse. Notre analyse consiste donc dans cette partie à montrer que l'utilisation des revenus au lieu des rendements peut biaiser le réel impact du climat sur l'Agriculture. L'application pour cette démonstration sera faite sur le Burkina Faso.

Enfin, une conclusion générale rassemblera l'ensemble des résultats tout en ouvrant des perspectives dégagées par ce travail.

Références bibliographiques

1. **Cline, W. R.** (1996). The impact of global warming on agriculture: Comment, *American Economic Review* 86(5), 1309–1301
2. **Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques** (2015), « Adoption de l'Accord de Paris », p.24
3. **Deschênes, O. and Greenstone, M.** (2007). The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Profits and Random Fluctuations in Weather. *American Economic Review*, 97 (1), 354-385.
4. **Dugué M-J.** (2012). Caractérisation des stratégies d'adaptation au changement climatique en agriculture paysanne. Etude de capitalisation réalisée sur les terrains de coopération d'AVSF, 50.
5. **François, A.** et **Taabni, M.** (2012)« L'Afrique face aux changements climatiques », *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 260 | 459-462.
6. **GIEC, (**2014) : Changements climatiques 2014 : Incidences, adaptation et vulnérabilité *Résumés, foire aux questions et encarts thématiques. Contribution du Groupe de travail II au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [Publié sous la direction de Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi,Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea et L.L. White]. Organisation météorologique mondiale, Genève (Suisse), 201 pages (publié en anglais, en arabe, en chinois, en espagnol, en français et en russe)
7. **Hendrix, C. S.** (2017). The streetlight effect in climate change research on Africa. *Global Environmental Change*, 43, 137-147.
8. **IPCC,** (2007): *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,* M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E.Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.
9. **Mendelsohn, R. Nordhaus, W. & Shaw, D.** (1994). The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis. *American Economic Review* 84, 753–771.
10. **OCDE, et al.** (2013), *Perspectives économiques en Afrique 2013 : Transformation structurelle et ressources naturelles*, Éditions OCDE, Paris.
11. **Ouedraogo, M.** (2012). Impact des changements climatiques sur les revenus agricoles au Burkina Faso. *Journal of Agriculture and Environment for International Development* (JAEID), 106(1), 3-21.

Essai 1 : REVUE DE LITTERATURE SUR LE MODELE RICARDIEN ET SON DEVELOPPEMENT.

Résumé

Cet essai analyse les circonstances de la naissance du modèle ricardien, les études employant ce modèle, les critiques subies et les nouvelles approches proposées. Pour ce faire, environ 90 articles ont été examinés. L'analyse montre que le modèle ricardien est né en vue de répondre aux « imperfections » du modèle agronomique, mais qu'il a aussi subi de nombreuses critiques telles que la non-prise en compte de l'irrigation, l'adaptation sans coût et l'hypothèse de constance des prix. Il est aussi à noter que le débat continue sur « la meilleure approche » à utiliser pour évaluer l'impact des changements climatiques sur l'agriculture puisque malgré son évolution avec les données de panel par exemple, le modèle ricardien traditionnel et les modèles agronomiques qui lui sont antérieurs continuent à être utilisés.

Mots clés : Modèle ricardien, changements climatiques, Agriculture.

Abstract.

This essay analyzes the circumstances of the birth of the Ricardian model, the studies using this model, the criticisms suffered and the proposed new approaches. To do this, about 90 articles were examined. The analysis shows that the Ricardian model was born in order to answer the "imperfections" of the agronomic model, but that it has also undergone many criticisms such as the non-taking into account of the irrigation, the adaptation without cost and the assumption of price constancy. It should also be noted that the debate continues on "the best approach" to be used to assess the impact of climate change on agriculture, since despite its evolution with panel data, for example, the traditional Ricardian model and the agronomic models that it is anterior to it continue to be used.

Key words: Ricardian model, Climate Change, Agriculture.

1. Introduction

En raison de l'importance des impacts prévus des Changements climatiques en général et sur l'agriculture en particulier confirmé par le 5ème rapport du GIEC (2013), de nombreuses études tentent de les mesurer. Le modèle ricardien (Mendelsohn et al, 1994) est l'un des plus utilisés parmi toutes ces méthodes car il a pour la première fois pris en compte certains paramètres dont l'adaptation des fermiers jusque-là « ignorés ».

Une brève analyse d'impact[5] de l'article fondateur de Mendelsohn et (1994) nous indique qu'il a été cité depuis sa parution 1521 fois. La figure 1.1 présentée ci-dessous nous montre le nombre de citations qui ne cesse de croitre chaque année depuis 1994. En outre, en effectuant une recherche sur le *Web of Science* avec les thèmes du « Changement climatique », de l'« économie », il revient que le même article de Mendelsohn et al(1994) est le 2ème article le plus cité au monde dans cette catégorie. Ceci montre l'importance de cette méthode dans l'évaluation économique de l'impact des changements climatiques sur l'agriculture.

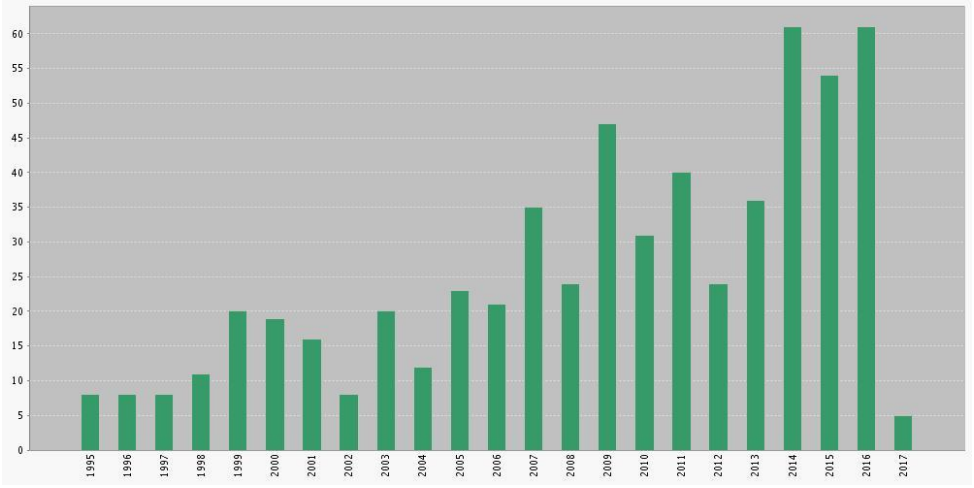
Néanmoins, même si le modèle ricardien a fait l'objet d'application dans de nombreuses parties du globe, il a subi de nombreuses critiques qui ont elles-mêmes donné naissance à de nouvelles approches.

L'objectif de cette revue de littérature est donc de montrer comment est né le modèle ricardien, de discuter des applications qu'il a eues dans des parties du monde surtout en Afrique et les différentes critiques dont il a fait l'objet.

Notre revue se décline en quatre sections. Dans la première, nous présentons le modèle dit de « fonction de production ». Dans la seconde, nous montrons d'abord comment l'approche traditionnelle ricardienne est née du modèle de fonction de production, ensuite nous présentons le modèle ricardien ainsi que ses applications. Dans la troisième section, nous discutons des critiques dont il a fait l'objet et nous achevons dans la dernière section par les nouvelles approches proposées à partir du modèle ricardien.

[5]Analyse d'impact faite à partir de 'Publish or Perish', un logiciel permettant de mesurer l'impact d'un article ou d'un auteur en présentant ses statistiques notamment avec l'aide de Google Scholar. Les recherches ont été faites le 22/03/2017

Figure 1. 1 Nombre de citations par année de Mendelsohn et al. (1994)



Source : Analyse statistique faite sur *Web of Science*.[6] (Interrogé le 22/03/2017)

2. L'approche agronomique ou fonction de production

Bien que notre étude s'appuie en grande partie sur le modèle ricardien, il convient de rappeler que ce dernier n'est pas le premier en matière d'évaluation d'impact économique des changements climatiques.

Darwin et al, (1995) dans leur étude sur l'agriculture mondiale et le changement climatique présentent les différentes analyses qui ont été faites dès le départ.

En effet, la littérature s'est d'abord intéressée à l'impact du changement climatique sur les productions agricoles. Ce sont les approches dites « fonction de production ». De façon générale, deux approches de cette méthode ont été développées. Il s'agit de l'approche de « région comparable » (« Analogous region ») et les « modèles de croissance de culture ».

Après avoir présenté les études pionnières de l'approche de fonction de production, nous présentons aussi brièvement dans cette partie les études récentes qui ont été faites en utilisant l'approche « fonction de production » notamment sur l'Afrique et nous discutons de la prise en compte de l'adaptation dans ce type de modèle.

2.1. Approche de « région comparable ».

La première dite « approche de région comparable » a examiné les changements potentiels dans les zones climatiques favorables à des cultures particulières.

L'objectif de ces études est d'observer si des régions qui sont préalablement propices à des cultures ne le seront plus après un changement climatique ou si certaines qui n'étaient pas favorables le seront plus tard.

6*Web of Science* : Service d'information universitaire en ligne produit par l'« Institute for Scientific Information » qui donne accès à la littérature scientifique et permet d'analyser l'impact d'un auteur ou d'un article.

Ces études ont généralement conclu que le changement climatique projeté modifierait considérablement les modèles régionaux de production des cultures. ((Newman, 1980) (Carter, Porter, and Parry (1991)) ; Rosenzweig (1985), (Eswaran and Van den Berg (1992)) , Leemans and Solomon (1993)).

2.2. Modèle de croissance des cultures.

La seconde approche pour estimer l'effet du changement climatique sur l'agriculture repose sur des modèles de croissance des cultures. Il s'agit de modèles qui analysent les effets du changement climatique sur les rendements des cultures car ils incorporent des données quotidiennes sur la température, les précipitations, le rayonnement solaire et (souvent) le dioxyde de carbone atmosphérique, ainsi que des données sur les sols. Les résultats de ces types d'études ont généralement conclu que le changement climatique entraînerait un déclin des rendements des cultures. Ces résultats ont été trouvés par Warrick, (1984) et Terjung, Liverman et Hayes, (1984), puis confirmés plus tard par Robertson et al., (1987), Ritchie, Baer et Chou, (1989) et Peart et al., (1989).Seulement ces derniers ont constaté que de nombreuses diminutions du rendement seraient en grande partie compensées par des effets positifs sur la croissance du dioxyde de carbone atmosphérique.

Le problème relevé par Darwin, (1995) sur ces études est qu'elles ne tiennent pas compte de l'adaptation au niveau des agriculteurs. Ainsi, d'autres études au niveau régional ou d'un pays et au niveau mondial vont essayer d'en tenir compte en se basant principalement sur les modèles de croissance des cultures qui vont devenir importants dans la modélisation économique.

2.2.1. Etude sur une région spécifique

L'une des premières études intégrant une forme d'adaptation concernant une région spécifique ou dans un pays fut celle de Parry, Carter et Konijn, (1988)qui ont constaté que pour plusieurs régions allant du Canada au Japon en passant par l'Islande, la Finlande et l'ex-Union soviétique, de nombreux impacts négatifs du changement climatique pourraient être réduits en changeant les variétés de cultures, en appliquant l'engrais différemment et / ou en améliorant le drainage du sol.

Les études portant sur une zone spécifique ont donc fourni des premières estimations de la façon dont le changement climatique pourrait affecter les marchés agricoles et l'utilisation des intrants. Les résultats indiquaient en général des réductions modestes de la production des cultures, mais des gains nets dans le bien-être des producteurs une fois que l'adaptation, les prix élevés des cultures et / ou les effets du dioxyde de carbone sur la croissance des cultures ont été comptabilisés. (Adams et al., (1988) ; Arthur and Abizadeh, (1988); Adams et al., (1990); Mooney et Arthur, (1990)sur les Etats-Unis).

Les études au niveau régional ou d'un pays ont aussi eu deux critiques majeures. La première est qu'elles ne tiennent pas compte d'abord des effets du changement climatique dans d'autres régions et supposent que le climat en dehors de la zone d'étude est constant et ensuite du rôle du commerce mondial dans la dissipation des effets entre les régions. Des études au niveau mondial vont donc être proposées afin de combler cette omission.

2.2.2. Etude à l'échelle mondiale.

D'autres analyses vont donc examiner l'impact du Changement climatique sur l'agriculture au niveau mondial. L'une des plus importantes est celle de Rosenzweig, C. et Parry, M.L., (1994) qui évaluent l'impact potentiel des changements climatiques sur la production céréalière mondiale et la répartition de ces impacts entre pays développés et en développement à l'horizon 2060 en prenant en compte l'adaptation. Dans ce papier, les auteurs vont utiliser quatre types de scénario. Le premier consiste à avoir les changements de température et de précipitations uniquement, c'est-à-dire un scénario initial sans changement climatique qui suppose une croissance de la population, une croissance économique, des progrès techniques et une libéralisation du commerce international. Le second comprend un changement climatique (changement de la température et la pluie) en plus d'une croissance accrue des cultures en raison des concentrations élevées de CO_2. Le troisième inclut un premier niveau d'adaptation qui comprend la modification des dates de semis d'au plus un mois, l'utilisation des variétés de plantes facilement disponibles plus adaptées au climat espéré et l'irrigation. Le dernier inclut un second niveau d'adaptation qui implique plus de changements dans les systèmes agricoles, qui peuvent même requérir des ressources au-delà de celles du fermier, de l'investissement dans les infrastructures agricoles régionales ou nationales et le changement de politiques. En outre le second niveau d'adaptation contient de plus larges changements dans les dates de semis (supérieur à un mois), l'augmentation des fertilisants, l'installation de nouveaux systèmes d'irrigation et le développement de nouvelles variétés de cultures (testées génétiquement).

Avec le scenario des Changements Climatiques, la production mondiale de céréales est réduite de 1 à 8% et entraine une hausse des prix d'environ 24 à 145%. Cette augmentation des prix affecte la population qui risque la faim. Les scenarios incluant les deux niveaux d'adaptation, de façon générale aident à restaurer les niveaux de productions agricoles. (avec les effets de CO_2 inclus). La production céréalière mondiale varie de -2,5 à 1%, alors que le prix mondial des céréales oscille entre -5 à 3,5%.

Leurs résultats suggèrent également des disparités potentielles dans les impacts du changement climatique entre pays développés et pays en développement. Dans le scénario d'adaptation de niveau 1, la production de céréales dans les pays développés augmente de 4 à 14%, tandis que la production dans les régions en développement tombe de 9 à 12%.

Les auteurs concluent que même un niveau élevé de l'adaptation au niveau de l'exploitation dans le secteur agricole n'empêchera pas entièrement les effets négatifs du Changement Climatique dans les pays en développement.

L'étude de Rosenzweig et Parry, (1994) malgré sa pertinence et celles qui l'ont précédé contiennent deux limites importantes relevées par Darwin et al, (1995). La première concerne la manière dont l'adaptation des agriculteurs est prise en compte. Ils expliquent que l'utilisation de changements de rendement pour simuler la façon dont les agriculteurs du monde entier sont susceptibles de réviser leurs pratiques de production en réponse au changement climatique est un processus quelque peu arbitraire et qu'il y'a la possibilité d'avoir un nombre infini de réactions d'adaptations potentielles avec les modèles de croissance des cultures. De plus, selon eux, les réponses face aux changements du climat que les agriculteurs choisiront seront celles qui seront économiquement viables.

La deuxième limite constatée par Darwin et al, (1995) est que les effets induits par le climat sur la disponibilité de l'eau et la répartition des terres adaptées à l'agriculture ont été omis dans le cadre d'études mondiales antérieures, ce qui a pour conséquence la négligence de deux grands mécanismes d'adaptations à savoir l'utilisation de ressources en eau plus abondantes pour l'irrigation ou l'expansion vers de nouvelles zones agricoles propices à l'agriculture.

Darwin et al, (1995) élaborent donc une approche pour combler ces lacunes. Ils évaluent les effets du Changement climatique sur l'Agriculture mondiale avec un modèle qui relie les conditions climatiques aux ressources en terre, en eau et à la production, le commerce et la consommation d'une dizaine de produits de base à travers le monde.

Plus précisément, les auteurs expliquent que le modèle dispose de trois capacités uniques. Tout d'abord, il simule les effets potentiels du changement climatique mondial sur la disponibilité et le rendement des terres. Deuxièmement, il détermine la mesure dans laquelle les agriculteurs réagissent au changement climatique, par exemple en adoptant des systèmes de production alternatifs et en augmentant la surface des terres agricoles. Troisièmement, il fournit des estimations quantitatives de changements de l'utilisation des terres et de l'eau, car il simule la concurrence entre l'agriculture et le reste de l'économie.

Intégrer les ressources en terres et en eau leur permet de simuler la façon dont le changement climatique affecte la disponibilité de terres agricoles appropriées, ce qui permettra aux facteurs économiques de déterminer la nature et l'étendue des réponses adaptées aux changements climatiques par les agriculteurs.

Comme résultat, ils concluent que les changements climatiques quelques soient les scenarios utilisés n'auront pas des impacts négatifs importants sur les volumes de production. La production mondiale d'aliments serait maintenue légèrement au-dessus des niveaux actuels. Cette conclusion est due à l'intégration de l'adaptation dans les scénarios. Cependant, Darwin et al (1995) soulignent que les avantages du changement climatique ne seront pas équitablement repartis. Par exemple, pendant qu'ils observent des nettes augmentations pour le Canada, il y'aura sûrement des baisses pour l'Asie du Sud-Est.

2.3. Les études récentes sur l'Afrique

De nombreuses recherches et études ont continué à s'appuyer sur ces modèles pionniers pour l'évaluation des effets des changements climatiques sur l'Agriculture mondiale en général et sur l'Afrique en particulier qui sera vraisemblablement, comme l'indiquent les études examinées plus haut, la plus touchée par les changements climatiques.

Dans leur article « The impact of future Climate Change on West African Crop Yields : What does the recent literature says ? », Roudier et al.,(2011) font une synthèse de 16 études récentes majeures qui ont continué de se baser sur des approches « fonction de production » pour évaluer l'impact des changements climatiques sur les rendements agricoles en Afrique de l'Ouest. Ils mentionnent que seules les études où la variation du rendement entre le présent et le futur ont été rapportées sous forme de données numériques ou graphiques, ou qui étaient disponibles par des communications personnelles, ont été incluses.

Ces approches récentes se focalisent sur les impacts des changements climatiques à des échelles plus régionales qu'à l'échelle mondiale. Cela est dû au fait que même si l'on sait que les changements climatiques sont un phénomène global, les impacts sont très différents à des échelles locales. [7]

Il y est rappelé que l'agriculture est essentiellement pluviale [8] en Afrique de l'Ouest et ainsi, est la plus vulnérable au Changement Climatique. L'objectif de cette étude était de fournir une vue d'ensemble sur l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO[9]+Cameroun) basée sur la littérature récente.

L'analyse de l'ensemble de ses 16 articles fait ressortir la méthodologie suivante pour évaluer l'impact d'un futur climat sur l'Agriculture. Elle se base sur deux étapes principales. Il faut d'abord générer le futur climat par la définition d'un scénario et ensuite modéliser les cultures.

Concernant la définition d'un scénario, Roudier et al (2011) expliquent que la méthode la plus simple consiste à définir un scénario uniforme (par exemple + 10% dans les précipitations, +2,5 ° C

[7] 5ème rapport GIEC, Septembre 2013.

[8] Agriculture pluviale : Se dit des cultures alimentées en eau uniquement par les pluies, par opposition aux cultures irriguées

[9] Communauté Economique Des Etats de l'Afrique de l'Ouest

en température) et à ajouter ces changements aux données climatiques observées d'une période actuelle. C'est l'option choisie par Ben Mohamed et al. (2002), Salack (2006) et Vanduivenbooden et al. (2002)).

Roudier et al (2011) rappellent que cette méthode n'a pas de base physique réelle et ne préserve pas la cohérence entre les variables climatiques. Ainsi, une approche plus axée sur la physique est l'utilisation de modèles climatiques mondiaux (GCM[10]) qui sont capables de générer des ensembles physiquement cohérents de variables climatiques sur la zone d'étude. Les GCM sont les outils les plus avancés disponibles pour simuler la réponse du système climatique mondial à l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre. Seulement, plusieurs scenarios décrivent différentes évolutions socioéconomiques. Par conséquent, pour couvrir une partie de l'incertitude des projections climatiques, la majorité des articles sélectionnés par les auteurs utilisent plusieurs GCM. (Schlenker et Lobell, (2010))

A ce stade, il convient de mentionner que Auffhammer et al., (2013) mettent en garde les économistes sur les méthodes d'utilisation des GCM et les pièges à éviter.

En effet, ils expliquent que les différents modèles GCM ont des « compétences » qui ne sont pas les mêmes et conseillent donc aux chercheurs en économie qui étudient des régions ou des processus spécifiques et qui souhaitent sélectionner une projection GCM de consulter d'abord la littérature appropriée et les spécialistes du domaine. Ils appuient ces avertissements en donnant l'exemple de l'Afrique de l'Ouest dont certains modèles prédisent des étés plus humides alors que d'autres prévoient des étés plus secs.

Ensuite, il est proposé pour la modélisation des cultures deux possibilités. La première est la modélisation statistique dont l'avantage est qu'elle peut établir des relations directement à une large échelle en utilisant des variables climatiques agrégées spatialement pour prédire des rendements moyens sur de larges espaces. (Lobell et al., (2008) ; Schlenker et Lobell, (2010)). La seconde est un processus basé sur la modélisation des cultures. Ces modèles représentent des processus physiologiques de la croissance des cultures comme réponse au climat. Ils sont ainsi appliqués à une petite échelle où les données sont disponibles et peuvent être considérées comme homogènes. Il s'agit là des mêmes types de modèles utilisés dès les premières études à échelle régionale et mondiale (modèles de croissance des cultures). Il faut noter qu'il existe aussi des modèles à plus large échelle comme le modèle GLAM[11] pour les cultures annuelles. (Challinor et al., (2004) ; Osborne et al., (2007)).

[10] General Circulation Model ou Global Climate Model
[11] General Large Area Model

Roudier et al. (2011) ont aussi discuté de la présence de l'adaptation dans l'ensemble des articles qu'ils ont sélectionné. Ils estiment que les auteurs ne tiennent généralement pas compte de l'adaptation. En réalité, certains auteurs parmi les 16 articles ont essayé d'en tenir compte mais leurs démarches ne semblent pas pertinentes. Par exemple (Muller et al, 2010) dans leur étude changent les dates de semis chaque année mais les pratiques agricoles ne changent pas. Tingem et Rivington (2009) simulent le changement de rendement avec et sans adaptation. Ils envisagent de nouvelles dates de semis mais les pertes de rendement futures sont clairement limitées par ces options d'adaptation. Butt et al. (2005) présentent leurs résultats, sans adaptation, et avec un ensemble d'options d'adaptation théoriques : mélange de cultures, variétés résistant à la chaleur et économique. Tous améliorent nettement les rendements futurs potentiels.
Roudier et al. (2011) concluent donc concernant l'adaptation que, globalement, les évaluations sélectionnées supposent de nombreuses pratiques d'adaptation qui pourraient être utilisées à l'avenir mais se concentrent davantage sur l'impact « brut » du climat sur les rendements.

Le bilan général de ces études est que l'impact prévu sera négatif pour l'Afrique de l'Ouest. En effet, les auteurs, en combinant les résultats de 16 articles, donnent un aperçu du signe, de l'amplitude et de l'incertitude des impacts sur la productivité des cultures en Afrique de l'Ouest. Malgré une forte dispersion des rendements futurs, allant d'une perte de rendement de -50% à une augmentation du rendement de + 90%, ils trouvent une valeur médiane qui donne une perte de rendement négative proche de -11%.

2.4. Discussion de l'adaptation dans les différentes utilisations du modèle « fonction de production ».

Les études basées sur un modèle « fonction de production » ont pour utilité de discuter des impacts des changements climatiques sur le rendement des cultures. La difficulté de ce type de modèle réside dans la prise en compte de l'adaptation qui est un facteur important dans l'évaluation des impacts des changements climatiques sur l'agriculture. En effet, les premières études aux niveaux régional et mondial que nous avons présentées plus haut ont tenté de prendre en compte l'adaptation. Cependant comme l'a critiqué Darwin et al. (1995), la méthode de prise en compte de l'adaptation par ces auteurs n'est pas appropriée car elle utilise la variation des rendements pour capter l'éventuelle adaptation des fermiers. Or il existe une large gamme de réactions d'adaptation potentielles avec les modèles de croissance des cultures par exemple. Ce dernier a lui-même proposé pour régler ce problème, une approche qui selon lui est viable économiquement. Il s'agit d'intégrer les ressources en terres et en eau, ce qui leur permet de simuler la façon dont le changement climatique affecte la disponibilité de terres agricoles appropriées, et en conséquence de

permettre aux facteurs économiques de déterminer la nature et l'étendue des réponses adaptées aux changements climatiques par les agriculteurs.

A la différence de Darwin et al. (1995), Mendelsohn et al, (1994) vont faire une nouvelle proposition de l'évaluation de l'impact des changements climatiques sur l'agriculture qui tient aussi compte de l'adaptation mais en rompant totalement avec l'évaluation des rendements agricoles. Ces derniers, tout en reconnaissant l'originalité des modèles « fonction de production » leur reproche fondamentalement de ne pas prendre en compte de façon claire l'adaptation des fermiers et suggèrent donc leur nouvelle approche. Il s'agit du modèle Ricardien.

3. L'approche Ricardienne

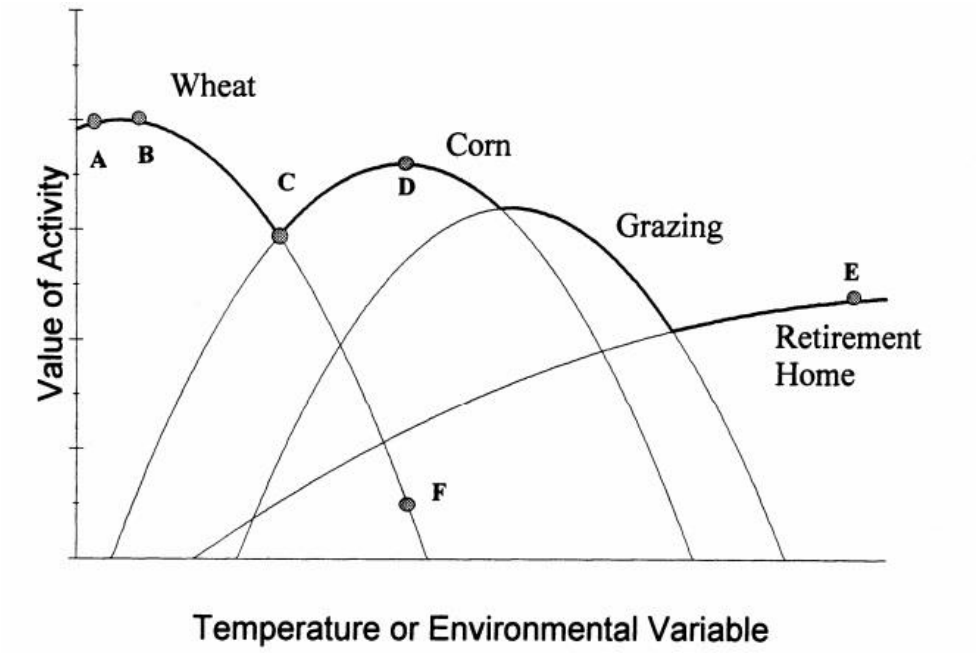
3.1. La critique faite au modèle de « fonction de production »

L'étude de Mendelsohn et al., (1994)(MNS) constitue le fondement d'une nouvelle « école » d'évaluation des impacts des changements climatiques sur l'Agriculture. Le modèle ricardien est né de la critique de l'approche dite de « fonction de production ». En effet, la critique se base sur le fait que l'approche agronomique ne prenait pas en compte l'adaptation faite par les fermiers au fur et à mesure, devant les changements de température et/ou de pluie. C'est qu'ils ont appelé « the dumb-farmer scenario » en anglais ou « approche du fermier stupide ». La figure 1.2 décrit cette situation. MNS expliquent que le biais de l'approche fonction de production tient au fait qu'elle ne permet pas la substitution économique à mesure que les conditions changent. Par exemple, lorsque la température augmente dès le départ, la valeur obtenue du blé passe du point B au point C. A ce stade, les agriculteurs s'adaptent et passeront du blé au maïs. À mesure que la température augmente, l'approche de la fonction de production calculera que le rendement est tombé à F dans le blé, mais en réalité le blé n'est plus produit. La valeur réalisée est en fait beaucoup plus élevée, au point D où le maïs est maintenant produit. À une température légèrement plus élevée, la terre n'est plus utilisée de façon optimale pour le maïs mais passe au pâturage, et les estimations de la fonction de production qui ne permettent pas cette conversion surestimeront de nouveau les pertes dues au changement climatique. Enfin, au point E, même le meilleur modèle agricole prédit que le terrain n'est pas adapté à l'agriculture ou au pâturage et que les dégâts sont graves. Une approche plus complète pourrait trouver que la terre a été convertie en villages de retraite, à laquelle les personnes âgées affluent afin d'en profiter dans les hivers chauds et les climats secs.

Cela signifie donc que les auteurs de l'approche « fonction de production » omettent une partie des adaptations que les agriculteurs font habituellement en réponse à l'évolution des conditions économiques et environnementales. La plupart comme discuté précédemment supposent peu d'adaptation et calculent simplement l'impact des changements de température sur les rendements

agricoles. Les modèles « fonction de production » ne prennent donc pas en compte l'adaptation complète des fermiers.

Figure 1.2:Biais dans les études de fonction de production



Source : Article de Mendelsohn et al, 1994.

L'omission de l'adaptation complète des fermiers constitue donc l'élément majeur qui marque la différence entre l'approche « fonction de production » et l'approche dite « ricardienne ». Ces omissions ont alors pour conséquences selon MNS, une surestimation des dommages dus aux changements climatiques puisque les adaptations progressives des fermiers face aux changements climatiques ne sont pas prises en compte.

Il convient de noter que l'approche « fonction de production » et l'approche « ricardienne » semblent ne pas faire mention l'une de l'autre par rapport au rôle joué par l'adaptation. En effet, Darwin et al, (1995) semblent ne pas tenir compte dans leur étude de la proposition de MNS alors que la proposition de ces derniers leur est antérieure. (Septembre 1994 contre Juin 1995). De plus, les études plus récentes que nous avons aussi présentées (Roudier et al. (2011)) rappellent la présence de l'approche de MNS dans les types d'études mesurant l'impact des changements climatiques qui a pour avantage de prendre en compte des options d'adaptations complètes. Le problème selon eux est que ce modèle ne peut pas définir quelles options d'adaptation ont été prises et aussi définir des résultats sans adaptation. En plus, la méthode ricardienne ne tient pas compte selon eux des coûts de la transition d'un climat à un autre, d'où une surestimation des avantages de l'adaptation.

Ainsi, même si les études utilisant le modèle ricardien sont nombreuses, les deux types d'approches ne sont pas pour le moins « réconciliées ».

3.2. Présentation de l'Article fondateur du modèle ricardien : (Mendelsohn Nordhaus et Shaw, 1994 (MNS))

L'approche ricardienne mesure les relations entre la valeur de la terre et le climat. La valeur de la terre est régressée sur le climat, les variables de sols et socio-économiques. Elle se base sur l'intuition de David Ricardo (1772-1823) à cause de l'observation originale selon laquelle la valeur de la terre peut refléter sa productivité, à savoir ce que cette terre serait capable de produire ou le flux du revenu net actualisé[12] que l'agriculteur pourrait en tirer. (Mendelsohn et al., (2001)[13]).

Plus précisément, l'approche ricardienne utilise des données en coupe transversale pour estimer l'impact de la température marginale et de la variation des précipitations sur les valeurs foncières et suppose que les agriculteurs s'adapteront aux changements climatiques en passant aux pratiques disponibles et aux cultures qui offrent le meilleur rendement à leurs terres. Les impacts du changement climatique estimés à l'aide de cette méthode doivent donc être considérés comme des estimations des impacts à long terme, une fois que toutes les adaptations disponibles auront déjà eu lieu. (Skjeflo, (2013))

3.3. Les développements de l'approche ricardienne

A partir de l'article de MNS, de nombreuses études verront le jour en s'appuyant désormais sur le modèle ricardien avec des développements plus ou moins divers. De Salvo et al., (2014) font un résumé de toutes les études majeures qui se sont développées depuis l'apparition du modèle ricardien. Les différentes études qui ont émané du modèle ricardien ont exploré plusieurs régions du monde en général et certains pays Africains en particulier.

La littérature est très fournie. Nous parlerons donc de quelques études qui ont introduit notamment différentes méthodes.

Comme nous l'avions mentionné dès la présentation du modèle ricardien, en plus de la proposition de Mendelsohn et al, (2001) d'utilisation du revenu net comme équivalent de la valeur de la terre, Kurkulasuriya et Ajwad, (2007) dans leur étude sur le Sri Lanka, expliquent que l'approche ricardienne traditionnelle suppose l'équilibre à long terme des marchés des facteurs. Or, dans de nombreux pays en développement, les conditions nécessaires à l'équilibre à long terme des prix des facteurs ne sont pas réunies. Autrement dit, les marchés ne sont pas complets et la mobilité des

[12] Le Revenu net est défini comme est le revenu brut issu des ventes agricoles moins tous les coûts auxquels le fermier fait face tout en les minimisant à savoir les coûts de la main d'œuvre, des engrais, des semences, des insecticides etc. (Mendelsohn et al, 2001 ; Mendelsohn et al, 2008a)

13 Mendelsohn et al, (2001) expliquent que la rente foncière doit être égale au revenu net du terrain. Ils montrent dans cet article qu'en prenant la valeur actuelle de ce flux de revenus au fil du temps, on peut penser que la valeur de la terre est égale à la valeur actuelle du flux de revenu net futur. Ils montrent que, sous l'hypothèse de prix de production constants, l'impact sur le bien-être des changements dans les variables environnementales serait pris en compte par les changements des revenus nets au niveau de l'exploitation. Cette hypothèse est reprise plus tard par Kumar et Parikh, (2001) et par Kurukulasuriya et Ajwad, (2007). Nous reviendrons sur ces derniers plus tard.

facteurs est restrictive, ce qui rend problématique l'hypothèse de marchés pleinement intégrés (Banque mondiale, 2003b).

La non-intégration des marchés complique donc l'utilisation des valeurs foncières (prix) pour expliquer la performance agricole. Par conséquent, ils préfèrent s'appuyer sur le revenu net qui représenterait une mesure plus robuste, compte tenu des préoccupations relatives à l'équilibre, puisqu'elle mesure ce que l'agriculteur reçoit dans le présent sans s'inquiéter des rendements futurs, de l'actualisation, du capital ou des marchés du travail.

L'utilisation du revenu net au lieu de la valeur de la terre va servir de base pour la majorité des pays en développement, notamment ceux d'Afrique.

D'autres études sont réalisées sur le Népal, le Mexique, les fermes d'Amérique du sud. (Thapa et Joshi (2010); Mendelsohn et al, (2010) ; Seo et Mendelsohn, (2008)). Ces études utilisant le modèle ricardien ont pour point commun d'estimer le revenu des fermiers des zones étudiées par rapport aux variables climatiques en y intégrant pour certaines l'élevage. Différents scenarios sont aussi utilisés pour évaluer comment un impact futur du climat (c'est à dire la baisse des précipitations et hausse de la température) affecterait les revenus des agriculteurs.

En outre, d'autres analyses ont utilisé le modèle ricardien à la base mais en le modifiant pour des raisons locales. Parmi ces études, Kumar et Parikh, (1998 ; 2001) en étudiant l'impact des changements climatiques sur l'agriculture indienne utilisent deux variantes c'est-à-dire le Modèle ricardien en plus de deux nouvelles variantes. La première variante ajoute des variations de variables climatiques annuelles par rapport aux variables moyennes dans les variables indépendantes (écart-type). La seconde variante en plus des variables de la première introduit des prix des cultures parmi les variables indépendantes. L'objectif de l'introduction des prix des cultures dans cette seconde variante est d'observer si les variables climatiques conservent leur significativité même en présence des prix. Ils trouvent à l'issue de leur étude que la deuxième variante est statistiquement plus robuste.

Comme résultats, les variables climatiques ont gardé leur significativité en plus des prix des cultures. Kumar et Parikh, (2001) en ont déduit qu'il y'a une forte relation entre la performance agricole et le climat. Ils obtiennent de façon générale que l'estimation de la réponse climatique selon un scenario d'une augmentation de 2°C de la température et 7% des précipitations a un effet déficitaire de 8,4% de pertes sur les revenus agricoles.

Il a été aussi montré qu'il était possible d'appliquer la méthode ricardienne à de très petites régions. Par exemple, De Salvo et al., (2013) et Wood et Mendelsohn, (2014) dans leurs différents articles,

respectivement sur la région des alpes italiennes et le Fouta Djalon en Guinée. Cela a été possible en particulier parce que ces régions, bien qu'elles soient petites présentent une vaste variabilité climatique spatiale parce qu'elles sont composées en partie de montagnes.

Le continent Africain a aussi fait l'objet de nombreuses analyses sur l'impact des changements climatiques sur l'Agriculture qui ont eu recours au modèle ricardien.
On peut distinguer parmi elles deux types d'études. Le premier s'est intéressé au continent Africain dans sa globalité.
Dans cette catégorie, l'un des plus importants a été celui de Kurukulasuriya et Mendelsohn, (2008a). Les résultats montrent de façon générale que les fermes Africaines sont sensibles au climat surtout à la température. Il est prédit que les valeurs des fermes diminueront si les températures augmentent. L'élasticité de la température (en °C) au point moyen par rapport au revenu de toutes les fermes Africaines est estimée à -1,3 et celle de la pluie à 0,4.
L'étude a aussi examiné les impacts des futurs scenarios. Il s'est agi de deux grandes familles de scenarios à savoir les scenarios dits uniformes et les GCM[14]. Ces scenarios ont montré chacun des possibles gains ou pertes de revenus face aux changements climatiques.
Kurukulasuriya et Mendelsohn (2008a) ont aussi montré que les impacts ne sont probablement pas uniformes à travers l'Afrique. Les régions chaudes et sèches d'Afrique seront probablement les plus touchées. En mettant tous ces facteurs ensemble, il est difficile de prédire ce qui arrivera en Afrique. Cela repose sur un grand ensemble de résultats possibles. Il est plus difficile de prédire ce qui arrivera dans des endroits spécifiques. Cependant, ils concluent qu'il est évident, à travers cette étude de dire que l'agriculture en Afrique sera affectée négativement par le Changement climatique.

Le second type d'étude exploitant le modèle ricardien pour l'Afrique s'est focalisé sur des régions Africaines spécifiques à plus ou moins petites échelles. Il s'agit en général de pays ou de régions précises. Une dizaine d'essais a été donc effectuée.

L'une des premières études concernant l'intérieur des terres Africaines est celle de Deressa et al., (2005).Dans cette analyse concernant l'impact des Changements Climatiques sur la canne à sucre en Afrique du Sud, les auteurs ont trouvé des résultats à peu près similaires à la majorité des études ricardiennes précédentes. En effet, les résultats de leur étude indiquent que le changement climatique a des effets non linéaires significatifs sur le revenu net par hectare de canne à sucre en Afrique du Sud avec une plus grande sensibilité aux augmentations futures de température.

[14]On retrouve ces deux familles dans les travaux récents utilisant le modèle de fonction de production. Elle peut donc servir à prédire le futur climat et est utilisée dans les différentes approches pour obtenir soit la réponse du futur climat pour le revenu net (modèle ricardien), soit la réponse du futur climat pour le rendement (modèle de « fonction de production »).

Des analyses du même genre ont été aussi faites surl'Egypte Eid et al., (2007), La Zambie Jain, (2007) , le Kenya Kabubo-Mariara et Karanja, (2007) , Le Zimbabwe Mano et Nhemachena, (2007) , Molua et Lambi, (2007) sur le Cameroun, Nefzi et Bouzidi, (2009) sur le Maghreb. Le Burkina-Faso Ouedraogo, (2012) ; Wood et Mendelsohn, (2014) sur le Fouta Djalon. Le récapitulatif des études en Afrique est présenté dans le tableau 1.1 ci-dessous.

Il convient d'indiquer que les études faites tant sur l'ensemble de l'Afrique que sur des zones ou pays particuliers sont d'un grand apport pour mesurer la sensibilité des pays Africains aux changements du climat. Néanmoins elles ne tiennent pas compte dans la majorité des cas des zones climatiques ou agroclimatiques propres à certains pays quand cela est nécessaire. Nous abordons la question dans l'essai 2 qui va montrer à la fois l'apport du modèle ricardien sur une zone pratiquement pas encore étudiée avec cette méthode, et aussi le fait de prendre en compte certaines spécificités climatiques. En plus de ce que nous venons d'évoquer, l'approche traditionnelle ricardienne a souffert de nombreuses critiques.

Tableau 1.1 : Récapitulatif des études utilisant le modèle ricardien en Afrique

Références	Zones ou pays étudiés	Type de données	Année(s) étudiée(s)	Variables climatiques utilisées	Résultats obtenus
Gbetigbouo et Hassan (2004)	Afrique du Sud	Coupe instantanée	1993	Température et précipitation en été et leurs carrés, Température et précipitations en hiver et leurs carrés ; Produit de la température par la pluie en été ; Produit de la température et de la précipitation en hiver.	Selon les scénarios climatiques, des gains de 9 et 17,3% du revenus net par hectare ; des pertes de 4,4 et 11,3% des revenus nets par hectare.
Deressa et al., (2005)	Afrique du Sud	Coupe instantanée	1995 (Les moyennes de 1977 à 1998 sont utilisées pour les variables climatiques)	Température et précipitation de croissance hivernale et leurs carrés ; Température et précipitation de croissance estivale et leurs carrés ; Température et précipitations de récolte et leurs carrés ; Produit de la température et de la précipitation en hiver ; Produit de la température et de la précipitation en été ; produit de la température et de la précipitation de récolte.	Selon un scenario d'augmentation de 2°C de la température et de baisse de 7% des précipitations, baisse entre 26% et 27% des revenus nets par hectare.
Eid et al., (2007)	Egypte	Coupe instantanée	2001/2002	Température en hiver et son carré ; Température en automne et son carré ; Température en été et son carré ; Température au printemps et son carré.	Selon 2 scenarios d'augmentation de 1,5°C et 3,6°C et avec des modèles sans et avec élevage baisses des baisses allant de 260% à des hausses de 260% du revenu net.
Jain, S. (2007)	Zambie	Coupe instantanée	2002/2003 (les moyennes de long terme 1988-2004 sont utilisées pour les variables climatiques)	Température moyenne (Novembre-Décembre) et son carré ; Température moyenne (Janvier-Février) et son carré ; Température moyenne (Mars-Avril) et son carré ; Index d'humidité moyen (Novembre-Décembre) et son carré ; Index d'humidité moyen (Janvier-Février) et son carré ; Index d'humidité moyen (Mars-Avril) et son carré.	Selon différents scénarios perte de 243 à 252% des revenus nets et gains de 2,5 à 237% des revenus nets.
Kabubo-Mariara et Karanja (2007)	Kenya	Coupe instantanée	2004 les moyennes de long terme 1988-2003 sont utilisées pour les variables climatiques)	Température et précipitations en été et leurs carrés, Température et précipitations en hiver et leurs carrés, Température et précipitations en automne et leurs carrés.	Selon différents scénarios, des pertes entre 7 et 34% de revenu net par hectare.
Mano et Nhemachena (2007)	Zimbabwé	Coupe instantanée	2003/2004	Température et précipitations en été et leurs carrés ; Température et précipitations en hiver et leurs carrés ; Température et précipitations en automne et leurs carrés ; Température et précipitations au printemps et leurs carrés.	Selon plusieurs scenarii, des pertes de 27 à 109 % du revenu net par hectare.
Molua et Lambi (2007)	Cameroun	Coupe instantanée	2005	Température et précipitations en été et leurs carrés ; Température et précipitations en hiver et leurs carrés ; Température et précipitations en automne et leurs carrés ; Température et précipitations au printemps et leurs carrés.	Selon plusieurs scenarii, des pertes de 50% des revenus nets à des gains de 37,5 % du revenu net par hectare.
Kurukulasuriya, P. et Mendelsohn, R. (2008)	Burkina-Faso, Cameroun, Egypte, Ethiopie, Ghana, Kenya, Niger, Sénégal, Afrique du Sud, Zambie, Zimbabwe	Coupe instantanée	2003	Température et précipitation en hiver et leurs carrés, Température et précipitation au printemps et leurs carrés Température et précipitation en été et leurs carrés, Température et précipitation en automne et leurs carrés.	Selon les différents scénarios, ils obtiennent qu'à partir de 2100, gains de 51% des revenus nets par hectare ou pertes d'environ 43% des revenus.
Nefzi, A. et Bouzidi, F. (2009).	Maghreb (Algérie, Lybie, Mauritanie, Maroc, Tunisie).	Données de Panel	1974-2005	Température moyenne ; Précipitation moyenne ; Précipitation moyenne au carré ; Produit de la température par la précipitation.	Selon plusieurs scénarios, baisse entre environ 6,5 milliards et 7 milliards de dollars.
Ouedraogo, M., 2012	Burkina Faso	Coupe instantanée	2002/2003	Température et précipitations en saison humide et leurs carrés ; Température et précipitations en saison sèche et leurs carrés.	Selon un scenario d'augmentation de 5°C de la température est prévue une baisse de 93% du revenu net.
Wood et Mendelsohn, 2014	Fouta-Djalon (Partie de Guinée et Sénégal)	Coupe instantanée	2010	Température en été ; Température en hiver ; Température en automne ; Température au printemps. Température pendant la saison des pluies ; température pendant la saison sèche ; Précipitations en été ; Précipitations pendant la saison des pluies.	Une augmentation de 1°C baisse les revenus de 475.000FCFA mais cet effet est contre balancé par les gains d'autres saisons.

4. Critiques sur le modèle ricardien

Comme ce fut le cas pour l'approche « fonction de production », le modèle ricardien a aussi connu beaucoup de critiques auxquels les auteurs principaux de l'approche ricardienne (Mendelsohn, Nordhaus et Shaw, 1994), ont parfois essayé d'apporter des réponses. (Cline (1996) ; Darwin, (1999) ; Quiggin et Horowitz, (1999) et les réponses, de Mendelsohn et Nordhaus (1996 ; 1999).

4.1. Les principales critiques

Les principales critiques portées au modèle ricardien reposent de façon générale sur trois principaux thèmes qui sont : Le rôle de l'irrigation, l'hypothèse de constance des prix et l'adaptation sans coût.

4.1.1. La non-prise en compte de l'irrigation.

Cline (1996) dans sa critique du modèle ricardien relève que la méthode utilisée par MNS suppose implicitement une offre infiniment élastique de l'irrigation aux prix actuels. Il explique que MNS ne considèrent pas assez la possibilité du manque d'eau. Or, plusieurs études menées (Waggoner, P.E. et al., (1993) ; Rind, D.R. et al. (1990)) attestent la rareté de l'eau dans la zone géographique des Etats Unis.

Mendelsohn et Nordhaus, (1996) répondent à cette critique en affirmant ne pas faire la supposition reprochée par Cline (1996). Ils expliquent que le prix de l'eau n'est pas donné de façon explicite et que « déterminer » le prix de l'eau pour l'irrigation aux Etats-Unis est difficile. Ils montrent que même dans les cas où les fermiers sont confrontés à la rareté de l'eau, ils font une demande plus forte en eau mais cette demande est limitée par le climat. De plus, ils disent que leur modèle tient déjà compte de la réduction de la disponibilité en eau dans les endroits les plus arides. Ainsi, ils ont fourni selon eux des évaluations non-biaisées de l'impact du climat sur l'agriculture, y compris les impacts d'irrigation au contraire de ce qu'affirme Cline.

Ensuite Darwin (1999) estime que l'omission de l'irrigation occasionne le fait que le modèle préféré par MNS (modèle pondéré par les recettes agricoles, *crop revenue* en anglais) n'est pas conforme au principe selon lequel la relation entre température et productivité agricole est concave (Mendelsohn et Nordhaus 1996), contrairement au modèle pondéré par les terres agricoles qui respecte ce principe (*cropland* en anglais).

Pour une meilleure compréhension, il faut savoir que MNS, 1994 ont utilisé deux types de régressions. Le premier utilise les poids des terres cultivées, dans lesquels les observations sont pondérées par le pourcentage de chaque comté des terres cultivées. Le second utilise les pondérations des revenus des cultures, c'est-à-dire que les observations sont pondérées par la valeur globale des recettes des cultures dans chaque comté. L'objectif de ces pondérations est de pouvoir mettre l'accent sur les caractéristiques des comtés Américains qui ont fait l'objet de l'étude puisque

certains ont une plus grande fraction de terre cultivée (donc pondération des terres cultivées) et d'autres développent par exemple des activités avec des produits agricoles plus précieux. (donc pondération par recette ou revenus agricoles).

En effet Darwin, (1999) explique que lorsque les températures sont basses (c'est-à-dire proches de 0°C), la terre n'est pas très adaptée à la production agricole et la valeur de ces terres approche de zéro. Lorsque les températures augmentent, les possibilités agricoles et la valeur des terres cultivées augmentent en supposant que les conditions d'humidité du sol conviennent. Au-delà d'une certaine température optimale, cependant, la productivité agricole et la valeur des terres agricoles commencent à diminuer. À des températures relativement élevées, la terre redevient inadaptée à la production agricole (même avec suffisamment d'eau) et la valeur des terres agricoles est faible. Cependant, les modèles présentés dans MNS (1994) ne sont pas entièrement compatibles avec ce principe ricardien de base (voir Mendelsohn et Nordhaus, 1996). Bien que le modèle des terres cultivées de MNS soit conforme au principe, leur modèle de revenu agricole ne l'est cependant pas. (Darwin, 1999) émet donc l'hypothèse que l'omission de l'irrigation dans l'analyse est la cause probable de ce problème.

Pour le montrer, Darwin (1999) introduit dans l'équation de la valeur de la terre une variable irrigation qui dépend à son tour de variables climatiques.

Il montre que les modèles de MNS n'estiment pas les effets sur la valeur des terres agricoles que le changement climatique pourrait avoir lorsque l'eau d'irrigation provient de l'extérieur du comté dans lequel il est utilisé.

Ces faits contredisent l'affirmation de MNS selon laquelle le modèle des recettes agricoles est plus inclusif et reflète une définition plus large de l'agriculture que le modèle de terres agricoles.

Darwin (1999) va donc faire une proposition en vue de régler ce problème. Elle est composée de trois étapes.

La première consiste à inclure un terme dans l'équation qui élimine le biais causé par l'ignorance de l'irrigation. L'idée est d'admettre que la valeur de la terre dépend en réalité des parties irriguées et non irriguées. Ensuite, il faudra calculer la part de la terre irriguée en utilisant des terres agricoles irriguées par comté (USBC[15], 1984). Enfin, substituer cette part et obtenir la valeur totale de la terre qui tiendra compte des terres irriguées.

Il convient de préciser que Darwin, (1999) ne fait pas cette démonstration formellement dans son commentaire mais en donne quelques pistes comme nous venons de le décrire brièvement.

[15]United States Bureau of the Census

La seconde étape qu'il propose (à prendre en compte en plus de la première) est d'utiliser des pondérations plus neutres dans les observations des valeurs des terres agricoles. Par exemple la superficie totale des terres agricoles de chaque comté, qui réduirait l'influence des comtés relativement petits situés dans la zone céréalière du Midwest des Etats-Unis.

La dernière consiste à mettre en œuvre des procédures d'estimation qui reconnaissent explicitement que les valeurs des terres agricoles sont positives. Concernant cette troisième étape, Darwin, (1999) avait remarqué que les estimations provenant des modèles de MNS violaient un principe économique de base. Par exemple, la valeur des terres agricoles doit être positive ou égale à 0. Or les estimations de MNS (avec les 2 modèles *cropland* et *croprevenue*) prédisent des valeurs négatives des terres agricoles dans plusieurs comtés. Une approche proposée par Darwin consisterait à estimer un modèle Tobit qui tiendrait compte de la valeur des terres agricoles quand elle est nulle.

Devant cette critique Mendelsohn et Nordhaus, (1999) ont essayé d'apporter leur réponse

D'abord ils calculent le pourcentage de terres agricoles irriguées qu'ils régressent sur les variables indépendantes du modèle. Ils constatent qu'il augmente avec les précipitations hivernales mais tombe avec les précipitations toutes les autres saisons. Ce résultat confirme l'hypothèse de Darwin selon laquelle l'irrigation est un substitut à la faible pluviométrie pendant la saison de croissance. Les coefficients positifs sur les zones exposées aux inondations et les zones humides confirment encore que l'irrigation est plus probable dans les endroits où l'eau est accessible.

Ensuite, ils suivent le raisonnement de Darwin en introduisant le pourcentage calculé des terres irriguées comme nouvelle variable indépendante dans le modèle ricardien. Ils trouvent alors comme résultat qu'inclure l'irrigation n'a pas d'effet sur le modèle des terres agricoles (*cropland model*). Cela n'est pas surprenant selon MNS car seulement 3 % des terres agricoles américaines sont irriguées. L'irrigation n'explique donc pas la variation de la valeur de la terre aux Etats Unis.

Contrairement au modèle des terres agricoles, Mendelsohn et Nordhaus, (1999) avaient trouvé que l'irrigation est importante pour le modèle de recettes agricoles (*croprevenue model*).

En effet, le coefficient de l'irrigation dans l'estimation du modèle des recettes agricoles est positif et significatif. Il en résulte qu'un acre[16] de terre irriguée donne 910 dollars américains de plus qu'un acre de terre non irriguée. L'irrigation est positive dans le modèle des revenus des cultures parce que les terres irriguées sont très productives et vont donc donner relativement plus de revenus.

De plus, sans l'inclusion de l'irrigation avec le modèle original (MNS,1994), le revenu diminue de 17 dollars lorsque la température augmente de 1°C. Avec l'inclusion de l'irrigation, l'effet

[16] Unité de mesure anglo-saxonne qui vaut environ 0,4 hectare.

marginal d'une augmentation de la température annuelle augmente le revenu à 4 dollars (ce qui est faible). Lorsque les précipitations annuelles augmentent de 1mm, le revenu augmente de 123 dollars avec le modèle original. Les précipitations passent à 218 dollars avec l'inclusion de l'irrigation (une augmentation significative). Ainsi, MNS se sont rendus compte qu'inclure l'irrigation dans le modèle des recettes agricoles accroit l'effet bénéfique des fortes températures et particulièrement les précipitations. Mendelsohn et Nordhaus, (1999) admettent donc que la préoccupation de Darwin (1999) selon laquelle l'irrigation doit être incluse dans le modèle des recettes agricoles de l'approche ricardienne est confirmée.

Concernant les termes de second ordre de la température dans l'équation de recette agricole, ils continuent à être positifs même avec l'irrigation. Ainsi Mendelsohn et Nordhaus, (1999) indiquent que le problème de la forme de la fonction (qui est convexe notamment pour Juillet (été) et Octobre (Automne) n'est pas dû à l'irrigation comme a essayé de le démontrer Darwin, mais au fait qu'il manque une fonction décrivant l'effet du climat sur la probabilité que la terre soit cultivée.

De ce fait, malgré l'inquiétude de Darwin à l'égard du modèle des revenus agricoles, Mendelsohn et Nordhaus, (1999) affirment qu'ils continuent à privilégier ce dernier par rapport au modèle des terres cultivées car selon eux, il est plus représentatif du secteur agricole, même s'il peut être moins représentatif du paysage agricole. Ils justifient leur conviction en rappelant que poids des recettes des cultures répartit l'influence de toutes les cultures en fonction de leur contribution au PNB. Darwin, (1999) indiquait que le poids des revenus des cultures donne trop d'influence aux cultures cultivées dans les régions chaudes. Mendelsohn et Nordhaus, (1999) rappellent en réponse que, comme l'indique Darwin lui-même, plus de la moitié des recettes des cultures appartiennent aux États producteurs de céréales et seulement un quart des recettes proviennent des cultures des régions chaudes et ainsi rien n'indique que le poids des revenus donne trop d'influence aux cultures dans les zones chaudes.

D'autres auteurs dont Fisher et Hanemann (1998) (F et H) et Schlenker et al, (2005) font des propositions dans lesquelles l'irrigation est prise en compte dans l'estimation de l'impact des changements climatiques utilisant le modèle ricardien.

Concernant F et H, ils considèrent que malgré les bonnes critiques de MNS (1994) adressées au modèle de fonction de production, il subsiste dans leur article des difficultés qui, si elles ne sont pas considérées de façon adéquate à leur sens peuvent sous-estimer les dommages du Changement Climatique. Ils partent donc du constat que certains signes obtenus dans l'estimation de l'impact des changements climatiques sur la valeur de la terre cachent des omissions qu'il convient de relever.

Pour montrer cela, F et H estiment à partir des données de MNS, (1994) un modèle ricardien de l'impact des précipitations sur la valeur de la ferme. Les résultats obtenus sont ceux qu'ils

attendaient notamment pour les mois de janvier et Avril dont les coefficients sont positifs pour le coefficient linéaire des précipitations et négatif pour les termes quadratiques. Cependant, pour les mois de Juillet et octobre, ils s'attendaient aussi aux mêmes signes surtout pour le mois de Juillet (saison de croissance) mais obtiennent radicalement le contraire, c'est-à-dire un coefficient négatif sur les précipitations et un coefficient positif sur les précipitations au carré.

Ce que ces derniers résultats leur suggèrent est donc que des augmentations modestes des quantités moyennes de précipitations auraient un effet négatif sur la valeur de la terre.

F et H expliquent qu'interpréter ces résultats qu'ils trouvent « anormaux » dépend de l'introduction d'une nouvelle variable d'importance cruciale (notamment en Californie et dans d'autres régions de culture aride et semi-aride aux Etats Unis) : l'irrigation.

Pour comprendre le rôle joué par l'irrigation, ils considèrent une version simplifiée du modèle en se concentrant uniquement sur l'impact de l'eau. Ainsi, la valeur du terrain, V, ne dépend que de l'eau provenant de deux sources cette fois-ci : la précipitation, (w) et l'irrigation, (I) ;

$V = f(w, I)$ (1)

Ainsi, ils postulent que l'irrigation est fonction de la pluie $I=g(w)$; (2) et $g'(w) <0$ (3) avec la pluie comme fonction décroissante de l'irrigation. Ils réécrivent l'équation (1) de la valeur de la terre en fonction de la précipitation et l'irrigation fonction de la précipitation comme suit : $V = f(w, g(w))$ (4). Ils obtiennent la forme fonctionnelle $V = a+bw+cw^2$. (5). La dérivée de l'équation (5) donne $dV/dw= b+2cw$. (6) Sur la base des coefficients obtenus dans leurs estimations et en les remplaçant dans (6), ils obtiennent une valeur négative. Donc à priori, l'impact pour le mois de Juillet a une forme convexe.

Pour expliquer le nombre négatif obtenu, ils poursuivent le calcul en dérivant totalement l'équation (4), $dV/dw = df/dw + (df/dg*dg/dw)$. (7). dg/dw qui est la relation irrigation-pluie est négative comme indiqué en (3) et df/dg qui est la relation revenu-irrigation est positive. La partie droite de l'équation (7) est donc négative. Or, la procédure MNS, (1994) semble supposer implicitement que la relation df/dg est nulle puisque c'est en fait la condition de premier ordre pour le choix du niveau optimal d'irrigation. C'est-à-dire que l'investissement dans l'irrigation est implicitement supposé avoir été entrepris au point où le bénéfice net marginal tombe à zéro. Par le théorème de l'enveloppe, (7) donne $dV/dw=df/dw$. Ainsi, la dérivée totale de la valeur de la terre par rapport à l'eau, dV / dw, est juste égale à la dérivée partielle par rapport à la précipitation, df / dw. L'irrigation a été donc « maximisée ».

Cette approche serait selon eux acceptable si le « marché » pour l'irrigation était compétitif mais c'est loin d'être le cas. F et H expliquent qu'il existe une subvention dans la construction de projets de ressources en eau, reflétée par un prix fortement subventionné de l'eau d'irrigation pour les utilisateurs agricoles (Burness et al., (1980) et Wahl, (1989)).

Le prix subventionné, à son tour, crée une demande excédentaire pour l'eau d'irrigation, de sorte que df / dg> 0 ; l'irrigation n'est donc pas maximisée et l'expression de dV / dw demeure telle que donnée par l'équation (7). La relation estimée entre la valeur des terres agricoles et les précipitations, comme indiquée dans l'équation (7), est plus vraisemblablement négative, à cause donc de l'irrigation qui n'est pas prise en compte.

Or pour des raisons d'ordre économique et politique, la capacité des dirigeants de certains Etats Américains à subventionner la construction de nouveaux projets d'approvisionnement en eau a diminué. Pour les régions qui deviennent plus chaudes et plus sèches, il n'y aura certainement plus de projets de construction pour l'irrigation ou du moins ils ne seront plus autant subventionnés.

Ainsi, il y a des conséquences si l'on utilise des résultats d'une régression des valeurs foncières sur les précipitations basées sur des données reflétant la volonté passée de construire de grands projets d'eau et les subventions incorporées dans ces projets pour évaluer les dommages causés par les changements climatiques futurs. Le coût des infrastructures donnant accès à l'eau pour l'irrigation ayant augmenté occasionne donc des coûts supplémentaires de l'irrigation que les fermiers des régions chaudes et arides vont supporter car ils ne sont plus subventionnés ou la subvention est faible. Or en faisant un scenario de l'impact futur du climat sur la valeur de la terre avec l'hypothèse « passée » d'une subvention implicite de l'irrigation, MNS sous estiment donc l'impact futur du climat sur la valeur de la terre. Les précipitations vont certainement baisser ce qui va entrainer plus de besoin en eau d'irrigation. Les coûts supplémentaires occasionnés ne seront pas pris en compte mais seulement l'impact de la pluie. On ignore aussi le coût des subventions s'il y'en a. Ces constats entrainent donc la sous-estimation de l'impact futur du Changement Climatique en ne tenant pas compte de l'irrigation.

A partir de ce constat, F et H expliquent enfin que la difficulté ici découle de l'utilisation d'estimations fortement influencées par l'inclusion de données qui reflètent le modèle historique des subventions à l'irrigation pour faire des projections pour les périodes et les régions qui ne subiront pas les mêmes subventions. Ils suggèrent donc qu'il pourrait être préférable d'estimer la relation entre la valeur des terres agricoles et les précipitations sur la base des données provenant de comtés dont l'agriculture ne dépend pas principalement de l'irrigation, ce qui pourra donner plus de

confiance dans l'utilisation des résultats pour faire des projections de l'impact des changements climatiques futures dans ces régions.

La proposition de Schlenker et al, (2005) se base aussi sur le rôle de l'irrigation. Ils estiment que l'une des hypothèses de l'approche hédonique (MNS, (1994)) selon laquelle les précipitations mesurent l'approvisionnement en eau des cultures n'est pas adaptée aux zones irriguées des Etats-Unis. Les auteurs proposent donc que pour des raisons tant hydrologiques qu'économiques, les effets économiques du changement climatique sur l'agriculture doivent être évalués différemment dans les zones arides et irriguées.

En vue de vérifier cette proposition, ils testent s'il convient ou non de regrouper les comtés irrigués et les comtés des zones arides en estimant la même équation séparément pour les comtés des régions arides et irriguées et en vérifiant si les deux équations ont les mêmes coefficients sur les variables explicatives. Si les coefficients se révèlent différents, cela soutiendrait leur affirmation selon laquelle il faut effectuer des estimations distinctes.

Les résultats de leur estimation montrent effectivement que la mise en commun des terres arides et irriguées peut produire un biais dans les estimations des coefficients. En particulier, deux variables illustrent ce biais. En effet, lorsque les données sont mises en commun, elles génèrent des coefficients sur les précipitations en juillet qui implique une valeur marginale négative à la moyenne de l'échantillon, ce qui implique qu'une diminution des précipitations en juillet serait bénéfique. Or Juillet est la saison de croissance pour la plupart des cultures aux États-Unis ce qui rend improbable qu'une réduction des précipitations serait bénéfique pour le climat moyen. Ce résultat confirme celui de Fisher et Hanemann, (1998) présenté plus haut.

Enfin, sur la base d'un scénario de changement climatique d'une augmentation de +5°F (+ 2,78°C) de la température et d'une augmentation de 8% des précipitations, l'estimation de l'impact potentiel sur la valeur des terres agricoles aux États-Unis leur confirme que les comtés irrigués et les comtés des terres arides ne peuvent être regroupés dans une seule équation de régression. Si, malgré cela, les données des comtés des terres arides et des comtés irrigués sont estimées ensemble, cela biaise les coefficients des variables climatiques.

Lorsque le modèle est estimé pour les comtés non urbains des régions arides seulement, ils trouvent alors que les estimations sont sans ambiguïté négatives et convergent vers une perte annuelle d'environ 5 à 5,3 milliards de dollars. Ce résultat est comparable à certaines estimations antérieures de pertes potentielles pour l'agriculture des États-Unis dans la littérature.

Les études que nous venons de présenter ne sont pas exhaustives. Sur l'Afrique par exemple, Kurukulasuriya et al., (2011) essaient de capturer explicitement l'irrigation dans le modèle ricardien et vérifier si l'irrigation est une option d'adaptation importante pour les agriculteurs africains face au changement climatique.

Leur analyse révèle que le choix de l'irrigation est endogène et sensible au climat. De même, elle révèle que les parcelles pluviales et irriguées en Afrique n'ont pas de réponses similaires à la température. Les revenus nets des parcelles pluviales tendent à baisser avec des températures plus élevées alors que les revenus nets sur les parcelles irriguées sont moins touchés. Cependant les parcelles semblent avoir des réponses positives similaires à des niveaux de précipitation plus élevés. L'irrigation est donc à prendre en compte quand cela est possible dans les études d'impact des Changements Climatiques sur l'Agriculture.

4.1.2. L'hypothèse de constance des prix.

Cline (1996) est le premier à critiquer le fait que l'approche ricardienne souffre d'être une approche d'équilibre partiel dans laquelle les prix relatifs restent inchangés. En effet, les auteurs du modèle ricardien supposent que la production de grain va chuter mais que cela ne pose pas de problème puisqu'elle serait compensée par la production mondiale, ce qui maintiendrait ainsi les prix inchangés. Cline mentionne que selon les études menées par Rosenzweig et al., (1993) ; Rosenzweig et Iglesias, (1994) sur les impacts agricoles, pour le cas où l'on exclue l'effet de la fertilisation par le CO_2 (cas de l'étude de Mendelsohn et al, (1994)), la réduction moyenne mondiale des rendements de céréales serait presqu'aussi large que la réduction pour les États-Unis. Les résultats des études mentionnées par Cline (1996) ne garantissent donc pas une compensation des pertes de rendements agricoles comme suggéré par MNS.

Mendelsohn et Nordhaus (1996) ont répondu à ce commentaire de Cline. Ils ont supposé que les prix restent inchangés dans une approche d'équilibre partiel alors qu'ils sont censés changer face au climat et indiquent que Cline (1996) a raison de signaler que ceci pourrait mener à influencer les évaluations parce que les évaluations d'équilibre partiel ont tendance à sous-estimer des dégâts et surestimer des avantages.

Ils expliquent qu'en fait le biais relevé par Cline (1996) existe mais est négligeable. En effet, ils supposent une fonction d'offre et de demande linéaires, et calculent le Surplus Total à l'Equilibre (STE= Surplus du Consommateur (SC) + Surplus du Producteur (SP)).

Ils supposent ensuite que le réchauffement climatique fait baisser l'offre de telle sorte qu'on obtient un Nouveau Surplus Total (NST). Ainsi, l'impact sur le bien-être du changement d'offre induit par le climat est donné par la différence entre le surplus total à l'équilibre et le nouveau surplus total

(STE-NST). Mendelsohn et Nordhaus, (1996) consentent donc que de toute évidence, la méthode ricardienne ne tient pas compte de cette modification complète du bien-être économique car elle maintient les prix constants.

Tout en reconnaissant ce fait, ils maintiennent que ce biais est négligeable proportionnellement à la variation du surplus total constaté. Le biais est représenté par le rapport entre la perte du surplus du consommateur et du producteur dû au changement de l'offre.

Pour justifier cela, ils calculent et font varier les élasticités de l'offre et de la demande ainsi que l'ampleur du changement d'offre.

Pour des élasticités raisonnables de l'offre et de la demande, le biais est selon leurs calculs inférieur à 2% pour un choc d'offre de 10% et inférieur à 5% pour un choc d'offre de 25%. De toute évidence, le biais de l'hypothèse d'un équilibre partiel est beaucoup moins important que d'obtenir la taille du choc en premier lieu.

Cette réponse de Mendelsohn et Nordhaus (1996) peut cependant laisser perplexe et constitue l'une des grandes limites de l'utilisation du modèle ricardien puisque, pour des pays en développement où l'on peut supposer avoir des chocs d'offre importants dû aux changements climatiques, les biais de prix peuvent être plus importants. C'est l'objet du dernier essai de la thèse (essai 3) qui discute la question.

Kurkulasuriya et Mendelsohn (2008a) reviennent sur cette critique mais signalent que calculer le changement des prix n'est pas une tâche simple puisque les prix sont fonction du marché international. Pour les prendre en compte, il faudra faire de grosses hypothèses sur comment la production mondiale pourrait changer avec les changements climatiques. Ils précisent que si les offres de certaines denrées ont augmenté et les autres ont diminué, les effets sur le bien-être seront compensés.

Enfin Auffhamer et Schlenker (2014) relèvent que les analyses transversales traditionnelles des valeurs des terres agricoles sont des études d'équilibre partiel et que si les conditions météorologiques devaient rendre l'agriculture beaucoup plus ou moins productive, les prix des produits agricoles s'ajustent, de même que les prix des terres agricoles. Il prend l'exemple de l'augmentation des prix des produits de base aux États-Unis qui a entraîné une augmentation significative des valeurs des terres agricoles. Une analyse ricardienne des valeurs des terres agricoles ne mesure que les impacts qui sont capitalisés dans les terres agricoles, mais ne tient pas compte des impacts sur les consommateurs. Cela est seulement approprié si les niveaux de prix

globaux ne sont pas touchés, par exemple, si les gains dans une région sont compensés par les pertes dans d'autres régions comme l'ont constaté Rosenzweig et Hillel (1998).

4.1.3. L'adaptation sans coût.

Cline (1996) évoque dans sa critique de MNS qu'ils ont tort de supposer qu'il y'a une disponibilité en eau pour les différentes cultures à un prix marginal actuel car cela impliquerait une adaptation presque sans coût.

Quiggin et Horowitz (1999) (Q et H) approfondissent cette critique dans leur commentaire de l'approche traditionnelle de MNS en leur faisant aussi le reproche que l'adaptation se fait sans coût dans MNS. En effet, l'approche « ricardienne » proposée par MNS suppose implicitement zéro coût d'ajustement et occasionne une sous-estimation du coût du changement climatique.

Q & H ajoutent que même s'ils reconnaissent que le modèle de MNS a produit des estimations de statique comparative précises, il n'en demeure pas moins que celles-ci ne puissent fournir une base appropriée pour estimer les coûts du réchauffement climatique ou pour l'évaluation des politiques à concevoir pour atténuer ce réchauffement.

Aussi ils posent la question pertinente suivante : « Si les températures avaient toujours été supérieures de 5 ° F (+5°F=+2,78°C)[17], quelle différence cela ferait-il sur l'excédent net social découlant de l'agriculture des États-Unis ? » Q et H cherchent à montrer que l'effet d'une variation de 5 ° F serait très différent si le climat était plus chaud de 5 ° F l'année qui suit, que si les températures moyennes augmentaient de 0,01 ° F par an au-delà de 500 ans. (0,01 x 500 = 5°F).

De ce fait, Q&H notent que la différence entre ces « deux » cas, réside dans les coûts qui seraient engagés à s'adapter au nouveau climat, pas dans l'augmentation globale de la température. L'analyse de MNS selon Q & H ne peut donc distinguer ces deux cas.

C'est pourquoi, pour eux, une approche statique comparative donnera de faibles estimations de l'impact du réchauffement climatique sur l'agriculture. Par conséquent, les économistes devraient attirer l'attention sur les coûts de l'ajustement, qui sont nécessairement positifs. Pour étayer leurs propos, Q&H prennent l'exemple de MNS (Fig 1 de Mendelsohn et al, (1994)) dans lequel, si les terres actuellement utilisées pour le blé et le maïs doivent être remises, d'abord pour le pâturage et aux maisons de retraite, il sera nécessaire pour les agriculteurs ayant des compétences spécifiques aux cultures de se déplacer ou acquérir de nouvelles compétences, et pour les éléments de stock de

[17]F = Degré Fahrenheit. Unité de mesure de la température, proposée par le physicien allemand Daniel Gabriel Fahrenheit en 1724. Le calcul pour l'équivalence vient de la conversion du Fahrenheit en degrés. (5°F/1,8=2,78°C)

capital tels que les élévateurs à grains et minoteries d'être déplacés. La taille de ces coûts d'ajustement sera encore sans réponse.

En outre, Q & H relèvent des difficultés pratiques pour l'application de l'approche de statique comparative. L'approche MNS est basée sur les différences entre le climat actuel et celui prévu avec des concentrations de gaz à effet de serre plus élevées.

En revanche, une évaluation entièrement dynamique mettra l'accent sur le taux de changement de température et d'autres variables climatiques plutôt que leur niveau. Il est donc important pour Q & H de mettre l'accent plutôt sur le taux de variation des températures plutôt que sur le niveau des températures pour mieux appréhender les coûts d'ajustement.

Enfin, Q & H font deux propositions pour mieux calculer les coûts d'ajustement. La première réside dans un examen au niveau micro des stocks de capitaux et des taux d'amortissement qui pourraient être utilisés pour estimer la vitesse à laquelle le capital spécifique au climat devrait être mis au rebut afin d'atteindre le taux d'ajustement nécessaire. Ils rappellent qu'en matière de coût, l'agriculture est plus concernée par l'irrigation. Cependant comme MNS le mentionnent, l'irrigation est une réponse endogène au climat, mais elle entraîne de grands stocks de capital à long terme.

La seconde approche proposée par Q & H se base sur les réponses observées aux changements des prix relatifs. Ils expliquent que les variations de rendements découlant du changement climatique sont, du point de vue de la maximisation du profit des agriculteurs, semblables à des changements dans les prix relatifs. Observer la variation des prix peut donc expliquer comment les coûts s'ajustent.

En résumé Q & H disent que les principaux coûts du réchauffement climatique sont presque certainement les coûts d'ajustement et que l'analyse économique du réchauffement climatique devrait se concentrer sur le taux de changement de température, pas sur le niveau de température. Q & H reconnaissent que cela sera plus difficile à réaliser mais ils restent persuadés que leur proposition est susceptible de nous donner une très différente, et plus précise image de l'impact du réchauffement climatique.

Mendelsohn et Nordhaus, (1999) répondent aux commentaires de Q & H en admettant que ces derniers ont raison de mettre l'accent sur l'importance de l'ajustement des coûts dans l'estimation des impacts. Cependant ils précisent que des études menées sur des stocks de bois de Sohngen et Mendelsohn (1998) et sur les structures côtières de Yohe et al. (1996) ont impliqué d'énormes stocks de capitaux dont il serait difficile de faire l'ajustement. La même domination des structures de capital n'est pas aussi apparente dans le secteur agricole en général. Mendelsohn et Nordhaus,

(1999) sont donc sceptiques sur le fait que les coûts d'ajustement peuvent finalement s'avérer être un enjeu important dans l'évaluation des effets du changement climatique sur agriculture.

Mendelsohn et Nordhaus (1999) font aussi la remarque que selon les projections actuelles, il est prévu que le changement climatique augmentera la température moyenne aux États-Unis entre 1 et 3,5°C au cours du siècle prochain mais ils doutent du fait que cela est susceptible de causer d'importants coûts d'ajustement à une industrie aussi adaptable que l'agriculture semble être. Il est vrai que l'ajustement est coûteux et que les agriculteurs ont des investissements importants dans les équipements tels que les tracteurs et les moissonneuses qui ont néanmoins des durées de vie économiques relativement courtes mais les capitaux tels que les sols ont des durées de vie très longues. En plus les changements climatiques locaux peuvent ne pas être réguliers, ce qui implique que même des variations minimes de température chaque année n'occasionneront pas obligatoirement des coûts d'ajustements significatifs.

Mendelsohn et Nordhaus (1999) précisent en outre que l'approche statique comparative dans MNS est une première étape utile. Ils évoquent des travaux de Mendelsohn et Schlesinger, (1999) qui présentent des fonctions de réponse au climat pouvant servir de base à des analyses dynamiques futures des impacts. Ils soulignent néanmoins que des estimations fiables du coût de la transition du changement climatique sont extrêmement fragiles parce que selon eux, la compréhension de la dynamique du climat et des agriculteurs n'est pas encore assez connue.

4.2. Les autres thèmes de critiques.

A part les trois critiques qui reviennent le plus dans la littérature et qui ont donné lieu à des débats que nous venons développer, le modèle ricardien a fait l'objet d'autres critiques à savoir le fait de ne pas prendre en compte l'élevage, l'effet du CO_2, et les relations convexes entre la valeur de la terre et les variables climatiques et le biais d'agrégation.

4.2.1. Non prise en compte du Bétail.

Darwin (1999) remarque que les modèles proposés par MNS ne tiennent pas compte du bétail qui a généré 53% des recettes agricoles[18] en 1982. (année d'étude de MNS, 1994)

Mendelsohn et Nordhaus, (1999) répondent à ce commentaire en rappelant que le modèle ricardien a été conçu pour mesurer l'influence du climat sur les cultures. Selon ces derniers, il n'y a aucune raison de penser que le bétail aura les mêmes relations avec le climat à l'instar de celles des cultures. Ils suggèrent donc qu'il serait plus judicieux si l'on veut mesurer l'impact du climat sur le bétail de procéder à une régression indépendante du revenu du bétail sur les variables climatiques.

[18]La source citée par Darwin, (1999) pour ce chiffre est USBC, 1984

4.2.2. Non prise en compte de l'effet du CO_2

Kurukulasuriya et Mendelsohn (2008a) mentionnent que l'un des problèmes du modèle ricardien est qu'il ne peut pas mesurer l'effet des variables qui ne peuvent pas varier spatialement. Ainsi, cette étude ne peut détecter l'effet du niveau du dioxyde de carbone puisque le niveau de ce dernier est presque le même à travers le monde. Il est possible de détecter l'effet de l'augmentation du CO_2 en regardant la productivité au cours du temps. Cependant, il est impossible de distinguer l'effet du CO_2 et celui des changements technologiques opérés. Ils expliquent que Reilly et al., (1996) dans des types d'études qui rapportent un effet de fertilisation universelle signalent une amélioration de la productivité moyenne de 30% associée à un doublement du CO_2. Cependant, ces résultats doivent être interprétés avec prudence parce que les conditions dans les expériences contrôlées peuvent ne pas être représentatives des fermes à travers le monde.

4.2.3. Relation convexe entre la valeur des terres ou le revenu et les variables climatiques.

Darwin, (1999) dans la critique de MNS fait la remarque de la relation convexe entre la valeur de la terre et les précipitations. Il lie cette relation ambigüe à l'absence de l'irrigation comme nous l'avions discuté plus haut.

Quiggin et Horowitz, (1999) mentionnent aussi ce fait. Ils relèvent que dans les estimations de MNS, la valeur de la terre est une fonction quadratique de la température dont le terme quadratique devrait être négatif, ce qui n'est pas le cas pour le mois d'octobre par exemple (Tableau 3 Mendelsohn et al, 1994). En calculant les écarts de température qui maximisent les valeurs agricoles par rapport aux moyennes de ces dernières de Janvier, avril et juillet, Q & H trouvent des résultats inhabituels reflétant vraisemblablement des problèmes d'estimation, qui selon eux proviennent probablement de cas de multicolinéarité.

Mendelsohn et Nordhaus, (1999) répondent à cette critique en expliquant pourquoi la fonction climatique ne possède pas la concavité prévue. En effet, l'étude originale de MNS a estimé la réponse de la valeur des terres au climat donné. Une recherche ultérieure à celle de MNS (Mendelsohn et al., 1996) a montré que le climat affecte aussi la fraction des terres qui est consacrée aux cultures.

Dans les climats extrêmement froids, chauds ou secs, moins de terre est utilisée pour l'agriculture. Compte tenu de cela, la fonction de réponse agricole à la température a une forme concave.

Cette réponse n'est pas assez convaincante de notre point de vue puisqu'on retrouve ce problème de relation convexe entre le revenu net et la température dans la majorité des études utilisant le modèle ricardien surtout avec les variations saisonnières c'est-à-dire des températures et précipitations comme variables explicatives dans chaque saison à savoir du printemps à l'hiver ou avec les saisons

sèches et humides. Nous pouvons constater ce problème notamment dans Kumar et Parikh, (2001) Deressa et al., (2005) ; Mendelsohn et al., (2008a) et presque toutes les autres études.
Comme le mentionne Q et H, cela est certainement dû à un problème de multicolinéarité puisque la corrélation entre des variables de température de différentes saisons et entre la température et la précipitation peut être très forte. Estimer ces températures côte à côte peut donc occasionner des biais comme ces relations convexes.
D'ailleurs, Lobell et al, (2007) mentionnent dans leur travail ce problème de colinéarité entre les variables qu'ils utilisent, c'est-à-dire dans leur cas la température minimale, maximale et les précipitations.

4.2.4. Biais d'agrégation

Le modèle ricardien met en relation la valeur des terres agricoles avec les variables climatiques, de sols, et socioéconomiques généralement au niveau des comtés ou des grandes régions.

Fezzi et Bateman, (2015) montrent qu'il y'a un biais d'agrégation dans ces estimations lorsque les auteurs agrègent les données en comté ou régions à partir des données des exploitations ou fermes. Plus précisément, ils agrègent les valeurs du niveau de l'exploitation au niveau des zones officielles (unités territoriales de la Grande Bretagne) en assignant chaque ferme à un comté en fonction de son emplacement spatial. Ils calculent ensuite les valeurs agrégées des terres en tant que moyennes pondérées de la superficie des terres agricoles. De même, ils agrègent les variables climatiques et les autres variables de contrôle en utilisant comme poids la quantité de terres agricoles à l'intérieur de chaque quadrillage de 10 km inclus dans un comté.

Ils comparent ensuite les résultats des approches au niveau des exploitations avec celles des comtés pour évaluer l'adéquation des données agrégées.

Leur comparaison met en évidence un fort biais d'agrégation avec des conséquences graves pour les prévisions. Ils trouvent qu'en moyenne, les impacts du changement climatique estimés sur les données agrégées diffèrent d'un facteur trois par rapport à ceux tirés de l'information au niveau de l'exploitation.

Ce biais d'agrégation selon Fezzi et Bateman, (2015) est probablement dû au fait que les données agrégées ne représentent pas adéquatement la variation précise du climat local vécue par chaque ferme dans un comté.

De plus, Fezzi et Bateman, (2015) expliquent que la recherche sur les cultures a montré que la réponse du rendement des plantes comprend des effets significatifs d'interaction entre la température et les précipitations. (Hillel et Rosenzweig, 2010). Or la plupart des auteurs utilisant le

modèle ricardien (avec la valeur des terres) n'utilisent pas une telle interaction mais supposent plutôt l'impact de la température et de la pluie de manière séparable et additive.

L'analyse qu'ils proposent au niveau de la ferme concilie donc l'approche ricardienne avec la littérature sur la croissance des plantes et des cultures et confirme un effet d'interaction significatif. Les précipitations sont précieuses lorsque la température est élevée. De même, la température a un effet positif sur la valeur des terres lorsque les précipitations sont suffisantes pour éviter de possibles sécheresses.

Ils montrent ainsi que l'effet d'interaction entre la température et les précipitations, qui est positif et significatif dans leur analyse au niveau de l'exploitation, disparaît complètement (voire devient négatif) dans les estimations au niveau des comtés. La principale raison de l'atténuation de cet effet est que les données agrégées au niveau des comtés ignorent l'hétérogénéité du climat auquel font face les exploitations individuelles d'un comté. Étant donné que les variations de température et de précipitations devraient varier en fonction du changement climatique, ce biais d'agrégation peut avoir des répercussions importantes sur les prévisions du changement climatique.

5. Nouvelle approche de l'utilisation du modèle ricardien avec données de panel.

L'un des développements les plus importants du modèle ricardien est son application avec les données de panel. Beaucoup d'auteurs ont donc développé le modèle ricardien avec des données de panel, mais nous exposons ici l'article pionnier de cette méthode, celui de Deschênes et Greenstone, (2007). (DG)

5.1. Critique de DG sur le modèle ricardien : Non stabilité des coefficients dans le temps.

Les critiques sur le modèle en coupe instantanée ont donné naissance à l'utilisation du modèle en panel à effets fixes par Deschênes et Greenstone, (2007). En effet, l'une des critiques majeures faite par DG, (2007) est qu'en faisant des régressions avec le modèle en coupe instantanée, ils arrivent à démontrer que la méthode ricardienne ne donne pas des résultats stables à travers le temps. Pour cela, DG, (2007) utilisent 6 années[19] du « Census of Agriculture » des Etats-Unis). Ce résultat est d'ailleurs confirmé par Massetti et Mendelsohn, (2011b) qui ont évalué à partir des mêmes données les résultats année par année. Il faut aussi indiquer que cette méthode comme mentionnée dans Massetti et Mendelsohn, (2011a) a été aussi utilisée par Schlenker, Hanemann et Fischer, (2006) (SHF) ; et Mendelsohn, Dinar et Sanghi, (2001).

[19]Les six années utilisées par DG, (2007) sont 1978, 1982, 1987,1992, 1997, 2002.

Ainsi, au lieu d'une analyse en coupe instantanée, DG, (2007) proposent de déterminer les variations intertemporelles du climat (année par année) afin de vérifier leurs impacts sur les bénéfices agricoles.

5.2. Proposition de DG, (2007)

DG proposent donc dans leur article une stratégie alternative pour estimer les effets du changement climatique. Ils utilisent des données de panel pour estimer l'effet de la météo sur les bénéfices agricoles, conditionnés par des effets fixes annuels sur les comtés et les Etats. Leurs estimations suggèrent que le changement climatique entraînera une augmentation des profits du secteur agricole d'environ 1,3 milliards de dollars.

5.3. Critiques sur l'article de DG

Il convient de noter que malgré « l'innovation » de DG, (2007), leur étude a subi plusieurs critiques dont les plus importantes sont celles de Massetti et Mendelsohn, (2011a) axée sur la méthode d'utilisation du panel et Fisher et al., (2012.)(FHRS) qui se basent sur les données utilisées et les résultats.

5.3.1. Critique sur la méthode d'utilisation du panel par DG

Massetti et Mendelsohn, (2011a) s'opposent à l'approche utilisée par DG, (2007) en expliquant que l'utilisation des variations intertemporelles n'est pas un bon indicateur pour l'évaluation de l'impact des changements climatiques sur l'Agriculture puisque le changement climatique est un phénomène de long terme. A court terme, les fermiers n'ont pas le temps de s'adapter car ces changements apparaîtront comme des surprises.

5.3.2. Critique sur les données et les résultats dans DG.

Fisher et al, (2012) (Ici FHRS),font trois critiques fondamentales sur l'article de DG, (2007), une sur les données et deux sur les résultats obtenus.

En ce qui concerne les données utilisées par DG, ils soulignent leurs irrégularités. En effet, en reconstruisant les mêmes données climatiques, FHRS trouvent une corrélation plus forte entre les variables climatiques que celles trouvées par DG (0,996 contre 0,39). En plus de cette irrégularité, FHRS trouvent que les écarts de température à l'intérieur de l'année dans l'ensemble des données qu'ils répliquent de celles de DG sont d'environ un septième de celle de DG.

Sur les résultats, FHRS font la comparaison de leurs résultats avec ceux de DG. En utilisant les mêmes données (mêmes variables et pondérations que DG), les variables météorologiques répliquées (de FHRS) expliquent environ deux fois plus la variance de la variable dépendante pour tous les modèles utilisant les effets fixes annuels. Aussi, dans le modèle de profit utilisant les effets fixes d'Etat par année, les estimations de FHRS expliquent 50% de plus la variance comparativement aux estimations dans DG. Les résultats diffèrent puisque FHRS corrigent les

irrégularités mentionnées plus haut. Cette différence a pour conséquence de ne pas obtenir les mêmes changements prévus. FHRS expliquent que les changements prévus chez DG varient brutalement. En effet, en observant les climats prévus chez DG (figure 2 dans l'article de Fisher et al, 2012), on peut noter une hétérogénéité très grande alors que ces Etats appartiennent à des mêmes zones géographiques. C'est le contraire chez FHRS où l'on voit dans ses prédictions des climats qu'il y a une variation progressive de l'est à l'ouest mais pas dans de fortes proportions. Cela semble plus cohérent

Enfin, la dernière critique de FHRS qui peut entrainer un biais dans les résultats de DG concerne l'utilisation du profit comme variable dépendante en raison des effets de confusion de stockage et éventuellement aussi des ajustements des capitaux et des stocks.

En fait, alors que les dépenses liées à la production sont essentiellement les coûts associés aux cultures de l'année donnée, les recettes ne proviennent pas nécessairement des cultures « cultivées » cette même année mais peuvent provenir des recettes des cultures vendues à partir des stocks de récolte précédente. Plus précisément, FHRS soulignent la différence dans l'évaluation des recettes, donc des profits, puisqu'ils se rendent compte que ce qui est vendu n'est pas obligatoirement ce qui a été cultivé pour une année donnée. Ainsi, avec les cultures majeures comme le soja, le maïs ou le blé (aux Etats-Unis)**,** les agriculteurs vont faire des accumulations de stock pendant les années où il y'a de bonnes récoltes et lorsque surviennent les années à faibles rendements, ils épuisent les stocks accumulés antérieurement. C'est donc une manière pour eux de lisser les chocs climatiques au cours du temps.

Deschênes et Greenstone, (2012) donnent cependant une réponse aux critiques de FHRS mais sans créer de polémiques. Ils sont reconnaissants à FHRS qui leur a permis de découvrir leurs erreurs et d'ainsi faire progresser la recherche. Les nouveaux résultats qu'ils trouvent en corrigeant leurs données sont contraires aux résultats de DG (2007). En effet, Les données corrigées suggèrent qu'un changement immédiat du climat projeté pour la fin de ce siècle réduirait les bénéfices agricoles. Or DG, (2007) trouvaient un effet bénéfique d'environ 1,3 milliards de dollars (de 2002).

5.4. L'utilisation des données de panel peut-elle s'appeler méthode ricardienne ?

Il est important de noter que le récent article de Blanc et Reilly, (2017) ne classe pas l'utilisation des données de panel comme étant une application du modèle ricardien. En effet, ces derniers en faisant dans leur étude la liste des méthodes utilisées pour l'évaluation économique de l'impact des Changements Climatiques sur l'Agriculture mettent une distinction entre le modèle ricardien et les études utilisant les données de panel. Apparemment, il semble qu'il y ait eu une certaine confusion dans la littérature à ce propos que nous voulons relever.

Massetti et Mendelsohn, (2011a) nomment leur article « Estimating Ricardian Model With Panel Data ». Le titre de ce papier signifie implicitement que les données de panel sont utilisées dans un modèle ricardien. Dans cet article, comme nous l'avons décrit précédemment, les auteurs critiquent la méthode d'utilisation du panel dans DG, (2007) mais ne remettent pas en cause le fait que l'utilisation des données de panel soit aussi une application possible du modèle ricardien. Ils essaient simplement de démontrer qu'un panel bien spécifié est préférable aux données en coupes instantanées répétées comme dans DG (2007).

Les auteurs de ces papiers ne revendiquent donc pas la création d'une nouvelle méthode en dehors du modèle ricardien. Les autres applications du modèle ricardien avec données de panel qui ont suivi l'article de DG (2007) en sont aussi la preuve. (Leonor et al. (2015) ; Galindo et Reyes (2015)).

Nous pouvons cependant « réconcilier » ces deux points de vue de la littérature. Pour les utilisateurs de données de panel qui affirment que c'est aussi du modèle ricardien, l'utilisation des données de panel n'est qu'une sorte d'amélioration de la méthode ricaridienne. Il s'agit simplement d'augmenter la robustesse des résultats en tenant compte de plusieurs années contrairement à la méthode ricardienne traditionnelle qui utilise des données en coupe instantanée. (Massetti et Mendelson, (2011a)). L'article de Blanc et Reilly, (2017) après avoir mis une distinction entre la méthode ricardienne traditionnelle et les études avec panel les classe en réalité dans la même catégorie quand ils comparent les avantages et inconvénients des méthodes utilisées. Ils expliquent en effet qu'il s'agit dans ces deux cas d'analyses statistiques qui observent l'impact de variables climatiques sur la valeur de la terre ou le revenu et que les économistes selon les auteurs préfèrent ces deux approches puisqu'elles prennent en compte l'expérience actuelle des fermiers et considèrent aussi l'« optimisation » (le fait que les fermiers vont utiliser toutes les méthodes nécessaires pour maximiser leurs revenus) qui est faite par ces derniers en plus de leur réponse face aux risques (notamment les incertitudes liées au climat.) . A l'état actuel de nos connaissances, aucune confrontation directe de ces auteurs n'a été encore faite sur les appellations. Il s'agit donc pour notre part d'une question de forme plutôt que de fond. La méthode ricardienne traditionnelle connait des améliorations avec le modèle de panel mais ces dernières gardent l'essentiel du modèle ricardien qui est l'influence du climat sur la valeur de la terre ou le revenu.

6. Conclusion

Cette revue essaie de montrer les circonstances de la naissance du modèle ricardien, les analyses qui ont été faites en s'y appuyant, les critiques dont il a fait l'objet et les nouvelles approches qui sont proposées à partir de ce dernier.

Nous expliquons que le modèle ricardien est né de la critique du modèle dit de fonction de production qui supposait peu ou pas d'adaptation. Il a rencontré un « grand succès » parce que c'est l'une des premières études du genre qui prenait en compte l'adaptation de façon implicite. Cependant le modèle ricardien a fait face à de nombreuses critiques qui ont donné lieu à de nombreux débats notamment sur rôle crucial de l'irrigation qui n'était pas prise en compte, les hypothèses de constance de prix et de l'adaptation supposée sans coût. En plus de ces critiques, d'autres qui n'ont pas fait l'objet de grands débats ou plus récentes ont été faites, à savoir le fait que le modèle ricardien ne tient pas compte du bétail, de l'effet du CO_2, des relations valeur de la terre-climat qui sont parfois convexes et du biais d'agrégation.

Du modèle ricardien utilisant traditionnellement les coupes transversales, a aussi découlé l'approche avec des données de panel qui a aussi connu quelques critiques tant sur la méthode que les résultats.

Même si l'objet principal de notre analyse est le modèle ricardien, nous relevons que le débat sur la « meilleure approche » à utiliser pour évaluer l'impact des changements climatiques sur l'agriculture n'est pas encore tranché. Dès le départ, dans sa critique du modèle ricardien, Cline (1996) estimait qu'il y'avait une exagération de MNS d'autant plus que pour lui, ils n'ont pas considéré les études menées par William E. Easterling III et al. (1993) et Rosenweig, C. et al. (1993) qui tiennent compte d'hypothèses raisonnables sur les changements adaptatifs dans les techniques et les cultures dans des conditions de changement climatique. Cline (1996) a donc estimé que les estimations directes de modèle de culture fournissent des résultats plus significatifs que ceux de l'approche ricardienne. Darwin (1995) dans sa proposition que nous avons analysée a semblé aussi « ignorer » le modèle ricardien puisqu'il lui est antérieur et propose une approche fidèle au modèle « fonction de production » avec plus d'adaptation. Dans les études plus récentes utilisant le modèle « fonction de production », Roudier et al, (2011) ne trouvent pas non plus nécessaire d'utiliser le modèle ricardien pour leur synthèse des impacts agricoles des changements climatiques sur l'Afrique de l'Ouest. La raison qu'ils évoquent est que le modèle ricardien ne peut définir quelles adaptations ont été faites et ignore les coûts d'adaptation d'un climat à l'autre. Les développements de l'approche ricardienne se sont faits ainsi de façon « parallèle » aux approches du modèle de fonction de production puisque les utilisateurs du modèle ricardien maintiennent dans chacun des leurs articles que la prise en compte implicite de l'adaptation par la valeur des terres ou des revenus dans le modèle ricardien demeure la meilleure. Les études ricardiennes avec les

données en panel sont aussi en pleine expansion depuis celui de Deschênes et Greenstone (2007). (Massetti et Mendelsohn (2011, a.b) ; Leonor et al, (2015) ; Galindo et Reyes, (2015))

Bien qu'il soit difficile d'évoquer le modèle ricardien sans faire allusion aux nombreuses études et débats qui ont eu lieu sur les pays développés, particulièrement sur les Etats-Unis, nous tentons aussi de situer le cadre d'application des études ricardiennes dans les pays Africains. Il convient de noter que le continent Africain a bénéficié d'un nombre important d'études d'impact des Changements climatiques sur l'Agriculture mais qui restent faibles au regard de celles du reste du monde. Ce constat est confirmé par Auffhammer et Schlenker, (2014) qui estiment que cela est principalement dû à la l'indisponibilité des données pour les productions agricoles et dans certains cas, la difficulté d'obtenir des données météorologiques fiables. Au-delà de ce constat, nous soulignons le fait que les conditions d'application du modèle ricardien pour les pays Africains doivent tenir non seulement compte de certaines réalités dont l'intérêt de considérer les zones climatiques propres à certains pays quand cela est nécessaire (discuté à l'essai 2) et le biais de prix (discuté à l'essai 3).

Références bibliographiques

1. **Adams, R.M., McCarl, B. Dudek, D. and Glyer**, **J.** (1988). "Implications of Global Climate Change for Western Agriculture," *Western Journal of Agricultural Economics*, 13(2): 348-56.
2. **Adams, R.M.; McCarl, B.; Segerson, K.; Rosenzweig, C.; Bryant, K.; Dixon, B.; Conner, R.; Evenson, R. and Ojima, D**. (1998) "The Economic Effect of Climate Change on U.S. Agriculture," in Robert Mendelsohn and James Neumann, eds., The impact of climate change on the United States economy. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 18-54.
3. **Adams, R.M., Rosenzweig, C. Peart, R.M. Ritchie, J.T. McCarl, B.A. Glyer, J.D. Curry, R.B. Jones, J.W. Boote, K.J. and Allen, L.H** (1990). "Global Climate Change and U.S. Agriculture," *Nature*, 345: 219-23.
4. **Arthur, L.M., and Abizadeh**, **F.** (1988). "Potential Effects of Climate Change on Agriculture in the Prairie Region of Canada," *Western Journal of Agricultural Economics*, 13(2): 2 16-24.
5. **Auffhammer, M., and Schlenker, W. (2014)**. Empirical studies on agricultural impacts and adaptation. *Energy Economics*, *46*, 555-561.
6. **Burness, H.S; Cummings, R.G.; Goman, W.D. and Lansford, R.R**. (1980) "United States Reclamation Policy and Indian Water Rights." *Natural Resources Journal*, Vol. 20 pp. 807-826.
7. **Butt, T., McCarl, B., Angerer, J., Dyke, P., Stuth, J.**, (2005). The economic and food security implications of climate change in Mali. *Climatic Change* 68, 355–378. Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR), 2009. Climate,Agriculture and Food Security: A Strategy for Change. CGIAR, p. 56.
8. **Carter, T.R., J.H. Porter, and M.L. Parry**. (1991). "Climatic Warming and Crop Potential in Europe*." Global Environmental Change*, Sept.: 29 I-3 12.
9. **Challinor, A. J., Wheeler, T. R., Craufurd, P. Q., Slingo, J. M., & Grimes, D. I. F.** (2004). Design and optimisation of a large-area process-based model for annual crops. *Agricultural and forest meteorology*, 124(1), 99-120
10. **Climate change: The IPCC Scientific Assessment** (1990) (eds Hougton J.T.; Jenkins, G.J. et Ephraums, J.J. (Cambridge Univ Press) in "Rosenzweig, C., & Parry, M. L. (1994). Potential impact of climate change on world food supply. *Nature*, *367*(6459), 133-138."
11. **Cline, W. R.** (1996).The impact of global warming on agriculture: Comment, *The American Economic Review* 86(5), 1309–1301.
12. **Darwin, R.** (1999). The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis: Comment. *The American Economic Review*, *89*(4), 1049-1052.
13. **Darwin, R**. (1999) "A FARMer's View of the Ricardian Approach to Measuring Agricultural Effects of Climatic Change." *Climatic Change*, 41(3-4), pp.371-411.

14. **Darwin, R., Tsigas, M. E., Lewandrowski, J., & Raneses, A.** (1995). *World agriculture and climate change: Economic adaptations* (No. 33933). United States Department of Agriculture, Economic Research Service.
15. **Deressa, T. Hassan, R. and Poonyth, D.** (2005). Measuring the impact of climate change on South African agriculture: the case of sugar-cane growing regions. *Agrekon* 44(4):524-542
16. **De Salvo, M., Begalli, D., & Signorello, G.** (2014). The Ricardian analysis twenty years after the original model: Evolution, unresolved issues and empirical problems. *Journal of Development and Agricultural Economics*, *6*(3), 124-131.
17. **De Salvo, M., Raffaelli, R., & Moser, R.** (2013). The impact of climate change on permanent crops in an Alpine region: A Ricardian analysis. *Agricultural systems*, *118*, 23-32
18. **Deschênes, O., & Greenstone, M.** (2007)The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. *The American Economic Review*, *97*(1), 354-385.
19. **Deschênes, O., & Greenstone, M.** (2012). The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather: reply. *The American Economic Review*, *102*(7), 3761-3773
20. **Easterling, W. E., Ill; Crosson, P. R.; Rosenberg, N. J.; McKenney, M. S.; Katz, L.A. and Lemon, K. M**. (1993) "Agricultural Impacts of and Responses to Climate Change in the Missouri-Iowa- Nebraska- Kansas (MINK) Region." *Climatic Change*, 24(1-2), pp. 23-61.
21. **Eid, H.M., El-Marsafawy, S., Ouda, S.A.** (2007).Assessing the economic impacts of climate change on agriculture in Egypt: A Ricardian approach. *World Bank Policy Res. Work. P*. 4293
22. **Eswaran, H., and E. Van den Berg.** (1992). "Impact of doubling of Atmospheric CO_2 on Length of Growing season in the Indian Subcontinent," *Pedologie.* 42(3): 289-96.
23. **Fezzi, C., & Bateman, I.** (2015). The impact of climate change on agriculture: Nonlinear effects and aggregation bias in Ricardian models of farmland values. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, *2*(1), 57-92.
24. **Fisher, A. C., & Hanemann, W. M.** (1998). The impact of global warming on agriculture: Rethinking the Ricardian approach. *Department of Agricultural & Resource Economics, UCB*.
25. **Fisher, A. C., Hanemann, W. M., Roberts, M. J., & Schlenker, W.** (2012). The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather: comment. *The American Economic Review*, *102*(7), 3749-3760.
26. **Galindo, L. M., & Reyes, O.** (2015). Climate change, irrigation and agricultural activities in Mexico: A Ricardian analysis with panel data. *Journal of Development and Agricultural Economics*, *7*(7), 262-273.

27. **Gbetibouo, G. A., & Hassan, R. M. (2005)**. Measuring the economic impact of climate change on major South African field crops: a Ricardian approach. Global and Planetary Change, 47(2-4), 143-152.
28. **Hillel, D., and Rosenzweig, C.** (2010). *Handbook of climate change and agroecosystems: Impacts, adaptation and mitigation*. London: Imperial College Press
29. **Jain, S.** (2007)**.** An empirical economic assessment of impacts of climate change on agriculture in Zambia. *World Bank Policy Res. Series Work. P*. 4291
30. **Kabubo-Mariara, J., Karanja, F.K** (2007).The economic impact of climate change on Kenyan crop agriculture: A Ricardian approach. *World Bank Policy Res. Series Work. P*. 4334.
31. **Kumar, K. et Parikh, J.** (1998).Climate change impacts on Indian agriculture: The Ricardian approach. *World Bank Technical* P. 402, World Bank, Washington, DC.
32. **Kumar, K. et Parikh, J,** (2001).Indian agriculture and climate sensitivity. *Global Environmental Change* 11, 147–54
33. **Kurukulasuriya, P., Kala, N., et Mendelsohn, R. (2011).**Adaptation and climate change impacts: a structural Ricardian model of irrigation and farm income in Africa. *Climate Change Economics*, *2*(02), 149-174.
34. **Kurukulasuriya, P. and Mendelsohn, R.,** (2008a) A Ricardian analysis of the impact of climate change on African cropland. *Afr. J. Agric Res. Econ*. 2:1-23
35. **Leemans, R., and A.M. Solomon**. (1993). "Modeling the potential Change in Yield and Distribution of the Earth's Crops Under a Warmed Climate," *Climate Research*. 3: 79-96
36. **Leonor, P.V., Arturo, C.S. and Sanz, C.K.** (2015). Impact of climate change on agriculture in Mexico using a Ricardian model with panel data. *African Journal of Agricultural Economics and Rural Development*. Vol 3 (5), pp. 22—336.
37. **Lobell, D. B., Burke, M. B., Tebaldi, C., Mastrandrea, M. D., Falcon, W. P., & Naylor, R. L.** (2008). Prioritizing climate changeadaptation needs for food security in 2030. *Science*, *319*(5863), 607-610.
38. **Lobell, D. B., Cahill, K. N., Field, C.B.** (2007). Historical effects of temperature and precipitation on California crop yields. *Climatic Change*81:187–203
39. **Mano, R. Nhemachena, C.** (2007).Assessment of the economic impacts of climate change on agriculture in Zimbabwe: A Ricardian approach. World Bank Development Research Group, Sustainable Rural and Urban Development Team, *Policy Research Working P*. 4292.
40. **Massetti, E. et Mendelsohn, R.** (2011a). Estimating Ricardian Models with panel data. *Climate Change Economics*, Vol.2, N°4 301-319

41. **Massetti, E. et Mendelsohn, R.** (2011b). The impact of climate change on US agriculture: A repeated cross sectional Ricardian analysis. Handbook on Climate Change and Agriculture, 141.
42. **Mendelsohn, R. ; Christensen, P. and Arellano-Gonzalez, J.** (2010).The impact of climate change on Mexican agriculture: A Ricardian analysis. *Env. Dev. Econ*. 15:153-171.
43. **Mendelsohn, R., & Nordhaus, W.** (1996). The impact of global warming on agriculture: Reply. *The American Economic Review*, *86*(5), 1312-1315
44. **Mendelsohn R. and Dinar A.,** (1999).“Climate Change, Agriculture, and Developing Countries: Does Adaptation Matter?”, *The World Bank Research Observer*, 14 (2), pp. 277–93.
45. **Mendelsohn, R. and Neumann, J.** (1998), eds. The impact of climate change on the United States economy. Cambridge: Cambridge University Press.
46. **Mendelsohn, R. and Nordhaus, W.** (1999) The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis: Reply. *The American Economic Review 89(4), 1053-1055*
47. **Mendelsohn, R. and Nordhaus, W.** (1999) The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis: Reply. *The American Economic Review*, 89(4) (Sep., 1999), 1046-1048
48. **Mendelsohn, R. Nordhaus, W. & Shaw, D.** (1994).The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis. *American Economic Review* 84, 753–771.
49. **Mendelsohn, R. Nordhaus, W., & Shaw, D**. (1996). Climate impacts on aggregate farm value: accounting for adaptation. *Agricultural and Forest Meteorology*, *80*(1), 55-66.
50. **Mendelsohn, R. and Schlesinger, M.** (1999) "Climate-Response Functions." *Ambio* 27(4), pp. 362-66.
51. **Molua, E. Lambi, C.M.** (2007).The economic impact of climate change on agriculture in Cameroon. World Bank Development Research Group, Sustainable Rural and Urban Development Team. *Policy Res. Work. P*. 4364
52. **Mooney, S., and Arthur, L.M.** (1990). “The Impacts on Climate Change on Agriculture in Manitoba,” *Canadian Journal of Agricultural Economics* 38(4): 68.5-94.
53. **Müller, C., Bondeau, A., Popp, A., Waha, K., Fader, M.**, (2010). Climate change impactson agricultural yields. Background note to the World Development Report 2010.
Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam.
54. **Nefzi, A., & Bouzidi, F.** (2009). Evaluation de l’impact économique du changement climatique sur l’agriculture au Maghreb. Cinquième collègue international Hammamet Tunisie : Énergie, changement climatique et développement durable.
55. **Newman, J.E.** (1980)**.** “Climate Change Impacts on the Growing Season of the North American Corn Belt,” *Biometeorology*.7: 128-42.

56. **Nordhaus, W**. (1979). The efficient use of energy resources. New Haven, CT: Yale University Press.
57. **Nordhaus, W.** (1991) "To Slow or Not To Slow: The Economics of the Greenhouse Effect." *Economic Journal*, 101 (407), pp. 920-37.
58. **Nordhaus, W.** (1994). *Managing the global commons: the economics of climate change* (Vol. 31). Cambridge, MA: MIT press.
59. **Osborne, T. M., Lawrence, D. M., Challinor, A. J., Slingo, J. M., & Wheeler, T. R**. (2007). Development and assessment of a coupled crop–climate model. *Global Change Biology*, *13*(1), 169-183.
60. **Ouedraogo, M.** (2012). Impact des changements climatiques sur les revenus agricoles au Burkina Faso. *Journal of Agriculture and Environment for International Development* - JAEID, 106 (1): 3 – 21
61. **Parry, M., T. Carter, and N. Konijn,** eds. (1988). *The Impacts of Climatic Variations on Agriculture. Vol. I: Assessments in Cool Temperate and Cold Regions.* Boston: Kluwer Academic Publishers.
62. **Parry, M. L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M., & Fischer, G.** (2004). Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, *14*(1), 53-67.
63. **Peart, B., J.W. Jones, R.B. Curry, K.J. Boote, and L.H. Allen, Jr.** (1989). "Appendix C," *The PotentialEffects of Global Climate Change on the* U.S. J.B. Smith and D.A. Tirpak, eds. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency
64. **Quiggin, J. and Horowitz, J. K.** (1999) The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis: Comment. *American Economic Review*, 89 (4), pp. 1044-45.
65. **Reilly, J. et al.** (1996). Agriculture in a changing climate: Impacts and adaptations. In Watson R, Zinyowera M, Moss R & Dokken D (eds), *Climate Change 1995: Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*, Cambridge: Cambridge University Press for the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
66. **Reilly, J.**(1996). *Climate change, global agriculture and regional vulnerability. Global climate change and agricultural production: direct and indirect effects of changing hydrological, pedological and plant physiological processes*. FAO, Roma (Italia).
67. **Rind, D.; Goldberg, R.; Hansen, J.; Rosenzweig, C. and Ruedy, R.** (1990)"Potential Evapotranspiration and the Likelihood of Future Drought." *Journal of Geophysical Research*, 95(D7), pp. 9983-10004.

68. **Ritchie, J.T., D.B. Baer, and T.W. Chou.** (1989). "Appendix C," *The Potential Effects of Global Climate Change on the* U.S. J.B. Smith and D.A. Tirpak, eds. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.
69. **Robertson, T., V.W. Benson, J.R. Williams, CA. Jones, and J.R. Kiniry.** (1987)."Impacts of Climate Change in the Southern United States," *Proceedings of the Symposium on Climate Change in the Southern U.S.: Impacts and Present Policy Issues*. M. Meo, ed. Science and Public Policy Program, University of Oklahoma, Norman, Oklahoma.
70. **Rosenzweig, C.** (1985). "Potential CO2-Induced Effects on North American Wheat Producing Regions," *Climatic Change*. 7: 367-89.
71. **Rosenzweig, C. and Hillel, D.** (1998). Climate Change and the Global Harvest. *Oxford University Press*.
72. **Rosenzweig, C. and Iglesias, A**., (1994) eds. Implications of climate change for international agriculture: Crop modeling study. Washington, DC: Environmental Protection Agency.
73. **Rosenzweig, C., & Parry, M. L.** (1994). Potential impact of climate change on world food supply. *Nature*, *367*(6459), 133-138.
74. **Rosenzweig, C.; Parry, M.; Frohberg, K. and Fisher, G.** (1993) Climate change and world food supply. Oxford: *Oxford University Press*.
75. **Roudier, P., Sultan, B., Quirion, P., & Berg, A.** (2011). The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say? *Global Environmental Change*, *21*(3), 1073-1083.
76. **Schlenker, W., Hanemann, W. M., & Fisher, A. C.** (2005). Will US agriculture really benefit from global warming? Accounting for irrigation in the hedonic approach. *The American Economic Review*, *95*(1), 395-406.
77. **Schlenker, W., Hanemann, W. M., & Fisher, A. C**. (2006). The impact of global warming on US agriculture: an econometric analysis of optimal growing conditions. *Review of Economics and statistics*, *88*(1), 113-125.
78. **Schlenker, W., Lobell, D.B.,** (2010). Robust negative impacts of climate change on African agriculture. *Environmental Research Letters* 5, 1–8.
79. **Seo, S. N., & Mendelsohn, R.** (2008). An analysis of crop choice: Adapting to climate change in South American farms. *Ecological economics*, *67*(1), 109-116
80. **Shaw, D., Mendelsohn, R. and Nordhaus, W**., (1994). The Impact of Climate Variation on Agriculture. Yale University, School of Forestry and Environmental Studies, New Haven, CT.
81. **Sohngen, B. and Mendelsohn, R**. (1998) "Valuing the Impact of Large-Scale Ecological Change: The Effect of Climate Change on U.S. Timber." *American Economic Review*, September, 88 (4), pp. 686-710.

82. **Terjung, W.H., D.M. Liverman, and J.T. Hayes.** (1984). "Climate Change and Water Requirements for Grain Corn in the North American Plains," *Climatic Change*. 6: 193-220.
83. **Thapa, S., & Joshi, G. R.** (2010). A Ricardian analysis of the climate change impact on Nepalese agriculture.MPRA Paper No. 29785.
84. **Tingem, M., Rivington, M.**, (2009). Adaptation for crop agriculture to climate change in Cameroon: turning on the heat. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 14, 153–168.
85. **Waggoner, P. E., Baldwin, R. L., Crosson, P. R., Drabenstott, M. R., Duvick, D. N., Follett, R. F., ... & Ruttan, V. W.** (1993). Preparing US Agriculture for Global Climate Change. CAST Task Force Rep. 119. Counc. Agric. Sci. Technol., Ames, IA.
86. **Wahl, R. W.** (1989) *Markets for Federal Water: Subsidies, Property Rights, and the Bureau of Reclamation.* Washington, D.C.: Resources for the Future.
87. **Warrick, R.A.** (1984). "The Possible Impacts on Wheat Production of a Recurrence of the 1930's drought in the Great Plains," *Climatic Change*. 6: 5-26.
88. **Williams, L. J., Shaw, D., & Mendelsohn, R.** (1998). Evaluating GCM output with impact models. *Climatic Change*, *39*(1), 111-133.
89. **Wood, S. A., et Mendelsohn, R. O.** (2015). The impact of climate change on agricultural net revenue: a case study in the Fouta Djallon, West Africa. *Environment and Development Economics*, 20(01), 20-36.
90. **Yohe, G.; Neumann, J.; Marshall, P. and Ameden, H.** (1996) "The Economic Cost of Sea Level Rise on U.S. Coastal Properties from Climatic Change." *Climatic Change*, 32(4), pp. 387-410.

Essai 2 : IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES REVENUS AGRICOLES : UNE APPLICATION DU MODELE RICARDIEN A LA COTE D'IVOIRE.

Résumé :

Cette étude analyse l'impact du Changement Climatique sur les revenus des ménages agricoles en Côte d'Ivoire à travers le modèle ricardien. Elle se base sur « l'enquête de vie des ménages » réalisée en 2008 sur 5576 ménages agricoles. L'analyse montre qu'il est primordial d'étudier les impacts du climat en tenant compte des trois zones climatiques ivoiriennes puisque les résultats obtenus avec l'ensemble des ménages ne montrent aucune sensibilité au climat. Par contre, les résultats montrent que la température et la pluie affectent effectivement les revenus des agriculteurs dans le Centre et le Nord. Les scenarios de variations du futur climat montrent aussi une baisse du revenu au Centre et au Nord. Dans le scénario le plus défavorable, c'est-à-dire un réchauffement de 6°C et une baisse des pluies de 20%, le revenu net par hectare baisse d'environ 3 588 000 FCFA pour le centre et environ 31 000 000 FCFA pour le Nord, soit respectivement environ 5470 euros et 47260 Euros. Ces baisses augmenteront le taux de ménages ayant des revenus négatifs de 8 à environ 98%.

Mots clés : Changement Climatique, modèle ricardien, agriculture, zones climatiques, Côte d'Ivoire.

Abstract

This study analyzes the impact of Climate Change on the incomes of agricultural households in Côte d'Ivoire through the Ricardian model. It is based on the "household life survey" carried out in 2008 on 5576 farm households. The analysis shows that it is essential to study the impacts of the climate taking into account the three climate zones of Ivory Coast since the results obtained with all the households show no sensitivity to the climate. On the other hand, the results show that temperature and rain actually affect farmers' incomes in the central and northern regions. The scenarios of future climate variations also show a decline in income in the Center and in the North. In the most unfavorable scenario, ie 6 ° C warming and 20% rainfall, net income per hectare decreases by about CFAF 3 588 000 for the center and about 31 000 000 FCFA for the North, ie approximately 5470 euros and 47260 Euros respectively. These decreases will increase the rate of households with negative incomes from 8 to about 98%.

Keywords: Climate change, Ricardian model, agriculture, climatic zones, Côte d'Ivoire.

1. Introduction.

L'Agriculture en Côte d'Ivoire occupe environ 66% de la population active et contribue à hauteur de 70% aux recettes d'exportation. Cette agriculture ivoirienne est composée principalement de deux types de culture : les cultures industrielles et vivrières. Pour les premières, le binôme café-cacao domine les exportations avec 40% des recettes et représente 20% du PIB.[20] Plusieurs cultures vivrières sont également présentes ; les principales sont la banane plantain, le maïs, le riz et l'igname. On estime donc que le revenu de nombreux ménages Ivoiriens dépend de l'Agriculture. La quasi-totalité des ménages qui pratiquent l'activité agricole se trouve en zone rurale, qui arbore un taux de pauvreté de 56,8% en 2015 suivant l'Institut National de la Statistique (INS) de Côte d'Ivoire.

Cette forte proportion de l'Agriculture dans l'économie ivoirienne induit un niveau de vulnérabilité d'une grande partie de la population ivoirienne face aux changements climatiques. Par exemple, les études de Guehi, (2000) et Brou et al., (2005) sur la perception et les réponses des paysans face aux Changements Climatiques indiquent qu'il y'a une modification du calendrier agricole en plus des difficultés de l'accès à l'eau du fait de la longueur des saisons sèches accentuée dans le Nord du pays.

De plus, la Côte d'Ivoire est caractérisée par un climat particulier ponctué par trois zones climatiques définies dans la littérature climatologique (Kouassi et al., (2007)). De ce fait étudier l'impact du climat sans tenir compte de ces zones pourrait créer un biais puisque les cultivateurs ne font pas face aux mêmes réalités climatiques. Il serait donc intéressant de voir s'il y'a une différence entre le fait d'observer l'impact du climat sans tenir compte de ces zones climatiques ou non.

L'évaluation de l'impact des changements climatiques sur l'Agriculture a fait l'objet de nombreuses approches ces dernières années. En ce qui concerne la Côte d'Ivoire, les approches utilisées pour estimer un potentiel impact des Changements climatiques sur l'Agriculture se sont plutôt basées sur des méthodes essayant de mettre en lumière la perception et les réponses des paysans face aux Changements Climatiques (Guehi, G. (2000) ; Brou,Y.T. et al., (2005)) et aussi sur les rendements agricoles (Brou,Y.T. et al., (2003) ; Yao, N.R. et al., (2013)). Ce pays n'a donc jamais bénéficié d'étude observant les variations du climat sur les revenus de ses agriculteurs.

Pourtant, une des méthodes les plus utilisées pour évaluer l'impact du changement climatique est le modèle ricardien (Mendelsohn et al, (1994)) **;** il se présente potentiellement comme un bon outil qui

[20]Source : Direction des statistiques, de la documentation et de l'informatique du ministère de l'agriculture, 2005

permet de mesurer directement comment les revenus agricoles se comportent face aux changements climatiques et peut nous indiquer comment le bien être des agriculteurs changera devant plusieurs scenarii d'évaluation du futur climat.

La littérature nous révèle que de nombreuses applications du modèle ricardien ont été effectuées sur plusieurs pays Africains, non compris la Côte d'Ivoire, bien que faisant partie des pays dont l'économie est basée sur l'Agriculture. Il nous parait donc important de vérifier d'abord si les revenus des agriculteurs ivoiriens peuvent être touchés par le changement climatique mais aussi en tenant compte de la spécificité et de la diversité du climat en Côte d'Ivoire. Cette étude est donc une contribution importante aux travaux existants.

2. Revue de la littérature[21].

Il existe aujourd'hui 3 méthodes d'évaluation de l'impact des Changements Climatiques sur l'Agriculture : les modèles agronomiques, le modèle ricardien traditionnel utilisant les coupes instantanées et les études avec données de panel que nous pouvons qualifier de « pseudo ricardien » (Blanc et Reilly, (2017)). Massetti et Mendelsohn (2017) ajoutent à ces trois groupes les expériences contrôlées en laboratoire qui sont des cultures faites dans des endroits où l'on isole soigneusement l'effet de la température et du CO_2 sur les rendements. **(**Adams, Cockshull, et Cave, 2001).

Le modèle agronomique ou « fonction de production » s'intéresse à l'évaluation de l'impact des Changements Climatiques sur les rendements agricoles. Deux variantes de cette méthode ont été développées : l'approche de « région comparable » qui examine les changements potentiels dans les zones climatiques favorables à des cultures particulières, et l'approche de « croissance de culture » qui analysent les effets du changement climatique sur les rendements des cultures.

La première option (Newman, (1980) ; Carter, Porter, et Parry, (1991) ; Rosenzweig, (1985) ; Eswaran et Van den Berg, (1992) ; Leemans et Solomon, (1993) ; Leemans et Solomon, (1993**)** consiste à observer si des régions qui sont préalablement propices à des cultures ne le seront plus après un changement climatique ou si certaines qui n'étaient pas favorables le seront plus tard. Les travaux utilisant cette approche concluent généralement que le changement climatique projeté modifierait considérablement les modèles régionaux de production des cultures**.**

Les modèles de croissance, par contre, incorporent des données quotidiennes sur la température, les précipitations, le rayonnement solaire et (souvent) le dioxyde de carbone atmosphérique, ainsi que des données sur les sols. Les résultats de ces types d'études (Warrick, (1984) ; Terjung, Liverman et Hayes, (1984) ; Robertson et al., (1987) ; Ritchie, Baer et Chou,

[21]Cette section est présente au cas où l'essai est lu de manière autonome. Cependant, le lecteur qui a déjà lu l'essai 1 peut passer directement à la suite.

(1989) ; Peart et al., (1989)ont généralement conclu que le changement climatique entraînerait un déclin des rendements des cultures.
Ces deux approches du modèle agronomique vont connaitre des développements pour mieux prendre en compte l'adaptation au niveau des agriculteurs ; il s'agit de modèles agronomiques sur une région spécifique (Parry, Carter et Konijn, (1988) et à l'échelle mondiale (Rosenzweig, et Parry, 1994).

Darwin et al, (1995) font deux critiques concernant la manière dont l'adaptation des agriculteurs est prise en compte dans les modèles agronomiques. Primo, l'utilisation de changements de rendement pour simuler la façon dont les agriculteurs du monde entier sont susceptibles de réviser leurs pratiques de production en réponse au changement climatique est un processus quelque peu arbitraire et qu'il y a la possibilité d'avoir un nombre infini de réactions d'adaptations potentielles ave les modèles de croissance des cultures. De plus, les réponses face aux changements du climat que les agriculteurs choisiront seront celles qui seront économiquement viables.

Secundo, ces auteurs notent que les effets induits par le climat sur la disponibilité de l'eau et la répartition des terres adaptées à l'agriculture ont été omis dans le cadre d'études mondiales antérieures, ce qui a pour conséquence la négligence de deux grands mécanismes d'adaptations à savoir l'utilisation de ressources en eau plus abondantes pour l'irrigation ou l'expansion vers de nouvelles zones agricoles propices à l'agriculture. Ils vont donc proposer une approche, qui relie les conditions climatiques aux ressources en terre, en eau et à la production, au commerce et à la consommation d'une dizaine de produits de base à travers le monde. Cette intégration des ressources en terres et en eau leur permet de simuler la façon dont le changement climatique affecte la disponibilité de terres agricoles appropriées, ce qui permettra aux facteurs économiques de déterminer la nature et l'étendue des réponses adaptées aux changements climatiques par les agriculteurs.

A la différence de la proposition de Darwin et al. (1995) pour plus d'adaptation dans le modèle agronomique, Mendelsohn et al, (1994) vont faire une nouvelle proposition de l'évaluation de l'impact des changements climatiques sur l'agriculture qui tient aussi compte de l'adaptation mais en rompant totalement avec l'évaluation des rendements agricoles. Ces derniers, tout en reconnaissant l'originalité des modèles « fonction de production » leur reprochent fondamentalement de ne pas prendre en compte de façon claire l'adaptation des fermiers et suggèrent donc leur nouvelle approche : il s'agit du modèle Ricardien.
Selon cette approche ricardienne, l'approche agronomique ignore l'adaptation faite par les fermiers au fur et à mesure, devant les changements de température et/ou de pluie et même

économiques, comme s'ils agissaient de façon stupide. Il s'agit du scenario du « fermier stupide » (« *the dumb-farmer scenario* » en anglais) (Mendelsohn et Dinar 1999).
Le modèle ricardien, qui se base sur l'intuition de David Ricardo, à cause de l'observation originale selon laquelle la valeur de la terre peut refléter sa productivité nette, utilise une approche statistique simple qui relie la valeur de la terre ou valeur monétaire de la production ou revenu aux variables climatiques telles que la température et la pluie. Le revenu net représente donc la dernière variable observable chez le fermier qui contient toutes les adaptations possibles que ce dernier ait pu effectuer face aux effets des changements climatiques. Et ce modèle utilise une approche en coupe transversale ou coupe instantanée pour évaluer l'impact marginal de la température et les précipitations sur les revenus agricoles.

Le modèle ricardien a subi de façon générale trois critiques à savoir la non prise en compte de l'irrigation (Cline, (1996)) ; Fisher et Hanemann, (1998) ; Darwin, (1999) ; Schlenker et al., 2005), la non fiabilité de l'hypothèse de constance des prix (Cline, (1996)) et l'adaptation sans coût (Quiggins et Horowitz, 1999). Cependant, la critique qui remet en cause de façon méthodologique le modèle ricardien est celle portée par Deschênes et Greenstone, (2007**)** qui reprochent au modèle ricardien traditionnel en coupe instantanée de ne pas être stable dans le temps. Ils optent pour une évaluation avec données de panel. Ils utilisent donc des données de panel, qui ont pour avantage la présence de plusieurs années sur plusieurs zones différentes (villes, provinces etc). On peut donc cerner comment le climat (ou les variations intertemporelles) agit sur les revenus agricoles en tenant à la fois compte de plusieurs années avec une large variabilité spatiale.

A partir de cette proposition, et selon les critiques subies, plusieurs autres articles utiliseront des données de panel pour ce type d'étude (Massetti et Mendelsohn, (2011a,b) ; Leonor et al., 2015 ; Galindo et Reyes, (2015) ; Blanc et Schlenker, (2017).

Les trois approches d'évaluation des changements climatiques sur l'Agriculture, que sont les modèles agronomiques pionniers, le modèle ricardien traditionnel utilisant les coupes instantanées et le modèle ricardien avec données de panel, utilisent des méthodologies différentes pour les évaluations.

Des études empiriques récentes continuent de s'appuyer sur les modèles pionniers agronomiques pour évaluer les effets des changements climatiques sur l'Agriculture mondiale en général et sur l'Afrique en particulier. Roudier et al., (2011) font un résumé intéressant de 16 études sur l'Afrique utilisant le modèle agronomique. Le bilan général de ces études est que l'impact prévu sera négatif pour l'Afrique de l'Ouest.

Plusieurs études ont émergé du modèle ricardien en l'adaptant plus ou moins à chaque région. La littérature empirique est très fournie surtout pour les pays en développement ou émergents en général, et ceux de l'Afrique en particulier.

Nous avons Kumar et Parikh, (1998, 2001) qui ont travaillé sur l'Inde ; Mendelsohn et Dinar (1999) sur le Bresil et l'Inde ; Seo et Mendelsohn (2008), Thapa et Joshi, (2010), Mendelsohn et al., (2010) sur le Népal, le Mexique, les fermes d'Amérique du sud.

En ce qui concerne le continent Africain, de nombreuses analyses de l'impact des changements climatiques sur l'Agriculture ont eu aussi recours au modèle ricardien. On peut distinguer parmi elles deux types d'études. Le premier s'est intéressé au continent Africain dans sa globalité. Dans cette catégorie, l'une des plus importantes a été celle de Kurukulasuriya et Mendelsohn (2008a). Le second type d'étude exploitant le modèle ricardien pour l'Afrique s'est focalisé sur des régions Africaines spécifiques précises à plus ou moins petites échelles. Une dizaine d'essais ont été donc effectués. L'une des premières études concernant l'intérieur des terres Africaines est celle de Deressa et al. (2005). Des analyses du même genre ont été aussi faites sur l'Egypte (Eid et al., 2007), la Zambie (S. Jain, 2007), le Kenya (Kabubo-Mariara et Karanja, 2007) , le Zimbabwe (Mano et Nhemachena, 2007) , sur le Cameroun (Molua et Lambi, 2007) , sur le Maghreb (Nefzi, A. et Bouzidi, F., 2009), le Burkina-Faso (Ouedraogo, M. , 2012) , et sur le Fouta Djallon (Wood et Mendelsohn, 2014).

Par ailleurs, Blanc et Reilly (2017) mentionnent que les économistes préfèrent les approches en coupe instantanée et de panel puisqu'elles prennent en compte l'expérience actuelle des fermiers et considèrent aussi l'« optimisation» (le fait que les fermiers vont utiliser toutes les méthodes nécessaires pour maximiser leurs revenus) qui est faite par ces derniers en plus de leur réponse face aux risques (notamment les incertitudes liées au climat).

Cependant, la Côte d'Ivoire contrairement à d'autres pays Africains (susmentionnés) n'a jamais bénéficié d'études avec le modèle ricardien ni en coupe instantanée, ni avec données de panel. Cette recherche appliquée est donc une opportunité pour ce pays dont la majorité des habitants vit directement ou indirectement de l'agriculture. Nous optons pour une approche du modèle ricardien en coupe instantanée traditionnelle à cause du manque de données fiables sur plusieurs années qui nous aideraient à utiliser des données de panel.

Il est possible de regrouper pour plusieurs variables importantes sur une seule année les données nécessaires afin d'évaluer l'impact économique des Changements Climatiques sur l'Agriculture en Côte d'Ivoire.

Une innovation apportée à notre analyse empirique en coupe instantanée consiste à considérer différentes zones climatiques pour la Côte d'Ivoire. En effet, dans l'utilisation de modèle

ricardien, les estimations sont faites, généralement, de façon « globale » ; plus précisément, pour un pays par exemple, un coefficient unique est déterminé pour expliquer l'impact actuel du climat sur le revenu des paysans. Ouédraogo (2012) à l'instar de plusieurs travaux sur l'Afrique, utilisent cette méthode. Or la Côte d'Ivoire bénéficie de façon générale d'un climat non uniforme sur son territoire. Il convient donc d'estimer plusieurs équations différentes selon les zones afin d'avoir selon chaque zone un coefficient qui expliquera le revenu net propre à chaque zone climatique.

3. Méthodologie

3.1.Les déterminants du climat ivoirien.

La Côte d'Ivoire est située en Afrique de l'Ouest aux coordonnées 9°-0° Ouest et 4°-11°Nord. Sa superficie est de 322 462 km^2. Elle est caractérisée par trois zones climatiques qui sont le résultat de trois phénomènes importants à savoir le Front Intertropical (FIT), le Jet d'Est d'Afrique Occidentale et le relief. [22]

D'abord, le FIT est le lieu de convergence en Afrique Occidentale en général et en particulier en Côte d'Ivoire de la Mousson (masse d'air humide venant de l'océan atlantique au Sud) et de l'harmattan (masses d'air sec venant du Sahara au Nord). La région est donc tout au long de l'année soumise aux fluctuations du FIT.

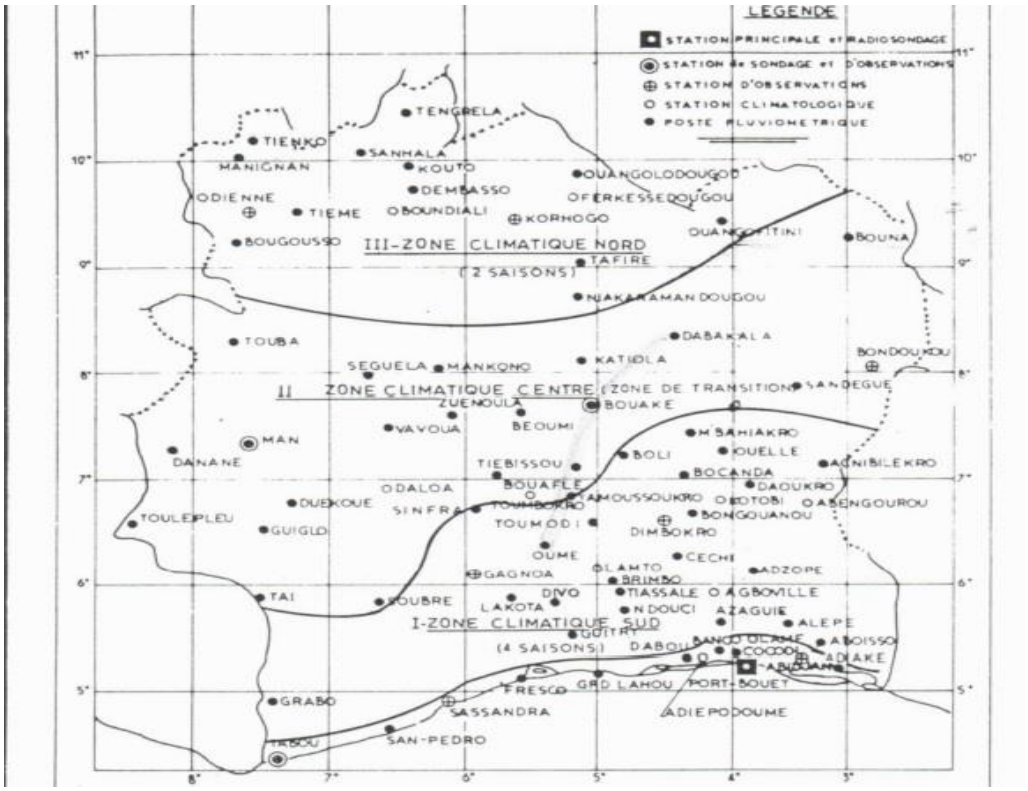
Ensuite, l'un des déterminants du climat ivoirien est un facteur d'ordre météorologique lié à la circulation générale de l'atmosphère modifiant le régime pluviométrique quant à la répartition et à l'intensité des précipitations. Il s'agit du courant d'Est qui circule sur l'ensemble de l'Afrique occidentale dans les couches moyennes de l'atmosphère. Ce noyau d'Est présente un noyau de vents forts appelé par les météorologistes Jet d'Est d'Afrique Occidentale.

Enfin, le dernier déterminant des zones climatiques en Côte d'Ivoire est le relief qui a une influence directe sur la répartition et la quantité des précipitations. Dans le détail, pour expliquer les anomalies constatées dans la répartition des pluies en Côte d'ivoire, il faut considérer le relief de toute l'Afrique occidentale. Ainsi, les massifs montagneux de l'Ouest de la Côte d'Ivoire constituent l'avancée orientale d'un vaste ensemble montagneux centré sur la Guinée et désigné par les géographes sous le nom de dorsale guinéenne. Elle a pour principale caractéristique de s'opposer à la pénétration du flux de mousson sur le continent qui a pour conséquence une accumulation de masses nuageuses sur les régions au vent dont l'extrême sud-ouest de la Côte d'Ivoire et le soulèvement des masses d'air sur les régions montagneuses. Cela va occasionner de fortes précipitations dans la zone ouest. Par contre, les régions situées sous le vent de la chaine montagneuse seront moins arrosées, approximativement la zone Nord de la

[22] Les caractéristiques du climat ivoirien et les détails qui suivent sont contenus dans le « Le Climat de la Côte d'Ivoire, ASECNA, Service météorologique (1979) ». Nous faisons ici un résumé.

Côte d'Ivoire. Après les massifs montagneux, à l'Est de la Côte d'ivoire existe une autre dorsale formée par les monts Atakora, la chaine togolaise et le plateau ghanéen d'Ashanti. Cette barrière naturelle s'oppose donc à la pénétration de la mousson (de manière presqu'identique à la dorsale guinéenne) et occasionne de ce fait une forte pluviosité dans le Sud Est de la Côte d'Ivoire

Figure 2.1: Zones climatiques en Côte d'Ivoire basées sur les moyennes de 1961 à 1975



Source : ASECNA (1979). Service Météorologique de Côte d'Ivoire.

3.2.Choix des zones climatiques.

En plus de la brève description du climat ivoirien que nous venons de faire, des études complémentaires ont été faites pour actualiser les positions des zones climatiques. Notre objectif est de voir ce que la littérature récente dit sur ces positions et comment nous pouvons les confirmer par nos propres calculs.

3.2.1. Choix basé sur la littérature.

Les caractéristiques du climat de la Côte d'Ivoire décrites ci-dessus donnent ainsi « naissance » aux trois zones climatiques qui sont soumises à des fluctuations dues à des variations de ces caractéristiques.

Néanmoins, le climat ivoirien, du fait des changements climatiques a évolué. En effet, la figure 2.1 montre le découpage climatique de la Côte d'Ivoire basé sur les normales pluviométriques de 1931 à 1960 et des moyennes pluviométriques de 1961 à 1975.

Comparativement à ce découpage, des travaux plus récents dont celui d'Ochou et al, (2005) puis de Kouadio et al, (2007) donnent le nouveau zonage climatique de la Côte d'Ivoire fondé sur une analyse en composante principales, réalisée sur les données de pluviométrie de la période 1964 à 1997. Ces données proviennent de 22 stations météorologiques de la Côte d'Ivoire.

En comparant les figure 2.1 et 2.2, nous constatons que les zones climatiques même si elles sont toujours au nombre de trois ont varié spatialement. La zone Centre s'est élargie. Par exemple, des villes comme Agboville et Dimbokro appartenant à la zone climatique sud dans le premier zonage climatique se retrouvent dans la zone climatique du centre dans le dernier réalisé.

Nous retenons donc le zonage climatique le plus récent (celui de la figure 2.2) qui est plus proche de la réalité climatique de notre année d'étude.

La figure 2.2 décrit donc les 3 zones climatiques actuelles en Côte d'Ivoire.

La zone Climatique Sud est caractérisée par 4 saisons dont les deux saisons sèches et deux saisons des pluies à savoir

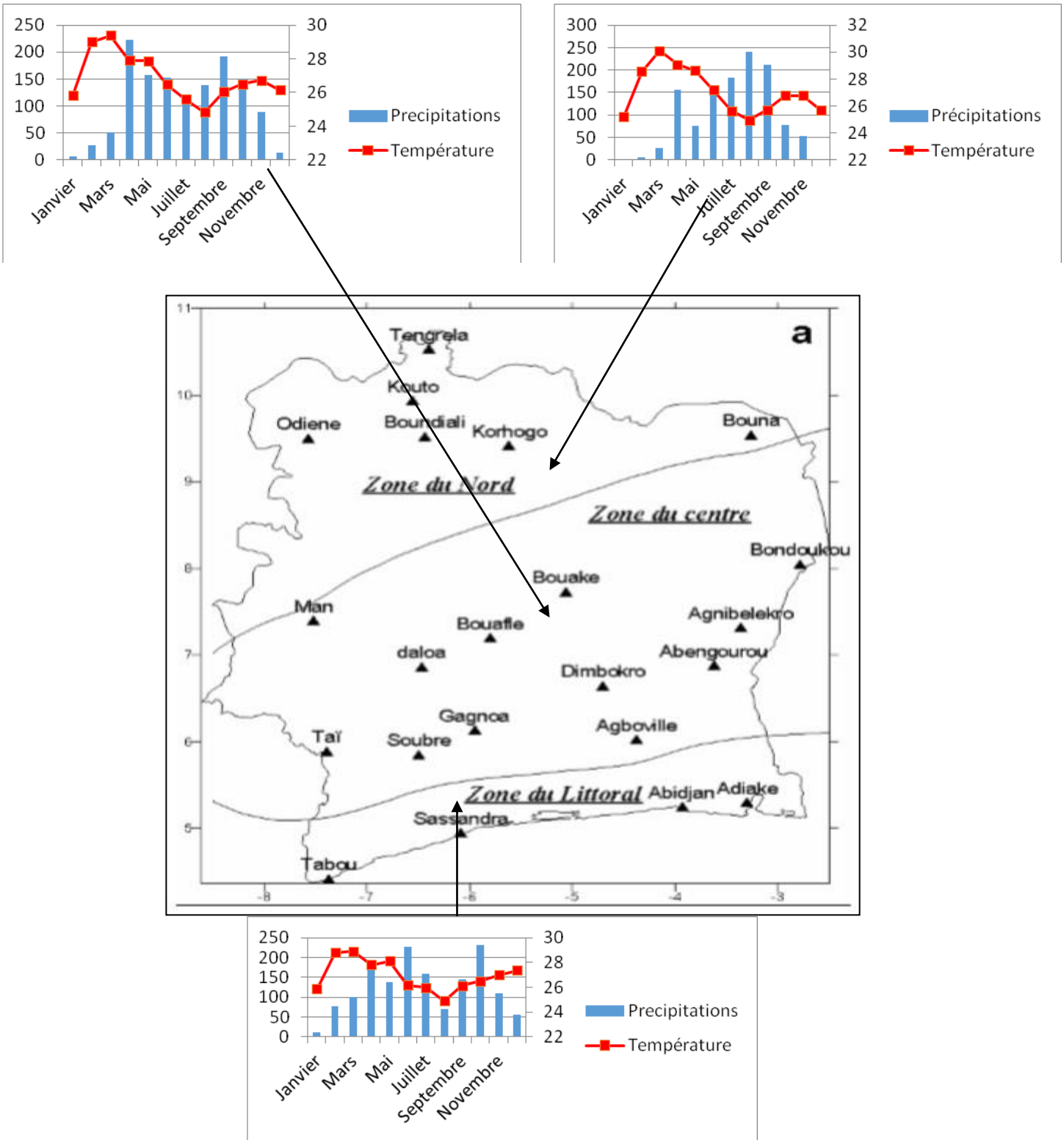
- La grande saison des pluies, de mars à mi-juillet et la petite saison des pluies, de mi-septembre à novembre inclus.
- La grande saison sèche de Décembre à Février inclus et la petite saison sèche de mi-juillet à mi-septembre.

La zone climatique centre ou zone de transition est aussi caractérisée par 4 saisons dont deux saisons de pluies et deux saisons sèches :

- La grande saison des pluies, de mi-mars à mi-juillet et la petite saison des pluies, de mi-août à fin octobre.
- La grande saison sèche de début Novembre à Mi-Mars et la petite saison sèche de mi-juillet à mi-août.

La zone climatique Nord est caractérisée par 2 saisons distinctes avec une seule saison des pluies de mi-avril à octobre inclus et une seule saison sèche de début novembre à mi-avril

Figure 2.2 : Découpage climatique de la Côte d'ivoire et les variations de température et précipitations pour l'année 2007.



Source : Kouadio et al., 2007 et construction des figures à partir des données C.R.U.[23]

[23]Le zonage climatique (carte de la Côte d'ivoire) provient de Kouadio et al, 2007 et les figures de la représentation des données de températures et précipitations de la construction de l'auteur à partir des données C.R.U T.S.3.23(Harris et al., (2014))

Le tableau 2.1 ci-dessus classifie les 57 villes dans lesquelles les ménages ont été enquêtés selon les zones climatiques.

Tableau 2.1 : Villes enquêtées[24] selon les zones climatiques

Zones climatiques	Villes enquêtées	Nombre de ménages
Sud ou littoral	Abidjan, Aboisso, Adiaké, Alépé, Dabou, Grand-Bassam, Grand-Lahou, Jacqueville, San Pédro, Sassandra, Tabou	**635**
Centre	Adzopé, Agboville, Divo, Gagnoa, Lakota, Oumé, Soubré, Tiassalé, Issia, Daloa, Vavoua, Dabakala, Bouaké, Sakassou, Béoumi, Katiola, Abengourou, Agnibilékro, Danané, Man, Bangolo, Yamoussoukro, Toumodi, Tiébissou, M'Bahiakro, Bongouanou, Daoukro, Bocanda, Dimbokro, Bouaflé, Zuénoula, Sinfra, Guiglo, Duekoué, Touleupleu, Bondoukou, Tanda, Séguéla, Mankono.	**4115**
Nord	Korhogo, Ferkéssédougou, Boundiali, Tengrela, Bouna, Odienné, Touba.	**826**

[24]Les enquêtes sur ces villes viennent de l'ENV 2008. La proportion de ménages selon les villes n'est pas du fait de l'enquête (qui est faite indépendamment) mais de la répartition que nous faisons suite à la position de chaque ville selon le découpage climatique obtenu. Ainsi, la zone Centre étant plus large, elle comporte plus de villes enquêtées

3.2.2. Choix basé sur nos propres calculs.

Notre étude se base sur l'année 2007. Nous en donnons la raison plus bas dans la description des données. Il convient d'être sûr que nous avons toujours les mêmes zones climatiques pour l'année 2007 pour s'assurer de la pertinence du découpage climatique à utiliser.

Nous effectuons donc à partir des données de précipitations mensuelles de 2007 une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). La CAH est une méthode de classification itérative utilisée en analyse des données qui consiste à obtenir des regroupements par classe des individus à partir des données. Il y a de façon générale trois étapes en vue d'obtenir une CAH.

La première est de calculer la dissimilarité entre les individus. On mesure le degré de cette dissimilarité par les différences de distance entre les individus. La seconde étape est de rassembler les individus dont le regroupement minimise un critère d'agrégation donné, ce qui crée une classe comprenant ces individus. Enfin, on calcule la dissimilarité entre cette classe et les N-2 autres individus en utilisant le critère d'agrégation. Puis on regroupe les deux individus ou classes d'individus dont le regroupement minimise le critère d'agrégation.

On continue ainsi jusqu'à ce que tous les individus soient regroupés. Dans notre cas, les individus sont les villes enquêtées et les données utilisées pour le calcul des distances sont les données pluviométriques mensuelles de 2007.

Ces regroupements successifs produisent un arbre de classification appelé dendrogramme (voir figure 2.10 en annexe 5) qui permet de visualiser le regroupement progressif des données. On peut alors se faire une idée d'un nombre adéquat de classes dans lesquelles les données peuvent être regroupées

Le dendrogramme nous montre que nous avons 3 grandes classes obtenues. Le tableau suivant reprend les classes obtenues par le dendrogramme.

Tableau 2.2 : Les classes obtenues.

Classe	1	2	3
Objets (Nombres de villes)	11	39	7
Variance intra-classe	23463.215	12937.465	8244.813
Distance minimale au barycentre	70.186	46.304	45.465
Distance moyenne au barycentre	131.379	104.764	81.000
Distance maximale au barycentre	321.100	274.912	132.193
	Abidjan, Aboisso Adiaké, Alépé Dabou, Grand-Bassam, Grand-Lahou, Jacqueville San-Pédro, Sassandra, Tabou	Adzopé, Agboville, Divo, Gagnoa Lakota, Oumé, Soubré, Tiassalé, Issia, Daloa, Sakassou, Béoumi, Katiola, Abengourou, Agnibilékro, Danané, Man, Bangolo, Yamoussoukro, Mankono, Toumodi Tiébissou, M'Bahiakro, Bongouanou, Daoukro, Dimbokro, Bouaflé, Zuénoula, Sinfra, Guiglo, Duekoué, Toulepleu, Boundoukou, Tanda, Seguela	Ferkessédougou Boundiali, Tengrela Bouna Odienné Touba

Nous constatons que les résultats de la CAH confirment ceux de la littérature et donnent 3 zones climatiques avec les mêmes villes étudiées. Cela signifie que 2007 n'est pas une année singulière[25] et que ce découpage se rapproche donc plus de la réalité climatique ivoirienne. Nous pouvons donc effectuer nos régressions séparément avec chacune de ses trois zones.

3.3.Modèle théorique

Notre modèle théorique se base sur le modèle ricardien qui utilise la valeur de la terre comme variable dépendante. (Mendelsohn et al, 1994). Comme le mentionnent Wood et Mendelsohn (2014), les marchés fonciers d'Afrique subsaharienne n'étant pas parfaits, le revenu net est utilisé comme une approximation de la valeur des terres (Kurukulasuriya et al, 2008a). Il est supposé que chaque fermier maximise son revenu sous les contraintes socio-économiques et climatiques.

$$\text{Max R} = \sum_i Pq_i Q_i(X_i, C, S, G) - \sum_i P_{x_i} X_i$$

Où i = 1,…., n

[25]Nous comparons aussi les températures et précipitations moyennes de l'année 2007 sur l'ensemble de la Côte d'Ivoire qui sont respectivement de 26,90° C et 110,8 mm à la température et précipitation moyennes sur les 20 dernières années respectivement de 26,7 et 107,7 mm. L'année 2007 n'est effectivement pas une année singulière.

Où **R** est le revenu annuel des agriculteurs, Pq_i est le prix de la culture i, Q_i, la quantité produite pour la culture i, X_i est l'ensemble des inputs choisis par l'agriculteur en l'occurrence les pesticides, les semences, les engrais, et le travail salarié, ***C*** les facteurs climatiques à savoir la température et les pluies, ***S*** les variables socioéconomiques, ***G*** les types de sol et $P_x$le coût des inputs.

Après avoir calculé le revenu net nous calculons ensuite le revenu net par hectare :

$$Rha = \frac{R}{\sum Sup_i} \quad (1)$$

où Sup_i est la superficie utilisée pour chaque culture i. Ce revenu net par hectare est donc régressé sur les variables climatiques et les autres variables.

$$Rha = B_0 + B_1 C + B_2 C^2 + B_3 S + B_4 G + u \qquad (2)$$

3.4.Modèle empirique

Dans notre cas d'étude, le revenu net par hectare est aussi régressé selon le modèle ricardien conformément à l'équation (2) sur les variables climatiques (température et pluie) et les autres variables (socioéconomiques, sols etc).

$$Rha_i = B_0 + B_1 C_i + B_2 C_i^2 + B_3 Mo_i + B_4 Nat_i + B_5 G_i + u \qquad (3)$$

i représente les zones climatiques, *Mo* le nombre de personnes embauchées dans l'exploitation par hectare, *Nat* une variable muette qui indique la nature de l'exploitation selon qu'elle est moderne ou traditionnelle. Elle prend la valeur 1 lorsque la ferme est moderne et 0 lorsqu'elle est traditionnelle. *G* est une variable muette qui détermine le sol dominant dans une zone climatique et u le terme de l'erreur. B_0 est la constante, $B_{i,i=1...5}$, les différents coefficients à estimer.

Selon la procédure utilisée par Kurukulasuriya et Mendelsohn (2008a), nous déterminons au point moyen : l'impact marginal de la température et la pluie.

$$E\left[dRha_i / dc_i\right] = b_{1,i} + 2b_{2,i} E\left[c_i\right] \qquad (4)$$

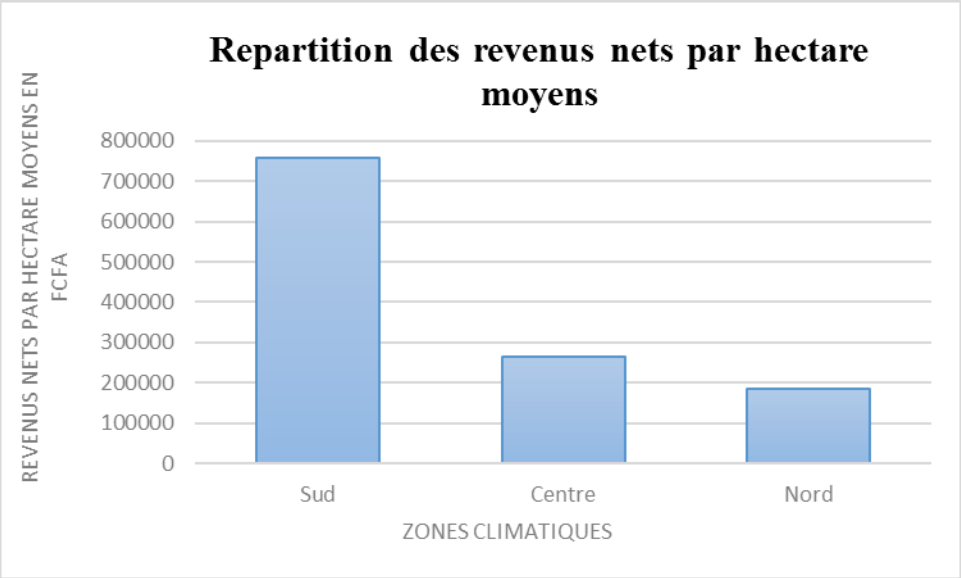
Le terme quadratique reflète la relation non linéaire qui existe entre les variables climatiques et les revenus.

3.5.Description des données

3.5.1. La variable dépendante.

Le **Revenu net par hectare** est le quotient du revenu net par les superficies cultivées. Le revenu net est le revenu brut moins les coûts de la main d'œuvre salariée, des engrais, des semences et des insecticides. Ce dernier provient des données d'enquête de la base ENV 2008 (Enquête sur le Niveau de Vie des Ménages) de la Côte d'Ivoire faite d'une enquête de l'Institut National de la Statistique (INS). Les revenus bruts et les autres variables permettant de calculer les revenus nets ont été prélevés auprès de 5576 ménages agricoles dans 57 villes réparties comme suit par zone : 635 pour le Sud, 4115 pour le centre et 826 ménages pour le Nord. Il faut préciser aussi que lors de ces enquêtes, les ménages dans chaque ville sont tirés aléatoirement dans les communes et villages qui leur sont proches.

Figure 2.3 : Répartition des revenus nets par hectare moyens par zones



Comme l'indique la figure 2.3, le revenu net moyen par hectare est plus élevé dans le Sud du pays suivi du centre et enfin le Nord. Les chiffres sont récapitulés dans le tableau 2.5.

3.5.2. Les variables climatiques

La température et la pluie sont les variables choisies pour évaluer l'impact des changements climatiques. Elles proviennent des données C.R.U[26] TS 3.23 pour l'année 2007. Les données C.R.U. sont le résultat des données dérivées des observations, générées à travers des processus de spatialisation (Harris et al., (2014))pour l'année 2007 pour chacune des villes enquêtées. Les données C.R.U sont au pas de temps mensuel et à la résolution spatiale de 0,5°x 0,5°.

[26] Climatic Research Unit

Les données climatiques utilisées dans notre modèle sont celles des saisons de pluies (température et précipitation en saison des pluies). En effet, quelle que soit la zone, le revenu des agriculteurs dépend de la période des récoltes et celle-ci dépend exclusivement de la saison des pluies en cours. L'enquête ENV 2008 ayant publié ses résultats en Juin 2008, les réponses que donnent les agriculteurs concernant leurs revenus dépendent donc de la saison des pluies de l'année précédente 2007.

Plus précisément, pour la température au Sud et au centre, nous calculons une moyenne globale des températures durant les saisons des pluies. Par exemple, nous avons au Sud 2 saisons des pluies (grande et petite saison des pluies respectivement de mars à mi-juillet et de Mi-Septembre à Novembre inclus) et au Centre, une grande et petite saison des pluies (respectivement de mi-mars à mi-juillet[27] et de mi-août à fin octobre) ; Nous calculons donc pour chacune de ces 2 zones une température moyenne représentant leurs saisons des pluies. La zone du Nord a seulement une seule saison des pluies dont nous calculons simplement la moyenne, (de mi-avril à octobre inclus).

Nous utilisons une seule moyenne de température des saisons de pluies au Sud et au centre pour éviter des problèmes de forte corrélation entre les différentes moyennes de chaque saison. (tableau 2.3)

Tableau 2.3 : Moyennes des températures par saison des pluies et corrélations dans les zones Sud et Centre.

	Température moyenne pendant la grande saison des pluies	**Température moyenne pendant la petite saison des pluies**	**Coefficient de Corrélation**
Sud (11 observations)	26,8	26,5	0,99
Centre (39 observations)	26,9	25,9	0,96

Le tableau 2.3 nous montre donc une forte corrélation entre les températures des différentes saisons au Sud (0,99) et au centre (0,96), ce qui nous conforte dans le fait d'utiliser une moyenne globale de température des saisons des pluies.

Concernant les précipitations, nous utilisons le cumul des précipitations mensuelles des saisons des pluies par zone.

L'ensemble des données climatiques utilisées est récapitulé dans le tableau 2.5.

[27] Nous utilisons les mois complets.

3.5.3. La main d'œuvre salariée par hectare

C'est le nombre de personnes rémunérées travaillant sur l'exploitation agricole en dehors des membres du ménage. On obtient la main d'œuvre salariée à l'hectare par une simple division de nombre de personnes employées par la superficie cultivée.

3.5.4. Les sols.

En nous basant sur la Carte pédologique de la Côte d'Ivoire (1960)[28], nous déterminons pour chacune des 57 villes dans lesquels les ménages ont été enquêtés le type de sol correspondant. Nous avons selon cette carte environ 7 types de sols en Côte d'Ivoire. Il s'agit des sols ferralitiques, les ferrisols, les sols ferrugineux tropicaux, les sols bruns tropicaux des régions humides, les sols peu évolués du cordon littoral, les sols hydromorphes et les sols minéraux bruts. Ses grandes catégories de sols sont composées de plusieurs sous-groupes. Nous déterminons donc pour chacune des villes le sous-groupe auquel il appartient (tableau 1.5 ci-dessous) et nous en trouvons 15.

Pour utiliser ces variables de sols dans nos régressions, nous créons des variables indicatrices du type de sol dominant dans chaque zone climatique. Par exemple, pour le Nord, nous avons 4 sous-groupes de types de sols dont un qui domine la majorité des villes de cette zone. Ainsi, nous créons une variable indicatrice « Sol dominant » regroupant les villes concernées par ce sol. La variable prendra la valeur 1 sur les villes appartenant à la même famille pédologique et la valeur 0 quand il s'agira des villes n'ayant pas le type de sol dominant. Evidemment, la valeur 0 des autres types de sols regroupe des sols potentiellement différents. Nous utilisons quand même une seule indicatrice à cause du faible nombre de villes pour le Sud et le Nord. Pour le centre, l'exception est faite car nous avons 2 types de sols différents et un nombre de villes largement supérieur à celui du Sud et du Nord. L'objectif de l'introduction d'une indicatrice de type de sols est d'observer si cette dernière n'influence pas le revenu des ménages agricoles.

[28] La carte en annexe 1, figure 2.9.

Tableau 2.4 : Villes et sols correspondants.

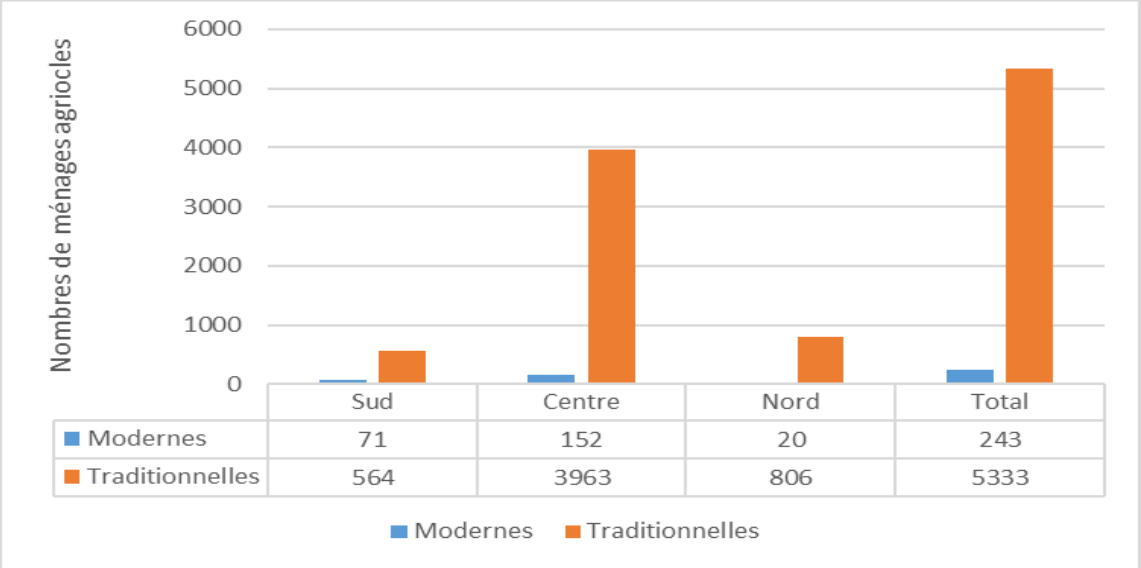
Zones climatiques	Villes enquêtées et sols correspondants		Sols dominants (1/0)
	Villes	**Sols**	
Sud ou littoral	Adiaké14 [29] Dabou12 Sassandra12	14.Sols hydromorphes minéraux sur alluvions fluviatiles, avec hydromorphie temporaire et partielle de surface temporaire / 12.Sols hydromorphes organiques/hydromorphie totale permanente (tourbes forestières et sols de mangroves)	1
	Abidjan 2 Alépé 2	2.Tertiaires sédimentaires sur roches ferralitiques très lessivés	0
	Grand-Bassam9, Grand-Lahou9, Jacqueville 9	9.Sols peu évolués du cordon littoral(sables marins profonds)/ Sols hydromorphes/ Sols hydromorphes minéraux (sur sables littoraux anciens, avec hydromorphie de profondeur et mouvement vertical de la nappe (podzols de nappe avec alios humique)	0
	Aboisso7, , San Pédro 7, Tabou 7	7.Sols ferralitiques très lessivés sur roches précambriennes	0
Centre	Dabakala5 Bondoukou5 Tanda5 Béoumi6,Katiola6 Yamoussoukro6 Zuénoula6 Mankono6 Bouaké11, Sakassou11 Tiébissou11, Toumodi13, Séguéla13	5.Sols ferrugineux tropicaux/ Sols lessivés à concrétion/ 6.Sols ferrugineux tropicaux/ Sols de la zone de transition (ferrisols-sols ferrugineux tropicaux) / Répartition égale ou mal connue. / 11. Sols ferrugineux tropicaux/ Sols de la zone de transition (ferrisols-sols ferrugineux tropicaux) /Ferrisols dominants. / 13. Sols ferrugineux tropicaux/ Sols de la zone de transition(ferrisols-sols ferrugineux tropicaux)/Sols ferrugineux tropicaux dominants.	1
	Issia4 ,Abengourou4, Bongouanou4, Adzopé 1, Agboville1, Soubré7 Danané7, Bangolo7, Guiglo7, Duekoué7, Touleupleu7, Divo8, Gagnoa8, Lakota8, Daloa8, Man10,	4.Sols ferralitiques moyennement lessivés sur roches schisteuses, 1. Sols ferralitiques moyennement lessivés sur roches granitiques, 7. Sols ferralitiques très lessivés sur roches précambriennes, 8. Sols ferralitiques moyennement lessivés sur roches granitiques. 10. Sols ferralitiques montagnards sur roches granitiques à hypersthène.	1
	Oumé3, Vavoua3, Agnibilékro3, M'Bahiakro3,Daoukro 3,Bocanda3, Dimbokro3, Bouaflé3, Sinfra 3,	3.Ferrisols /précambrien métamorphique (schistes , roches vertes et volcaniques)	0
	Tiassalé 14	14. Sols hydromorphes minéraux sur alluvions fluviatiles, avec hydromorphie temporaire et partielle de surface temporaire.	0
Nord	Korhogo,6 Boundiali6, Tengrela6, Odienné6	6. Sols ferrugineux tropicaux/ Sols de la zone de transition (ferrisols-sols ferrugineux tropicaux).,	1
	Ferkéssédougou,13 Bouna5, Touba.15	13. Sols ferrugineux tropicaux/ Sols de la zone de transition (ferrisols-sols ferrugineux tropicaux) /Sols ferrugineux tropicaux dominants. 5. Sols ferrugineux tropicaux/ Sols lessivés à concrétion. 15. Sols ferrugineux tropicaux/ Sols de la zone de transition(ferrisols-sols ferrugineux tropicaux)/Ferrisols de type " montagnard" dominants/ Sur cuirasse ferrugineuse ou bauxite ancienne/(Précambrien métamorphique (schistes, roches vertes) et volcaniques(dolérites))	0

Source : Auteur, à partir de la Carte pédologique

[29] Les chiffres devant chaque ville correspondent au type de sol.

3.5.5. La nature de l'exploitation : La nature de l'exploitation donne l'information selon laquelle la ferme est traditionnelle (valeur 0) ou moderne (valeur1). Nous ne pouvons connaitre exactement toutes les caractéristiques de la ferme traditionnelle ou moderne dans le cadre de nos données. Seulement, ces termes peuvent signifier que, pour les fermes modernes, le ménage dispose certainement de machines ou de l'irrigation alors que c'est le contraire pour les fermes des ménages agricoles traditionnels. Elle provient aussi de la base de données ENV 2008.

Figure 2.4 : Répartition de la nature des exploitations agricoles selon les zones climatiques en Côte d'Ivoire



Source : Auteur à partir de la base de données ENV, 2008

Au regard de la figure 2.4 ci-dessous, les fermes sont essentiellement traditionnelles soit environ 95,6% contre 4,3% de fermes modernes des 5576 ménages enquêtés. Ce qui traduit le fait que les ménages agricoles ne disposent pas en général de moyens modernes. De ce fait, nous effectuerons nos régressions sur l'ensemble des ménages (modernes et traditionnelles) et avec deux autres variantes, à savoir respectivement avec les fermes traditionnelles uniquement et les fermes modernes uniquement sauf pour le nord qui présente un nombre trop faible d'observations pour les fermes modernes. L'objectif est d'observer si ce faible taux de fermes modernes influence le revenu net par hectare ou si cela est indifférent.

Tableau 2.5 : Récapitulatif des statistiques des données utilisées.

Zones Climatiques	Variables	Observations	Moyenne	Ecart-Type	Minimum	Maximum
Sud	Revenu net par hectare en FCFA/ha.	635	757642.8	4733161	-30000000	82000000
	Température moyenne des saisons des pluies (en °C)	11	26.74094	0,45	25,9	27.31
	Température moyenne des saisons des pluies au carré	11	715,28	24,02	670,81	746,20
	Précipitations cumulées des saisons des pluies (en mm)	11	1026,32	154,14	790,9	1302,1
	Précipitations cumulées des saisons des pluies au carré	11	1087657	324515	625523	1700000
	Nombre de personnes pour la main d'œuvre salariée par hectare	635	3,09	15,84	0	300
	Type de sols dominants (1/0)	635				
	Nature de l'exploitation (1/0)	635				
Centre	Revenu net par hectare en FCFA	4115	260593	1612059	-13000000	31000000
	Température moyenne des saisons des pluies (en °C)	39	26,38	0,54	24,67	27,25
	Température moyenne des saisons des pluies au carré	39	696,23	28.5533	608,67	742,95
	Précipitations cumulées des saisons des pluies (en mm)	39	1141.28	124.396	961,9	1635,6
	Précipitations cumulées des saisons des pluies au carré	39	1302741	302811.6	925252	2700000
	Nombre de personnes pour la main d'œuvre salariée par hectare	4115	3,9	10.34	0	114.28
	Type de sols dominants 1 (1/0)	4115				
	Type de sols dominants 2 (1/0)	4115				
	Nature de l'exploitation (1/0)	4115				
Nord	Revenu net par hectare en FCFA	826	179997.9	1092879	-833333	20000000
	Température moyenne de la saison des pluies (en °C)	7	27,08	0,5	26,18	27,98
	Température moyenne de la saison des pluies au carré	7	733,88	27,53	685,69	783,2
	Précipitations cumulées de la saison des pluies (en mm)	7	1066,11	88,74	856,8	1186,7
	Précipitations cumulées de la saison des pluies au carré	7	1145258	175385.1	734106	1400000
	Nombre de personnes pour la main d'œuvre salariée par hectare	826	4,02	8,33	0	100
	Type de sols dominants 1 (1/0)	826				
	Nature de l'exploitation (1/0)	826				
Base totale	Revenu net par hectare en FCFA	5576	305258.9	2160844	-30000000	82000000
	Température moyenne de la saison des pluies (en °C)	57	26,52	0,59	24,67	27,98
	Température moyenne de la saison des pluies au carré	57	703.98	31.15	608,67	783,2
	Précipitations cumulées de la saison des pluies (en mm)	57	1117,05	130,54	790,9	1635,6
	Précipitations cumulées de la saison des pluies au carré	57	1254918	301412.3	625523	2700000
	Nombre de personnes pour la main d'œuvre salariée par hectare	5576	4,07	12,61	0	400
	Type de sols dominants 1,2,3,4 (1/0)	5576				
	Nature de l'exploitation (1/0)	5576				

3.6.Les différentes estimations

Les zones climatiques ayant des caractéristiques différentes, nous voulons aussi nous assurer qu'il n'y a pas de corrélation trop forte entre les températures moyennes des saisons des pluies et les précipitations cumulées à l'intérieur de chaque zone. Les calculs des corrélations entre la température et la pluie nous permettent de déterminer s'il faut estimer les variables climatiques dans la même équation ou estimer des variantes différentes. Nous faisons cette remarque pour éviter les problèmes de convexité dans la relation « revenu-climat » détectés par Quiggin et Horowitz (1999) dans sa critique du modèle ricardien, qui serait due à des problèmes de multicolinéarité entre les variables climatiques. En plus, nous effectuons une régression avec l'ensemble des données en empilant toutes les villes pour une unique estimation sans tenir compte des zones climatiques comme cela se fait dans la plupart des études utilisant le modèle ricardien. L'objectif est d'observer si cette estimation nous permettra d'obtenir aussi des relations revenu – climat et éventuellement des relations différentes.

3.6.1. Estimation par zones.

3.6.1.1.Zone Sud

Le calcul des corrélations entre la température moyenne des saisons des pluies et le cumul des précipitations est de 0,08. Il y a donc une corrélation très faible qui garantit une indépendance de ces deux variables climatiques d'intérêt.

Nous effectuons donc une estimation du revenu net par hectare avec toutes les variables climatiques.

3.6.1.2.Zone Centre

La corrélation dans cette zone est de -0,61 qui est une corrélation moyenne ou modérée. Nous effectuons donc une estimation avec trois variantes. La première est l'estimation avec les températures uniquement. La seconde avec les précipitations uniquement, la dernière avec toutes les variables climatiques.

3.6.1.3.Zone Nord.

La corrélation dans le Nord est de -0,93, ce qui traduit une corrélation très forte. Il n'est donc pas indiqué d'effectuer une régression avec toutes les variables climatiques. Nous estimons donc deux variantes pour le Nord. La première avec les températures uniquement et la seconde avec les précipitations uniquement.

3.6.2. Estimation avec l'ensemble du pays.

Comme indiqué plus haut, nous effectuons aussi une estimation unique avec toutes les villes. La corrélation entre la moyenne des saisons des pluies et les précipitations cumulées pour

l'ensemble des villes est de -0,58. Une estimation avec trois variantes est faite comme dans la zone centre.

Il convient aussi de noter que pour les cas où les variables de températures et précipitations sont utilisés en même temps, qu'il est possible d'insérer une variable d'interaction température-précipitation (température x précipitation). Cependant, comme le mentionne Schlenker et Roberts, (2009), après avoir estimé les modèles présentant des interactions entre la température et la pluviométrie, ces modèles ne permettent pas de prédire les rendements (c'est ce qu'ils utilisent puisqu'ils sont dans l'optique des modèles dit agronomiques) en dehors de l'échantillon de manière significativement supérieure à celle du modèle additivement séparable (c'est-à-dire des modèles avec températures et précipitations additionnés dans le même modèle que nous utilisons dans certaines zones). On peut donc retenir qu'utiliser une variable d'interaction sera difficile à utiliser pour les simulations qui sont faites à partir des résultats obtenus après les estimations.

4. Résultats et interprétations.

4.1.Résultats après estimations[30]

Après la détection d'hétéroscédasticité dans toutes les régressions par les tests de Breusch-Pagan, (1979), nous les corrigeons par l'estimateur de la matrice variance covariance de White, (1980)[31].

Les estimations par les Moindres Carrés Ordinaires (MCO) donnent les résultats suivants :

[30] Les tableaux des estimations sont présentés en Annexe3. Les estimations ont été faites par bootstrap avec 100 réplications. Nous employons un bootstrap à cause du fait que nous utilisons pour différents ménages issus de la même villle une seule valeur de la variable climatique. De ce fait, effectuer une estimation avec plusieurs tirages aléatoires avec remise nous permet d'obtenir des estimateurs plus précis. Cette méthode a été aussi utilisée par Massetti et mendelsohn (2011b).

[31] Les tests effectués sont présentés en Annexe 2.

Tableau 2.6 : Résultats après estimation sur échantillon entier.*(Avec fermes modernes et traditionnelles.) *** 1% de significativité** 5% de significativité*

Variables	Sud ou littoral	Centre			Nord		Total		
		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 1	Variante 2	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Température moyenne de la saison des pluies	**-2457759**	**5041016****		**4985528****	**$4{,}60.10^{7}$*****		**3030306**		**3247173**
Température moyenne de la saison des pluies au carré	**43692,59**	**-96006,91****		**-94568****	**-851928,5*****		**-57584,83**		**-61098,4**
Précipitations cumulées des saisons de pluies	**-3656593**		**3202,02****	**3414,58****		**7960,67*****		**1124,4**	**647,4**
Précipitations cumulées des saisons de pluies au carré	**17,22473**		**-1,34****	**-1,32****		**-3,5****	**-0,39**	**-0,13**	
Main d'œuvre salariée par hectare	**27029,61**	**39154,36*****	**38873,85*****	**39380,56 *****	**13199,32****	**13715,17****	**32128,37*****	**32013,98*****	**32137,9*****
Nature de l'exploitation (Moderne=1/ traditionnelle=0)	**209299,2**	**-154366,5**	**-142811,6**	**-168522,1 ****	**-108083,8**	**-170364,9****	**86449,08**	**77407,08**	**63382,2**
Type de sols dominant Sud (Dom=1, Non dom. =0)	**-1057952**								
Type de sol dominant 1 Centre (Dom=1, Non dom=0)		**-75849,5**	**-59818,59**	**-67535,65**			**-299458,4*****	**-291375,6*****	**-304360,4*****
Type de sols dominant 2 Centre (Dom. =1, Non dom. =0)		**111044,1**	**91825,62**	**80462,88**			**-135344,3**	**-175784,4**	**-177012,7**
Type de sol dominant Nord (Dom. =1, Non dom. =0)					**-767539,6*****	**-434152,6*****	**-394891,2 *****	**-411340,7*****	**-421910,7*****
Constante	**$5{,}41.10^{7}$**	**$-6{,}61.10^{7}$****	**-1816914**	**$-6{,}78.10^{7}$****	**$-6{,}20.10^{8}$*****	**-4063871 *****	**$-3{,}95.10^{7}$****	**-421131,2**	**$-4{,}33.10^{7}$**
N	**635**	**4115**	**4115**	**4115**	**826**	**826**	**5576**	**5576**	**5576**
R^2	**0,0256**	**0,0631**	**0,0638**	**0,0647**	**0,041**	**0,040**	**0,038**	**0,038**	**0,039**

Tableau 2.7 : Résultats après estimation sur fermes traditionnelles uniquement.

Variables	Sud ou littoral	Centre			Nord		Total		
		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 1	Variante 2	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Température moyenne de la saison des pluies	**$1{,}42.10^{8}$**	**4672088****		**4554775****	**$4{,}73.10^{7}$*****		**2094214**		**2051186**
Température moyenne de la saison des pluies au carré	**-2660035**	**-88705,67****		**-86034,16****	**-875289*****		**-38416**		**-37280,3**
Précipitations cumulées des saisons de pluies	**-8810,87**	**3500,66****	**3786,73****			**8222,482*****	**872,8**	**762,3**	
Précipitations cumulées des saisons de pluies au carré	**4,48**		**-1,48****	**-1,47****		**-3,62*****	**-0,4**	**-0,25**	
Main d'œuvre salariée par hectare	**29807,53**	**41154,02*****	**40895,86*****	**41413,85 *****	**13144,67**	**13764,1****	**34531,7 *****	**34410,7*****	**34534,5*****
Type de sols dominant Sud (Dom, =1, Non dom. =0)	**-721434**								
Type de sol dominant 1 Centre (Dom. =1, Non dom. =0)		**-81764,06**	**-66885,79**	**-71994,71**			**-251928,7*****	**-263234,2*****	**-258064,7*****
Type de sols dominant 2 Centre (Dom. =1, Non dom. =0)		**118704**	**96426,48**	**87372,34**			**-48863,8**	**-89668,3-74037,05**	
Type de sol dominant Nord (Dom. =1, Non dom. =0)					**-782836,4 *****	**-441433,8*****	**-377997,1 *****	**-370745,7*****	**-395444,5*****
Constante	**$-1{,}89.10^{9}$**	**$-6{,}14.10^{7}$****	**-1991666****	**$-6{,}26.10^{7}$****	**$-6{,}37.10^{8}$**	**-4191425*****	**$-2{,}82.10^{7}$-178643**	**$2{,}84.10^{7}$**	
N	**564**	**3963**	**3963**	**3963**	**806**	**806**	**5333**	**5333**	**5333**
R^2	**0,055**	**0,0688**	**0,0689**	**0,0698**	**0,061**	**0,041**	**0,058**	**0,058**	**0,059**

Tableau 2.8 : Résultats après estimation sur fermes modernes uniquement.

Variables	Sud ou littoral	Centre			Total		
		Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 1	Variante 2	Variante 3
Température moyenne de la saison des pluies	**-4,40.10^{8}**	**6818092**	**9253477**		**1,48. 10^{7}4023606**		
Température moyenne de la saison des pluies au carré	**8237868**	**-131868,4**	**-177845,2**		**-308731,9**		**-99856,3**
Précipitations cumulées des saisons de pluies	**40378,5**		**-401,69**	**409,39**	**18288,5**	**9950,4**	
Précipitations cumulées des saisons de pluies au carré	**-18,58**		**0,38**	**0,10**	**-5,32**	**-3,35**	
Main d'œuvre salariée par hectare	**-28326,54**	**-34997,9**	**-35531,28**	**-34525,86**	**-39233,7**	**-39993**	**40007,1**
Type de sols dominant Sud (Dom. =1, Non dom. =0)	**-1223440**						
Type de sol dominant 1 Centre (Dom. =1, Non dom. =0)		**181437,3**	**289041,1**	**173923,5**	**-1588877**	**-690650,7**	**-1381492**
Type de sols dominant 2 Centre (Dom. =1, Non dom. =0)		**-22990,71**	**-10950,07**	**-131966,1**	**-1861988**	**-1879549**	**-2019680**
Type de sol dominant Nord (Dom. =1, Non dom. =0)					**-982996,6**	**-847006,3**	**-934718,7**
Constante	**5,87.10^{9}**	**-8,79.10^{7}**	**45873,55**	**-1,21.10^{8}**	**-1,74.10^{8}**	**-1,25.10^{7}**	**-4,16.10^{7}**
N	**71**	**152**	**152**	**152**	**243**	**243**	**243**
R^2	**0,046**	**0,21**	**0,21**	**0,22**	**0,032**	**0,024**	**0,033**

4.2.Interprétations des résultats.

Les résultats que nous venons d'obtenir sont instructifs sur quatre points de façon générale. Premièrement, nous observons que les estimations avec les fermes modernes quelque soient les zones, la base globale et toutes les variantes ne sont pas significatives pour nos variables d'intérêt, c'est-à-dire les températures et les précipitations. Cela nous indique que les fermes modernes ne sont pas sensibles au climat. Il se peut qu'elles possèdent un système d'irrigation ou de drainage qui ne les rendent pas dépendantes du climat.

Deuxièmement, les estimations avec la base globale (qui ne tient pas compte des zones climatiques) ne montrent aucune significativité de nos variables d'intérêt qu'on soit dans l'ensemble de l'échantillon, dans les fermes traditionnelles ou modernes uniquement. Or nous remarquons que le Centre et le Nord sont sensibles aux températures et aux précipitations dans l'échantillon total et aussi pour les fermes traditionnelles. Ce constat nous montre que si l'on estime le modèle ricardien sans tenir compte des zones climatiques, il peut arriver que cela masque les sensibilités de certaines zones particulières.

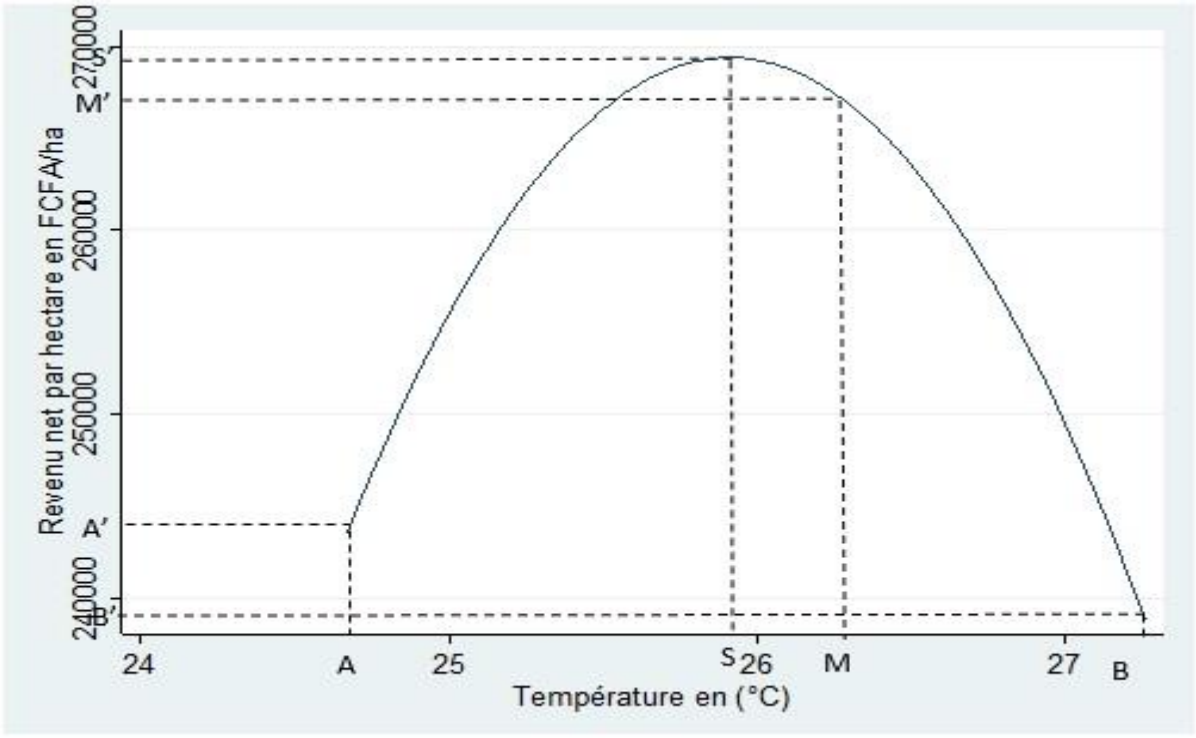
Troisièmement, les estimations dans la zone Sud ne sont pas significatives dans tous les cas de figure. Deux interprétations possibles peuvent être données. La première est que le Sud ou Littoral est constitué de villes « lagunaires » dont l'agriculture bénéfice largement de ses plans d'eau sans compter la forte pluviométrie en présence. La seconde est que sur la base de notre échantillon, la zone sud est celle qui bénéficie d'un plus grand pourcentage de fermes modernes (soit environ 11% par rapport à l'ensemble des fermes du Sud contre environ 2,7 et 2,4% respectivement pour le Centre et le Nord). Ces deux causes qui ne sont certes pas exhaustives peuvent expliquer la non-sensibilité des fermes du Sud aux variables climatiques.

Quatrièmement, la main d'œuvre salariée est significativement positive dans le Centre, le Nord et la base globale. Cela signifie que plus la main d'œuvre par hectare augmente, plus le revenu net par hectare augmentera quelque soient les cas de figure. Les types de sols sont significativement négatifs pour le centre et le Nord pour l'échantillon total de toutes les fermes et pour les fermes traditionnelles uniquement. Les sols dominants dans le Nord et le Centre, relativement au sol dominant du sud choisi comme référence diminuent le revenu net par hectare et semblent donc ne pas être assez propices de façon générale pour l'agriculture. Ce résultat n'est pas étonnant d'autant plus que d'un point de vue agronomique, les sols ferrugineux qui dominent ces zones Centre et Nord ont une fertilité très basse.

En plus, la longue saison sèche impose des conditions culturales assez contraignantes, c'est-à-dire qu'il faut cultiver des plantes à cycle court et résistantes à la chaleur comme le maïs ou le sorgho. (Dabin et al, 1960)

Plus précisément, nos variables d'intérêt sont significatives dans le Centre et le Nord. Dans le **centre**, avec l'échantillon total et traditionnel et quelques soient les variantes, la température et son terme quadratique sont significatifs respectivement avec des signes positifs et négatifs ; ce qui traduit une relation concave entre le revenu net par hectare et la température. La figure 6 nous montre que le revenu net par hectare augmente lorsque la température augmente et atteint son maximum à 25,9°C avant de baisser.

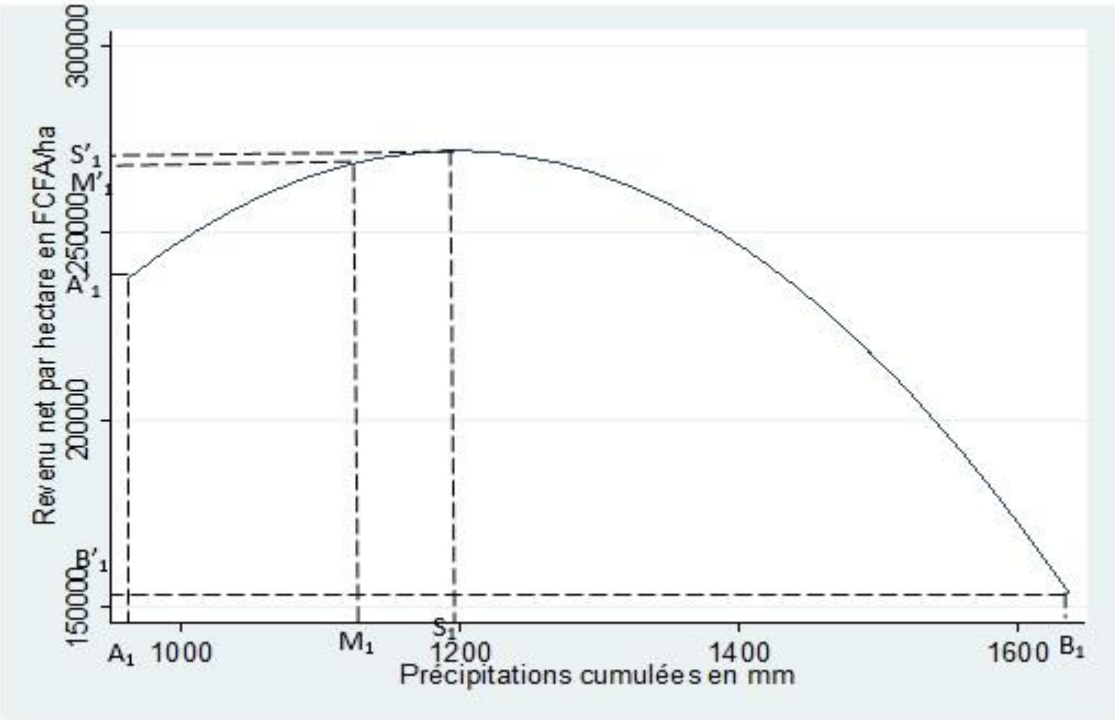
Figure 2.5 : Fonction de réponse de la température pendant les saisons de pluies au Centre



Sur la figure 2.5, A, M, S et B représentent respectivement la température minimale de l'échantillon, la température moyenne, la température à laquelle le revenu est maximal, et la température maximale de l'échantillon. A', M', S et B' représentent respectivement le revenu net atteint avec la température minimale, le revenu à la température moyenne, le revenu maximal et le revenu atteint à la température maximale

De même, dans le centre, avec l'échantillon total et traditionnel et quelques soient les variantes, la précipitation et son terme quadratique sont significatifs respectivement avec des signes positifs et négatifs traduisant aussi une relation concave entre le revenu net par hectare et les précipitations. La figure 2.6 nous montre aussi que le revenu net par hectare augmente lorsque les précipitations augmentent, atteignant son maximum à environ 1197 mm avant de baisser.

Figure 2.6 : Fonction de réponse des précipitations pendant les saisons de pluies au Centre

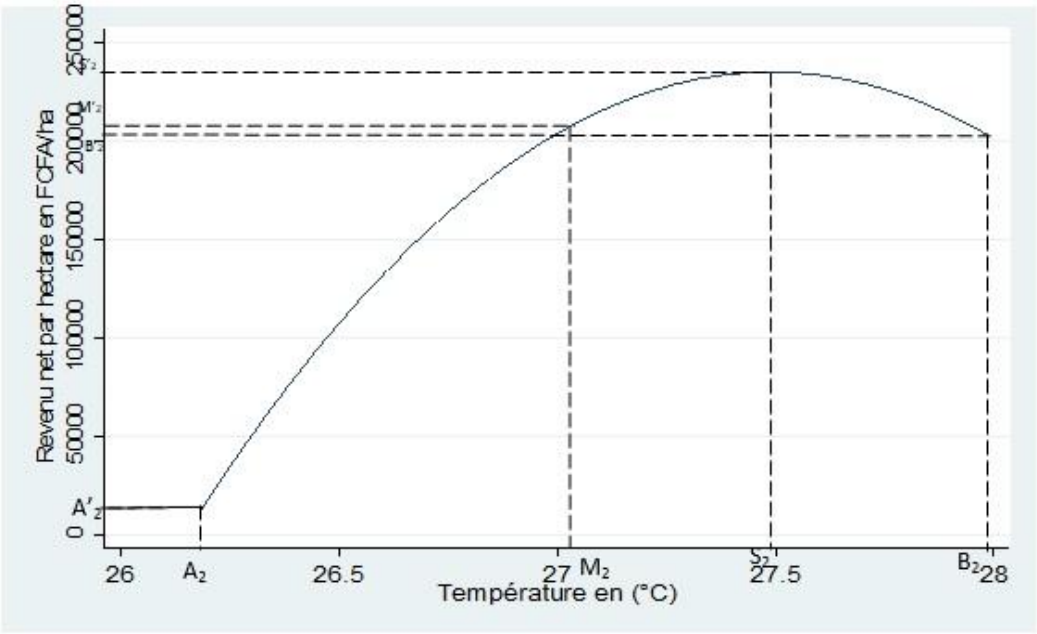


Sur la figure 2.6, A_1, M_1, S_1 et B_1 représentent respectivement les précipitations minimales de l'échantillon, les précipitations moyennes, les précipitations auxquelles le revenu est maximal, et les précipitations maximales de l'échantillon. A_1', M_1', S_1' et B_1' représentent respectivement le revenu net atteint avec les précipitations minimales, le revenu aux précipitations moyennes, le revenu maximal et le revenu atteint aux précipitations maximales

Concernant **le Nord**, le résultat est presque identique avec celui du Centre. La température et la pluie sont significatives ainsi que leurs termes quadratiques, respectivement avec des signes positifs et négatifs. Cela traduit aussi qu'il existe une relation concave entre le revenu net par hectare et les variables climatiques dans le Nord.

La figure 2.7 montre la relation entre le revenu net par hectare et la température. Le revenu augmente avec la température avant de baisser à partir d'environ 27,5C.

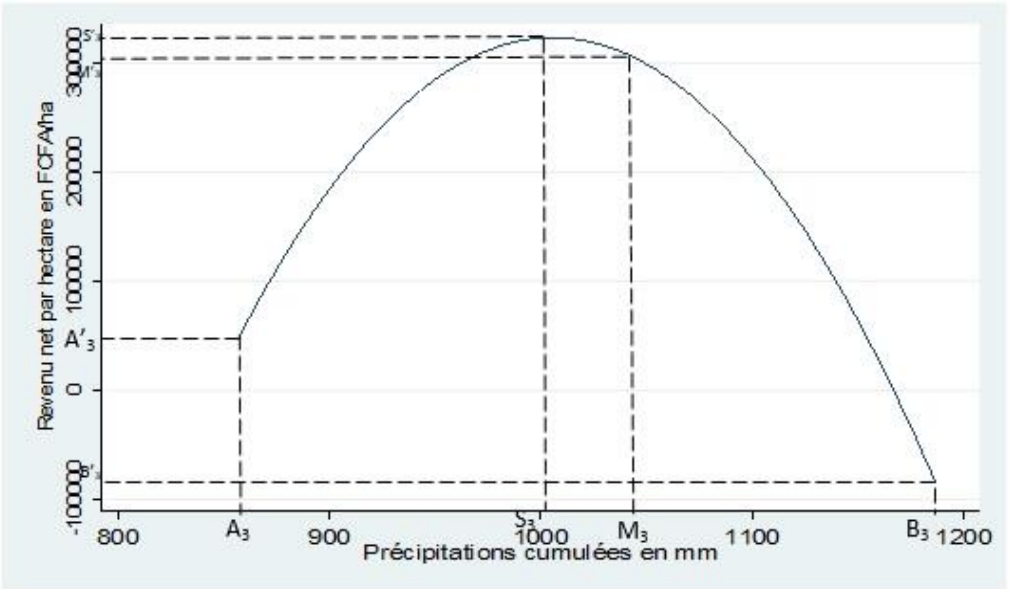
Figure 2.7: Fonction de réponse de la température pendant les saisons de pluies au Nord



Sur la figure 2.7, A_2, M_2, S_2 et B_2 représentent respectivement la température minimale de l'échantillon, la température moyenne, la température à laquelle le revenu est maximal, et la température maximale de l'échantillon. A_2', M_2', S_2' et B_2' représentent respectivement le revenu net atteint avec la température minimale, le revenu à la température moyenne, le revenu maximal et le revenu atteint à la température maximale.

La figure 2.8 montre aussi la relation revenu-précipitation au Nord. Le revenu net par hectare augmente quand les précipitations augmentent jusqu'au maximum d'environ 1003 mm avant de baisser.

Figure 2.8 : Fonction de réponse des précipitations pendant les saisons de pluies au Nord



Sur la figure 2.8, A_3, M_3, S_3 et B_3 représentent respectivement les précipitations minimales de l'échantillon, les précipitations moyennes, les précipitations auxquelles le revenu est maximal, et les précipitations maximales de l'échantillon. A_3', M_3', S_3' et B_3' représentent

respectivement le revenu net atteint avec les précipitations minimales, le revenu aux précipitations moyennes, le revenu maximal et le revenu atteint aux précipitations maximales.

Pour mieux interpréter les résultats significatifs obtenus dans le Centre et le Nord, nous calculons les impacts marginaux des températures et pluies aux points moyens conformément à l'équation (4) et les élasticités[32] du revenu net par hectare aux points moyens par rapport aux températures et aux pluies. Les résultats sont indiqués dans le tableau 2.9 ci-dessous.

Tableau 2.9 : Impact marginal du climat sur le revenu (FCFA/ha) (à partir des coefficients du tableau 2.6de l'échantillon total)

Variables	**Centre[33]**	**Nord**
Températures	-3880**	-141000***
en °C	(-0,39)	(-21,12)
Précipitations	400**	500***
en mm	(1,75)	(2,95)

**** Significativité à 1%, ** 5%, les élasticités sont entre parenthèses.*

Les résultats du tableau 2.9 nous montrent que les températures et les pluies ont respectivement un impact marginal négatif et positif. Par zone, l'impact marginal de la température est plus élevé au Nord qu'au centre. De même, l'impact marginal des précipitations est plus élevé au Nord qu'au Centre. Plus précisément, au centre, lorsque la température augmente en moyenne de 1°C, le revenu net par hectare baisse d'environ 3880 FCFA. Dans le Nord, une augmentation en moyenne de la température de 1°C baisse le revenu net par hectare de 141 000 FCFA. Concernant les précipitations, une augmentation de 1mm des pluies augmente le revenu net par hectare d'environ 400 FCFA au Centre et 500 FCFA au Nord. Le Nord apparait donc comme plus sensible aux variables climatiques que le Centre, du moins aux niveaux des températures et précipitations moyennes. Ce résultat semble cohérent avec la réalité puisque la zone Nord ivoirienne a un climat plus sec avec une grande saison sèche et des sols pas très adaptés à l'agriculture comme nous l'avons mentionné plus haut.

[32] Méthode de calcul en annexe4

[33]Pour le calcul des impacts marginaux au Centre, nous choisissons la variante 3 du tableau 2.6 qui contient à la fois la température et la pluie.

5. Simulation de l'impact du futur Climat sur les revenus nets par hectare.

En se basant sur la méthodologie de Mendelsohn et Kurukulasuriya (2008a) pour mesurer le potentiel impact du futur climat sur les revenus nets avec les scenarios uniformes, nous utilisons les estimations du tableau 2.6 afin de voir comment le changement climatique pourrait affecter le revenu net par hectare. Nous nous appuierons dans notre cas sur un ensemble de scenarios de changement de climat (température et précipitation) utilisé par Sultan et al., (2013) pour l'évaluation de l'impact des changements climatiques sur le mil et le sorgho en Afrique de l'Ouest. Ces auteurs ont utilisé le modèle SARRA-H qui est simulé en prenant comme input des scénarios climatiques qui combinent pour la pluie un intervalle d'anomalie de température entre 0 et +6°C et un intervalle d'anomalie de précipitation entre -20% et +20%.

Les tableaux 2.10 et 2.11 montrent les températures et précipitations moyennes selon les différents scenarios en zones Centre et Nord utilisés dans les calculs de la variation des revenus.

Tableau 2.10 : Températures selon les différents scénarios

Températures	Centre	Nord
Courant	26,38	27,08
+2°C	28,38	29,08
+4°C	30,38	31,08
+6°C	32,38	33,08

Tableau 2.11: Précipitations selon les différents scénarios.

Précipitations	Centre	Nord
Courant	1141,28	1066,11
-20%	913,02	852,88
-10%	1027,15	959,49
+10%	1255,4	1172,72
+20%	1369,53	1279.33

Comme l'indique l'équation 5 ci-dessous, nous calculons la variation du revenu net par hectare due à un changement du climat.

Impact du climat = $\Delta R_{ha} = R_{ha}(C_1) - R_{ha}(C_0)$ (5)

$R_{ha}(C_1)$ représente le revenu net par hectare selon un scénario donné et $R_{ha}(C_0)$ le revenu net par hectare obtenu avec les températures et/ ou précipitations courantes.

Pour le Centre, nous combinons les scenarios de variations de température et de pluies car nous utilisons la variante 3 du tableau 2.6 dans laquelle les variables climatiques sont estimées ensemble. Quant au Nord, nous calculons les variations de revenus séparément car les estimations ont été faites séparément selon les variantes 1 et 2 du tableau 2.6. Nous rappelons aussi que le tableau 2.6 est celui qui estime l'échantillon des fermes traditionnelles et modernes.

5.1.Prédiction dans le Centre.

Tableau 2.12 : Résultat de l'impact du changement climatique sur les revenus nets par hectare (en FCFA) pour le Centre.

Scenario de Variation de la pluie / Scenario de variation de la température.	-20%	-10%	Pas de variation de la pluie	+10%	+20%
Pas de variation de la température	-160 444,8 (79,82)	-63 028,5 (53,77)	Référence[34]	28 639,8291 (2,42)	22 895,9 (2,91)
+2°C	-546 476,2 (95,28)	-449 059,9 (94,41)	-386 031,3 (93,46)	-357 391,5 (92,78)	-363 135,42 (-92,95)
+4°C	-1 689051,5 (97,95)	-1 591 635,3 (97,83)	-1 528 606,7 (97,83)	-1 499 966,9 (97,76)	-1 505 710,8 (97,83)
+6°C	-3588 170,9 (98,68)	-3 490 754,6 (98,68)	-3 427 726 (98,68)	-3 399 086,2 (98,66)	-3404 830,1 (-98,68)

Les résultats du tableau 2.12 nous montrent de façon générale une baisse des revenus nets par hectare dans le Centre qui passent par exemple d'une baisse d'environ 449 000 FCFA à 3 490 000 FCFA pour un scenario de baisse de 10% des pluies et un réchauffement de 2 à 6°C. Dans le pire des scénarios, c'est-à-dire une baisse combinée de 20% des pluies et une hausse de +6°C de la température, les revenus nets par hectare baissent d'environ 3 588 000 FCFA. Pour mieux cerner l'impact du futur changement climatique, nous calculons le taux de ménages qui auront des revenus négatifs par rapport aux observations initiales. L'objectif est d'observer le pourcentage de ménages qui passeront à un revenu négatif compte tenu des différents scénarios. Ces pourcentages sont entre parenthèses dans le tableau 2.12.

Sur la base de nos observations, le taux de fermes négatives pour le Centre est de 8%. En observant le tableau 2.12, nous remarquons que le taux de fermes qui auront un revenu négatif augmentera pour le Centre avec des changements climatiques de plus en plus défavorables. Par

[34]La référence est le revenu net par hectare calculé aux niveaux de température et de pluie moyens sans scenario climatique. Nous présentons dans le tableau 2.15 en annexe 6 les revenus nets par hectare selon les scénarios et le revenu net par hectare de référence qui servent aux calculs du tableau 2.12. Nous le présentons aussi pour le Nord. (Tableaux 2.16 et 2.17, annexe 6)

exemple, pour le pire scénario, c'est-à-dire une hausse de 6°C et une baisse de 20% des pluies, le taux de fermes ayant un revenu négatif passera à 98,68%.

5.2.Prédictions dans le Nord.

Comme indiqué plus haut, nous calculons l'impact du futur climat dans le Nord de façon séparée puisque les estimations, conformément au tableau2.6 ont été faites séparément à cause de la forte très corrélation existant entre la température et la pluie.

Tableau 2.13 : Résultat de l'impact de la température sur les revenus nets par hectare (en FCFA) pour le Nord

Scénarios Température	Variations du Revenu net par hectare
+2°C	-3 688 609 (98,78%)
+4°C	-14 192 646 (99,75%)
+6°C	-31 512 111 (100%)

Selon les calculs du tableau 2.13, nous constatons que les différents scénarios d'augmentation de la température baissent le revenu net par hectare d'environ 3 688 000 à 31 510 000 FCFA respectivement avec des hausses de 2 à 6°C. Ces baisses se traduisent par une augmentation du pourcentage de revenus agricoles qui deviendront négatifs. En effet, sur la base des observations, 12,6% des ménages ont un revenu négatif. Avec les différents scénarios, le taux de ménages ayant des revenus négatifs passera d'environ 98% à 100% pour des réchauffements respectifs de 2 à 6°C. Nous constatons donc que la hausse de la température augmentera le nombre de taux de ménages aux revenus négatifs.

Tableau 2.14 : Résultat de l'impact des précipitations sur les revenus nets par hectare (en FCFA) pour le Nord

Scénarios Précipitations	Variations du Revenu net par hectare
-20%	-265 301 (94,55%)
-10%	-92 873 (82,1%)
+10	13 300 (6,05%)
+20%	-52 957 (68,4%)

Le tableau 2.14 nous montre que pour une baisse de 20% des pluies (qui représente le pire scénario), le revenu net par hectare va baisser d'environ 265 300 FCFA. Il convient de noter qu'une hausse de 10% des pluies va légèrement augmenter le revenu d'environ 13 000 FCFA mais que celui-ci baisse avec une augmentation de 20% des pluies, même si cette baisse ne se fait pas dans les mêmes proportions que le pire scénario. Cette baisse rappelle que le revenu net par hectare peut baisser au-delà un certain seuil d'augmentation des précipitations. Une forte augmentation des précipitations ne garantit pas forcément une hausse des revenus. Les résultats du nord doivent être pris tout de même avec précaution puisque les impacts de la température et de la pluie sont simulés séparément, alors que dans la réalité ils se produiraient simultanément. On retient aussi que dans le Nord, l'impact négatif de la température sera plus fort que celui de la pluie.

Sur la base de ces résultats, nous constatons aussi que le taux de ménages agricoles qui auront leur revenu net négatif sera de 94,55% pour le pire scénario (baisse de 20% des pluies).

Ce taux baissera et passera à environ 82% avec un scénario de baisse de 10% des pluies et à 6% pour un scenario de hausse des pluies de 10%. Nous notons que ce taux augmentera à nouveau (68%) pour une hausse de 20% des pluies. Cela traduit la relation non linéaire entre les revenus et la pluie expliquée plus haut. L'idéal pour les revenus du Nord serait donc une hausse légère des pluies de 10%.

Les résultats présentés ci-dessous montrent qu'il y'aura dans tous les cas de figure des pertes au Centre et au Nord. Il est difficile de procéder à une comparaison des impacts entre le Centre et le Nord puisque les prédictions ne sont pas faites sur la même base. Néanmoins en terme de valeur, le Nord semble plus affecté négativement que le Centre. Par exemple en additionnant les impacts des pires scenarios de température et pluie pour le Nord, on obtient une baisse d'environ 31 777 000 FCFA par hectare. Cette baisse est largement supérieure au pire scénario observé au Centre qui est seulement d'environ 3 588 000 FCFA.

Il est aussi difficile de procéder à une comparaison avec les autres études utilisant le modèle ricardien pour deux raisons. La première est que ces études calculent directement le pourcentage de variation du revenu entre la référence et un scénario climatique. Nous n'utilisons pas ce calcul qui ne nous semble pas pertinent à cause des larges intervalles trouvés dans ces différentes études. Par exemple, Eid et al (2007) sur l'Egypte trouvent des baisses allant de 260% à des hausses de 260% du revenu net. Idem pour Jain et al (2007) sur la Zambie qui trouvent des baisses de 243 à 252% des revenus nets et des gains de 2,5 à 237% des revenus nets. La seconde raison qui nous semble plus pertinente est que les scénarios utilisés dans les différentes études ne sont pas les mêmes, ce qui rend difficile les comparaisons. Néanmoins, nous pouvons effectuer une comparaison avec le résultat d'une étude utilisant un des scénarios proches du nôtre. C'est le cas de l'étude de Deressa et al (2005) dans leur étude sur l'Afrique du Sud qui utilisent un scenario d'augmentation de 2°C de la température et de baisse de 7% des précipitations Ils trouvent une baisse entre 26% et 27% des revenus nets par hectare. Comparé à notre étude sur la base d'un scénario de hausse de 2°C et de baisse de 10% (qui est l'un de nos scénarios), nous obtenons si nous effectuons le calcul de la variation du revenu net par hectare selon ce scénario une baisse de 59,36% du revenu net dans le Centre du Pays qui concentre la majeure partie des ménages étudiés (71%). Sur la base de ce scénario, l'on peut dire que l'impact du changement affectera plus les revenus dans cette zone Centre Ivoirienne que l'Afrique du Sud en général.

6. Conclusion

Cette étude est une analyse en coupe instantanée qui a évalué l'impact des variables climatiques sur le revenu agricole des fermiers ivoiriens dans les 3 zones climatiques de la Côte d'Ivoire à savoir le Sud, le Centre et le Nord, basée sur l'enquête ENV 2008 de 5576 ménages agricoles.

D'abord l'étude a montré qu'estimer l'impact du climat sur l'ensemble de la Côte d'Ivoire sans tenir compte des zones climatiques cache les sensibilités particulières de certaines zones. C'est le cas pour le Centre et le Nord qui sont sensibles à la température et à la pluie notamment avec une plus grande ampleur au Nord. Le Sud n'a montré aucune sensibilité aux différentes variables climatiques.

Ensuite, l'étude prédit des impacts du futur climat sur les revenus des agriculteurs. On peut retenir que les scenarios de hausse de la température et de baisse des pluies affectent négativement le revenu net par hectare des agriculteurs du Centre et du Nord. Les scenarios de hausse de la température et de baisse des pluies dans le pire scénario entraînent une baisse des revenus d'environ 3 588 000 FCFA pour la zone Centre et d'environ et 31 777 000 FCFA pour les ménages au Nord.

Au total, les changements climatiques auront donc des impacts négatifs sur les revenus des ménages agricoles dans la majeure partie du pays. Les résultats obtenus révèlent que les revenus agricoles en Côte d'Ivoire sont plus sensibles à la température qu'à la pluie. Ces résultats sont similaires à ceux de Mendelsohn et Kurukulasuriya (2008a) dans lesquels ils trouvent que les fermes africaines sont plus sensibles aux températures qu'aux pluies.

Deux aspects qui peuvent constituer des limites de notre travail méritent discussions. D'abord, le changement climatique peut faire varier les zones climatiques, ce que nous n'observons pas avec la méthode utilisée. Pour pouvoir prendre cela en compte, nous ne pouvons pas nous contenter des scénarios climatiques que nous utilisons mais partir de sorties de modèles et recalculer des zones climatiques. Les résultats trouvés dépendront des nouvelles zones climatiques dans ce cas. Cette hypothèse pourrait constituer une suite pour des études antérieures.

Ensuite, notre modèle ne fait pas mention du travail non salarié qui peut être fortement présent dans les ménages agricoles ivoiriens. Evidemment, la variable travail non salarié ne figure pas dans nos données mais un proxy tel que le nombre de membre de ménages pourrait être utilisé. Cette variable « travail non salarié » inclurait aussi les personnes travaillant dans le champ qui

ne sont pas rémunérées avec des sommes d'argent mais plutôt par d'autres méthodes propres aux caractéristiques culturelles en présence.

Il est cependant difficile en utilisant le nombre de membres du ménage de mettre une distinction entre ceux qui sont en âge de travailler et qui aident effectivement le ménage et ceux qui ne le sont pas. La présence de la variable de main d'œuvre salariée montre que dans les périodes de récolte, le ménages ont recours à une main d'œuvre supplémentaire, ce qui parait déterminant pour notre étude. Cependant il est possible qu'en incluant le travail non salarié qui implique aussi comme on vient de le mentionner des types de travaux rémunérés autrement que par des sommes d'argent, il est possible que cette variable, difficile à mesurer, aurait pu être significativement positive et susceptible d'augmenter le revenu puisqu'elle diminuera les coûts de production.

Face à cette possible dégradation du niveau de vie des agriculteurs, le gouvernement ivoirien devrait, comme il le fait déjà, continuer à encourager les politiques visant à améliorer les méthodes d'adaptation mais respectueuses de l'environnement.

Normalement, une mise en œuvre adéquate du Programme National de Développement (PND) 2016-2020, de la dernière communication nationale de la CCNUCC et du Programme National d'Investissement Agricole (PNIA 2) qui prévoit d'accentuer les différentes politiques environnementales dont l'atténuation des Gaz à effet de Serre et l'adaptation aux changements climatiques surtout dans le domaine agricole devraient limiter ces différents impacts.

Références bibliographiques

1. **Adams, R.,** (1989)**.** "Global Climate Change and Agriculture: An Economic Perspective." *American Journal of Agricultural Economics*, 71(5), pp. 1272-79

2. **Breusch, T.S., and Pagan, A.R.** (1979). A Simple Test for Heteroskedasticity and Random Coefficient Variation, *Econometrica* 47, 987-1007

3. **Brou Y., N'goran, J., Bigot, S., Servat, E**. (2003). Effect on Cocoa production of variations in rainfall in South-west Côte d'Ivoire. The 14th International Conference on Cocoa Research, Cocoa Producer's Alliance, Accra (Ghana).

4. **Brou,Y., Akindès, F. Bigot, S. (**2005). La variabilité climatique en Côte d'Ivoire : entre perceptions sociales et réponses agricoles. *Cahiers Agricultures*. 2005;14(6):533-540.

5. **Brou, Y.,** (1999). Modification du régime des précipitations et risque de stress hydrique des formations végétales en zone de forêt dense humide ivoirienne. *Les Cahiers Nantais*, (51), 105-115.

6. **Dabin, B., Leneuf, N., Riou, G.,** (1960). Carte pédologique de la Côte d'Ivoire. Note explicative. Secretariat d'Etat à Agriculture-Direction des sols. ORSTOM, Paris.
7. **Deressa, T, Hassan, R & Poonyth, D,** (2005).Measuring the economic impact of climate change on South Africa's sugarcane growing regions. *Agrekon* 44 (4), 524–42.
8. **De Salvo et al.,** (2013)The Ricardian analysis twenty years after the original model: Evolution, unresolved issues and empirical problems. *Journal of Development and Agricultural Economics*Vol. 6(3), pp. 124-13.
9. **Eid, H.M. , El-Marsafawy, S., Ouda, S.A.** (2007).Assessing the economic impacts of climate change on agriculture in Egypt: A Ricardian approach. *World Bank Policy Res. Work. P*. 4293
10. **Gbetibouo, G. A., & Hassan, R. M.** (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.

11. **Guehi, G.** (2000) « Impacts des changements climatiques dans les différentes zones climatiques de l'Afrique de l'Ouest en zone sub-humide : Cas de la Côte d'Ivoire » Direction de la météorologie nationale.

12. **Harris, I., Jones, P.D., Osborn, T.J. and Lister, D.H.** (2014), Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology* 34, 623-642

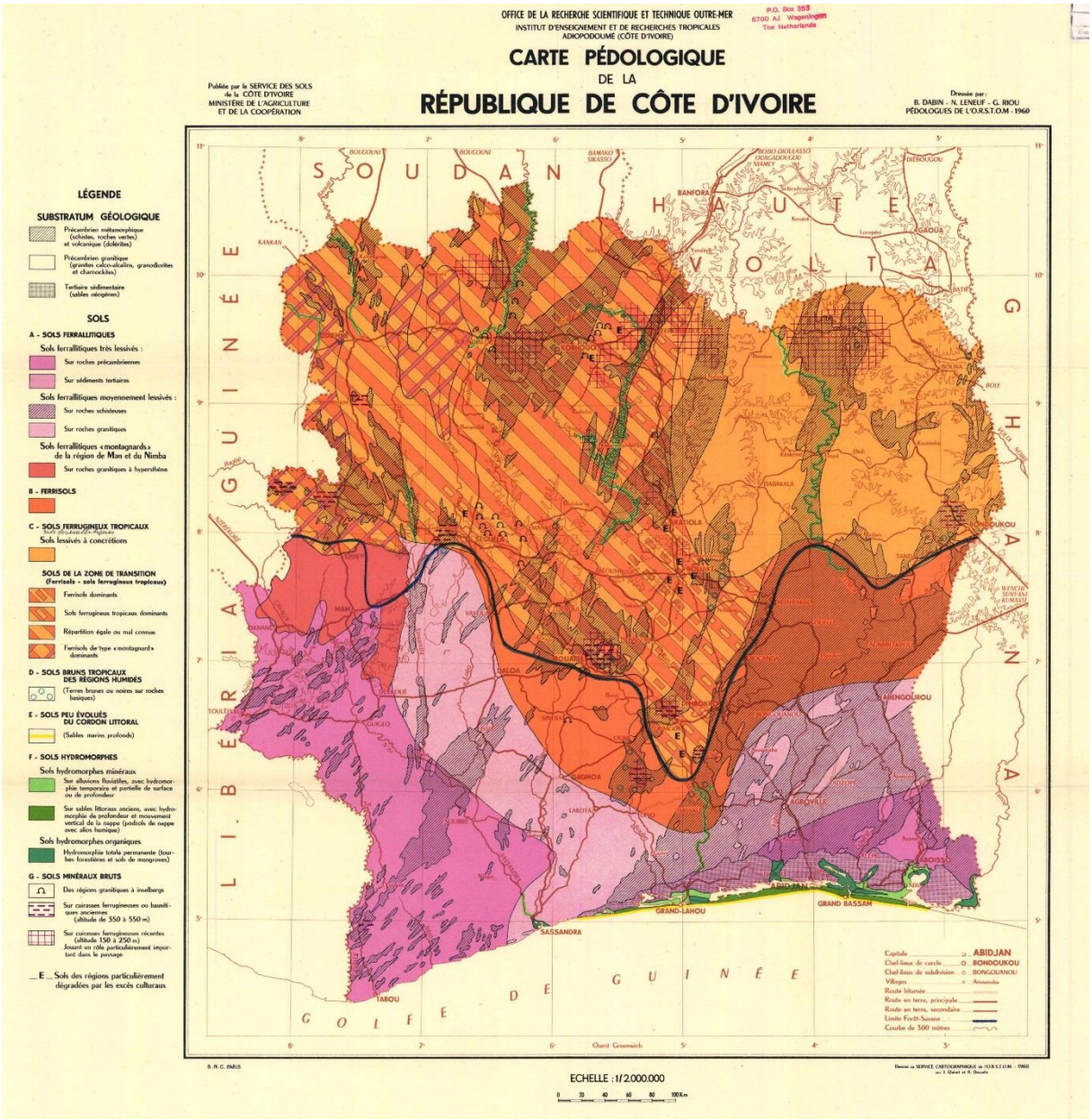
13. **Jain et al.,** (2007)**.** An empirical economic assessment of impacts of climate change on agriculture in Zambia. *World Bank Policy Res. Series Work. P*. 4291.
14. **Kabubo-Mariara, J., Karanja, F.K** (2007).The economic impact of climate change on Kenyan crop agriculture: A Ricardian approach. *World Bank Policy Res. Series Work*. P. 4334.
15. **Kane, S., Reilly, J. and Tobey, J.** (1991).Climate Change: Economic implications for world Agriculture. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 17(1): 195-204 Copyright 1992 Western Agricultural Economics Association
16. **Kouadio, K. Y., Ali, K. E., Zahiri, E. P., Assamoi A. P. (**2007**).** Étude de la prédictibilité de la pluviométrie en Côte D'ivoire durant la période de Juillet à Septembre. *Revue. Ivoirienne des Sciences et Technologies, 10 (2007) 117 – 134 ISSN 1813-3290*
17. **Kumar, K., Parikh, J.** (1998).Climate change impacts on Indian agriculture: The Ricardian approach. *World Bank Technical* P. 402, World Bank, Washington, DC.
18. **Kumar, K. & Parikh, J,** (2001).Indian agriculture and climate sensitivity. *Global Environmental Change* 11, 147–54
19. **Kurukulasuriya, P. et Mendelsohn, R.,** (2008)A Ricardian analysis of the impact of climate change on African cropland. *Afr. J. Agric Res. Econ.* 2:1-23
20. **Mano R, Nhemachena C** (2007).Assessment of the economic impacts of climate change on agriculture in Zimbabwe: A Ricardian approach. World Bank Development Research Group, Sustainable Rural and Urban Development Team, *Policy Research Working P*. 4292.
21. **Mendelsohn R, Christensen P, Arellano-Gonzalez J** (2010).The impact of climate change on Mexican agriculture: A Ricardian analysis. *Env. Dev. Econ*. 15:153-171.
22. **Mendelsohn R. et Dinar A.,** (1999)."Climate Change, Agriculture, and Developing Countries: Does Adaptation Matter?", *The World Bank Research Observer,* 14 (2), pp. 277–93.
23. **Mendelsohn, R. Nordhaus, W. & Shaw, D.** (1994).The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis. *American Economic Review* 84, 753–771.
24. **Molua, E. Lambi, C.M.** (2007).The economic impact of climate change on agriculture in Cameroon. World Bank Development Research Group, Sustainable Rural and Urban Development Team. *Policy Res. Work. P*. 4364.
25. **Nefzi, A., & Bouzidi, F.** (2009). Evaluation de l'impact économique du changement climatique sur l'agriculture au Maghreb. Cinquième colloque international Hammamet Tunisie : Énergie, changement climatique et développement durable.

26. **Nguettia et al.,** (2013).Etude de la Vulnérabilité agricole face aux changements climatiques en Côte d'Ivoire. Rapport final PNUD.
27. **Ochou, A.D. ; Aman, A., Kouadio, Y.K., Assamoi, P**. (2005).**«** Nouveau zonage climatique basé sur la variabilité pluviométrique de la Côte d'Ivoire et du Ghana. **»** *Revue de Géorgraphie tropicale et d'Environnement, n°5*, EDUCI 2005
28. **Ouedraogo, M.** (2012). Impact des changements climatiques sur les revenus agricoles au Burkina Faso. *Journal of Agriculture and Environment for International Development* (JAEID), 106(1), 3-21.
29. **Parry, M., & Carter, T.** (1988). The assessment of effects of climatic variations on agriculture: aims, methods and summary of results. In The impact of climatic variations on agriculture (pp. 11-95). Springer Netherlands.
30. **Quiggin, J. and Horowitz, J. K.** (1999) The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis: Comment. *American Economic Review*, 89 (4), pp. 1044-45.
31. **Rosenzweig, C. et Parry, M.L.,** (1994).Potential impact of climate change on world food supply. *Nature* 367, 133–8.
32. **Schlenker, W., and Roberts, M.J.** (2009). Nonlinear temperature effects indicate severe damages to US crop yields under climate change. Proceedings of the National Academy of sciences, 106(37), 15594-15598.
33. **Seo, N. et Mendelsohn, R. (**2008**).** An analysis of crop choice: Adapting to climate change in South American farms. *Ecological Economics* 67. 109 – 116
34. **Skjeflo, S.** (2013). Measuring household vulnerability to climate change—Why markets matter. *Global environmental change*, 23(6), 1694-1701.
35. **Sultan, B., Roudier, P., Quirion, P., Alhassane, A., Muller, B., Dingkuhn, M., & Baron, C.** (2013). Assessing climate change impacts on sorghum and millet yields in the Sudanian and Sahelian savannas of West Africa. *Environmental Research Letters*, 8(1), 014040.
36. **Thapa, S., & Joshi, G. R**. (2010). A Ricardian analysis of the climate change impact on Nepalese agriculture.MPRA Paper No. 29785.
37. **White, H.** (1980). « A heteroskedasticity-Consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroskedasticity » *Econometrica* 48, 817-838
38. **Wood et Mendelsohn,** (2014)**.** The impact of climate change on agricultural net revenue: a case study in the Fouta Djallon, West Africa Environment and Development Economics, page1of17. Cambridge University Press 2014

Annexes.

Annexe 1 : Carte pédagogique

Figure 2.9 : Carte pédologique de la Côte d'Ivoire. (ORSTOM, 1960)



Annexe 2 : Les régressions.

2.1. Sur tout l'échantillon (fermes traditionnelles + modernes)

2.1.1. Sud

Régression normale

```
. reg rn_ha t_moy_sp t_moy_sp_car p_cum_sp p_cum_sp_car nmd_ha nat sol_d
```

Source	SS	df	MS		
Model	3.6329e+14	7	5.1899e+13	Number of obs	= 635
Residual	1.3840e+16	627	2.2074e+13	F(7, 627)	= 2.35
				Prob > F	= 0.0224
Total	1.4203e+16	634	2.2403e+13	R-squared	= 0.0256
				Adj R-squared	= 0.0147
				Root MSE	= 4.7e+06

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
t_moy_sp	-2457759	1.07e+08	-0.02	0.982	-2.12e+08	2.07e+08
t_moy_sp_car	43692.59	2004500	0.02	0.983	-3892654	3980039
p_cum_sp	-36565.93	30494.32	-1.20	0.231	-96449.3	23317.44
p_cum_sp_car	17.22473	13.94767	1.23	0.217	-10.16508	44.61454
nmd_ha	27029.61	7599.538	3.56	0.000	12105.98	41953.24
nat_exploit	209299.2	646813.5	0.32	0.746	-1060884	1479482
sol_d	-1057952	979758.4	-1.08	0.281	-2981957	866053.2
_cons	5.41e+07	1.42e+09	0.04	0.970	-2.73e+09	2.84e+09

Vérification de la présence de l'hétéroscédasticité par le test de Breusch Pagan.

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =   178.33
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité.

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha t_moy_sp t_moy_sp_car p_cum_sp p_cum_sp_car nmd_ha nat sol_d, robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................   50
..................................................   100
```

Linear regression

Number of obs	= 635
Replications	= 100
Wald chi2(7)	= 8.03
Prob > chi2	= 0.3303
R-squared	= 0.0256
Adj R-squared	= 0.0147
Root MSE	= 4.70e+06

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
t_moy_sp	-2457759	1.14e+08	-0.02	0.983	-2.25e+08	2.20e+08
t_moy_sp_car	43692.59	2129016	0.02	0.984	-4129102	4216487
p_cum_sp	-36565.93	34976.66	-1.05	0.296	-105118.9	31987.06
p_cum_sp_car	17.22473	15.29917	1.13	0.260	-12.76109	47.21054
nmd_ha	27029.61	13598.24	1.99	0.047	377.5466	53681.67
nat_exploit	209299.2	829718.8	0.25	0.801	-1416920	1835518
sol_d	-1057952	1337077	-0.79	0.429	-3678574	1562670
_cons	5.41e+07	1.53e+09	0.04	0.972	-2.94e+09	3.05e+09

2.1.2. <u>Au Centre.</u>

<u>Variante 1</u> : Régression avec les températures uniquement.

Régression normale

```
. reg rn_ha t_sp t_sp_car  nmd_ha nat sol_b sol_c
```

Source	SS	df	MS		
Model	6.8266e+14	6	1.1378e+14	Number of obs	= 4115
Residual	1.0009e+16	4108	2.4364e+12	F(6, 4108)	= 46.70
				Prob > F	= 0.0000
				R-squared	= 0.0639
				Adj R-squared	= 0.0625
Total	1.0691e+16	4114	2.5987e+12	Root MSE	= 1.6e+06

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
t_sp	5041016	2900383	1.74	0.082	-645305.4	1.07e+07
t_sp_car	-96006.91	55832.28	-1.72	0.086	-205468.4	13454.61
nmd_ha	39154.36	2366.869	16.54	0.000	34514.01	43794.7
nat_exploit	-154366.5	129942.5	-1.19	0.235	-409124.2	100391.3
sol_b	-75849.5	73346.95	-1.03	0.301	-219649.3	67950.26
sol_c	111044.1	69952.17	1.59	0.112	-26100	248188.3
_cons	-6.61e+07	3.76e+07	-1.75	0.079	-1.40e+08	7743670

<u>Vérification de la présence de l'hétéroscédasticité par le test de Breusch Pagan.</u>

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =  9089.47
         Prob > chi2  =   0.0000
```

<u>Régression après correction de l'hétéroscédasticité.</u>

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha t_sp t_sp_car  nmd_ha nat sol_b sol_c, robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100
```

Linear regression

Number of obs	= 4115
Replications	= 100
Wald chi2(6)	= 26.42
Prob > chi2	= 0.0002
R-squared	= 0.0639
Adj R-squared	= 0.0625
Root MSE	= 1.56e+06

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
t_sp	5041016	2293128	2.20	0.028	546567.1	9535465
t_sp_car	-96006.91	44160.81	-2.17	0.030	-182560.5	-9453.308
nmd_ha	39154.36	11503.23	3.40	0.001	16608.44	61700.28
nat_exploit	-154366.5	83809.55	-1.84	0.065	-318630.2	9897.254
sol_b	-75849.5	70424.75	-1.08	0.281	-213879.5	62180.47
sol_c	111044.1	89304.11	1.24	0.214	-63988.69	286077
_cons	-6.61e+07	2.98e+07	-2.22	0.027	-1.24e+08	-7702975

Variante 2 : Régression avec les précipitations uniquement.

Régression normale

```
. reg rn_ha p_cum_sp p_cum_sp_car  nmd_ha nat sol_b sol_c
```

Source	SS	df	MS		
Model	6.8175e+14	6	1.1362e+14	Number of obs	= 4115
				F(6, 4108)	= 46.63
Residual	1.0009e+16	4108	2.4366e+12	Prob > F	= 0.0000
				R-squared	= 0.0638
				Adj R-squared	= 0.0624
Total	1.0691e+16	4114	2.5987e+12	Root MSE	= 1.6e+06

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
p_cum_sp	3202.026	1752.914	1.83	0.068	-234.6357	6638.687
p_cum_sp_car	-1.347687	.7056783	-1.91	0.056	-2.731198	.0358251
nmd_ha	38873.85	2361.707	16.46	0.000	34243.62	43504.07
nat_exploit	-142811.6	129930.8	-1.10	0.272	-397546.3	111923
sol_b	-59818.59	72598.99	-0.82	0.410	-202151.9	82514.76
sol_c	91825.62	75708.85	1.21	0.225	-56604.73	240256
_cons	-1816914	1090479	-1.67	0.096	-3954844	321015.8

Vérification de la présence de l'hétéroscédasticité par le test de Breusch Pagan.

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =  9107.87
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha p_cum_sp p_cum_sp_car  nmd_ha nat sol_b sol_c,robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100

Linear regression                               Number of obs      =       4115
                                                Replications       =        100
                                                Wald chi2(6)       =      46.33
                                                Prob > chi2        =     0.0000
                                                R-squared          =     0.0638
                                                Adj R-squared      =     0.0624
                                                Root MSE           =   1.56e+06
```

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
p_cum_sp	3202.026	1530.103	2.09	0.036	203.0787	6200.972
p_cum_sp_car	-1.347687	.593008	-2.27	0.023	-2.509961	-.1854124
nmd_ha	38873.85	10231.57	3.80	0.000	18820.34	58927.36
nat_exploit	-142811.6	79031.48	-1.81	0.071	-297710.5	12087.2
sol_b	-59818.59	76046.34	-0.79	0.432	-208866.7	89229.5
sol_c	91825.62	79820.46	1.15	0.250	-64619.61	248270.8
_cons	-1816914	977779.3	-1.86	0.063	-3733326	99498.24

Variante 3 : Régression avec toutes les variables climatiques.

Régression normale

```
. reg rn_ha t_sp t_sp_car p_cum_sp p_cum_sp_car  nmd_ha nat sol_b sol_c
```

Source	SS	df	MS		
Model	6.9176e+14	8	8.6470e+13	Number of obs	= 4115
				F(8, 4106)	= 35.51
Residual	9.9994e+15	4106	2.4353e+12	Prob > F	= 0.0000
				R-squared	= 0.0647
				Adj R-squared	= 0.0629
Total	1.0691e+16	4114	2.5987e+12	Root MSE	= 1.6e+06

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
t_sp	4985528	2946629	1.69	0.091	-791462.3	1.08e+07
t_sp_car	-94568	56627.46	-1.67	0.095	-205588.5	16452.51
p_cum_sp	3414.589	1770.554	1.93	0.054	-56.65595	6885.834
p_cum_sp_car	-1.329543	.7074688	-1.88	0.060	-2.716565	.0574794
nmd_ha	39380.56	2374.341	16.59	0.000	34725.56	44035.55
nat_exploit	-168522.1	130844.5	-1.29	0.198	-425048.2	88003.98
sol_b	-67535.65	73461.21	-0.92	0.358	-211559.4	76488.13
sol_c	80462.88	76463.15	1.05	0.293	-69446.32	230372.1
_cons	-6.78e+07	3.83e+07	-1.77	0.077	-1.43e+08	7409699

Vérification de la présence de l'hétéroscédasticité par le test de Breusch Pagan.

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =  9193.23
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha t_sp t_sp_car p_cum_sp p_cum_sp_car  nmd_ha nat sol_b sol_c, robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100

Linear regression                               Number of obs     =       4115
                                                Replications      =        100
                                                Wald chi2(8)      =      39.85
                                                Prob > chi2       =     0.0000
                                                R-squared         =     0.0647
                                                Adj R-squared     =     0.0629
                                                Root MSE          =   1.56e+06
```

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
t_sp	4985528	2195113	2.27	0.023	683184.9	9287871
t_sp_car	-94568	42443.57	-2.23	0.026	-177755.9	-11380.12
p_cum_sp	3414.589	1592.074	2.14	0.032	294.1819	6534.996
p_cum_sp_car	-1.329543	.6059153	-2.19	0.028	-2.517115	-.1419707
nmd_ha	39380.56	9396.536	4.19	0.000	20963.69	57797.43
nat_exploit	-168522.1	82279.4	-2.05	0.041	-329786.7	-7257.419
sol_b	-67535.65	71668.68	-0.94	0.346	-208003.7	72932.39
sol_c	80462.88	85431.56	0.94	0.346	-86979.89	247905.6
_cons	-6.78e+07	2.81e+07	-2.41	0.016	-1.23e+08	-1.27e+07

2.1.3. Nord

Variante1 : Sur les températures uniquement.

Régression normale.

```
. reg rn_ha at_sp at_sp_car  nmd_ha nat sol_a
```

Source	SS	df	MS		
Model	5.9613e+13	5	1.1923e+13	Number of obs	= 826
Residual	9.2575e+14	820	1.1290e+12	F(5, 820)	= 10.56
				Prob > F	= 0.0000
				R-squared	= 0.0605
				Adj R-squared	= 0.0548
Total	9.8537e+14	825	1.1944e+12	Root MSE	= 1.1e+06

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
at_sp	4.60e+07	9146196	5.03	0.000	2.81e+07	6.40e+07
at_sp_car	-851928.5	169301.5	-5.03	0.000	-1184244	-519613.2
nmd_ha	13199.32	4470.503	2.95	0.003	4424.346	21974.3
nat_exploit	-108083.8	243103.7	-0.44	0.657	-585262.6	369095.1
sol_a	-767539.6	120891.6	-6.35	0.000	-1004833	-530246.2
_cons	-6.20e+08	1.23e+08	-5.03	0.000	-8.63e+08	-3.78e+08

Vérification de la présence d'hétéroscédasticité par le test de Breusch Pagan.

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =  1609.30
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité.

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha at_sp at_sp_car  nmd_ha nat sol_a,robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100
```

Linear regression

Number of obs	= 826
Replications	= 100
Wald chi2(5)	= 42.82
Prob > chi2	= 0.0000
R-squared	= 0.0605
Adj R-squared	= 0.0548
Root MSE	= 1.06e+06

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
at_sp	4.60e+07	1.34e+07	3.44	0.001	1.98e+07	7.22e+07
at_sp_car	-851928.5	247190.3	-3.45	0.001	-1336413	-367444.4
nmd_ha	13199.32	8210.505	1.61	0.108	-2892.971	29291.62
nat_exploit	-108083.8	74537.67	-1.45	0.147	-254174.9	38007.39
sol_a	-767539.6	209986.2	-3.66	0.000	-1179105	-355974.2
_cons	-6.20e+08	1.81e+08	-3.43	0.001	-9.74e+08	-2.66e+08

Variante 2 : Sur les précipitations uniquement

Régression normale.

```
. reg rn_ha ap_cum_sp ap_cum_sp_car  nmd_ha nat sol_a
```

Source	SS	df	MS		
Model	4.0278e+13	5	8.0557e+12	Number of obs	= 826
Residual	9.4509e+14	820	1.1525e+12	F(5, 820)	= 6.99
				Prob > F	= 0.0000
				R-squared	= 0.0409
				Adj R-squared	= 0.0350
Total	9.8537e+14	825	1.1944e+12	Root MSE	= 1.1e+06

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
ap_cum_sp	7960.678	3941.518	2.02	0.044	224.0262	15697.33
ap_cum_sp_car	-3.501262	1.995465	-1.75	0.080	-7.418083	.4155595
nmd_ha	13715.17	4524.122	3.03	0.003	4834.949	22595.4
nat_exploit	-170364.9	245644.8	-0.69	0.488	-652531.6	311801.7
sol_a	-434152.6	90844.16	-4.78	0.000	-612467	-255838.1
_cons	-4063871	1951345	-2.08	0.038	-7894091	-233651.1

Vérification de la présence d'hétéroscédasticité par le test de Breusch Pagan.

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =   798.34
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité.

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha ap_cum_sp ap_cum_sp_car  nmd_ha nat sol_a,robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100

Linear regression                               Number of obs     =        826
                                                Replications      =        100
                                                Wald chi2(5)      =      24.73
                                                Prob > chi2       =     0.0002
                                                R-squared         =     0.0409
                                                Adj R-squared     =     0.0350
                                                Root MSE          =   1.07e+06
```

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
ap_cum_sp	7960.678	2664.426	2.99	0.003	2738.5	13182.86
ap_cum_sp_car	-3.501262	1.261509	-2.78	0.006	-5.973773	-1.02875
nmd_ha	13715.17	6064.706	2.26	0.024	1828.569	25601.78
nat_exploit	-170364.9	80511.46	-2.12	0.034	-328164.5	-12565.37
sol_a	-434152.6	136578.6	-3.18	0.001	-701841.8	-166463.4
_cons	-4063871	1303859	-3.12	0.002	-6619387	-1508355

2.1.4. Base globale.

Variante 1 : Régression avec les températures uniquement.

Régression normale

```
. reg rn_ha t_moy_sp t_moy_sp_car  nmd_ha nat sol_a sol_b sol_c
```

Source	SS	df	MS		
Model	1.0128e+15	7	1.4469e+14	Number of obs	= 5576
Residual	2.5018e+16	5568	4.4932e+12	F(7, 5568)	= 32.20
				Prob > F	= 0.0000
				R-squared	= 0.0389
				Adj R-squared	= 0.0377
Total	2.6031e+16	5575	4.6692e+12	Root MSE	= 2.1e+06

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
t_moy_sp	3030306	2415658	1.25	0.210	-1705325	7765938
t_moy_sp_car	-57584.83	46000.89	-1.25	0.211	-147764.5	32594.87
nmd_ha	32128.37	2254.922	14.25	0.000	27707.84	36548.9
nat_exploit	86449.08	139496	0.62	0.535	-187017.6	359915.8
sol_a	-394891.2	104937.1	-3.76	0.000	-600608.9	-189173.5
sol_b	-299458.4	84640.53	-3.54	0.000	-465386.9	-133529.9
sol_c	-135344.3	77390.07	-1.75	0.080	-287059	16370.43
_cons	-3.95e+07	3.17e+07	-1.25	0.213	-1.02e+08	2.26e+07

Vérification de la présence de l'hétéroscédasticité par le test de Breusch Pagan.

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =  5039.57
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité.

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha t_moy_sp t_moy_sp_car  nmd_ha nat sol_a sol_b sol_c, robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100
```

Linear regression

Number of obs	= 5576
Replications	= 100
Wald chi2(7)	= 72.99
Prob > chi2	= 0.0000
R-squared	= 0.0389
Adj R-squared	= 0.0377
Root MSE	= 2.12e+06

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
t_moy_sp	3030306	1798041	1.69	0.092	-493789.2	6554402
t_moy_sp_car	-57584.83	35035.42	-1.64	0.100	-126253	11083.33
nmd_ha	32128.37	7992.345	4.02	0.000	16463.66	47793.08
nat_exploit	86449.08	403690	0.21	0.830	-704768.7	877666.9
sol_a	-394891.2	74303.13	-5.31	0.000	-540522.7	-249259.7
sol_b	-299458.4	101178.4	-2.96	0.003	-497764.4	-101152.4
sol_c	-135344.3	115548.9	-1.17	0.241	-361815.9	91127.35
_cons	-3.95e+07	2.30e+07	-1.72	0.086	-8.46e+07	5574594

Variante 2 : Régression avec les précipitations uniquement.

Régression normale

```
. reg rn_ha p_cum_sp p_cum_sp_car  nmd_ha nat sol_a sol_b sol_c
```

Source	SS	df	MS		
Model	1.0098e+15	7	1.4425e+14	Number of obs	= 5576
				F(7, 5568)	= 32.10
Residual	2.5021e+16	5568	4.4938e+12	Prob > F	= 0.0000
				R-squared	= 0.0388
Total	2.6031e+16	5575	4.6692e+12	Adj R-squared	= 0.0376
				Root MSE	= 2.1e+06

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
p_cum_sp	1124.404	1676.317	0.67	0.502	-2161.831	4410.639
p_cum_sp_car	-.3941555	.7144239	-0.55	0.581	-1.794705	1.006394
nmd_ha	32013.98	2253.557	14.21	0.000	27596.13	36431.84
nat_exploit	77407.08	140236.5	0.55	0.581	-197511.2	352325.3
sol_a	-411340.7	106818	-3.85	0.000	-620745.7	-201935.7
sol_b	-291375.6	83096.64	-3.51	0.000	-454277.4	-128473.8
sol_c	-175784.4	84593.33	-2.08	0.038	-341620.4	-9948.495
_cons	-421131.2	983418.2	-0.43	0.668	-2349015	1506752

Vérification de la présence de l'hétéroscédasticité par le test de Breusch Pagan.

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =  5137.99
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha p_cum_sp p_cum_sp_car  nmd_ha nat sol_a sol_b sol_c, robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100

Linear regression                               Number of obs     =       5576
                                                Replications      =        100
                                                Wald chi2(7)      =      78.54
                                                Prob > chi2       =     0.0000
                                                R-squared         =     0.0388
                                                Adj R-squared     =     0.0376
                                                Root MSE          =   2.12e+06
```

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
p_cum_sp	1124.404	1566.019	0.72	0.473	-1944.937	4193.745
p_cum_sp_car	-.3941555	.6180059	-0.64	0.524	-1.605425	.8171138
nmd_ha	32013.98	8415.897	3.80	0.000	15519.13	48508.84
nat_exploit	77407.08	304317.6	0.25	0.799	-519044.5	673858.6
sol_a	-411340.7	85350.92	-4.82	0.000	-578625.4	-244055.9
sol_b	-291375.6	87005.17	-3.35	0.001	-461902.6	-120848.6
sol_c	-175784.4	142095.2	-1.24	0.216	-454285.8	102717
_cons	-421131.2	963112.7	-0.44	0.662	-2308797	1466535

Variante 3 : Régression avec toutes les variables climatiques.

Régression normale

```
. reg rn_ha t_moy_sp t_moy_sp_car p_cum_sp p_cum_sp_car  nmd_ha nat sol_a sol_b sol_c
```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	5576
				F(9, 5566)	=	25.18
Model	1.0184e+15	9	1.1315e+14	Prob > F	=	0.0000
Residual	2.5013e+16	5566	4.4938e+12	R-squared	=	0.0391
				Adj R-squared	=	0.0376
Total	2.6031e+16	5575	4.6692e+12	Root MSE	=	2.1e+06

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
t_moy_sp	3247173	2538242	1.28	0.201	-1728773	8223119
t_moy_sp_car	-61098.49	48268.4	-1.27	0.206	-155723.4	33526.41
p_cum_sp	647.4027	1742.428	0.37	0.710	-2768.436	4063.241
p_cum_sp_car	-.1326915	.7445397	-0.18	0.859	-1.59228	1.326897
nmd_ha	32137.95	2255.35	14.25	0.000	27716.58	36559.31
nat_exploit	63382.22	141165.9	0.45	0.653	-213358	340122.4
sol_a	-421910.7	107989.1	-3.91	0.000	-633611.5	-210210
sol_b	-304360.4	85469.57	-3.56	0.000	-471914.1	-136806.7
sol_c	-177012.7	86155.74	-2.05	0.040	-345911.6	-8113.806
_cons	-4.33e+07	3.32e+07	-1.31	0.191	-1.08e+08	2.17e+07

Vérification de la présence de l'hétéroscédasticité par le test de Breusch Pagan.

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =  5306.76
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha t_moy_sp t_moy_sp_car p_cum_sp p_cum_sp_car  nmd_ha nat sol_a sol_b sol_c, robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100

Linear regression                               Number of obs      =      5576
                                                Replications       =       100
                                                Wald chi2(9)       =    103.55
                                                Prob > chi2        =    0.0000
                                                R-squared          =    0.0391
                                                Adj R-squared      =    0.0376
                                                Root MSE           =  2.12e+06
```

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
t_moy_sp	3247173	1950428	1.66	0.096	-575595.3	7069942
t_moy_sp_car	-61098.49	37944.5	-1.61	0.107	-135468.3	13271.36
p_cum_sp	647.4027	1664.364	0.39	0.697	-2614.691	3909.497
p_cum_sp_car	-.1326915	.65135	-0.20	0.839	-1.409314	1.143931
nmd_ha	32137.95	7595.416	4.23	0.000	17251.21	47024.69
nat_exploit	63382.22	395420.4	0.16	0.873	-711627.5	838392
sol_a	-421910.7	92475.31	-4.56	0.000	-603159	-240662.4
sol_b	-304360.4	100637.5	-3.02	0.002	-501606.2	-107114.6
sol_c	-177012.7	148033.9	-1.20	0.232	-467153.8	113128.5
_cons	-4.33e+07	2.46e+07	-1.76	0.078	-9.15e+07	4877127

2.2. Sur les exploitations traditionnelles

2.2.1. Au Sud

Régression normale

```
. reg rn_ha t_moy_sp t_moy_sp_car p_cum_sp p_cum_sp_car nmd_ha  sol_d if nat==0

      Source |       SS       df       MS              Number of obs =     564
-------------+------------------------------           F(  6,   557) =    5.46
       Model |  3.8885e+14     6  6.4809e+13           Prob > F      =  0.0000
    Residual |  6.6143e+15   557  1.1875e+13           R-squared     =  0.0555
-------------+------------------------------           Adj R-squared =  0.0454
       Total |  7.0031e+15   563  1.2439e+13           Root MSE      =  3.4e+06

------------------------------------------------------------------------------
       rn_ha |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
    t_moy_sp |   1.42e+08   8.49e+07     1.67   0.095    -2.45e+07    3.09e+08
t_moy_sp_car |   -2660035    1592834    -1.67   0.095     -5788732    468661.1
    p_cum_sp |  -8810.878   24448.93    -0.36   0.719    -56834.26     39212.5
p_cum_sp_car |   4.486152   11.17673     0.40   0.688    -17.46753    26.43984
      nmd_ha |   29807.53   5730.721     5.20   0.000     18551.06    41063.99
       sol_d |    -721434   798646.9    -0.90   0.367     -2290162    847293.8
       _cons |  -1.89e+09   1.13e+09    -1.67   0.095    -4.11e+09    3.27e+08
------------------------------------------------------------------------------
```

Vérification de l'hétéroscédasticité.

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =   187.83
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité.

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha t_moy_sp t_moy_sp_car p_cum_sp p_cum_sp_car nmd_ha  sol_d if nat==0, robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100

Linear regression                               Number of obs      =       564
                                                Replications       =       100
                                                Wald chi2(6)       =     10.86
                                                Prob > chi2        =    0.0929
                                                R-squared          =    0.0555
                                                Adj R-squared      =    0.0454
                                                Root MSE           =  3.45e+06

------------------------------------------------------------------------------
             |   Observed   Bootstrap                         Normal-based
       rn_ha |      Coef.   Std. Err.      z    P>|z|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
    t_moy_sp |   1.42e+08   7.92e+07     1.79   0.073    -1.31e+07    2.97e+08
t_moy_sp_car |   -2660035    1486546    -1.79   0.074     -5573612    253541.4
    p_cum_sp |  -8810.878   28386.99    -0.31   0.756    -64448.36     46826.6
p_cum_sp_car |   4.486152   12.30051     0.36   0.715     -19.6224    28.59471
      nmd_ha |   29807.53   19519.38     1.53   0.127    -8449.756    68064.81
       sol_d |    -721434    1174230    -0.61   0.539     -3022883     1580015
       _cons |  -1.89e+09   1.06e+09    -1.79   0.074    -3.97e+09    1.83e+08
------------------------------------------------------------------------------
```

2.2.2. Au centre.

Variante 1 : Régression aves les températures uniquement

Régression normale.

```
. reg rn_ha t_sp t_sp_car   nmd_ha sol_b sol_c if nat==0

      Source |       SS       df       MS              Number of obs =    3963
-------------+------------------------------           F(  5,  3957) =   58.49
       Model |  7.3019e+14     5  1.4604e+14           Prob > F      =  0.0000
    Residual |  9.8807e+15  3957  2.4970e+12           R-squared     =  0.0688
-------------+------------------------------           Adj R-squared =  0.0676
       Total |  1.0611e+16  3962  2.6782e+12           Root MSE      =  1.6e+06

------------------------------------------------------------------------------
       rn_ha |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
        t_sp |   4672088    2970102     1.57   0.116    -1150985    1.05e+07
   t_sp_car |  -88705.67   57184.42    -1.55   0.121    -200819.4    23408.04
     nmd_ha |   41154.02   2427.836    16.95   0.000      36394.1    45913.95
      sol_b |  -81764.06   74741.83    -1.09   0.274    -228300.2    64772.07
      sol_c |     118704   71360.26     1.66   0.096    -21202.32    258610.4
      _cons |  -6.14e+07   3.85e+07    -1.59   0.111    -1.37e+08    1.41e+07
------------------------------------------------------------------------------
```

Vérification de la présence de l'hétéroscédasticité

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =  8134.21
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité.

```
. bootstrap, reps(100) :reg rn_ha t_sp t_sp_car   nmd_ha sol_b sol_c if nat==0, robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100

Linear regression                               Number of obs      =      3963
                                                Replications       =       100
                                                Wald chi2(5)       =     21.95
                                                Prob > chi2        =    0.0005
                                                R-squared          =    0.0688
                                                Adj R-squared      =    0.0676
                                                Root MSE           =  1.58e+06

------------------------------------------------------------------------------
             |   Observed   Bootstrap                         Normal-based
       rn_ha |      Coef.   Std. Err.      z    P>|z|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
        t_sp |   4672088    2168427     2.15   0.031     422049.8    8922126
   t_sp_car |  -88705.67   41847.04    -2.12   0.034    -170724.4   -6686.973
     nmd_ha |   41154.02   10163.16     4.05   0.000     21234.59    61073.46
      sol_b |  -81764.06   78525.73    -1.04   0.298    -235671.7    72143.55
      sol_c |     118704   90445.86     1.31   0.189    -58566.62    295974.7
      _cons |  -6.14e+07   2.81e+07    -2.19   0.029    -1.16e+08   -6381198
------------------------------------------------------------------------------
```

Variante 2 : Régression aves les précipitations uniquement

Régression normale.

```
. reg rn_ha p_cum_sp p_cum_sp_car  nmd_ha sol_b sol_c if nat==0
```

Source	SS	df	MS		
Model	7.3090e+14	5	1.4618e+14	Number of obs	= 3963
Residual	9.8800e+15	3957	2.4968e+12	F(5, 3957)	= 58.55
				Prob > F	= 0.0000
				R-squared	= 0.0689
				Adj R-squared	= 0.0677
Total	1.0611e+16	3962	2.6782e+12	Root MSE	= 1.6e+06

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
p_cum_sp	3500.66	1805.717	1.94	0.053	-39.56277	7040.883
p_cum_sp_car	-1.48167	.7278083	-2.04	0.042	-2.908584	-.0547554
nmd_ha	40895.86	2422.715	16.88	0.000	36145.98	45645.75
sol_b	-66885.79	74030.5	-0.90	0.366	-212027.3	78255.72
sol_c	96426.48	77166.6	1.25	0.212	-54863.55	247716.5
_cons	-1991666	1122555	-1.77	0.076	-4192507	209174.5

Vérification de la présence de l'hétéroscédasticité

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =  8123.12
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité.

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha p_cum_sp p_cum_sp_car  nmd_ha sol_b sol_c if nat==0,robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100
```

Linear regression

Number of obs	= 3963
Replications	= 100
Wald chi2(5)	= 39.06
Prob > chi2	= 0.0000
R-squared	= 0.0689
Adj R-squared	= 0.0677
Root MSE	= 1.58e+06

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
p_cum_sp	3500.66	1484.208	2.36	0.018	591.6652	6409.655
p_cum_sp_car	-1.48167	.5896912	-2.51	0.012	-2.637443	-.3258963
nmd_ha	40895.86	9749.779	4.19	0.000	21786.65	60005.08
sol_b	-66885.79	90032.4	-0.74	0.458	-243346	109574.5
sol_c	96426.48	93912.61	1.03	0.305	-87638.84	280491.8
_cons	-1991666	937718.2	-2.12	0.034	-3829560	-153772.3

Variante 3 : Régression aves toutes les variables climatiques

Régression normale.

```
. reg rn_ha t_sp t_sp_car p_cum_sp p_cum_sp_car  nmd_ha sol_b sol_c if nat==0
```

Source	SS	df	MS		
Model	7.4094e+14	7	1.0585e+14	Number of obs	= 3963
Residual	9.8699e+15	3955	2.4956e+12	F(7, 3955)	= 42.42
				Prob > F	= 0.0000
				R-squared	= 0.0698
				Adj R-squared	= 0.0682
Total	1.0611e+16	3962	2.6782e+12	Root MSE	= 1.6e+06

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
t_sp	4554775	3015779	1.51	0.131	-1357852	1.05e+07
t_sp_car	-86034.16	57967.06	-1.48	0.138	-199682.3	27613.97
p_cum_sp	3786.737	1826.743	2.07	0.038	205.2906	7368.184
p_cum_sp_car	-1.479221	.7301735	-2.03	0.043	-2.910773	-.0476689
nmd_ha	41413.85	2435.825	17.00	0.000	36638.26	46189.44
sol_b	-71994.71	74870.89	-0.96	0.336	-218783.9	74794.46
sol_c	87372.34	77909.09	1.12	0.262	-65373.42	240118.1
_cons	-6.26e+07	3.92e+07	-1.60	0.111	-1.39e+08	1.43e+07

Vérification de la présence de l'hétéroscédasticité

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =  8233.45
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité.

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha t_sp t_sp_car p_cum_sp p_cum_sp_car  nmd_ha sol_b sol_c if nat==0,robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100
```

Linear regression

Number of obs	= 3963
Replications	= 100
Wald chi2(7)	= 38.24
Prob > chi2	= 0.0000
R-squared	= 0.0698
Adj R-squared	= 0.0682
Root MSE	= 1.58e+06

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
t_sp	4554775	2247892	2.03	0.043	148987.6	8960563
t_sp_car	-86034.16	43317.05	-1.99	0.047	-170934	-1134.292
p_cum_sp	3786.737	1524.653	2.48	0.013	798.472	6775.002
p_cum_sp_car	-1.479221	.5885452	-2.51	0.012	-2.632748	-.3256936
nmd_ha	41413.85	10744.77	3.85	0.000	20354.49	62473.22
sol_b	-71994.71	73829.54	-0.98	0.329	-216698	72708.54
sol_c	87372.34	80364.48	1.09	0.277	-70139.15	244883.8
_cons	-6.26e+07	2.92e+07	-2.15	0.032	-1.20e+08	-5399130

2.2.3. Au Nord

Variante 1 : Uniquement sur les températures.

Régression normale

```
. reg rn_ha at_sp at_sp_car  nmd_ha  sol_a if nat==0
```

Source	SS	df	MS		
Model	6.0289e+13	4	1.5072e+13	Number of obs	= 806
Residual	9.2351e+14	801	1.1529e+12	F(4, 801)	= 13.07
				Prob > F	= 0.0000
				R-squared	= 0.0613
				Adj R-squared	= 0.0566
Total	9.8379e+14	805	1.2221e+12	Root MSE	= 1.1e+06

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
at_sp	4.73e+07	9372062	5.04	0.000	2.89e+07	6.57e+07
at_sp_car	-875289	173497.6	-5.04	0.000	-1215853	-534725.4
nmd_ha	13144.67	4534.237	2.90	0.004	4244.278	22045.06
sol_a	-782836.4	122701.2	-6.38	0.000	-1023690	-541982.5
_cons	-6.37e+08	1.26e+08	-5.04	0.000	-8.86e+08	-3.89e+08

Vérification de la présence d'hétéroscédasticité par le test de Breusch Pagan.

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =  1547.41
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité.

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha at_sp at_sp_car  nmd_ha  sol_a if nat==0,robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100

Linear regression                               Number of obs     =        806
                                                Replications      =        100
                                                Wald chi2(4)      =      31.62
                                                Prob > chi2       =     0.0000
                                                R-squared         =     0.0613
                                                Adj R-squared     =     0.0566
                                                Root MSE          =   1.07e+06
```

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
at_sp	4.73e+07	1.61e+07	2.94	0.003	1.58e+07	7.88e+07
at_sp_car	-875289	297119.3	-2.95	0.003	-1457632	-292945.9
nmd_ha	13144.67	7268.318	1.81	0.071	-1100.973	27390.31
sol_a	-782836.4	246302	-3.18	0.001	-1265579	-300093.4
_cons	-6.37e+08	2.17e+08	-2.94	0.003	-1.06e+09	-2.12e+08

Variante 2 : Uniquement sur les précipitations.

Régression normale

```
. reg rn_ha ap_cum_sp ap_cum_sp_car  nmd_ha  sol_a if nat==0
```

Source	SS	df	MS		
Model	4.0319e+13	4	1.0080e+13	Number of obs	= 806
				F(4, 801)	= 8.56
Residual	9.4348e+14	801	1.1779e+12	Prob > F	= 0.0000
				R-squared	= 0.0410
Total	9.8379e+14	805	1.2221e+12	Adj R-squared	= 0.0362
				Root MSE	= 1.1e+06

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
ap_cum_sp	8222.482	4029	2.04	0.042	313.8365	16131.13
ap_cum_sp_car	-3.629592	2.038392	-1.78	0.075	-7.630812	.3716285
nmd_ha	13764.1	4592.474	3.00	0.003	4749.399	22778.81
sol_a	-441433.8	92194.14	-4.79	0.000	-622404.5	-260463.2
_cons	-4191425	1996578	-2.10	0.036	-8110567	-272283.4

Vérification de la présence d'hétéroscédasticité par le test de Breusch Pagan.

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =   764.75
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité.

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha ap_cum_sp ap_cum_sp_car  nmd_ha  sol_a if nat==0,robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100

Linear regression                               Number of obs      =       806
                                                Replications       =       100
                                                Wald chi2(4)       =     19.75
                                                Prob > chi2        =    0.0006
                                                R-squared          =    0.0410
                                                Adj R-squared      =    0.0362
                                                Root MSE           =  1.09e+06
```

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
ap_cum_sp	8222.482	2392.833	3.44	0.001	3532.615	12912.35
ap_cum_sp_car	-3.629592	1.127768	-3.22	0.001	-5.839977	-1.419207
nmd_ha	13764.1	6113.309	2.25	0.024	1782.239	25745.97
sol_a	-441433.8	130001.4	-3.40	0.001	-696232	-186635.7
_cons	-4191425	1177758	-3.56	0.000	-6499788	-1883063

2.2.4. Base globale.

Variante 1 : Régression avec les températures uniquement.

Régression normale

```
. reg rn_ha t_moy_sp t_moy_sp_car   nmd_ha sol_a sol_b sol_c if nat==0
```

Source	SS	df	MS	Number of obs	=	5333
Model	1.1010e+15	6	1.8351e+14	F(6, 5326)	=	55.52
Residual	1.7602e+16	5326	3.3050e+12	Prob > F	=	0.0000
				R-squared	=	0.0589
				Adj R-squared	=	0.0578
Total	1.8703e+16	5332	3.5077e+12	Root MSE	=	1.8e+06

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
t_moy_sp	2094214	2112468	0.99	0.322	-2047089	6235517
t_moy_sp_car	-38416.08	40243.54	-0.95	0.340	-117309.9	40477.74
nmd_ha	34531.7	1969.968	17.53	0.000	30669.76	38393.64
sol_a	-377997.1	91122.14	-4.15	0.000	-556633.8	-199360.4
sol_b	-251928.7	73808.37	-3.41	0.001	-396623.4	-107234.1
sol_c	-48863.86	68278.62	-0.72	0.474	-182717.9	84990.19
_cons	-2.82e+07	2.77e+07	-1.02	0.308	-8.26e+07	2.61e+07

Vérification de la présence de l'hétéroscédasticité par le test de Breusch Pagan.

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =  7503.53
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité.

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha t_moy_sp t_moy_sp_car   nmd_ha sol_a sol_b sol_c if nat==0, robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100

Linear regression                               Number of obs      =      5333
                                                Replications       =       100
                                                Wald chi2(6)       =     74.26
                                                Prob > chi2        =    0.0000
                                                R-squared          =    0.0589
                                                Adj R-squared      =    0.0578
                                                Root MSE           =  1.82e+06
```

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
t_moy_sp	2094214	1327368	1.58	0.115	-507380.1	4695808
t_moy_sp_car	-38416.08	25254.28	-1.52	0.128	-87913.56	11081.39
nmd_ha	34531.7	8485.156	4.07	0.000	17901.1	51162.3
sol_a	-377997.1	67239.49	-5.62	0.000	-509784.1	-246210.2
sol_b	-251928.7	76994.72	-3.27	0.001	-402835.6	-101021.9
sol_c	-48863.86	77565.53	-0.63	0.529	-200889.5	103161.8
_cons	-2.82e+07	1.74e+07	-1.62	0.105	-6.24e+07	5946568

Variante 2 : Régression avec les précipitations uniquement.

Régression normale

```
. reg rn_ha  p_cum_sp p_cum_sp_car  nmd_ha sol_a sol_b sol_c if nat==0
```

Source	SS	df	MS	Number of obs =	5333
				F(6, 5326) =	54.99
Model	1.0911e+15	6	1.8185e+14	Prob > F =	0.0000
Residual	1.7612e+16	5326	3.3068e+12	R-squared =	0.0583
				Adj R-squared =	0.0573
Total	1.8703e+16	5332	3.5077e+12	Root MSE =	1.8e+06

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
p_cum_sp	872.8937	1460.442	0.60	0.550	-1990.17	3735.958
p_cum_sp_car	-.4065738	.623022	-0.65	0.514	-1.627952	.8148045
nmd_ha	34410.7	1969.029	17.48	0.000	30550.6	38270.8
sol_a	-370745.7	92913.26	-3.99	0.000	-552893.8	-188597.7
sol_b	-263234.2	72539.72	-3.63	0.000	-405441.7	-121026.6
sol_c	-89668.32	74829.64	-1.20	0.231	-236365	57028.42
_cons	-178643	856607.2	-0.21	0.835	-1857944	1500658

Vérification de la présence de l'hétéroscédasticité par le test de Breusch Pagan.

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =  7239.61
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha  p_cum_sp p_cum_sp_car  nmd_ha sol_a sol_b sol_c if nat==0, robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100
```

Linear regression

Number of obs	= 5333
Replications	= 100
Wald chi2(6)	= 92.19
Prob > chi2	= 0.0000
R-squared	= 0.0583
Adj R-squared	= 0.0573
Root MSE	= 1.82e+06

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
p_cum_sp	872.8937	1516.144	0.58	0.565	-2098.694	3844.481
p_cum_sp_car	-.4065738	.6027783	-0.67	0.500	-1.587997	.7748499
nmd_ha	34410.7	7513.486	4.58	0.000	19684.54	49136.86
sol_a	-370745.7	75364.46	-4.92	0.000	-518457.4	-223034.1
sol_b	-263234.2	88295.13	-2.98	0.003	-436289.5	-90178.93
sol_c	-89668.32	108404.8	-0.83	0.408	-302137.9	122801.3
_cons	-178643	939979.1	-0.19	0.849	-2020968	1663682

Variante 3 : Régression avec toutes les variables climatiques.

Régression normale

```
. reg rn_ha  t_moy_sp t_moy_sp_car p_cum_sp p_cum_sp_car  nmd_ha sol_a sol_b sol_c if nat==0
```

Source	SS	df	MS		
Model	1.1030e+15	8	1.3787e+14	Number of obs	= 5333
				F(8, 5324)	= 41.71
Residual	1.7600e+16	5324	3.3058e+12	Prob > F	= 0.0000
				R-squared	= 0.0590
				Adj R-squared	= 0.0576
Total	1.8703e+16	5332	3.5077e+12	Root MSE	= 1.8e+06

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
t_moy_sp	2051186	2222778	0.92	0.356	-2306369	6408742
t_moy_sp_car	-37280.34	42279	-0.88	0.378	-120164.5	45603.83
p_cum_sp	762.3054	1515.406	0.50	0.615	-2208.511	3733.122
p_cum_sp_car	-.2537541	.6487581	-0.39	0.696	-1.525586	1.018077
nmd_ha	34534.56	1970.534	17.53	0.000	30671.51	38397.62
sol_a	-395444.5	93976.26	-4.21	0.000	-579676.5	-211212.5
sol_b	-258064.7	74540.41	-3.46	0.001	-404194.4	-111934.9
sol_c	-74037.05	76260.8	-0.97	0.332	-223539.5	75465.36
_cons	-2.84e+07	2.90e+07	-0.98	0.328	-8.53e+07	2.85e+07

Vérification de la présence de l'hétéroscédasticité par le test de Breusch Pagan.

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =  7573.81
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha  t_moy_sp t_moy_sp_car p_cum_sp p_cum_sp_car  nmd_ha sol_a sol_b sol_c if nat==0, robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100

Linear regression                               Number of obs     =       5333
                                                Replications      =        100
                                                Wald chi2(8)      =      82.68
                                                Prob > chi2       =     0.0000
                                                R-squared         =     0.0590
                                                Adj R-squared     =     0.0576
                                                Root MSE          =   1.82e+06
```

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
t_moy_sp	2051186	1479351	1.39	0.166	-848288.9	4950662
t_moy_sp_car	-37280.34	28503.26	-1.31	0.191	-93145.7	18585.02
p_cum_sp	762.3054	1908.211	0.40	0.690	-2977.719	4502.329
p_cum_sp_car	-.2537541	.7340876	-0.35	0.730	-1.692539	1.185031
nmd_ha	34534.56	8696.28	3.97	0.000	17490.17	51578.96
sol_a	-395444.5	84612.81	-4.67	0.000	-561282.5	-229606.4
sol_b	-258064.7	75509.63	-3.42	0.001	-406060.8	-110068.5
sol_c	-74037.05	98347.59	-0.75	0.452	-266794.8	118720.7
_cons	-2.84e+07	1.86e+07	-1.53	0.127	-6.49e+07	8075361

2.3. Sur les exploitations modernes

2.3.1. Au Sud

Régression normale

```
. reg rn_ha t_moy_sp t_moy_sp_car p_cum_sp p_cum_sp_car nmd_ha  sol_d if nat==1

      Source |       SS       df       MS              Number of obs =      71
-------------+------------------------------           F(  6,    64) =    0.52
       Model |  3.3465e+14     6  5.5775e+13           Prob > F      =  0.7902
    Residual |  6.8493e+15    64  1.0702e+14           R-squared     =  0.0466
-------------+------------------------------           Adj R-squared = -0.0428
       Total |  7.1839e+15    70  1.0263e+14           Root MSE      =  1.0e+07

------------------------------------------------------------------------------
       rn_ha |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
    t_moy_sp |  -4.40e+08   1.02e+09    -0.43   0.668    -2.49e+09    1.60e+09
t_moy_sp_car |   8237868   1.93e+07     0.43   0.671    -3.03e+07    4.68e+07
    p_cum_sp |   40378.5   322665.8     0.13   0.901    -604220.6    684977.6
p_cum_sp_car |  -18.58276   144.5117    -0.13   0.898     -307.278    270.1125
      nmd_ha |  -28326.54   87565.47    -0.32   0.747    -203258.7    146605.6
       sol_d |   -1223440    5591294    -0.22   0.827    -1.24e+07     9946454
       _cons |   5.87e+09   1.36e+10     0.43   0.667    -2.12e+10    3.30e+10
------------------------------------------------------------------------------
```

Vérification de l'hétéroscédasticité.

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =    49.17
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité.

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha t_moy_sp t_moy_sp_car p_cum_sp p_cum_sp_car nmd_ha  sol_d if nat==1, robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100

Linear regression                               Number of obs     =         71
                                                Replications      =        100
                                                Wald chi2(6)      =       4.78
                                                Prob > chi2       =     0.5727
                                                R-squared         =     0.0466
                                                Adj R-squared     =    -0.0428
                                                Root MSE          =   1.03e+07

------------------------------------------------------------------------------
             |   Observed   Bootstrap                         Normal-based
       rn_ha |      Coef.   Std. Err.      z    P>|z|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
    t_moy_sp |  -4.40e+08   3.84e+08    -1.15   0.252    -1.19e+09    3.13e+08
t_moy_sp_car |   8237868    7226537     1.14   0.254     -5925885    2.24e+07
    p_cum_sp |   40378.5   48264.09     0.84   0.403    -54217.38    134974.4
p_cum_sp_car |  -18.58276   24.94163    -0.75   0.456    -67.46746    30.30193
      nmd_ha |  -28326.54   64641.58    -0.44   0.661    -155021.7    98368.64
       sol_d |   -1223440    3840292    -0.32   0.750     -8750274     6303395
       _cons |   5.87e+09   5.11e+09     1.15   0.251    -4.15e+09    1.59e+10
------------------------------------------------------------------------------
```

2.3.2. Au centre.

Variante 1 : Régression sur les températures uniquement

Régression normale.

```
. reg rn_ha t_sp t_sp_car  nmd_ha sol_b sol_c if nat==1
```

Source	SS	df	MS		
Model	1.6179e+13	5	3.2358e+12	Number of obs	= 152
Residual	5.9637e+13	146	4.0847e+11	F(5, 146)	= 7.92
				Prob > F	= 0.0000
				R-squared	= 0.2134
				Adj R-squared	= 0.1865
Total	7.5815e+13	151	5.0209e+11	Root MSE	= 6.4e+05

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
t_sp	6818092	9035139	0.75	0.452	-1.10e+07	2.47e+07
t_sp_car	-131868.4	172800.8	-0.76	0.447	-473382.6	209645.7
nmd_ha	-34997.9	6098.622	-5.74	0.000	-47050.88	-22944.91
sol_b	181437.3	303768.3	0.60	0.551	-418913.9	781788.5
sol_c	-22990.71	284136.6	-0.08	0.936	-584542.8	538561.4
_cons	-8.79e+07	1.18e+08	-0.74	0.458	-3.21e+08	1.45e+08

Vérification de la présence de l'hétéroscédasticité

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =  2426.58
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité.

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha t_sp t_sp_car  nmd_ha sol_b sol_c if nat==1,robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100

Linear regression                               Number of obs      =       152
                                                Replications       =       100
                                                Wald chi2(5)       =      2.74
                                                Prob > chi2        =    0.7407
                                                R-squared          =    0.2134
                                                Adj R-squared      =    0.1865
                                                Root MSE           =  6.39e+05
```

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
t_sp	6818092	9092098	0.75	0.453	-1.10e+07	2.46e+07
t_sp_car	-131868.4	174574.8	-0.76	0.450	-474028.9	210292
nmd_ha	-34997.9	45365.01	-0.77	0.440	-123911.7	53915.89
sol_b	181437.3	380176.1	0.48	0.633	-563694.1	926568.7
sol_c	-22990.71	403592.3	-0.06	0.955	-814017.2	768035.8
_cons	-8.79e+07	1.18e+08	-0.74	0.458	-3.20e+08	1.44e+08

Variante 2 : Régression sur les précipitations uniquement

Régression normale.

```
. reg rn_ha p_cum_sp p_cum_sp_car  nmd_ha sol_b sol_c if nat==1
```

Source	SS	df	MS		
Model	1.6248e+13	5	3.2496e+12	Number of obs	= 152
				F(5, 146)	= 7.96
Residual	5.9567e+13	146	4.0799e+11	Prob > F	= 0.0000
				R-squared	= 0.2143
				Adj R-squared	= 0.1874
Total	7.5815e+13	151	5.0209e+11	Root MSE	= 6.4e+05

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
p_cum_sp	-401.6982	4171.996	-0.10	0.923	-8647.003	7843.607
p_cum_sp_car	.3879883	1.618785	0.24	0.811	-2.811291	3.587267
nmd_ha	-35531.28	6036.284	-5.89	0.000	-47461.07	-23601.5
sol_b	289041.1	294352.1	0.98	0.328	-292700.4	870782.5
sol_c	-10950.07	312170.7	-0.04	0.972	-627907.2	606007.1
_cons	45873.55	2612360	0.02	0.986	-5117053	5208800

Vérification de la présence de l'hétéroscédasticité

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =  2506.61
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité.

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha p_cum_sp p_cum_sp_car  nmd_ha sol_b sol_c if nat==1,robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
.................................x................   100
```

Linear regression			
	Number of obs	=	152
	Replications	=	99
	Wald chi2(5)	=	3.92
	Prob > chi2	=	0.5613
	R-squared	=	0.2143
	Adj R-squared	=	0.1874
	Root MSE	=	6.39e+05

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
p_cum_sp	-401.6982	2703.663	-0.15	0.882	-5700.781	4897.385
p_cum_sp_car	.3879883	.9997932	0.39	0.698	-1.57157	2.347547
nmd_ha	-35531.28	46923.39	-0.76	0.449	-127499.4	56436.87
sol_b	289041.1	380776.5	0.76	0.448	-457267.2	1035349
sol_c	-10950.07	371019.6	-0.03	0.976	-738135.2	716235
_cons	45873.55	1838769	0.02	0.980	-3558047	3649794

Variante 3 : Régression avec toutes les variables climatiques.

Régression normale.

```
. reg rn_ha t_sp t_sp_car p_cum_sp p_cum_sp_car  nmd_ha sol_b sol_c if nat==1
```

Source	SS	df	MS		
Model	1.6708e+13	7	2.3868e+12	Number of obs	= 152
Residual	5.9108e+13	144	4.1047e+11	F(7, 144)	= 5.81
				Prob > F	= 0.0000
				R-squared	= 0.2204
				Adj R-squared	= 0.1825
Total	7.5815e+13	151	5.0209e+11	Root MSE	= 6.4e+05

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
t_sp	9253477	9342329	0.99	0.324	-9212338	2.77e+07
t_sp_car	-177845.2	178609.1	-1.00	0.321	-530879.4	175189.1
p_cum_sp	409.3974	4320.854	0.09	0.925	-8131.095	8949.89
p_cum_sp_car	.1074793	1.683662	0.06	0.949	-3.220405	3.435364
nmd_ha	-34525.86	6131.068	-5.63	0.000	-46644.38	-22407.35
sol_b	173923.5	317152.5	0.55	0.584	-452952.2	800799.2
sol_c	-131966.1	335877.3	-0.39	0.695	-795852.8	531920.7
_cons	-1.21e+08	1.22e+08	-0.99	0.326	-3.63e+08	1.21e+08

Vérification de la présence de l'hétéroscédasticité

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =  2300.66
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité.

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha t_sp t_sp_car p_cum_sp p_cum_sp_car  nmd_ha sol_b sol_c if nat==1,robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100

Linear regression                               Number of obs      =       152
                                                Replications       =       100
                                                Wald chi2(7)       =      4.23
                                                Prob > chi2        =    0.7526
                                                R-squared          =    0.2204
                                                Adj R-squared      =    0.1825
                                                Root MSE           =  6.41e+05
```

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
t_sp	9253477	1.07e+07	0.87	0.387	-1.17e+07	3.02e+07
t_sp_car	-177845.2	204263.5	-0.87	0.384	-578194.2	222503.9
p_cum_sp	409.3974	3099.349	0.13	0.895	-5665.215	6484.01
p_cum_sp_car	.1074793	1.141123	0.09	0.925	-2.12908	2.344039
nmd_ha	-34525.86	45343.26	-0.76	0.446	-123397	54345.3
sol_b	173923.5	446101.1	0.39	0.697	-700418.5	1048265
sol_c	-131966.1	480056.2	-0.27	0.783	-1072859	808926.8
_cons	-1.21e+08	1.40e+08	-0.86	0.390	-3.96e+08	1.54e+08

2.3.3. Au Nord

Variante 1 : Uniquement avec les températures.

Régression normale

```
. reg rn_ha at_sp at_sp_car nmd_ha  if nat_exploit==1

      Source |       SS       df       MS              Number of obs =      29
-------------+------------------------------           F(  3,    25) =    0.24
       Model |  2.9841e+10     3  9.9470e+09           Prob > F      =  0.8688
    Residual |  1.0434e+12    25  4.1735e+10           R-squared     =  0.0278
-------------+------------------------------           Adj R-squared = -0.0889
       Total |  1.0732e+12    28  3.8329e+10           Root MSE      =  2.0e+05

------------------------------------------------------------------------------
       rn_ha |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
       at_sp |   -3811636    8225369    -0.46   0.647    -2.08e+07    1.31e+07
  at_sp_car |    68939.3   150456.6     0.46   0.651    -240931.8    378810.4
     nmd_ha |   489.1836   9640.812     0.05   0.960    -19366.44    20344.81
      _cons |   5.27e+07   1.12e+08     0.47   0.643    -1.79e+08    2.84e+08
------------------------------------------------------------------------------
```

Vérification de la présence d'hétéroscédasticité par le test de Breusch Pagan.

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =     5.84
         Prob > chi2  =   0.0156

.
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité.

```
. reg rn_ha at_sp at_sp_car nmd_ha  if nat_exploit==1, robust

Linear regression                               Number of obs =      29
                                                F(  3,    25) =    0.83
                                                Prob > F      =  0.4893
                                                R-squared     =  0.0278
                                                Root MSE      =  2.0e+05

------------------------------------------------------------------------------
             |               Robust
       rn_ha |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
       at_sp |   -3811636    8556810    -0.45   0.660    -2.14e+07    1.38e+07
  at_sp_car |    68939.3   156675.9     0.44   0.664    -253740.7    391619.3
     nmd_ha |   489.1836   4357.451     0.11   0.912    -8485.154    9463.521
      _cons |   5.27e+07   1.17e+08     0.45   0.656    -1.88e+08    2.93e+08
------------------------------------------------------------------------------
```

Variante 2 : Uniquement avec les précipitations

Régression normale

```
. reg rn_ha ap_cum_sp ap_cum_sp_car nmd_ha if nat_exploit==1
```

Source	SS	df	MS	Number of obs =	29
				F(3, 25) =	2.31
Model	2.3277e+11	3	7.7590e+10	Prob > F =	0.1009
Residual	8.4044e+11	25	3.3618e+10	R-squared =	0.2169
				Adj R-squared =	0.1229
Total	1.0732e+12	28	3.8329e+10	Root MSE =	1.8e+05

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
ap_cum_sp	-63505.1	24608.3	-2.58	0.016	-114186.8	-12823.36
ap_cum_sp_car	32.588	12.61589	2.58	0.016	6.605091	58.57091
nmd_ha	-3603.307	8628.955	-0.42	0.680	-21374.97	14168.36
_cons	3.05e+07	1.18e+07	2.58	0.016	6143199	5.49e+07

Vérification de la présence d'hétéroscédasticité par le test de Breusch Pagan.

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =    21.32
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité.

```
. reg rn_ha ap_cum_sp ap_cum_sp_car nmd_ha if nat_exploit==1, robust

Linear regression                               Number of obs =      29
                                                F( 3, 25) =    0.81
                                                Prob > F      =  0.5011
                                                R-squared     =  0.2169
                                                Root MSE      =  1.8e+05
```

rn_ha	Coef.	Robust Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
ap_cum_sp	-63505.1	51114.09	-1.24	0.226	-168776.6	41766.34
ap_cum_sp_car	32.588	26.1532	1.25	0.224	-21.27552	86.45152
nmd_ha	-3603.307	6861.128	-0.53	0.604	-17734.07	10527.45
_cons	3.05e+07	2.46e+07	1.24	0.226	-2.01e+07	8.12e+07

2.3.4. Base globale.

Variante 1 : Régression avec les températures uniquement.

Régression normale

```
. reg rn_ha  t_moy_sp t_moy_sp_car  nmd_ha sol_a sol_b sol_c if nat==1
```

Source	SS	df	MS		
Model	2.3532e+14	6	3.9220e+13	Number of obs	= 243
Residual	7.0897e+15	236	3.0041e+13	F(6, 236)	= 1.31
				Prob > F	= 0.2554
				R-squared	= 0.0321
				Adj R-squared	= 0.0075
Total	7.3250e+15	242	3.0269e+13	Root MSE	= 5.5e+06

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
t_moy_sp	1.48e+07	3.93e+07	0.38	0.706	-6.25e+07	9.22e+07
t_moy_sp_car	-308731.9	740341.3	-0.42	0.677	-1767254	1149790
nmd_ha	-39233.73	30988.7	-1.27	0.207	-100283.5	21816.08
sol_a	-982996.6	1845468	-0.53	0.595	-4618692	2652699
sol_b	-1588877	1251284	-1.27	0.205	-4053991	876236.6
sol_c	-1861988	888691	-2.10	0.037	-3612768	-111207
_cons	-1.74e+08	5.20e+08	-0.33	0.738	-1.20e+09	8.51e+08

Vérification de la présence de l'hétéroscédasticité par le test de Breusch Pagan.

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =   502.20
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité.

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha  t_moy_sp t_moy_sp_car  nmd_ha sol_a sol_b sol_c if nat==1, robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100
```

Linear regression

Number of obs	= 243
Replications	= 100
Wald chi2(6)	= 2.91
Prob > chi2	= 0.8197
R-squared	= 0.0321
Adj R-squared	= 0.0075
Root MSE	= 5.48e+06

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
t_moy_sp	1.48e+07	1.96e+07	0.76	0.449	-2.36e+07	5.32e+07
t_moy_sp_car	-308731.9	383373.4	-0.81	0.421	-1060130	442666.1
nmd_ha	-39233.73	42567.93	-0.92	0.357	-122665.3	44197.88
sol_a	-982996.6	909658.3	-1.08	0.280	-2765894	799900.9
sol_b	-1588877	1540119	-1.03	0.302	-4607456	1429701
sol_c	-1861988	1554797	-1.20	0.231	-4909335	1185359
_cons	-1.74e+08	2.50e+08	-0.70	0.485	-6.64e+08	3.15e+08

Variante 2 : Régression avec les précipitations uniquement.

Régression normale

```
. reg rn_ha  p_cum_sp p_cum_sp_car nmd_ha sol_a sol_b sol_c if nat==1
```

Source	SS	df	MS		
Model	1.7939e+14	6	2.9899e+13	Number of obs	= 243
				F(6, 236)	= 0.99
Residual	7.1456e+15	236	3.0278e+13	Prob > F	= 0.4344
				R-squared	= 0.0245
				Adj R-squared	= -0.0003
Total	7.3250e+15	242	3.0269e+13	Root MSE	= 5.5e+06

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
p_cum_sp	18288.52	25205.61	0.73	0.469	-31368.22	67945.25
p_cum_sp_car	-5.323722	10.59734	-0.50	0.616	-26.2012	15.55376
nmd_ha	-39993.07	31126.29	-1.28	0.200	-101314	21327.81
sol_a	-847006.3	1867526	-0.45	0.651	-4526158	2832145
sol_b	-690650.7	1241002	-0.56	0.578	-3135508	1754206
sol_c	-1879549	962028.2	-1.95	0.052	-3774809	15711.01
_cons	-1.25e+07	1.48e+07	-0.84	0.399	-4.18e+07	1.67e+07

Vérification de la présence de l'hétéroscédasticité par le test de Breusch Pagan.

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =   393.49
         Prob > chi2  =   0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha  p_cum_sp p_cum_sp_car nmd_ha sol_a sol_b sol_c if nat==1, robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100
```

Linear regression

Number of obs	= 243
Replications	= 100
Wald chi2(6)	= 2.53
Prob > chi2	= 0.8652
R-squared	= 0.0245
Adj R-squared	= -0.0003
Root MSE	= 5.50e+06

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
p_cum_sp	18288.52	19334.86	0.95	0.344	-19607.11	56184.14
p_cum_sp_car	-5.323722	6.051732	-0.88	0.379	-17.1849	6.537455
nmd_ha	-39993.07	44941.86	-0.89	0.374	-128077.5	48091.35
sol_a	-847006.3	946380.3	-0.89	0.371	-2701878	1007865
sol_b	-690650.7	970169.5	-0.71	0.477	-2592148	1210846
sol_c	-1879549	1835516	-1.02	0.306	-5477094	1717997
_cons	-1.25e+07	1.30e+07	-0.96	0.335	-3.80e+07	1.29e+07

Variante 3 : Régression avec toutes les variables climatiques.

Régression normale

```
. reg rn_ha  t_moy_sp t_moy_sp_car p_cum_sp p_cum_sp_car nmd_ha sol_a sol_b sol_c if nat==1
```

Source	SS	df	MS		
Model	2.4292e+14	8	3.0365e+13	Number of obs	= 243
				F(8, 234)	= 1.00
Residual	7.0821e+15	234	3.0265e+13	Prob > F	= 0.4342
				R-squared	= 0.0332
				Adj R-squared	= 0.0001
Total	7.3250e+15	242	3.0269e+13	Root MSE	= 5.5e+06

rn_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
t_moy_sp	4023606	4.66e+07	0.09	0.931	-8.78e+07	9.59e+07
t_moy_sp_car	-99856.31	882929.8	-0.11	0.910	-1839364	1639651
p_cum_sp	9950.401	29782.52	0.33	0.739	-48725.74	68626.55
p_cum_sp_car	-3.354854	12.11777	-0.28	0.782	-27.22871	20.51901
nmd_ha	-40007.15	31146.14	-1.28	0.200	-101369.8	21355.53
sol_a	-934718.7	1875574	-0.50	0.619	-4629888	2760450
sol_b	-1381492	1379887	-1.00	0.318	-4100081	1337097
sol_c	-2019680	966699.2	-2.09	0.038	-3924225	-115133.6
_cons	-4.16e+07	6.06e+08	-0.07	0.945	-1.23e+09	1.15e+09

Vérification de la présence de l'hétéroscédasticité par le test de Breusch Pagan.

```
. hettest

Breusch-Pagan / Cook-Weisberg test for heteroskedasticity
         Ho: Constant variance
         Variables: fitted values of rn_ha

         chi2(1)      =   529.75
         Prob > chi2  =   0.0000

.
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité

```
. bootstrap, reps(100) : reg rn_ha  t_moy_sp t_moy_sp_car p_cum_sp p_cum_sp_car nmd_ha sol_a sol_b sol_c if nat==1, robust
(running regress on estimation sample)

Bootstrap replications (100)
----+--- 1 ---+--- 2 ---+--- 3 ---+--- 4 ---+--- 5
..................................................    50
..................................................   100
```

Linear regression

Number of obs	= 243
Replications	= 100
Wald chi2(8)	= 3.36
Prob > chi2	= 0.9095
R-squared	= 0.0332
Adj R-squared	= 0.0001
Root MSE	= 5.50e+06

rn_ha	Observed Coef.	Bootstrap Std. Err.	z	P>|z|	Normal-based [95% Conf.	Interval]
t_moy_sp	4023606	3.37e+07	0.12	0.905	-6.21e+07	7.01e+07
t_moy_sp_car	-99856.31	628319.5	-0.16	0.874	-1331340	1131627
p_cum_sp	9950.401	17355.37	0.57	0.566	-24065.51	43966.31
p_cum_sp_car	-3.354854	6.561372	-0.51	0.609	-16.21491	9.5052
nmd_ha	-40007.15	47476.42	-0.84	0.399	-133059.2	53044.93
sol_a	-934718.7	875124.6	-1.07	0.285	-2649931	780494
sol_b	-1381492	1310244	-1.05	0.292	-3949522	1186538
sol_c	-2019680	1755850	-1.15	0.250	-5461083	1421724
_cons	-4.16e+07	4.45e+08	-0.09	0.925	-9.13e+08	8.30e+08

Annexe 3 : Calcul du seuil

Nous déterminons l'équation de la courbe. Nous dérivons donc cette équation et nous trouvons ainsi le maximum ou minimum voulu.

Nous n'utilisons pas directement les coefficients des estimations (comme nous le ferons pour les élasticités) parce que les coefficients de courbe obtenue tiennent compte des coefficients des autres variables de contrôle. Utiliser de ce fait directement les coefficients de l'estimation pour écrire l'équation de la courbe obtenue serait une erreur car il ne s'agira plus dans ce cas de la véritable équation de courbe obtenue.

Par exemple pour le revenu net par hectare dans le Centre en relation avec la température moyenne, nous obtenons :

Revenu net par hectare = $-16821\ t^2 + 871681\ t$

Avec t= température

$$\frac{\partial revenunet}{\partial t} = 0 \Leftrightarrow tseuil = 25,91$$

Nous procédons de la même manière pour déterminer les autres seuils.

Annexe 4 : Calcul des élasticités.

Pour le calcul des élasticités, aux points moyens, nous utilisons les résultats des régressions. (cf aussi Kurukulasuriya et Mendelsohn, 2008a). Contrairement aux calculs des seuils, nous utilisons les coefficients obtenus après les estimations, parce qu'il s'agit cette fois ci de déterminer l'effet direct entre la variable dépendante et explicative sans tenir compte des autres variables de contrôle.

Ainsi, en prenant l'exemple du revenu net par hectare et de la température moyenne au Centre,

L'équation obtenue après estimation est :

Revenu net = $4\ 985\ 528\ t - 94\ 568t^2$

Elasticité (Revenu net/Température) = $\frac{\partial revenu}{\partial t} * \frac{t_{moyen}}{revenu_{moyen}}$

Elasticité = -0,39. Nous utilisons la même méthode pour le calcul des autres élasticités.

Annexe 5 : Résultats de la CAH

- Statistiques descriptives.

Statistiques descriptives :

Variable	Observations	Obs. avec données manquantes	Obs. sans données manquantes	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Prec_1	57	0	57	0.000	35.000	6.509	5.696
Prec_2	57	0	57	0.500	109.600	34.166	28.998
Prec_3	57	0	57	10.100	144.000	56.979	31.967
Prec_4	57	0	57	107.500	289.100	207.474	41.890
Prec_5	57	0	57	44.100	263.700	142.321	51.881
Prec_6	57	0	57	71.600	513.300	165.679	60.543
Prec_7	57	0	57	67.300	246.600	127.843	48.594
Prec_8	57	0	57	42.400	264.900	139.698	63.633
Prec_9	57	0	57	69.200	332.100	185.228	54.556
Prec_10	57	0	57	47.400	280.900	156.055	57.137
Prec_11	57	0	57	21.800	141.000	88.112	26.138

Barycentres des classes :

Classe	Prec_1	Prec_2	Prec_3	Prec_4	Prec_5	Prec_6	Prec_7	Prec_8	Prec_9	Prec_10	Prec_11	Prec_12
1	10.773	76.127	100.964	191.791	138.273	227.709	157.955	70.309	143.818	232.200	110.709	55.318
2	6.338	28.536	51.887	222.356	158.490	152.923	106.795	138.528	193.344	152.154	89.885	13.767
3	1.475	3.913	21.325	156.488	69.063	142.575	189.050	240.813	202.600	70.375	48.400	1.613
Prec_12	57	0	57	0.300	94.300	19.971	22.142					

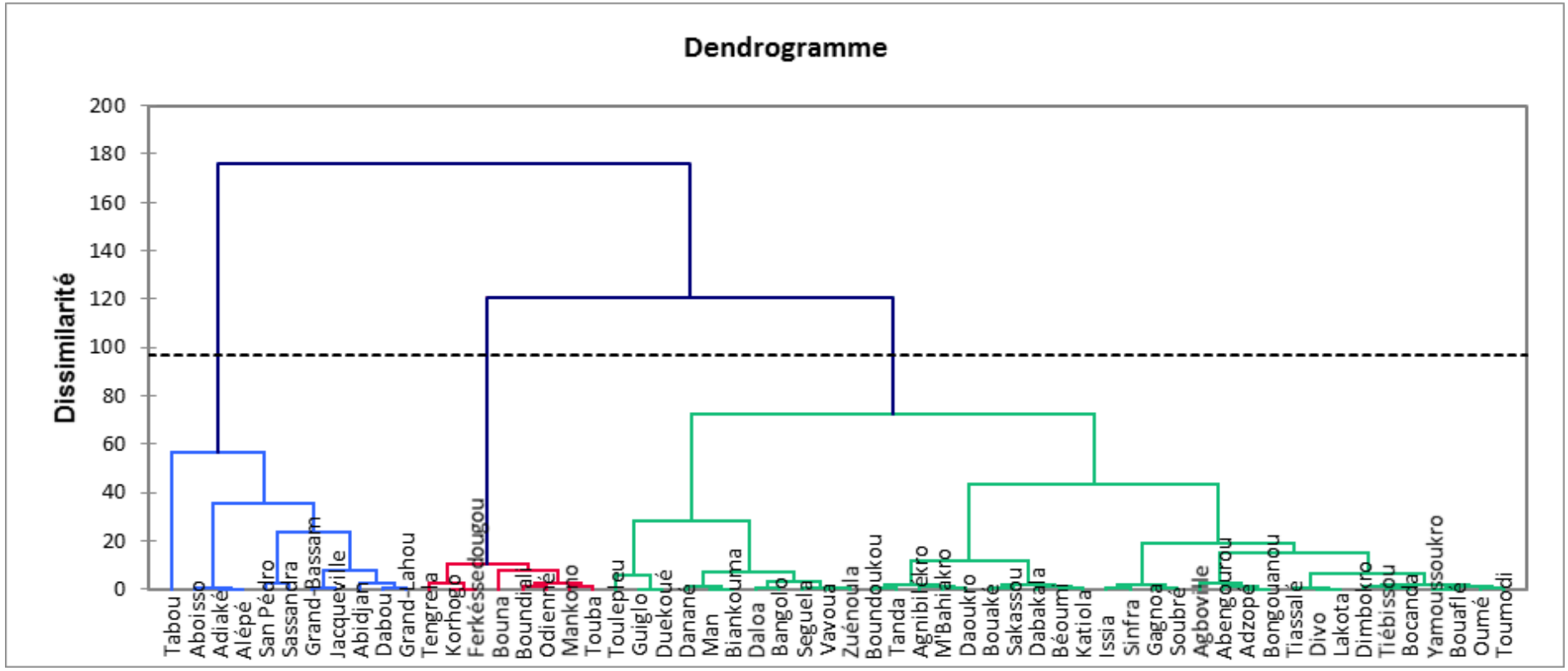
Distances entre les barycentres des classes :			
	1	2	3
1	0	172.976	302.284
2	172.976	0	199.693
3	302.284	199.693	0

Objets centraux :

Classe	Prec_1	Prec_2	Prec_3	Prec_4	Prec_5	Prec_6	Prec_7	Prec_8	Prec_9	Prec_10	Prec_11	Prec_12
1 (Abidjan)	6.000	97.300	91.000	229.700	152.000	181.600	172.200	66.700	138.600	246.000	100.300	63.200
2 (Yamoussoukro)	6.000	20.900	41.600	217.900	155.300	131.100	94.900	124.800	168.500	131.800	96.500	5.500
3 (Boundiali)	1.500	3.000	19.500	156.300	62.400	157.900	217.800	264.900	220.500	63.900	52.200	1.400

Distances entre les objets centraux :			
	1 (Abidjan)	2 (Yamoussoukro)	3 (Boundiali)
1 (Abidjan)	0	193.928	339.656
2(Yamoussoukro)	193.928	0	240.829
3 (Boundiali)	339.656	240.829	0

Figure 2.10 : Dendrogramme



Annexe 6 : Scénarios de référence.

Tableau 2.15 :Revenus nets par hectare selon les différents scénarios climatiques et la référence au Centre.

Scenario de Variation de la pluie / Scenario de Variation de la température.	-20%	-10%	Pas de variation de la pluie	+10%	+20%
Pas de variation de la température	-89 777	7640	Référence= 70 667	99 308,6	93 564,7
+2°C	-475 807,4	-378 391,1	-315 362,5	-286 722,7	-292 466,5
+4°C	-1 618 282,8	-1 520 966,4	-1 457 937,8	-1 429 298,1	-1 435 041,9
+6°C	-3 517 502,1	-3 420 085,8	-3 357 057	-3 328 417,4	-3 334 161,3

La référence représente R (C_0) et les autres valeurs représentent les différents R(C_1) ;

Tableau 2.16 : Revenus nets par hectare selon les différents scénarios climatiques et la référence au Nord. (Pour la température)

Scénarios Température	**Variations du Revenu net par hectare**
Pas de variation	Référence = 991 401,3
+2°C	-2 697 207,8
+4°C	-13 201 244,9
+6°C	-30 520 710,05

Tableau 2.17 : Revenus nets par hectare selon les différents scénarios climatiques et la référence au Nord. (Pour les précipitations)

Scénarios Précipitations	**Variations du Revenu net par hectare**
Pas de variation	Référence = -104 370,4
-20%	-369 672,3
-10%	-197 243,9
+10	-91 069,2
+20%	-157 327,9

Essai 3 : IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'AGRICULTURE : DETERMINATION DE L'EXISTENCE D'UN BIAIS DE PRIX DANS LES ETUDES RICARDIENNES.

Remerciements :

*Nous remercions **Patrice Dumas**[35] pour ses conseils avisés ainsi que le Relecteur anonyme de la FAERE*[36]

*Nos remerciements vont aussi à l'endroit de la **SO.NA.GE.S.S** (Société Nationale de Gestion du Stock de Sécurité alimentaire du Burkina Faso) qui a fourni la majorité des données utilisées.*

Cet essai a fait l'objet d'une publication en 2017 dont voici la référence :

Ochou, F. Quirion, P. (2017). Impact du changement climatique sur l'agriculture : détermination de l'existence d'un biais de prix dans les études ricardiennes. *FAERE Policy Paper*, 2017-04.

[35] Ses références sur ce lien : *http://www2.centre-cired.fr/DUMAS-Patrice-1178*
[36] The French Association of Environmental and Resource Economists

Résumé :

Cette étude montre l'existence d'un biais de prix dans les études dites « ricardiennes » inspirées par Mendelsohn et al. (AER, 1994) et quantifie ce biais. Pour ce faire, nous employons des données de panel portant sur les 45 provinces du Burkina Faso sur 12 années. Les cultures étudiées sont le maïs, le mil et le sorgho. L'analyse montre que les effets des variables climatiques sur le rendement total en kilocalories d'une part, et la valeur totale de production par hectare d'autre part, ne sont pas les mêmes, ce qui traduit la présence d'un biais de prix statistiquement significatif. La quantification du biais de prix montre que l'effet des pluies est 40 à 80% plus élévé sur le rendement que sur la valeur de la production respectivement pour une baisse de 20% à une hausse de 20% des pluies. Il ressort de cette analyse que les études ricardiennes en coupe instantanée ou même en panel, qui utilisent le revenu ou la valeur de la production et supposent les prix constants, sous-estiment l'impact du changement climatique.

Mots Clés : Biais de Prix, Modèle ricardien, Changements climatiques, Agriculture, Données de panel.

Abstract :

This study shows the existence of a price bias in so-called "Ricardian" studies inspired by Mendelsohn et al. (AER, 1994) and quantifies this bias. To do this, we use panel data covering the 45 provinces of Burkina Faso over 12 years. The crops studied are maize, millet and sorghum. The analysis shows that the effects of climate variables on total kilocalories yield on the one hand, and the total value of production per hectare on the other, are not the same, reflecting the presence of a price bias statistically significant. Quantifying the price bias shows that the effect of the rains is 40 to 80% higher on the yield than on the value of the production respectively for a decrease of 20% to a rise of 20% of the rains. This analysis shows that Ricardian in cross sectional or even panel studies, which use net revenue or value of production and assume constant prices, underestimate the impact of climate change.

Keywords: Price bias, Ricardian model, Climate Change, Agriculture, Panel data.

1. Introduction.

Les dernières années ont vu la multiplication des évaluations de l'impact du changement climatique sur l'agriculture ouest-africaine, bien que cette région du monde demeure beaucoup moins étudiée que la plupart des autres. Parmi ces évaluations, on peut distinguer :

- Celles basées sur un modèle agronomique, qui visent à déterminer l'impact du changement climatique sur le rendement de diverses cultures. (Rosenzweig, et Parry, 1994)
- Les études dites ricardiennes qui ont suivi l'article fondateur de Mendelsohn, Nordhaus et Shaw, (1994) **(MNS).** Ces dernières ne visent pas à déterminer l'impact du climat sur les rendements mais directement sur un indicateur économique comme la valeur de la production, la marge brute de l'exploitation agricole ou la valeur de la terre. Elles se basent sur des relations statistiques entre cette variable monétaire et le climat local, à partir de données recueillies à un niveau géographique fin. Les premières études se basaient sur des données en coupe instantanée tandis que certaines études plus récentes utilisent des données en panel.

Ces deux familles d'études souffrent d'une faiblesse symétrique quant à la prise en compte de l'adaptation au changement climatique. Dans la grande majorité des études du premier type appliquées à l'Afrique de l'Ouest, aucune option d'adaptation au changement climatique n'est retenue (Roudier et al., (2011a)), ce qui surestime l'impact négatif du changement climatique. Mendelsohn et al., (1994) nomment cette absence d'adaptation le *dumb farmer scenario.* Or, les agriculteurs ne vont pas poursuivre les mêmes pratiques si les conditions climatiques changent radicalement. Les quelques études qui prennent en compte des options d'adaptation incluent des options purement hypothétiques comme des variétés mieux adaptées à de plus hautes températures, options dont on ne peut connaître le réalisme et qui déterminent largement le résultat final. Cependant, plus récemment, dans le cadre des études de ce type, celle de Guan et al., (2016) a tenté d'évaluer diverses options d'adaptation possibles et leurs incertitudes. Leur objectif est de proposer plusieurs options d'adaptations réalistes et voir comment celles-ci pourront soit réduire les effets négatifs du futur climat, soit en améliorer les effets positifs. Seulement, leurs résultats montrent que la plupart des options d'adaptation proposées ne sont pas plus bénéfiques à l'avenir que dans un climat historique de sorte qu'elles ne réduisent pas réellement les impacts du changement climatique. Ce résultat montre donc toutes les incertitudes liées aux options d'adaptations prises par les fermiers et comment celles-ci évolueront.

Les études ricardiennes, à l'inverse, en tout cas celles en coupe instantanée, postulent par construction une adaptation parfaite et sans coût, ce qui sous-estime le coût du changement climatique : d'une part, une partie du capital accumulé ne sera plus adapté au nouveau climat local

(encore moins à l'ensemble des climats locaux qui se succéderont d'ici à l'éventuelle stabilisation du système climatique). D'autre part, l'adaptation est rendue difficile par l'incertitude sur la forme que prendra localement le changement climatique et par la difficulté à détecter ce changement.

Par ailleurs, il est possible que les analyses ricardiennes souffrent d'un biais systématique dans le cas de l'Afrique, à cause de la variabilité spatiale des prix agricoles. En effet, ces analyses se basent sur des données économiques (marge brute) recueillies en coupe instantanée au niveau des exploitations ou à un niveau géographique fin. Une analyse statistique cherche ensuite les déterminants météorologiques (en l'occurrence les pluies et températures au cours de la saison de culture, éventuellement découpée en plusieurs phases) de ces variables économiques. Si, dans la région prise en compte, les coûts de transports ou autres barrières aux échanges empêchent l'égalisation des prix des produits agricoles, un climat défavorable va augmenter le prix de ce produit, ce qui va limiter ou même inverser l'impact de ce mauvais climat sur la variable économique considérée. De même, ce climat défavorable pourrait entrainer une baisse des prix s'il réduit la qualité des produits par exemple. Même si leur étude n'utilise pas le modèle ricardien, Butt et al., (2005) confirment que l'effet du changement climatique sur le surplus du consommateur est élevé alors que l'effet sur le surplus du producteur est faible (car les producteurs bénéficient de la hausse des prix agricoles entraînée par le changement climatique).

D'ailleurs, dans son étude portant sur le lien entre les téléphones mobiles et les marchés agricoles au Niger, Aker, (2010) a trouvé que l'introduction des téléphones mobiles avait réduit la dispersion des prix agricoles entre 10 et 16% surtout pour les marchés éloignés et ceux qui sont reliés par des routes non bitumées. Plus récemment, Ndiaye, Maître d'Hôtel et Le Cotty (2015), dans leur étude portant sur le rôle de l'éloignement des marchés sur la volatilité des prix du maïs, ont montré qu'il existe un effet robuste et positif des coûts de transport sur la volatilité des prix du maïs au Burkina Faso. Il y a donc des raisons de croire que ce biais, qui est certainement négligeable quand cette méthode est appliquée à des pays dont les infrastructures de transport homogénéisent les prix agricoles comme les Etats-Unis, peut être non négligeable et significatif pour l'Afrique.

L'objectif de cette analyse est donc d'étudier s'il y a un biais de prix dans l'évaluation ricardienne de l'impact des changements climatiques sur l'Agriculture en Afrique, notamment avec l'exemple du Burkina Faso, et de le quantifier.

2. Revue de la littérature

Même si l'expression « biais de prix » n'est pas explicitement citée, plusieurs études y font référence. D'abord dans sa critique de l'article fondateur de MNS (1994), Cline, (1996) explique que l'approche ricardienne souffre d'être une approche d'équilibre partiel dans laquelle les prix relatifs restent inchangés. L'hypothèse selon laquelle les prix restent inchangés vient du fait que les auteurs du modèle ricardien supposent que la production va chuter mais que cela ne pose pas de problème puisqu'elle serait compensée par la production mondiale, ce qui maintiendrait ainsi les prix inchangés. Toutefois Cline (1996) fait remarquer que selon les études menées par Rosenzweig et al., (1993) ; Rosenzweig et Iglesias, (1994) sur les impacts agricoles, pour le cas où l'on exclut la fertilisation par le CO_2 (comme c'est le cas dans l'étude de Mendelsohn et al., (1994)), la réduction moyenne mondiale des rendements de céréales serait presqu'aussi importante que la réduction pour les États-Unis.

Ensuite, dans leur réponse à la critique de Cline (1996), Mendelsohn et Nordhaus, (1996) admettent que Cline a raison de signaler que ce biais pourrait mener à influencer les estimations parce que les évaluations d'équilibre partiel ont tendance à sous-estimer les dégâts et surestimer les avantages du changement climatique. Ils expliquent qu'en fait les biais dépendent de paramètres donnés pour les fonctions d'offre et de demande agricole. En postulant une fonction d'offre et une fonction de demande linéaires, et en supposant que le réchauffement climatique diminue l'offre, ils calculent le surplus du consommateur et du producteur et déduisent une équation qui donne l'impact en termes de bien-être du changement de production induit par le climat. Mendelsohn et Nordhaus (1996) reconnaissent clairement que la méthode de l'équilibre partiel ricardien ne capture pas complètement le changement du bien-être économique parce qu'il suppose des prix constants, mais ils estiment que le biais est quantitativement faible.

De plus, cette possible présence d'un biais de prix revient aussi dans plusieurs articles utilisant le modèle ricardien. C'est le cas de Deressa et al., (2005) qui dans leur étude sur l'impact des changements climatiques sur la canne à sucre en Afrique du Sud expliquent que l'une des faiblesses du modèle ricardien est l'hypothèse de la constance des prix. Dans le même ordre d'idées, Kurukulasuriya et Ajwad, (2007) dans leur étude sur le Sri Lanka mentionnent que malgré la large utilisation du modèle ricardien, il a des limites.

L'une d'elles est que faire l'hypothèse de l'intégration complète des marchés pour les pays en développement qui implique une constance des prix est problématique. Kumar, (2007) fait aussi la même remarque dans son étude sur l'Inde en indiquant que même si toutes les adaptations possibles sont prises en compte dans l'estimation de l'impact des changements climatiques sur l'agriculture

dans le modèle ricardien, l'hypothèse de la constance des prix relatifs pourrait conduire à des biais dans les résultats de cette approche.

Par ailleurs, une autre allusion importante au biais de prix peut se voir dans l'article de Deschênes et Greenstone (2007) (DG) lorsqu'ils essaient de déterminer la variation du profit par rapport au climat. En effet, ils indiquent que la variation du prix à court terme par rapport à la quantité (elle-même influencée par le climat) est positive. Cette augmentation du prix aide l'agriculteur à atténuer les pertes dues à sa production qui diminue (les quantités diminuant par l'action directe du climat). Ainsi ce calcul de court terme permet de percevoir qu'une faible production augmente le prix pour le fermier, ce qui ne sera pas une bonne nouvelle pour les consommateurs, même si c'est à court terme. L'approche de DG, (2007) mélange donc les deux effets (prix et quantités) et donc crée un biais de prix. La variation du profit peut donc être le fait d'une variation du prix et non de la quantité.

Enfin, Auffhammer et Schlenker (2014) mentionnent aussi cette limite du modèle ricardien dans un article de synthèse consacré aux études empiriques sur les impacts agricoles du changement climatique et l'adaptation. En effet, ils expliquent que les valeurs des terres agricoles aux Etats-Unis ont augmenté à cause de l'augmentation des prix des produits agricoles. Le surplus du consommateur diminue donc tandis que celui du producteur augmente. Ils ajoutent qu'une diminution de la productivité peut ainsi être une bonne nouvelle pour les agriculteurs puisque la demande est très inélastique. De ce fait, une analyse sur la base du modèle ricardien ne tient pas compte selon eux des impacts sur les consommateurs (à cause de l'augmentation des prix induits par des mauvaises conditions climatiques). Le modèle ricardien n'est donc approprié que si le niveau général des prix n'est pas affecté, par exemple quand les gains dans une région sont compensés par des pertes dans une autre.

3. Méthodologie

La revue de littérature nous a montré que plusieurs auteurs ont relevé la possible présence d'un biais de prix mais n'ont pas essayé de démontrer cette défaillance de façon explicite, ni de la quantifier.

3.1.Hypothèse

La méthode que nous suivons pour montrer qu'il y a biais de prix est la suivante. Nous régresserons dans un panel de 45 provinces du Burkina Faso :

(1) Les rendements à l'hectare sur les variables climatiques (Kumar et Sharma, 2013).

(2) La valeur monétaire de la production par hectare sur les variables climatiques (MNS, 1994).

(3) L'indice des prix sur les variables climatiques.

L'hypothèse est que s'il n'y a pas de biais de prix, la valeur monétaire de la production et les rendements doivent répondre de la même manière aux variations climatiques puisque qu'on serait en présence de prix constants. Cela signifie que l'effet des variables climatiques sur la valeur de la production et le rendement sera le même. Ainsi à l'inverse si l'effet des variables climatiques sur le rendement diffère de celui de la valeur de la production, cela signifierait certainement que le « gap » entre le rendement et la valeur monétaire de la production par hectare est dû à ce biais de prix ou une variable « inobservée » qui est fortement corrélée à ce dernier. Pour confirmer ou infirmer ce résultat, nous effectuerons une dernière régression de l'indice de prix sur les variables climatiques. Si les prix sont influencés par les variables climatiques, cela confirmerait qu'il y a bel et bien un biais de prix puisqu'il ne devrait pas exister un lien direct entre les prix et les variables climatiques selon les hypothèses de validité de l'approche ricardienne.

3.2.Justification de la zone d'étude, modèle et données

Pour vérifier empiriquement nos hypothèses et justifier la présence de biais de prix dans les études ricardiennes, nous utilisons un panel des 45 provinces du Burkina Faso (voir carte, figure 3.11 en annexe partie 1, point 1.) sur 12 années (2001 à 2012). Le recours à un panel est nécessaire car le nombre de provinces est trop faible pour des régressions en coupe instantanée. Nous discutons du recours au panel plus loin.

3.2.1. Justification de la zone d'étude

Même si la critique sur l'existence d'un éventuel biais de prix (Cline, 1996) a été faite sur la base de l'étude de MNS, (1994) sur les Etats Unis, plusieurs auteurs ont mentionné que ce problème surviendrait si les marchés des biens agricoles n'étaient pas parfaits comme c'est le cas des pays en développement (Kurukulasuriya et Ajwad, 2007).

C'est dans ce contexte que nous choisissons le Burkina Faso comme zone d'étude pour justifier la présence d'un biais de prix.

En effet, le Burkina Faso est un pays en développement parmi les plus pauvres au monde avec un Produit Intérieur Brut (PIB) nominal par tête de 792 Dollars Américains (en 2014). De plus, environ 80% de la population vit directement ou indirectement de l'agriculture de subsistance avec d'importants obstacles naturels comme la faible pluviométrie et la faible fertilité des terres qui caractérisent le pays. (PNUD, 2015). En outre, de nombreux articles dont celui de Bassolet et Lutz (1999) ; Wourtese et Taylor (2008) confirment que le marché agricole du Burkina Faso est imparfait, c'est-à-dire qu'il souffre des problèmes d'asymétrie d'information entre acheteurs et agriculteurs.

3.2.1.1.Brève description des caractéristiques climatiques du Burkina Faso.

Le Burkina Faso dispose d'un climat de type soudano-sahélien caractérisé par l'alternance d'une saison sèche et d'une saison des pluies qui dure trois à six mois selon les zones. Le rythme des saisons est déterminé par le déplacement du front intertropical (SP/ CONAGESE[37], 2001). On y distingue trois zones climatiques qui sont :

- une zone soudanienne, au sud avec une pluviométrie annuelle moyenne comprise entre 900 et 1 200 mm et une saison des pluies de six mois.

- une zone soudano-sahélienne au centre, avec une pluviométrie annuelle moyenne comprise entre 600 et 900 mm, répartie sur quatre à cinq mois.

- une zone sahélienne située au nord, avec une pluviométrie annuelle moyenne comprise entre 300 et 600 mm et répartie sur trois mois.

Cependant, nous ne distinguons pas dans nos travaux les zones pour les régressions parce que nous utilisons des effets fixes par province et qu'il existe une seule saison des pluies à travers le pays.

3.2.2. Justification du modèle utilisé

Les critiques sur le modèle en coupe instantanée ont donné naissance à l'utilisation du modèle en panel à effets fixes par Deschênes et Greenstone (2007). En effet, l'une des critiques majeures faite par DG, (2007) sur le modèle en coupe instantanée est qu'en faisant de telles régressions, ils arrivent à démontrer que la méthode ricardienne ne donne pas des résultats stables à travers le temps. Pour cela, DG, (2007) utilisent 6 années[38] du « Census of Agriculture » des Etats-Unis).

[37] Secrétariat Permanent du Conseil National pour la Gestion de l'Environnement (Burkina Faso).
[38] Les six années utilisées par DG, 2007 sont 1978, 1982, 1987,1992, 1997, 2002.

Ce résultat est d'ailleurs confirmé par Massetti et Mendelsohn, (2011b)[39] qui ont évalué à partir des mêmes données les résultats année par année. Il faut aussi indiquer que cette méthode comme mentionnée dans Massetti et Mendelsohn, (2011a) a été aussi utilisée par Schlenker, Hanemann et Fischer, (2006) (SHF) ; et Mendelsohn, Dinar et Sanghi, (2001) à l'exception que SHF, (2006) trouvaient des résultats stables dans le temps pour les Etats Unis.

Ainsi, au lieu d'une analyse en coupe instantanée, DG, (2007) proposent de déterminer les variations intertemporelles du climat (année par année) afin de vérifier leurs impacts sur les bénéfices agricoles. Aussi**,** l'une des différences entre l'approche de MNS, (1994) et DG, (2007) est que dans cette dernière, les paramètres estimés sont débarrassés de l'influence de tous les facteurs invariants dans le temps qui peuvent être corrélés aux variables climatiques.

Le modèle de panel est aussi utilisé par Leonor et al., (2015) pour l'évaluation ricardienne de l'impact des changements climatiques sur l'Agriculture Mexicaine. En plus, Blanc et Schlenker (2017) expliquent que les modèles de panel sont idéaux car ils utilisent des effets fixes pour absorber toutes les variables qui ne varient pas dans le temps.

C'est donc à travers un modèle ricardien en panel que nous voulons tester nos hypothèses sur l'existence d'un éventuel biais de prix. Les différentes équations à estimer séparément ((1), (2), (3)) (liées aux hypothèses (1), (2) et (3) énoncées plus haut) à travers un panel se définissent comme suit :

$$R_{it} = \alpha_i + \lambda_t + \beta C_{it} + \beta_1 C_{it}^2 + u_{it} \quad (1)$$

$$Vp_{it} = \rho_i + \kappa_t + \beta_2 C_{it} + \beta_3 C_{it}^2 + v_{it} \quad (2)$$

$$I_{it} = \sigma_i + \omega_t + \beta_4 C_{it} + \beta_5 C_{it}^2 + \beta_6 C_{it-1} + \beta_7 C_{it-1}^2 + z_{it} \quad (3).$$

Où R_{it} les rendements**,** Vp_{it} représente la valeur de la production par hectare, c'est-à-dire le revenu par hectare obtenu de la vente des produits agricoles, C_{it}, les variables qui varient dans le temps et l'espace, ici les variables climatiques.

Notons que la présence du terme quadratique reflète la relation non-linéaire qu'il y a entre les variables climatiques et les productions agricoles , I_{it} les différents indices de prix et u_{it} , v_{it}, et z_{it},

[39] Cet article confirme que DG (2007) ont raison de dire que les résultats du modèle ricardien ne sont pas stables dans le temps. Il confirme aussi que la méthode de panel à effet fixe utilisée par DG (2007) est aussi le modèle ricardien. Nous faisons ce commentaire puisque le modèle ricardien d'origine se faisait avec un modèle en coupe instantanée, ce qui permettait une variation spatiale des variables climatiques. Le modèle de panel à effet fixes n'est pas un modèle en coupe instantanée mais demeure une utilisation possible du modèle ricardien.

les termes d'erreur des différentes équations, α_i, ρ_i et σ_i les effets inobservés ou effets fixes ; λ_t, κ_t et ω_t les effets fixes annuels ; i représente les différentes provinces du Burkina-Faso (i=1 à 45) et t le nombre d'années étudiées (de 2001 à 2012). Il convient de mentionner que nous ajoutons dans l'équation de l'indice des prix les variables climatiques retardées d'une année. Cela se justifie parce que nous estimons que les pluies de l'année précédente peuvent influencer les prix de l'année en cours. Par exemple, une sécheresse lors de la saison précédente peut influencer le prix en réduisant les stocks. (Fisher et al., (2012))

3.2.3. Les données

3.2.3.1.La Valeur totale de la production par hectare

C'est le quotient de la somme des valeurs monétaires de la production de chaque culture par la somme des superficies cultivées totales :

$$Vp = \frac{\sum Pc * Qc}{\sum Sup_c}$$

Où Pc représente le prix de vente de chaque culture et Qc **les différentes productions de chaque culture.** Sup_c est la **superficie cultivée pour chaque culture**. En effet, les céréales (maïs, mil et sorgho) constituent les principales productions végétales au Burkina Faso. Selon le dernier Recensement Général de l'Agriculture (RGA 2008), elles étaient pratiquées sur 4 190 344 ha en 2008, soit environ 73,5% du total des surfaces cultivées[40]. Le maïs, le mil et le sorgho représentent respectivement 11%, 29%, 35% des superficies cultivées.

Il est important de prendre en compte les productions, rendements et valeurs de productions totales parce qu'ils peuvent refléter les adaptations des producteurs que constituent les choix entre les différentes céréales.

3.2.3.2.Les rendements totaux

Il n'est pas souhaitable d'additionner directement les rendements (en kg/ha) de cultures différentes puisque même si ce sont des céréales, elles ont des caractéristiques particulières. Ainsi, pour procéder à l'agrégation des rendements, nous convertissons l'ensemble des productions en kilocalories (kcal).

[40] Selon le « *Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt - Politiques agricoles à travers le monde - Fiche pays - Burkina Faso, 2015* », les terres cultivées s'estiment à 5,7 millions d'hectares sur un total 11,8 millions d'hectares à vocation agricole.

Cette conversion nous permet d'obtenir une valeur « homogène » de l'ensemble des productions (du point de vue de la satisfaction des besoins énergétiques du corps humain) et de ce fait des rendements. Le taux de conversion des céréales étudiées en kilocalories se présente comme suit :

1 kg de Maïs = 3560 kcal, 1 kg de Mil = 3400 kcal ,1 kg de Sorgho = 3430 kcal. Ainsi,
Production de maïs en kcal = production de maïs en kg * 3560
Production de mil en kcal= production de mil en kg * 3400
Production de sorgho en kcal= production de sorgho en kg * 3430
D'où Production totale en kcal = Production de maïs en kcal+ Production de mil en kcal+ Production de sorgho en kcal

Le rendement total en kilocalories obtenu est :

$$\textbf{Rendement total en kcal} = \frac{\textbf{production totale en kcal}}{\textbf{Superficie totale}}$$

Les prix, servant au calcul ont été fournis par la SO.NA.GE.S.S (Société Nationale de Gestion du Stock de Sécurité alimentaire) à travers l'annuaire des Prix Agricoles de 2012 et des annuaires statistiques de 2008 et 2009 du Burkina Faso. Les quantités et les superficies proviennent de la base Agristat (Berg et al., (2009)).

Il convient aussi de préciser que toutes les variables sont calculées pour chaque province et chaque année de 2001 à 2012. Aussi, des valeurs aberrantes ont été supprimées concernant les rendements pour éviter tout biais dans nos estimations.

3.2.3.3.Les variables climatiques

Ce sont le résultat des données dérivées des observations, générées à travers des processus de spatialisation (C.R.U TS 3.23)[41](Harris et al., (2014)) de 2001 jusqu'à 2012 pour chacune des provinces du Burkina Faso. Les données C.R.U sont au pas de temps mensuel et à la résolution spatiale de 0,5°x 0,5°. De façon pratique, pour déterminer les températures et les précipitations, nous utilisons le point le plus proche du chef-lieu de la province (qui représentera le climat de toute la zone[42]). En effet, les chefs-lieux sont les zones plus denses en population. Par le même fait, les ménages agricoles préfèrent s'y installer ou aux alentours pour cultiver et avoir ainsi accès à un nombre plus important de consommateurs.

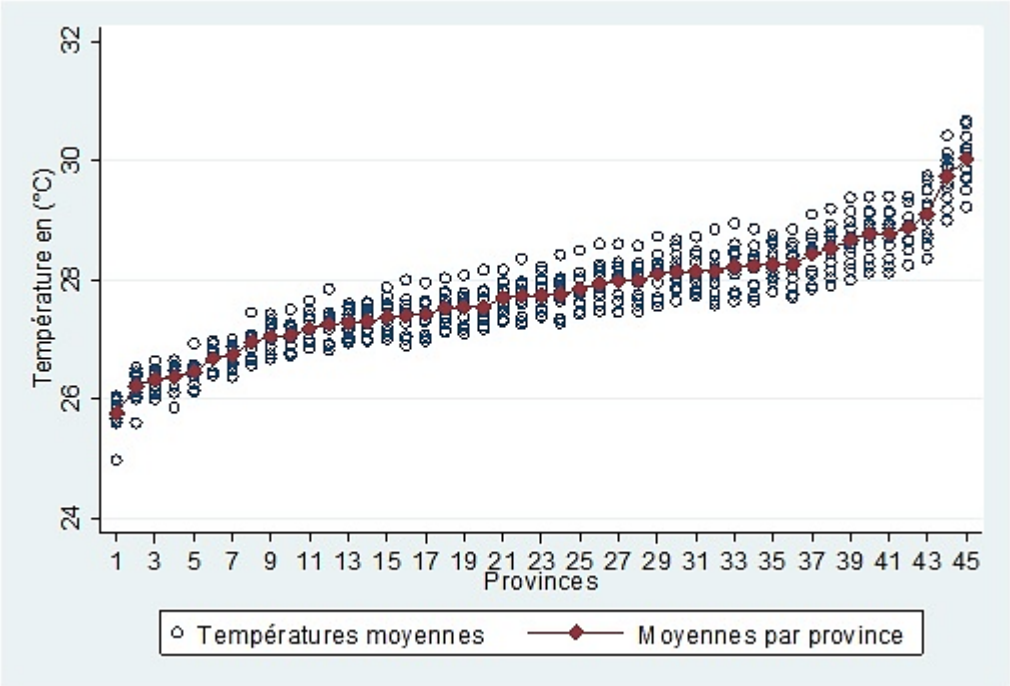
[41] C.R.U: Climate Research Unit, University of East Anglia.
[42] Il faut préciser qu'il ne peut y avoir de fortes disparités climatiques à l'intérieur d'une province car elles ne sont pas grandes. (En moyenne 6000 km^2 par province).

3.2.3.3.1. Choix des variables climatiques.

La plupart des études ricardiennes utilisent communément la température et les précipitations. Or, il convient de nous assurer qu'il n'y a pas de corrélation forte entre les températures moyennes des saisons des pluies et les précipitations cumulées pour garantir l'absence de multicolinéarité entre variables explicatives.

Nous faisons cette remarque pour éviter les problèmes de convexité dans la relation « revenu-climat » détectés par Quiggin et Horowitz, (1999) dans sa critique du modèle ricardien, qui serait due à des problèmes de multicolinéarité entre les variables climatiques. Ainsi, le calcul de la corrélation entre les températures et le cumul des pluies est d'environ -0,8. Ce qui nous invite à utiliser uniquement une des variables climatiques. Pour opérer notre choix, nous observons la variabilité de chacune de ces variables climatiques sur la saison des pluies. Normalement, la saison des pluies est déterminée dans la majorité des études de Mai à Octobre (Nana, (2015) ; p72). Néanmoins la faiblesse des pluies de début et fin de saison peut occasionner des biais en ce qui concerne notre étude, car les pluies en mai sont souvent égales à zéro, tandis que les pluies en octobre peuvent avoir un effet soit positif (en allongeant la saison de culture) soit négatif (en faisant pourrir les grains). Nous utiliserons donc la période Juin à Septembre. Nous précisons que le cumul des pluies au lieu de sa moyenne a été utilisé par plusieurs auteurs. (Ouédraogo, (2012) ; Schlenker et Lobell, (2010)).

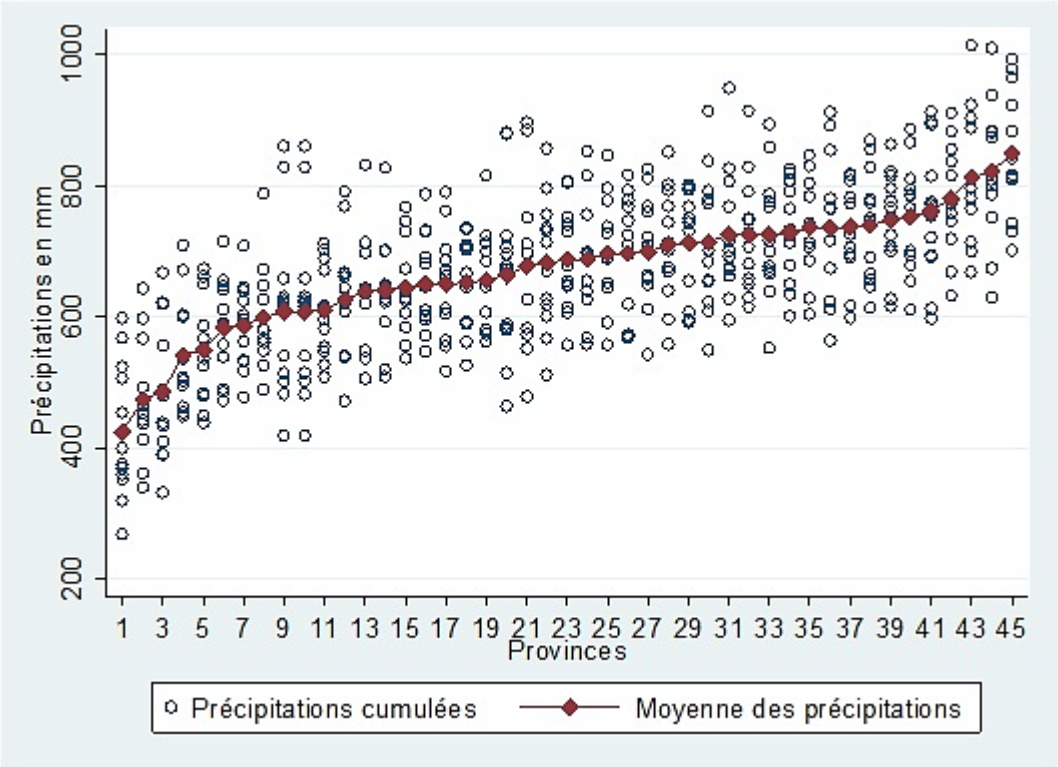
Figure 3.1: Répartition de la température moyenne dans les 45 provinces pendant la saison des pluies sur l'ensemble des 12 années.



En abscisse, chaque chiffre correspond à une province

La figure 3.1 nous montre comment la température moyenne sur l'ensemble de la saison des pluies varie de province en province. Nous constatons donc que pendant la saison des pluies, la moyenne sur les 12 années d'étude des températures moyennes (point rouge sur la figure) oscille entre 26 et 30°C pour la majorité des provinces (soit environ 95% des provinces, 43 provinces sur les 45). Notons que nous classons les provinces[43] par ordre croissant des moyennes des températures sur les 12 années.

Figure 3.2 : Répartition des précipitations cumulées dans les 45 provinces pendant la saison des pluies sur l'ensemble des 12 années.



En abscisse, chaque chiffre correspond à une province

La figure 3.2 nous montre aussi comment les précipitations cumulées sur l'ensemble de la saison des pluies varient de province en province. Nous constatons donc que pendant la saison des pluies, la moyenne sur les 12 années d'étude des précipitations cumulées moyennes (point rouge sur la figure) oscille entre 400 et 800 mm de pluie pour la majorité des provinces (soit environ 93% des provinces, 42 provinces sur les 45). Les provinces sont aussi classées par ordre croissant des moyennes de précipitations. Rappelons que l'ordre des provinces ici en abscisse est différent de celui de la figure 3.1 (voir annexe partie 1, point 2 pour la liste).

[43] L'ordre des provinces en abscisse est disponible en annexe partie 1. point 2. (Pour les figures 1 et 2)

Pour l'ensemble des figures 1 et 2, nous remarquons qu'il y a peu de variabilité interannuelle des températures dans chaque province (par rapport aux écarts entre moyennes interannuelles des provinces) mais beaucoup plus pour les pluies.
Sur cette base, nous choisissons d'effectuer nos régressions uniquement sur les précipitations. Il est crucial en effet, que les variables climatiques ne soient pas fortement corrélées.
La variable climatique choisie est donc le cumul des pluies pendant la saison des pluies pour chaque année de 2001 à 2012. En effet, le revenu des agriculteurs dépend de la période des récoltes et celle-ci dépend de la saison des pluies en cours.

Le choix de la variable climatique étant fait, nous nous posons la question de l'utilisation des précipitations. Plus précisément faut-il utiliser les précipitations cumulées simplement ou faut-il voir si un découpage de la saison des pluies serait plus utile ? En observant le tableau des statistiques descriptives de chaque mois en annexe partie 1, point 3, nous observons que les précipitations augmentent entre Juin et Août et baissent à partir de ce dernier mois. Nous pouvons donc aisément diviser la saison en deux périodes (Juin à Juillet ; Août et Septembre) ;

Il convient aussi de vérifier que l'utilisation de deux variables de précipitations n'entrainera pas de nouveau des problèmes de multicolinéarité. Le tableau des corrélations entre ces variables (voir annexe partie 1, point 4) nous montre de faibles corrélations entre elles. Enfin, du fait du nombre limité de données, nous ne pouvons pas avoir un nombre de variables explicatives trop important. Ainsi, prendre séparément les pluies pour chaque mois serait tout aussi moins pertinent qu'utiliser uniquement les précipitations cumulées de l'ensemble de la saison des pluies.

Les variables climatiques choisies sont donc les pluies cumulées de Juin à Juillet et d'Août à Septembre pour chaque année de 2001 à 2012.

3.2.3.4.L'indice des Prix :

Afin de trouver un indice de prix pouvant représenter la matrice des prix des 3 cultures choisies, nous calculons l'indice de Paasche.

L'indice de Paasche est un indice synthétique[44] qui mesure la variation de la valeur d'une grandeur complexe définie comme agrégation d'un ensemble de grandeurs élémentaires (ainsi, par exemple, l'indice des prix à la consommation (IPC) mesure par un indice unique la variation des prix de 1000 variétés de produits).

[44]Il existe d'autres types d'indices synthétiques dont celui de Laspeyres (qui pondère par les masses de la période de base) ou de Fisher qui s'obtient par la racine carrée du produit de l'indice de Paasche et Laspeyres. Les calculs seront aussi faits avec l'indice de Laspeyres pour une confirmation de nos résultats.

L'indice est une moyenne pondérée des grandeurs élémentaires ; les pondérations sont les « masses » des grandeurs élémentaires (dans le cas des indices des prix, ces masses sont les dépenses). Dans notre cas, les « masses » sont les différentes quantités récoltées en Kg.

$$Indice\ de\ Paasche = \frac{\sum(indices\ simples \times quantité\ courante \times Prix\ initial\ ou\ de\ référence)}{\sum(quantité\ courante \times Prix\ initial)}$$

L'indice de Paasche pondère par les masses de la période courante.

3.2.3.5.Descriptions des données

Tableau 3.1 : Statistiques descriptives

Variables	Moyenne	Ecart-type	Min	Max
Précipitations cumulées de Juin à Juillet (en mm)	291,90	57,80	136,2	532,4
Précipitations cumulées d'Août à Septembre (en mm)	384,31	85,55	182,2	708,1
Rendement total (kcal/ha)	3 518 975	1 197 378	899 225,6	8 476 267
Valeur de la production totale (FCFA/ha)	139 491,8	54 888,9	28 677,2	387 309,5
Indice de Paasche (en FCFA)	103,15	25,13	50,49	192,28

3.3.Méthode d'estimation

3.3.1. Procédure d'estimation.

Avant de présenter les éventuels résultats, il conviendrait de d'abord procéder aux différents tests d'hypothèses. Ainsi, les tests de racine unitaire[45] de Dickey et Fuller (ADF) (Dickey et Fuller, (1979)) montrent que toutes les variables explicatives (les précipitations) sont stationnaires en niveau. Les rendements et la valeur totale de la production sont aussi stationnaires en niveau. L'indice de prix de Paasche est stationnaire en différence première. Ainsi, nous pouvons pour l'équation (1) et (2), continuer la procédure d'estimation. Pour l'équation (3), puisque les variables explicatives, c'est-à-dire les pluies sont stationnaires en niveau et que l'indice de prix l'est en différence première, nous n'avons pas besoin de passer à des tests de cointégration, mais nous effectuerons l'estimation en tenant compte de la stationnarité en différence première de l'indice de prix.

[45] Les tableaux des résultats sont présentés en annexe partie 2

Nous devons donc normalement procéder au test de Hausman, (1978) qui permettra de déterminer pour chacune des trois équations si nous devons estimer un modèle à effet fixes ou aléatoires. Seulement, il parait raisonnable dans notre cas, sans procéder au test de Hausman, de choisir un modèle à effet fixes. En effet, estimer un modèle à effet fixe signifie qu'on va maitriser ou contrôler les variables qui ne varient pas dans le temps et qui peuvent influencer les variables dépendantes. L'avantage de cette méthode est qu'elle évite si nous n'avons pas toutes les données relatives à une zone de créer des biais d'omission c'est-à-dire d'omettre des variables qui seraient susceptibles d'expliquer la variable dépendante.

Quand nous utilisons les effets fixes, nous supposons que chaque province a des caractéristiques propres, que nous pouvons heureusement contrôler et qui sont capables de biaiser l'influence des autres variables explicatives sur la variable dépendante.

Par ailleurs, estimer un modèle à effets aléatoires supposerait donc que nous disposions de beaucoup plus de données explicatives variantes ou invariantes dans le temps. De plus, le modèle à effets aléatoires suppose que les différences à travers les provinces sont aléatoires et non corrélées aux variables qui influencent les variables dépendantes, ce qui est contre intuitif puisque chaque province du Burkina a ses caractéristiques qui lui sont propres. Les différentes équations présentent des problèmes d'hétéroscédasticité. Nous les corrigerons en privilégiant l'estimateur de White, (1980) pour la matrice de variance et covariance des estimateurs

3.3.2. Présence d'effets fixes annuels.

En plus des différents tests effectués pour retenir la meilleure méthode d'estimation de nos équations, nous testons si la présence d'effets fixes annuels est appropriée. En fait, sans l'introduction des effets fixes annuels, les effets ou les coefficients que nous obtenons pour nos variables explicatives d'intérêts (ici les pluies) peuvent ne pas être corrects parce qu'ils peuvent renfermer (ou comporter) les effets des changements de politiques économiques. On entend ici par changement de politique, toute décision ou évènement capable d'influencer aussi notre variable à expliquer. Nous précisons que l'ajout des effets fixes annuels ne permet pas de renforcer la significativité des coefficients mais d'atténuer ce « dysfonctionnement ».

Ainsi, dans notre cas, nos effets fixes annuels peuvent contenir par exemple l'introduction de nouvelles variétés de céréales, la hausse du niveau général des prix ou le progrès technique.

3.3.3. Pondération avec les superficies.

Nous pondérons nos régressions en utilisant comme poids les superficies cultivées.

En effet, sans pondération, une province microscopique compte autant dans les résultats qu'une grande province. Autrement dit un hectare de la petite province pèse plus qu'un ha de la grande. Il convient donc d'effectuer cette pondération pour éviter des éventuels biais.

4. Résultats

4.1.Tableau des résultats.

Tableau 3.2 : Résultats des différentes estimations.*(*** Significatif à 1%, ** Significatif à 5%, * Significatif à 10%)*

	Totaux		
Variables Dépendantes / Variables Indépendantes	(1)	(2)	(3)
	Rendement total en kcal	Valeur de la production par hectare totale	Indice de Paasche
Précipitations cumulées. (Juin-Juillet)	12662,18**	431,93*	0,1
Précipitations cumulées au carré (Juin – Juillet)	-18,01**	-0,61*	$-1{,}87.10^{-4}$
Précipitations cumulées. (Août-Septembre)	10824,4***	517,91***	0,086
Précipitations cumulées au carré (Août-Septembre)	-10,84 ***	-0,55 ***	$-\ 9{,}37.10^{-5}$
Précipitations cumulées de l'année précédente. (Juin-Juillet)			-0,016
Précipitations cumulées de l'année précédente au carré (Juin – Juillet)			$1{,}2.10^{-4}$
Précipitations cumulées de l'année précédente. (Août-Septembre)			-0,16***
Précipitations cumulées de l'année précédente au carré (Août-Septembre)			$1{,}98.10^{-4}$***
2002	240617,5 **	25953,94 ***	
2003	-226232,7***	-31327,19***	-46,90***
2004	164242,3	-33793,6 ***	-31,17***
2005	512664,8***	59236,24***	39,59***
2006	806753,6 ***	10671,21	-56,29***
2007	-292986,6 **	-33327,86***	-22,85***
2008	21801,07	8917,093	9,68***
2009	-25989,53	14971,83*	-11,95***
2010	301757,5**	21316,3***	-21,29***
2011	77432	17377,13 *	-10,06***
2012	570527,8***	100685,8 ***	25,07***
Constante	-1303249	-59297,01	8,53
R^2 within	0,29	0,68	0,9
R^2 between	0,17	0,15	0,86
R^2 overall	0,18	0,51	0,89
Nombre d'observations	380	380	334

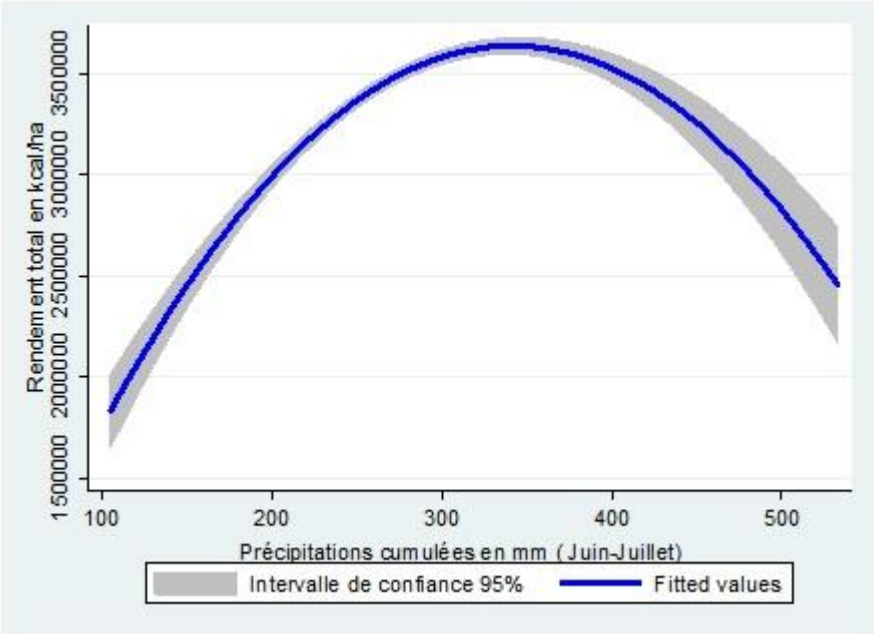
4.2.Analyse et interprétations des résultats[46].

Le tableau 3.2 nous indique que les coefficients des précipitations sont significatifs ainsi que les coefficients associés aux termes quadratiques pour les équations (1) et (2). Grâce à la significativité des coefficients associés aux termes quadratiques et pour mieux interpréter les résultats, nous calculons les différentes élasticités[47]. Ces élasticités nous permettront donc de mesurer et comparer l'effet des variables climatiques sur les rendements et la valeur de production. La régression sur l'indice de prix de Paasche confirmera ou non la présence de biais de prix.

4.2.1. Effet des précipitations de Juin-Juillet sur le rendement total en kilocalories par hectare.

La figure 3.3 nous montre une relation concave entre le rendement et les précipitations cumulées de Juin à Juillet. Le rendement total augmente puis diminue quand les précipitations augmentent.

Figure 3.3 : Fonction de réponse des précipitations cumulées de Juin-Juillet sur le rendement total en kilocalories par hectare.



Pour mieux interpréter l'effet de la pluie sur le rendement total, nous calculons l'élasticité (au point moyen) qui est de 0,17. Cela signifie que si les précipitations augmentent de 1% en partant du point moyen, le rendement total en kcal va augmenter de 0,17% en moyenne.

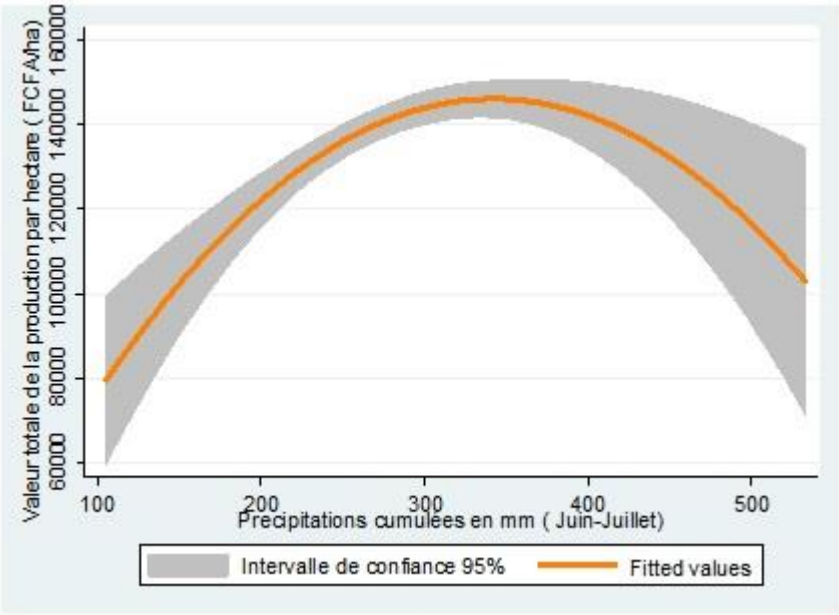
[46]Le logiciel STATA 13 est utilisé pour les régressions et les différentes tables des estimations se trouvent en annexe partie 2. Les mêmes régressions ont aussi été faites sans pondération. Ces régressions ne changent pas les résultats obtenus ici.

[47] Méthode de calcul en annexe partie1 point 5.Il convient aussi de noter que, comme mentionné dans le texte ces élasticités sont calculées aux points moyens. Cela implique que ces élasticités ne disent pas grand-chose sur l'effet total des variables climatiques sur les variables dépendantes.

4.2.2. Effet des précipitations cumulées de Juin-Juillet sur la valeur de la production totale par hectare

La figure 3.4 nous montre une relation concave entre la valeur de la production et les précipitations cumulées de Juin à Juillet. La valeur de la production augmente puis diminue quand les précipitations augmentent.

Figure 3.4 : Fonction de réponse des précipitations cumulées de Juin à Juillet sur la valeur totale de la production par hectare.

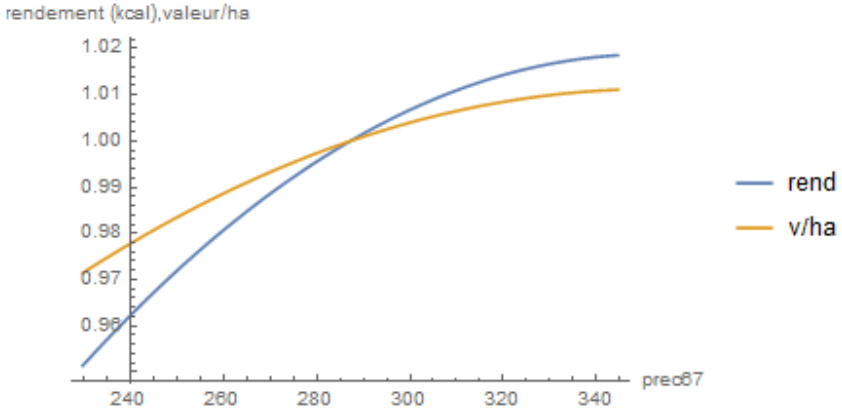


Le calcul de l'élasticité de la valeur de la production (au point moyen) est de 0,15. Cela signifie que si les précipitations augmentent de 1% en partant du point moyen, le rendement total en kcal va augmenter de 0,15% en moyenne.

4.2.3. Comparaison des effets de la pluie sur le rendement et la valeur de la production pour Juin-Juillet.

Quand nous comparons les différents effets de la précipitation de Juin-Juillet sur le rendement total (0,17) et sur la valeur de la production totale par hectare (0,15), nous nous rendons compte qu'ils sont légèrement différents. Ce qui signifie qu'il y a peut-être biais de prix même si tout porte à croire qu'il est faible.

Figure 3.5 : Effet de la pluie de Juin-Juillet sur le rendement total et sur la valeur de la production totale[48].

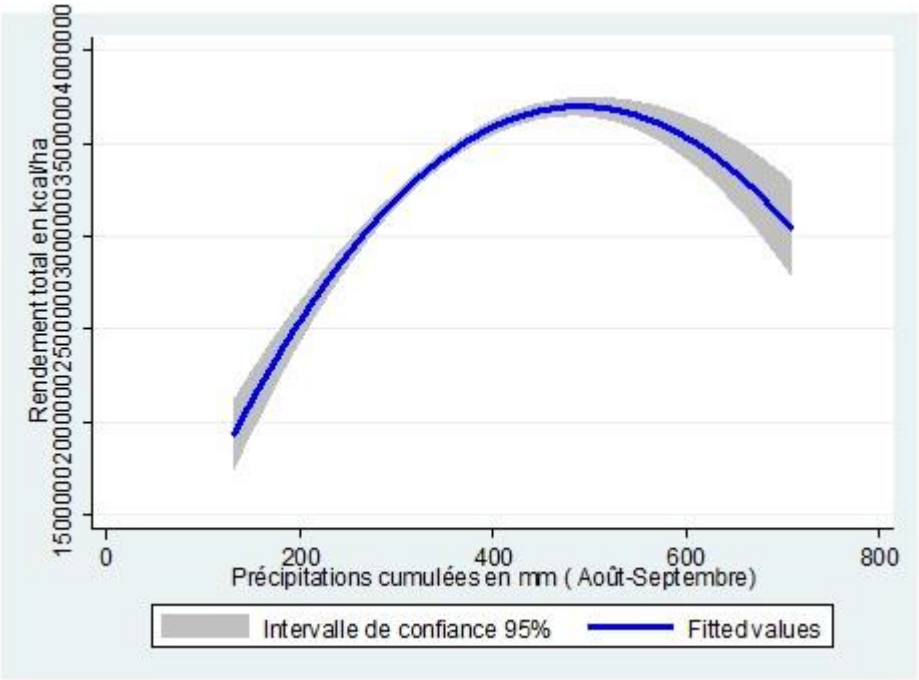


En observant la figure 3.5, nous constatons un écart entre le rendement et la valeur de la production. Ce gap signifie qu'il y a peut-être biais de prix.

4.2.4. Effet des précipitations cumulées d'Août-Septembre sur rendement total en kilocalories par hectare.

La figure 3.6 nous montre aussi une relation concave entre le rendement total et les précipitations cumulées d'Août-Septembre.

Figure 3.6 : Fonction de réponse des précipitations cumulées d'Août-Septembre sur le rendement total en kilocalories par hectare



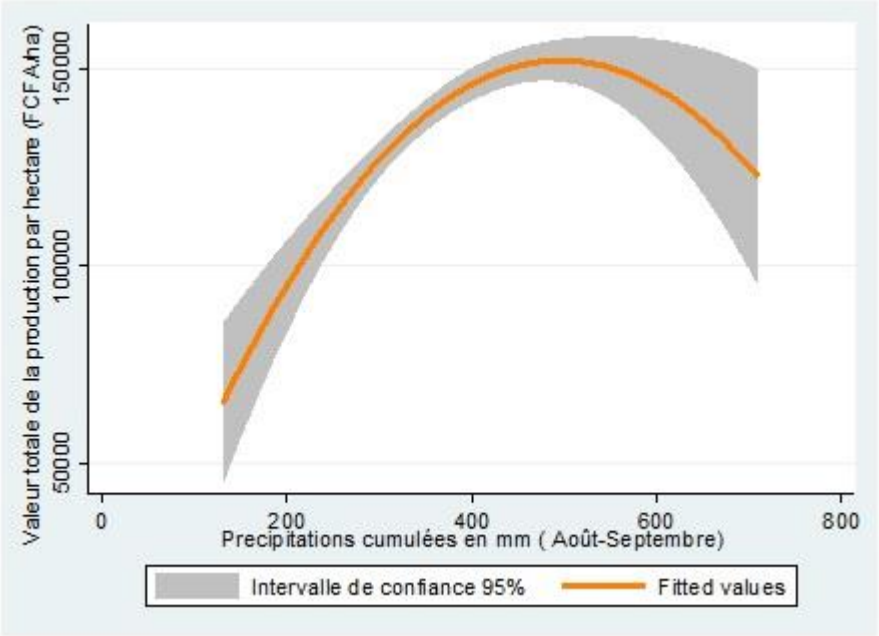
[48]Sur cette courbe, nous normalisons les rendements et la valeur de la production à 1 afin que toutes ces valeurs soient à la même échelle pour une meilleure comparaison. Il en est de même pour la figure 8 ci-dessous.

Le calcul de l'élasticité du rendement (au point moyen) est de 0,27. Cela signifie que si les précipitations augmentent de 1% en partant du point moyen, le rendement total en kcal va augmenter de 0,27% en moyenne.

4.2.5. Effet des précipitations cumulées d'Août-Septembre sur la valeur totale de la production.

La figure 3.7 nous montre une relation concave entre la valeur de la production et les précipitations cumulées d'Août et Septembre. La valeur de la production augmente puis diminue quand les précipitations augmentent.

Figure 3.7 : Fonction de réponse des précipitations cumulées d'Août et Septembre sur la valeur totale de la production par hectare.

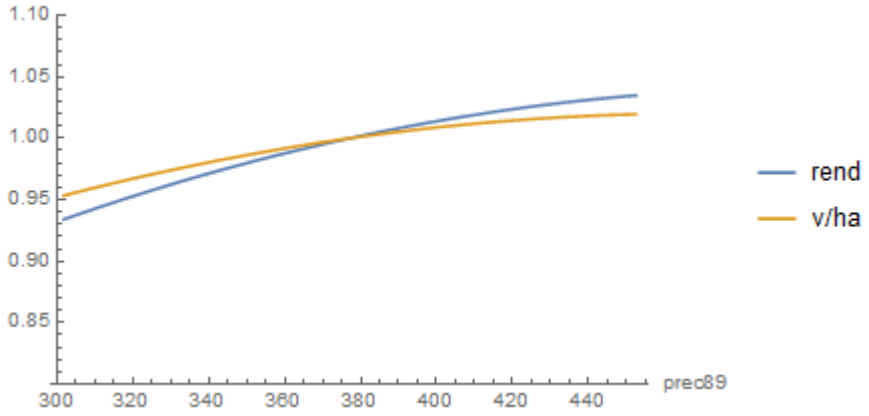


Le calcul de l'élasticité de la valeur de la production totale par hectare sur la pluie est de 0,26. Cela signifie que si les précipitations augmentent de 1% en partant du point moyen, la valeur totale de la production va augmenter en moyenne de 0,26%.

4.2.6. Comparaison des effets de la pluie d'août et Septembre sur le rendement et la valeur de la production

Quand nous comparons les différents effets de la précipitation sur le rendement total (0,27) et sur la valeur de la production totale par hectare (0,26), nous nous rendons compte qu'ils sont très légèrement différents. Ce qui signifie qu'il y a certainement biais de prix même si tout porte à croire qu'il est aussi faible.

Figure 3.8 : Effet de la pluie d'Août-Septembre sur le rendement total et sur la valeur de la production totale



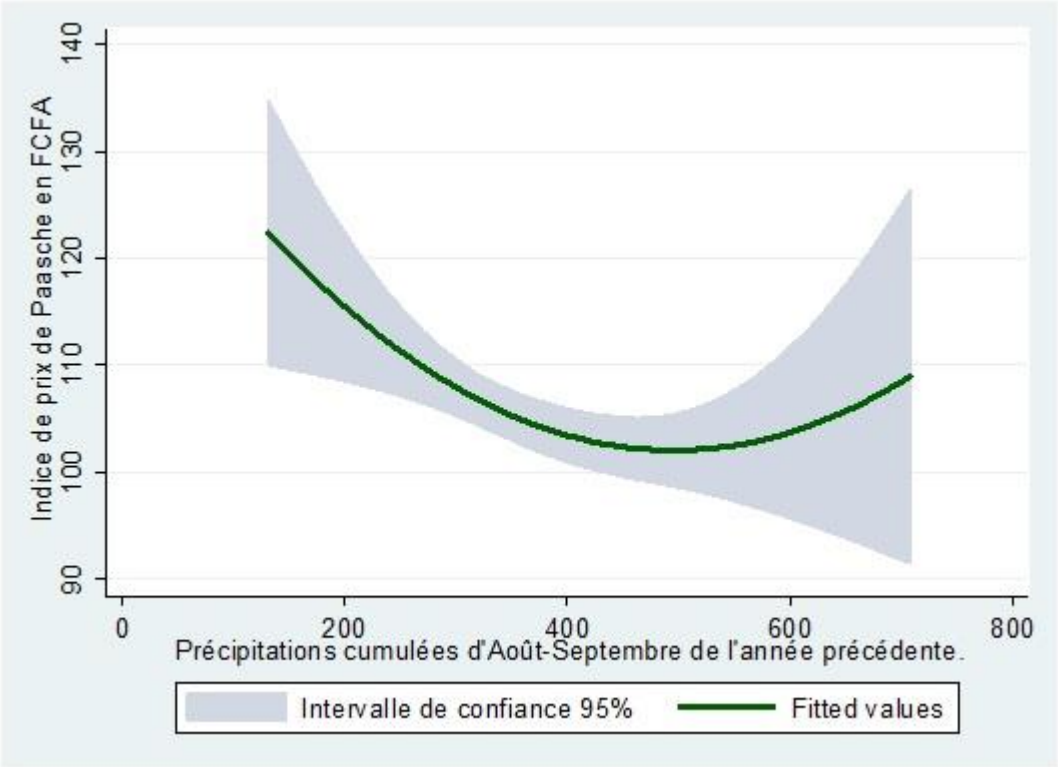
La figure 3.8 nous montre que les deux courbes sont séparées par un léger écart, ce qui laisse présager un éventuel biais de prix. Néanmoins, selon l'hypothèse 3, nous devons valider la présence du biais de prix à l'issue de la régression de l'indice de prix.

4.3.Vérification avec l'indice de prix de Paasche[49]

Le résultat de cette régression montre que les précipitations d'Août-Septembre de l'année précédente sont significatives sur l'indice de prix de Paasche lorsque nous procédons à la vérification. En effet, nous avions émis dans l'hypothèse 3 qu'il était possible que les précipitations passées influencent aussi les prix compte tenu des probables stockages. Plus précisément, lorsque les précipitations en fin de saison pour l'année précédente augmentent, les rendements augmentent, ce qui fait chuter les prix (Figure 3.9 ci-dessous). Les agriculteurs ou les grossistes surtout, peuvent avoir alors tendance à conserver leurs récoltes et attendre des périodes de pénurie pour ensuite augmenter les prix. Les prix sont donc influencés par les pluies d'Août –Septembre de l'année précédente. Ce qui confirme qu'il y a biais de prix au moins pour la période d'Août-Septembre. Il convient aussi de préciser que les figures 3.5 et 3.8 montrent que l'effet des précipitations est plus fort sur les rendements (en bleu) que sur les valeurs de la production (en orange). Cela signifie que si l'on décide d'étudier l'impact des changements climatiques sur l'Agriculture en utilisant uniquement la méthode ricardienne (valeur de la production), on risque de minimiser l'impact puisque pour les mêmes proportions de pluies, on trouve que les rendements sont plus touchés que la valeur de la production. L'on se rend bien compte que les prix atténuent l'impact du climat sur les rendements.

[49]Nous vérifions aussi avec l'indice de prix de Laspeyres qui donne le même résultat (régressions en annexe partie 2, 2.4)

Figure 3.9 : Effet des précipitations cumulées d'Août-Septembre de l'année précédente sur l'indice de Paasche.



La figure 3.9 nous montre la relation convexe qui existe entre les prix et les précipitations de l'année précédente d'Août-Septembre. Cette relation suppose que les pluies influencent directement les prix ou une variable extrêmement corrélée à cette dernière.

5. Quantification du biais de prix.

Nous venons de constater au travers des résultats obtenus ci-dessus comment il est possible qu'il y ait présence d'un biais de prix dans les méthodes ricardiennes. Dans cette partie, nous essayons de le quantifier à travers les scenarios de changement de climat utilisés par Sultan et al., (2013) pour l'évaluation de l'impact des changements climatiques sur le mil et le sorgho en Afrique de l'Ouest.

Chaque scenario combine une anomalie de précipitation entre -20% et +20%. Nous utiliserons donc pour « quantifier » le biais de prix les résultats des régressions du tableau 3.2 Pour ce faire, nous calculons selon chaque scénario la différence entre le rendement total à la pluviométrie moyenne (C_0) et le rendement basé sur l'un des scénarios (C_1). Nous faisons de même pour la valeur de la production par hectare. Nous pourrons ainsi comparer les différents pourcentages de variation obtenus pour chacun des scenarios.

Cette méthode est donnée par l'opération suivante :

$$\Delta \text{ Rendement total en } (\%) = \frac{R(C_i) - R(C_0)}{R(C_0)} \text{ x } 100 \quad (4)$$

, avec $R(C_i)$ et $R(C_0)$ respectivement les rendements selon des scénarios de variations de pluie[50] et les rendements selon la pluie moyenne.

$$\Delta \text{ Valeur de la production par hectare } (\%) = \frac{V(C_i) - V(C_0)}{V(C_0)} \text{ x } 100 \quad (5)$$

avec $V(C_i)$ et $V(C_0)$ respectivement les valeurs de production selon des scénarios de variations des pluie et les rendements selon la pluie moyenne.

Ces différentes variations pour chacun des scénarios sont reportées dans le tableau 3.3 ci-dessous. Nous rappelons que nous avons pu démontrer la présence d'un biais de prix pour la période d'Août-Septembre. La quantification de ce biais se fera donc sur cette période.

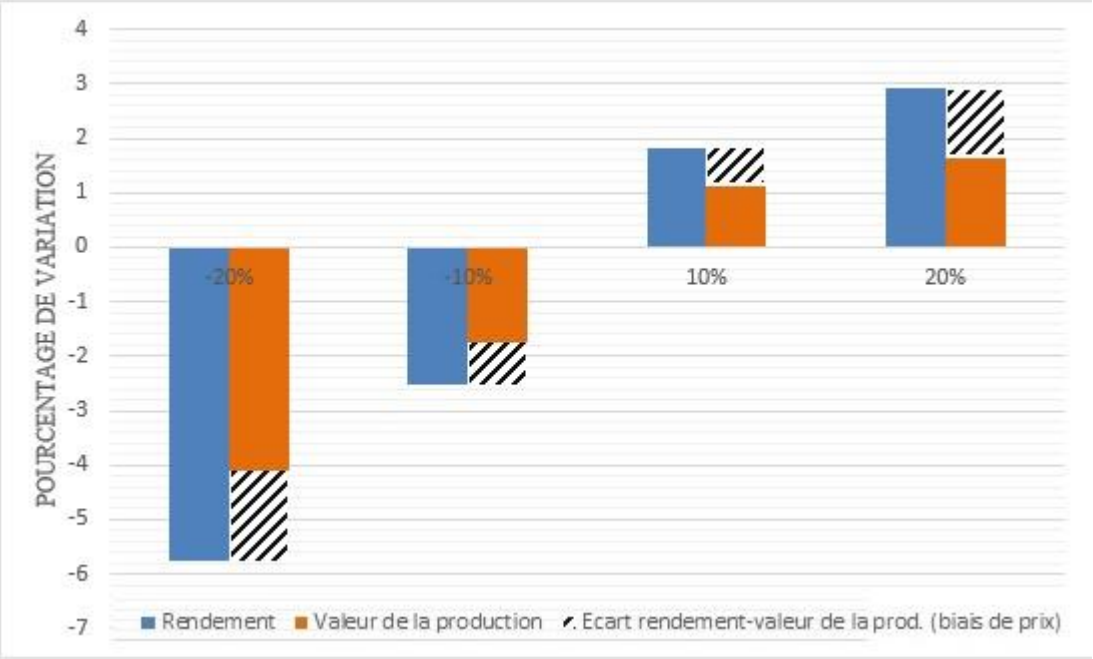
Tableau 3.3 : Quantification du biais de prix.

Scénarios de variation de pluie	**Pourcentage de variation des rendements**	**Pourcentage de variation de la valeur de la production**	**Ecart constaté dû au biais de prix[51]en pourcentage %**
-20%	-5,75	-4,11	**40%**
-10%	-2,52	-1,74	**44,8%**
+10%	1,81	1,12	**61,6%**
+20%	2,91	1,62	**79,6%**

[50] Dans le calcul sont inclus les coefficients des effets fixes annuels significatifs.

[51] Nous calculons ici l'écart relatif. C'est-à-dire l'écart entre le rendement et la valeur de la production selon chaque scénario. Ainsi, pour une hausse des pluies de 20%, l'écart sera [(2,91 / 1,62) -1] *100 = 79,6%

Figure 3.10 : Variations du rendement et valeur de la production selon les différents scénarios



Le tableau 3.3 et la figure 3.10 nous indiquent comment le rendement total et la valeur de sa production par hectare varient selon les différents scénarios de variation des précipitations par rapport à la moyenne. Ils nous permettent aussi de comparer la variation des rendements et de leurs valeurs de production pour chacun des scénarios.

Ainsi, pour des scenarios de baisse de pluie de 10 et 20%, les rendements et les valeurs de production vont baisser. Par exemple, pour une baisse de 20% des pluies, les rendements vont baisser d'environ 6% et la valeur de la production d'environ 4%.

Nous constatons donc que quel que soit le scenario d'augmentation ou de baisse des pluies, il existe un écart qui représente le biais de prix (partie hachurée sur la figure 3.10). L'impact d'une baisse de 20% des précipitations est 40% plus élevé sur les rendements que sur la valeur de la production. De même, l'impact d'une hausse de 20% des pluies est environ 80% plus élevé sur les rendements que sur la valeur de la production. Nous constatons au vu de ces résultats que quelques soient les scénarios, il existe toujours un écart relatif entre la valeur de la production et le rendement, synonyme de biais de prix.

6. Conclusion et discussions.

L'ensemble des résultats obtenus nous montrent qu'il y a présence de biais de prix. D'abord, comme suggéré dans nos hypothèses, nous avons estimé 3 équations en vue de justifier l'éventuelle présence d'un biais de prix dans les études ricardiennes. Les résultats ont montré qu'il existe une relation concave entre les précipitations et les rendements totaux, et entre les précipitations et la valeur totale de production par hectare.

Ensuite, dans l'optique de mieux interpréter les résultats à cause de la significativité des coefficients associés aux termes quadratiques et de montrer la présence ou l'absence de biais de prix, nous avons calculé les élasticités aux différents points moyens. Ces calculs nous ont montré qu'il y a présence d'un biais de prix. En effet, en calculant les élasticités aux points moyens, nous avons mesuré l'effet des précipitations à la fois sur les rendements et les valeurs de production par hectare. Il s'est trouvé que les effets n'étaient sensiblement pas les mêmes. L'écart constaté est donc dû au biais de prix. Nous avons aussi vérifié les résultats en faisant la régression de l'indice de prix de Paasche sur les précipitations. Ces dernières sont significatives pour les mois d'Août à Septembre de l'année précédente, ce qui montre qu'effectivement, soit les variables climatiques elles-mêmes, soit d'autres variables qui leur sont fortement corrélées influencent les prix.

Ainsi, lorsque nous levons l'hypothèse de constance des prix (MNS, 1994), en utilisant des données de panel, il est fort probable qu'utiliser la valeur de la production par hectare ou le revenu pour l'évaluation de l'impact des changements climatiques sur l'agriculture entraine le biais que nous venons de constater. Ceci montre un possible mélange des effets prix et quantité dans les nombreuses études de l'impact des changements climatiques sur l'agriculture pour les pays en développement utilisant le modèle ricardien. Utiliser uniquement la valeur de la production (méthode ricardienne) pour déduire l'impact du changement climatique sur l'Agriculture en faisant l'hypothèse que les prix sont constants n'est donc pas totalement correct.

Enfin, nous avons essayé de quantifier ce biais de prix en utilisant plusieurs scénarios portant sur des variations de la pluie. Cela a montré que l'effet de la pluie sur le rendement est 40 à 80% plus élevé que sur la valeur de la production respectivement pour des scenarios de baisse et d'augmentation de 20% des pluies.

Tous ces résultats nous indiquent que les pays en développement n'ont pas les infrastructures nécessaires pour garantir les prix constants comme le suppose MNS, (1994). Les études de l'impact des changements climatiques sur l'Agriculture dans ces pays doivent donc tenir compte de l'imperfection des marchés et ne pas uniquement se focaliser sur les revenus des agriculteurs. Ces derniers peuvent être finalement des mauvais indicateurs de l'impact des changements climatiques.

Références bibliographiques

1. **Afrique Verte internationale, (**2010), Renforcer les capacités des réseaux d'organisations agricoles par l'analyse de l'évolution du prix des céréales locales au Burkina, Mali et Niger durant la période 2001-2010 et ses incidences sur le Warrantage au Niger.
2. **Aker, C.J.** (2010). Information from markets near and far: Mobile phones and agricultural markets in Niger. *American Economic Journal: Applied Economics*, 2(3), 46-59.
3. **Auffhammer, M., & Schlenker, W.** (2014).Empirical studies on agricultural impacts and adaptation. *Energy Economics*, 46, 555-561.
4. **Baltagi, B**. (2005).« Econometric Analysis of Panel Data » Third edition, John Wiley and Sons
5. **Bassolet, B. et Lutz, C.** (1999) « Information service and integration of cereal markets in Burkina Faso. » *Journal of African Economies*. 8(1), 31-51.
6. **Berg, A., P. Quirion and B. Sultan**, (2009). Weather-index drought insurance in Burkina-Faso: assessment of its potential interest to farmers.*Weather, Climate and Society*, 1(1): 71-84, October.
7. **Blanc, E., et Schlenker, W.** (2017). The use of panel models in assessments of climate impacts on agriculture. *Review of Environmental Economics and Policy*, 11(2), 258-279.
8. Butt, T.A., McCarl, B.A., Angerer, J., Dyke, P.T. and Stuth, J.W. 2005. The Economic and Food Security Implications of Climate Change in Mali. *Climatic Change* 68 (3): 355–78.
9. **Cline, W. R. (**1996). The impact of global warming on agriculture: Comment, *The American EconomicReview* 86(5), 1309–1301.
10. **Darwin, R.** (1999) The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis: Comment. *The American Economic Review*, 89(4), 1049-1052.
11. **Deressa, T. Hassan, R. and Poonyth, D.** (2005). Measuring the impact of climate change on South African agriculture: the case of sugar-cane growing regions. *Agrekon* 44(4):524-542
12. **Deschênes, O. and Greenstone, M.** (2007). The Economic Impacts of Climate Change: Evidence from Agricultural Profits and Random Fluctuations in Weather. *American Economic Review*, 97 (1), 354-385.
13. **Dickey, D.A., and Fuller, W.A**. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American statistical association*, 74 (366a), 427-431.

14. **Fisher, A. C., & Hanemann, W. M.** (1998). The impact of global warming on agriculture: Rethinking the Ricardian approach. *Department of Agricultural & Resource Economics*, UCB.
15. **Fisher, A. C., Hanemann, W. M., Roberts, M. J., & Schlenker, W.** (2012). The economic impacts of climate change: evidence from agricultural output and random fluctuations in weather: comment. *The American Economic Review*, *102*(7), 3749-3760.
16. **Guan, K., Sultan, B., Biasutti, M., Baron,C. , Lobell, D.B.** (2016).Assessing climate adaptation options and uncertainties for cereal systems in West Africa. *Agricultural and Forest Meteorology* vol: 232 pp: 291-305
17. **Harris, I., Jones, P.D., Osborn, T.J. and Lister, D.H.** (2014), Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology* 34, 623-642
18. **Hausman, J.A.** (1978)**,** « Specification tests in Econometrics, » *Econometrica* 46, 1251-1271
19. **Leonor, P.V., Arturo, C.S. and Sanz,C.K.** (2015). Impact of climate change on agriculture in Mexico using a Ricardian model with panel data. *African Journal of Agricultural Economics and Rural Development.* Vol 3 (5), pp. 22—336.
20. **Kumar, K.K.S.** (2007)**.** Climate Change studies in Indian Agriculture. *Economic and Political Weekly* Vol. 42, No. 45/46 (Nov. 10 - 23, 2007), pp. 13, 15-18
21. **Kurukulasuriya P, Ajwad, M.I.** (2007).Application of the Ricardian technique to estimate the impact of climate change on smallholder farming in Sri Lanka. *Climate Change* 81(1):39-59
22. **Kurukulasuriya, P. and Mendelsohn, R.,** (2008a)A Ricardian analysis of the impact of climate change on African cropland. *Afr. J. Agric Res. Econ*. 2:1-23
23. **Massetti, E. et Mendelsohn, R.** (2011a).Estimating Ricardian Models with panel data. *Climate Change Economics*, Vol.2, N°4 301-319
24. **Massetti, E. et Mendelsohn, R.** (2011b). The impact of climate change on US agriculture: A repeated cross sectional Ricardian analysis. *Handbook on Climate Change and Agriculture*, 141.
25. **Mendelsohn, R., and Nordhaus, W**. (1996). The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis: Reply. *The American Economic Review* 86(5): 1012–15.
26. **Mendelsohn, R. Nordhaus, W. and Shaw, D.** (1994).The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis. *American Economic Review* 84, 753–771.

27. **Mendelsohn, R. Nordhaus, W. and Shaw, D.** (1999). The impact of climate variation on US agriculture. In Mendelsohn R. and Neumann J (eds), *The impact of Climate Change on the economy of the United States. Cambridge: Cambridge University Press.*
28. **Mendelsohn, R. Sanghi, A. and Dinar, D.** (2001). The Effect of development on the climate sensitivity of agriculture. *Environment and Development Economics* 6: 85-101
29. **Nana, T.J.** (2012). « Impact des changements climatiques sur l'Agriculture au Burkina Faso : Quelles stratégies d'adaptation ? » Thèse de Doctorat de l'Université Ouaga II soutenue le 12 Décembre 2015, p72.
30. **Ndiaye, M., Maître d'Hôtel, E., & Le Cotty, T**. (2015). Maize price volatility: does market remoteness matter? *Policy Research Working Paper* 7202World Bank Group
31. **Ouedraogo, M.** (2012). Impact des changements climatiques sur les revenus agricoles au Burkina Faso. *Journal of Agriculture and Environment for International Development - JAEID*, 106 (1): 3 – 21
32. **Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD),** (2015) **:** Rapport Annuel 2014 du PNUD Burkina Faso.
33. **Quiggin, John and Horowitz, John K. (**1999) The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis: Comment. *American Economic Review*, 89 (4), pp. 1044-45.
34. **Rosenzweig, C. Parry, M. Frohberg, K. and Fisher, G. (**1993) Climate change and world food supply. *Oxford : Oxford University Press,*
35. **Rosenzweig, C. and Iglesias, A**., (1 994). Eds. Implications of climate change for international agriculture: Crop modeling study. Washington, DC: Environmental Protection Agency.
36. **Roudier, P. Sultan, B. Quirion, P. and Berg, A.** (2011a). The impact of future climate change on West African agriculture: a review, in revision in *Global Environmental Change*.
37. **Schlenker, W., Hanemann, W. M., & Fisher, A. C**. (2006). The impact of global warming on US agriculture: an econometric analysis of optimal growing conditions. *Review of Economics and statistics*, *88*(1), 113-125.
38. **Schlenker, W., & Lobell, D. B.** (2010). Robust negative impacts of climate change on African agriculture. *Environmental Research Letters*, 5(1), 014010.
39. **Simonin, J-P.** (1996) Des premiers énoncés de la loi de King à sa remise en cause [Essais de mesures ou fictions théoriques]. In: *Histoire & Mesure*, volume 11 - n°3-4. Prix, production, productivité agricoles. pp. 213-254.

40. **SP/CONAGESE** 2001. Convention cadre des nations unies sur les changements climatiques Communication du Burkina Faso, SP/CONAGESE, Ouagadougou, 126p.
41. **Sultan, B., Roudier, P., Quirion, P., Alhassane, A., Muller, B., Dingkuhn, M., & Baron, C.** (2013). Assessing climate change impacts on sorghum and millet yields in the Sudanian and Sahelian savannas of West Africa. *Environmental Research Letters*, 8(1), 014040.
42. **White, H.** (1980)**.** « A heteroskedasticity-Consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroskedasticity , » *Econometrica* 48, 817-838
43. **Wourtese, F. and Taylor, J.** (2008) Migration Income Diversification: Evidence from Burkina Faso. *World Developement* Vol.36, No. 4, pp. 625-640.

Annexes

Annexe partie 1.

1. **Carte du Burkina Faso**

Figure 3.11 : Carte du Burina Faso avec les 45 provinces.

2. **Liste des provinces correspondant aux abscisses des figures 3.1 et 3.2.**

2.1.Correspondance des provinces en abscisse de la figure 3.1

1.Leraba ; 2. Comoe ; 3. Poni ; 4. Kenedougou ; 5. Houet ; 6. Bougouriba ; 7. Noumbiel 8. Tuy ; 9. Sissili ; 10. Ioba ; 11. Koulpelgo 12. Bale 13. Boulgou 14. Nahouri ; 15. Kompienga ; 16. Banwa ; 17. Ziro ;18. Bazega 19. Mouhoun 20. Kouritenga ; 21. Zoundweogo ; 22. Sanguie ; 23. Gourma ; 24. Boulkiemde ; 25. Ganzourgou ; 26. Kadiogo ; 27. Passore ; 28. Nayala ; 29. Kossi ; 30. Tapoa ; 31. Gnagna ; 32. Kourweogo ; 33. Oubritenga ; 34. Zondoma ; 35. Komandjori 36. Sourou ; 37. Bam ;38. Sanmatenga ; 39. Namentenga ;40. Loroum ; 41. Yatenga ; 42. Yagha ; 43. Seno ;44. Soum ; 45. Oudalan

2.2.Correspondance des provinces en abscisse de la figure 3.2

1.Oudalan ; 2. Soum ; 3. Seno ; 4. Yagha ; 5. Namentenga ; 6. Sanmatenga ; 7. Loroum ; 8.Yatenga ; 9.Gnagna ; 10.Komandjori ; 11.Oubritenga ; 12.Bam ; 13. Kourweogo ; 14. Zondoma ; 15.Gourma ; 16.Tapoa ; 17.Ganzourgou ; 18.Kadiogo ; 19. Kouritenga ; 20. Sourou ; 21. Passore ; 22. Boulkiemde ; 23.Kossi ; 24. Nayala ; 25.Kompienga ; 26.Sanguie ; 27.Koulpelgo ; 28.Mouhoun ; 29.Banwa ; 30.Ziro ; 31.Zoundweogo ; 32.Bale ; 33.Noumbiel ; 34.Bazega ; 35.Tuy ; 36.Ioba 37.Bougouriba ; 38.Poni ; 39.Houet ; 40.Sissili ; 41.Kenedougou ; 42.Boulgou ; 43.Nahouri ; 44. Comoe ; 45. Leraba

3. Statistiques descriptives des différents mois de la saison des pluies.

Mean estimation Number of obs = 380

	Mean	Std. Err.	[95% Conf.	Interval]
prec6	107.1624	1.799198	103.6247	110.7
prec7	184.7392	2.358425	180.102	189.3764
prec8	233.2642	2.897742	227.5665	238.9619
prec9	151.0537	2.73096	145.684	156.4234

4. Matrice des corrélations entre les variables choisies (Précipitations de Juin à Juillet et d'Août à Septembre

	prec67	prec89
prec67	1.0000	
prec89	0.3274	1.0000

5. Calcul des élasticités.

Pour le calcul des élasticités, aux points moyens, nous utilisons les résultats des régressions. (cf aussi Kurukulasuriya et Mendelsohn, 2008a). Nous utilisons les coefficients obtenus après les estimations afin de déterminer l'effet direct entre la variable dépendante et explicative sans tenir compte des autres variables de contrôle.

Ainsi, en prenant l'exemple du rendement total en kilocalories par hectare pour Juin-Juillet ;

L'équation obtenue après estimation est :

R= 12662,18p – 18,01p^2 ; Elasticité (Rendement/Pluie) = $\frac{\partial R}{\partial p} * \frac{p_{moyen}}{R_{moyen}}$, Elasticité = 0,17. Nous utilisons la même méthode pour le calcul des autres élasticités.

6. Figures complémentaires

Figure 3. 12 : Nuage de points des rendements du maïs, mil et sorgho en fonction des précipitations cumulées de Juin-Juillet

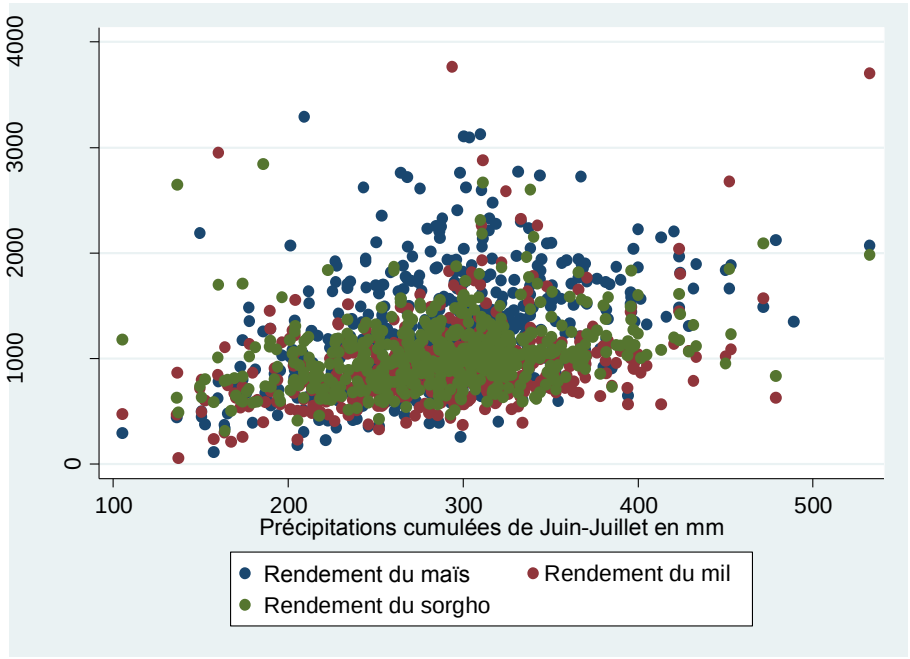


Figure 3.13: Nuage de points des rendements du maïs, mil et sorgho en fonction des précipitations cumulées d'Août-Septembre

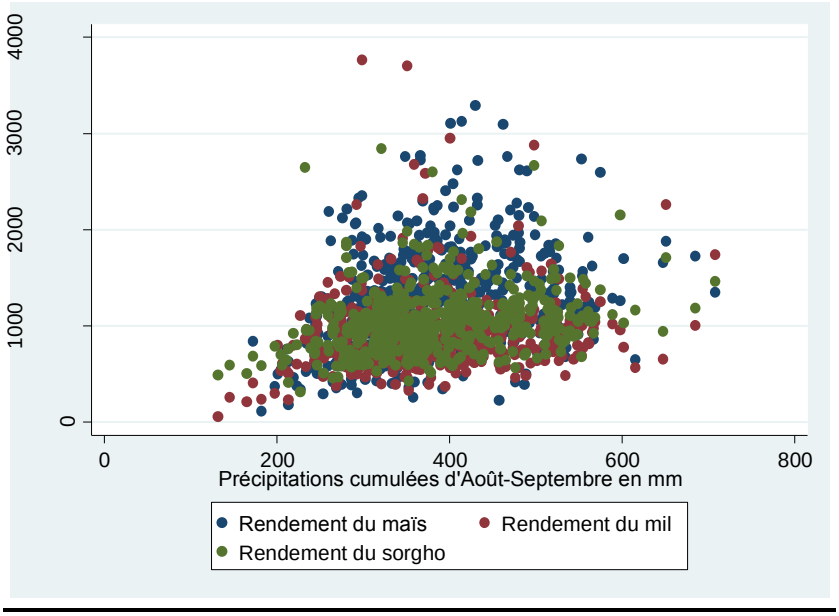


Figure 3.14 : Nuage de points des valeurs de production du maïs, mil et sorgho en fonction des précipitations cumulées de Juin-Juillet

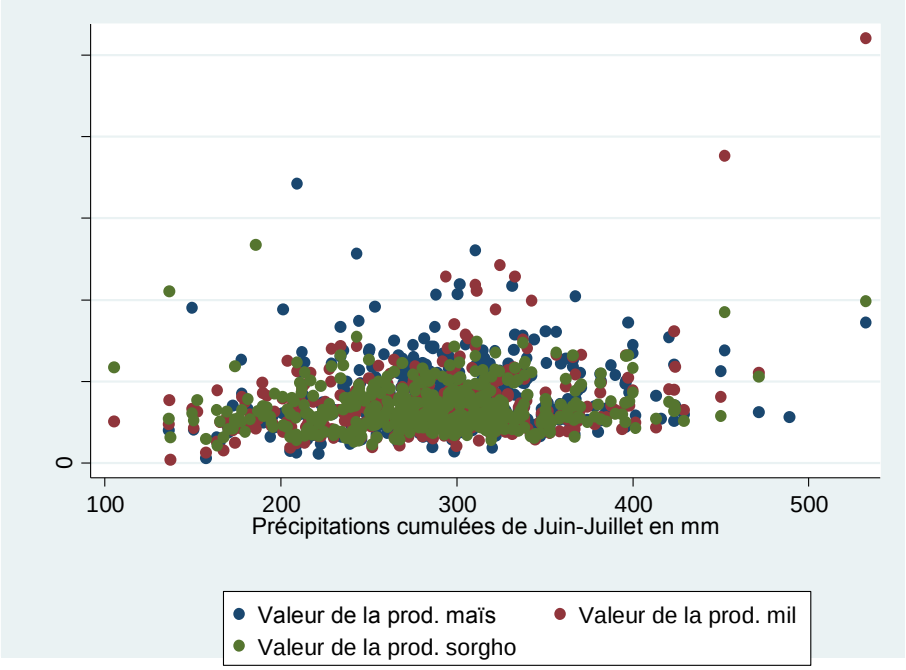
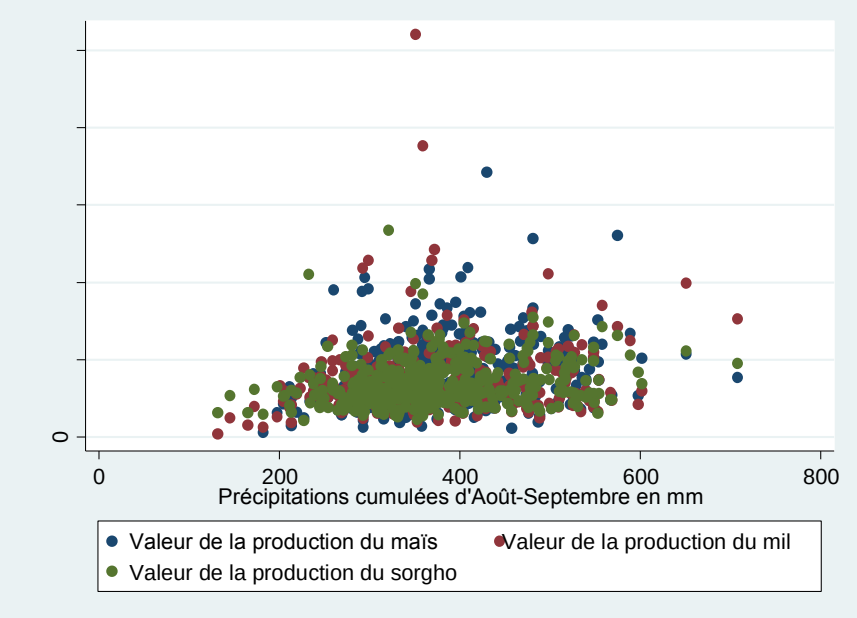
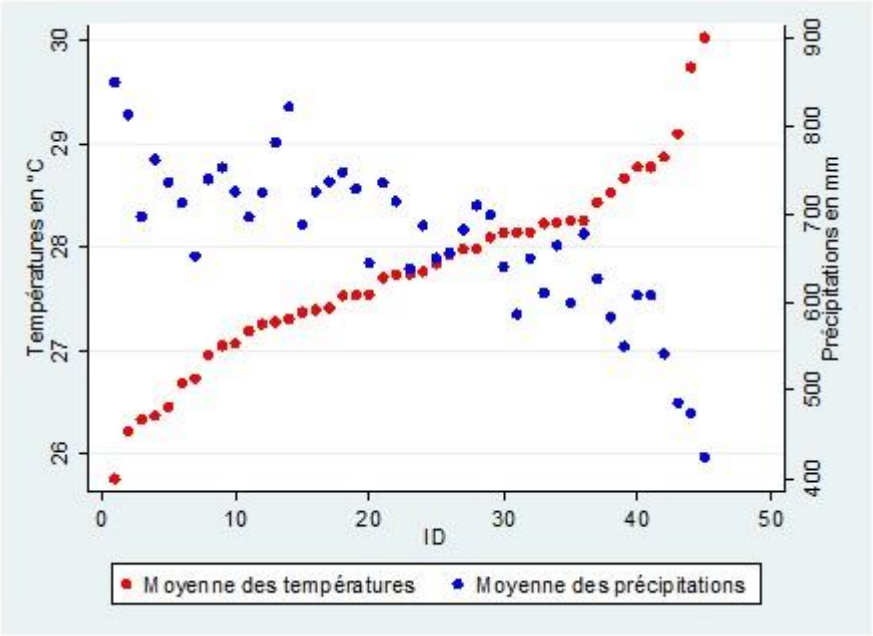


Figure 3.15: Nuage de points des valeurs de production du maïs, mil et sorgho en fonction des précipitations cumulées d'Août-Septembre



Les figures 3.12,3.13,3.14 et 3.15 nous montrent les nuages de points des rendements et des valeurs de production par rapport aux précipitations. Nous notons que les rendements sont concentrés en général entre 500 et 1500 kg/ha. Ces grandes concentrations se situent entre 200 et 600 mm de pluie. De même les valeurs de productions varient entre environ 50.000 et 250.000 CFA/ha. On retrouve cette proportion aussi entre environ 200 et 600 mm de pluie.

Figure 3.16 : Moyenne des températures et des précipitations cumulées dans les 45 provinces



En plus des figures 3.1 et 3.2, nous représentons dans la figure ci-dessus les moyennes des températures et des précipitations, mais en maintenant les provinces dans l'ordre de la figure 3.1L'objectif est d'observer comment se comporte les précipitations correspondantes à ces températures quand elles croissent.

Nous pouvons affirmer qu'en observant les moyennes des températures et précipitations, plus une province a une température basse, plus elle a de fortes précipitations.

Annexe partie 2 : Les régressions sous STATA 13

1. Tests de racine unitaire

1.1. Précipitations cumulées.

1.1.1. Précipitations cumulées de Juin à Juillet

```
Fisher-type unit-root test for prec67
Based on augmented Dickey-Fuller tests
---------------------------------------

Ho: All panels contain unit roots           Number of panels  =     45
Ha: At least one panel is stationary        Number of periods =     12

AR parameter: Panel-specific                Asymptotics: T -> Infinity
Panel means:  Included
Time trend:   Not included
Drift term:   Not included                  ADF regressions: 1 lag
------------------------------------------------------------------------------
                                  Statistic      p-value
------------------------------------------------------------------------------
 Inverse chi-squared(90)   P       341.3037       0.0000
 Inverse normal            Z       -10.9588       0.0000
 Inverse logit t(229)      L*      -13.0965       0.0000
 Modified inv. chi-squared Pm       18.7311       0.0000
------------------------------------------------------------------------------
 P statistic requires number of panels to be finite.
 Other statistics are suitable for finite or infinite number of panels.
------------------------------------------------------------------------------
```

1.1.2. Précipitations cumulées d'Août à Septembre

```
Fisher-type unit-root test for prec89
Based on augmented Dickey-Fuller tests
---------------------------------------

Ho: All panels contain unit roots           Number of panels  =     45
Ha: At least one panel is stationary        Number of periods =     12

AR parameter: Panel-specific                Asymptotics: T -> Infinity
Panel means:  Included
Time trend:   Not included
Drift term:   Not included                  ADF regressions: 1 lag
------------------------------------------------------------------------------
                                  Statistic      p-value
------------------------------------------------------------------------------
 Inverse chi-squared(90)   P       220.2157       0.0000
 Inverse normal            Z        -7.4095       0.0000
 Inverse logit t(229)      L*       -7.8453       0.0000
 Modified inv. chi-squared Pm        9.7057       0.0000
------------------------------------------------------------------------------
 P statistic requires number of panels to be finite.
 Other statistics are suitable for finite or infinite number of panels.
------------------------------------------------------------------------------
```

1.1.3. Précipitations cumulées de Juin à Juillet retardées d'une période

```
Fisher-type unit-root test for L.prec67
Based on augmented Dickey-Fuller tests
---------------------------------------

Ho: All panels contain unit roots           Number of panels  =     45
Ha: At least one panel is stationary        Number of periods =     11

AR parameter: Panel-specific                Asymptotics: T -> Infinity
Panel means:  Included
Time trend:   Not included
Drift term:   Not included                  ADF regressions: 1 lag
------------------------------------------------------------------------------
                                  Statistic      p-value
------------------------------------------------------------------------------
 Inverse chi-squared(90)   P       310.0110       0.0000
 Inverse normal            Z       -10.2329       0.0000
 Inverse logit t(229)      L*      -11.7368       0.0000
 Modified inv. chi-squared Pm       16.3987       0.0000
------------------------------------------------------------------------------
 P statistic requires number of panels to be finite.
 Other statistics are suitable for finite or infinite number of panels.
------------------------------------------------------------------------------
```

1.1.4. Précipitations cumulées de Juin à Juillet retardées d'une période

```
Fisher-type unit-root test for L.prec67
Based on augmented Dickey-Fuller tests
--------------------------------------

Ho: All panels contain unit roots           Number of panels  =     45
Ha: At least one panel is stationary        Number of periods =     11

AR parameter: Panel-specific                Asymptotics: T -> Infinity
Panel means:  Included
Time trend:   Not included
Drift term:   Not included                  ADF regressions: 1 lag
------------------------------------------------------------------------------
                                  Statistic      p-value
------------------------------------------------------------------------------
 Inverse chi-squared(90)   P       310.0110       0.0000
 Inverse normal            Z       -10.2329       0.0000
 Inverse logit t(229)      L*      -11.7368       0.0000
 Modified inv. chi-squared Pm       16.3987       0.0000
------------------------------------------------------------------------------
 P statistic requires number of panels to be finite.
 Other statistics are suitable for finite or infinite number of panels.
------------------------------------------------------------------------------
```

1.2. Valeur de la production par hectare.

```
Fisher-type unit-root test for vp_ha
Based on augmented Dickey-Fuller tests
--------------------------------------

Ho: All panels contain unit roots           Number of panels       =     42
Ha: At least one panel is stationary        Avg. number of periods =   9.05

AR parameter: Panel-specific                Asymptotics: T -> Infinity
Panel means:  Included
Time trend:   Not included
Drift term:   Not included                  ADF regressions: 1 lag
------------------------------------------------------------------------------
                                  Statistic      p-value
------------------------------------------------------------------------------
 Inverse chi-squared(80)   P       140.1190       0.0000
 Inverse normal            Z        -2.7510       0.0030
 Inverse logit t(149)      L*       -4.3238       0.0000
 Modified inv. chi-squared Pm        4.7528       0.0000
------------------------------------------------------------------------------
 P statistic requires number of panels to be finite.
 Other statistics are suitable for finite or infinite number of panels.
------------------------------------------------------------------------------
```

1.3. Rendements totaux en kcal

```
Fisher-type unit-root test for rend_tot_kcal_v
Based on augmented Dickey-Fuller tests
--------------------------------------

Ho: All panels contain unit roots           Number of panels       =     42
Ha: At least one panel is stationary        Avg. number of periods =   9.05

AR parameter: Panel-specific                Asymptotics: T -> Infinity
Panel means:  Included
Time trend:   Not included
Drift term:   Not included                  ADF regressions: 1 lag
------------------------------------------------------------------------------
                                  Statistic      p-value
------------------------------------------------------------------------------
 Inverse chi-squared(80)   P       136.6706       0.0001
 Inverse normal            Z        -5.4727       0.0000
 Inverse logit t(149)      L*       -5.8852       0.0000
 Modified inv. chi-squared Pm        4.4802       0.0000
------------------------------------------------------------------------------
 P statistic requires number of panels to be finite.
 Other statistics are suitable for finite or infinite number of panels.
------------------------------------------------------------------------------
```

1.4.Indice de Paasche.

```
Fisher-type unit-root test for ind_pa
Based on augmented Dickey-Fuller tests
------------------------------------------
Ho: All panels contain unit roots           Number of panels       =     45
Ha: At least one panel is stationary        Avg. number of periods =   9.67

AR parameter: Panel-specific                Asymptotics: T -> Infinity
Panel means:  Included
Time trend:   Not included
Drift term:   Not included                  ADF regressions: 1 lag
------------------------------------------------------------------------------
                                  Statistic      p-value
------------------------------------------------------------------------------
 Inverse chi-squared(90)    P       102.8002       0.1682
 Inverse normal             Z        -1.3129       0.0946
 Inverse logit t(174)       L*       -1.9080       0.0290
 Modified inv. chi-squared  Pm        0.9541       0.1700
------------------------------------------------------------------------------
 P statistic requires number of panels to be finite.
 Other statistics are suitable for finite or infinite number of panels.
------------------------------------------------------------------------------
```

```
Fisher-type unit-root test for D.ind_pa
Based on augmented Dickey-Fuller tests
------------------------------------------
Ho: All panels contain unit roots           Number of panels       =     45
Ha: At least one panel is stationary        Avg. number of periods =   8.62

AR parameter: Panel-specific                Asymptotics: T -> Infinity
Panel means:  Included
Time trend:   Not included
Drift term:   Not included                  ADF regressions: 1 lag
------------------------------------------------------------------------------
                                  Statistic      p-value
------------------------------------------------------------------------------
 Inverse chi-squared(68)    P       542.6475       0.0000
 Inverse normal             Z       -18.3938       0.0000
 Inverse logit t(174)       L*      -25.5065       0.0000
 Modified inv. chi-squared  Pm       40.7007       0.0000
------------------------------------------------------------------------------
 P statistic requires number of panels to be finite.
 Other statistics are suitable for finite or infinite number of panels.
------------------------------------------------------------------------------
```

1.5. Indice de Laspeyres

```
Fisher-type unit-root test for inp_lasp
Based on augmented Dickey-Fuller tests
------------------------------------------
Ho: All panels contain unit roots           Number of panels       =     45
Ha: At least one panel is stationary        Avg. number of periods =   9.67

AR parameter: Panel-specific                Asymptotics: T -> Infinity
Panel means:  Included
Time trend:   Not included
Drift term:   Not included                  ADF regressions: 1 lag
------------------------------------------------------------------------------
                                  Statistic      p-value
------------------------------------------------------------------------------
 Inverse chi-squared(90)    P        94.9614       0.3399
 Inverse normal             Z        -0.8342       0.2021
 Inverse logit t(174)       L*       -1.3734       0.0857
 Modified inv. chi-squared  Pm        0.3698       0.3558
------------------------------------------------------------------------------
 P statistic requires number of panels to be finite.
 Other statistics are suitable for finite or infinite number of panels.
------------------------------------------------------------------------------
```

```
Fisher-type unit-root test for D.inp_lasp
Based on augmented Dickey-Fuller tests
---------------------------------------------
Ho: All panels contain unit roots           Number of panels       =     45
Ha: At least one panel is stationary        Avg. number of periods =   8.62

AR parameter: Panel-specific                Asymptotics: T -> Infinity
Panel means:  Included
Time trend:   Not included
Drift term:   Not included                  ADF regressions: 1 lag
------------------------------------------------------------------------------
                                  Statistic      p-value
------------------------------------------------------------------------------
 Inverse chi-squared(68)    P       512.6138       0.0000
 Inverse normal             Z       -17.8068       0.0000
 Inverse logit t(174)       L*      -24.1037       0.0000
 Modified inv. chi-squared  Pm       38.1253       0.0000
------------------------------------------------------------------------------
 P statistic requires number of panels to be finite.
 Other statistics are suitable for finite or infinite number of panels.
------------------------------------------------------------------------------
```

2. Régressions

2.1.Sur le Rendement total en kcal/ha

Régression normale.

```
. xtreg rend_tot_kcal_v prec67 precarre67 prec89 precarre89 [aweight=moy_sup_tot], fe

Fixed-effects (within) regression               Number of obs     =         380
Group variable: ID                              Number of groups  =          42

R-sq:                                           Obs per group:
     within  = 0.0909                                         min =           3
     between = 0.0297                                         avg =         9.0
     overall = 0.0382                                         max =          12

                                                F(4,334)          =        8.35
corr(u_i, Xb)  = 0.0212                         Prob > F          =      0.0000

------------------------------------------------------------------------------
rend_tot~l_v |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
      prec67 |   17460.72   4846.075     3.60   0.000      7928.04    26993.39
  precarre67 |  -28.73739    8.10564    -3.55   0.000     -44.68193   -12.79285
      prec89 |   7750.138   3133.423     2.47   0.014      1586.407    13913.87
  precarre89 |  -7.780743   3.836794    -2.03   0.043     -15.32807   -.2334163
       _cons |  -898773.8    871311    -1.03   0.303      -2612723    815175.2
-------------+----------------------------------------------------------------
     sigma_u |  1059584.1
     sigma_e |  647445.05
         rho |  .72813791   (fraction of variance due to u_i)
------------------------------------------------------------------------------
F test that all u_i=0: F(41, 334) = 15.05                     Prob > F = 0.0000
```

Test de présence de l'hétéroscédasticité de Wald (Greene, 2000)

```
. xttest3

Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity
in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (42)  =    1714.14
Prob>chi2 =      0.0000
```

Régression avec correction de l'hétéroscédasticité. (White, 1980)

```
. xtreg rend_tot_kcal_v prec67 precarre67 prec89 precarre89 [aweight=moy_sup_tot], fe robust

Fixed-effects (within) regression               Number of obs     =        380
Group variable: ID                              Number of groups  =         42

R-sq:                                           Obs per group:
     within  = 0.0909                                         min =          3
     between = 0.0297                                         avg =        9.0
     overall = 0.0382                                         max =         12

                                                F(4,41)           =      11.45
corr(u_i, Xb)  = 0.0212                         Prob > F          =     0.0000

                                (Std. Err. adjusted for 42 clusters in ID)
------------------------------------------------------------------------------
             |               Robust
rend_tot~l_v |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
      prec67 |   17460.72    5272.03     3.31   0.002     6813.636     28107.8
  precarre67 |  -28.73739   9.107854    -3.16   0.003    -47.13107    -10.3437
      prec89 |   7750.138    2499.16     3.10   0.003     2702.982    12797.29
  precarre89 |  -7.780743    3.23359    -2.41   0.021    -14.31111   -1.250376
       _cons |  -898773.8   734207.6    -1.22   0.228     -2381536    583988.5
-------------+----------------------------------------------------------------
     sigma_u |  1059584.1
     sigma_e |  647445.05
         rho |  .72813791   (fraction of variance due to u_i)
------------------------------------------------------------------------------
```

Régression avec présence d'effets fixes annuels

```
. xtreg rend_tot_kcal_v prec67 precarre67 prec89 precarre89 i.annee [aweight=moy_sup_tot], fe robust

Fixed-effects (within) regression               Number of obs     =        380
Group variable: ID                              Number of groups  =         42

R-sq:                                           Obs per group:
     within  = 0.2929                                         min =          3
     between = 0.1713                                         avg =        9.0
     overall = 0.1830                                         max =         12

                                                F(15,41)          =       9.48
corr(u_i, Xb)  = 0.1433                         Prob > F          =     0.0000

                                (Std. Err. adjusted for 42 clusters in ID)
------------------------------------------------------------------------------
             |               Robust
rend_tot~l_v |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
      prec67 |   12662.18   4668.399     2.71   0.010      3234.16     22090.2
  precarre67 |  -18.01825   7.704207    -2.34   0.024    -33.57721   -2.459288
      prec89 |    10824.4   2492.365     4.34   0.000     5790.965    15857.83
  precarre89 |  -10.84242   3.057131    -3.55   0.001    -17.01643   -4.668422
             |
       annee |
        2002 |   240617.5   116166.4     2.07   0.045     6014.713    475220.4
        2003 |  -226232.7   75112.72    -3.01   0.004    -377925.9   -74539.52
        2004 |   164242.3   116169.3     1.41   0.165    -70366.32    398850.9
        2005 |   512664.8   145515.1     3.52   0.001     218791.2    806538.4
        2006 |   806753.6   238020.5     3.39   0.002     326061.5     1287446
        2007 |  -292986.6   130742.6    -2.24   0.031    -557026.7   -28946.59
        2008 |   21801.07   138538.4     0.16   0.876    -257982.8      301585
        2009 |  -25989.53   134421.5    -0.19   0.848    -297459.2    245480.1
        2010 |   301757.5   134158.6     2.25   0.030     30818.76    572696.3
        2011 |      77432   175797.2     0.44   0.662    -277597.6    432461.6
        2012 |   570527.8   184766.7     3.09   0.004     197383.9    943671.7
             |
       _cons |  -1303249    774803.8    -1.68   0.100    -2867997    261499.4
-------------+----------------------------------------------------------------
     sigma_u |   1008497
     sigma_e |    580648
         rho |  .75103565   (fraction of variance due to u_i)
------------------------------------------------------------------------------
```

Test pour savoir si effets fixes annuels appropriés.

```
. testparm i.annee

 ( 1)  2002.annee = 0
 ( 2)  2003.annee = 0
 ( 3)  2004.annee = 0
 ( 4)  2005.annee = 0
 ( 5)  2006.annee = 0
 ( 6)  2007.annee = 0
 ( 7)  2008.annee = 0
 ( 8)  2009.annee = 0
 ( 9)  2010.annee = 0
 (10)  2011.annee = 0
 (11)  2012.annee = 0

       F( 11,    41) =    7.47
            Prob > F =    0.0000
```

2.2.Sur la valeur de la production totale par hectare.

Régression normale.

```
. xtreg vp_ha prec67 precarre67 prec89 precarre89 [aweight=moy_sup_tot], fe

Fixed-effects (within) regression               Number of obs     =       380
Group variable: ID                              Number of groups  =        42

R-sq:                                           Obs per group:
     within  = 0.0637                                         min =         3
     between = 0.0004                                         avg =       9.0
     overall = 0.0211                                         max =        12

                                                F(4,334)          =      5.68
corr(u_i, Xb)  = -0.0778                        Prob > F          =    0.0002
```

vp_ha	Coef.	Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
prec67	595.6352	342.1635	1.74	0.083	-77.43183	1268.702
precarre67	-1.099211	.5723093	-1.92	0.056	-2.224996	.0265738
prec89	508.6795	221.2394	2.30	0.022	73.48125	943.8777
precarre89	-.4839708	.2709019	-1.79	0.075	-1.01686	.048918
_cons	-60907.92	61520.05	-0.99	0.323	-181923.5	60107.69
sigma_u	32243.845					
sigma_e	45713.704					
rho	.33222433	(fraction of variance due to u_i)				

```
F test that all u_i=0: F(41, 334) = 2.94                     Prob > F = 0.0000
```

Test de présence de l'hétéroscédasticité de Wald (Greene, 2000)

```
. xttest3

Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity
in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (42)  =     445.75
Prob>chi2 =      0.0000
```

Régression avec correction de l'hétéroscédasticité. (White, 1980)

```
. xtreg vp_ha prec67 precarre67 prec89 precarre89 [aweight=moy_sup_tot], fe robust

Fixed-effects (within) regression               Number of obs     =       380
Group variable: ID                              Number of groups  =        42

R-sq:                                           Obs per group:
     within  = 0.0637                                         min =         3
     between = 0.0004                                         avg =       9.0
     overall = 0.0211                                         max =        12

                                                F(4,41)           =      9.63
corr(u_i, Xb)  = -0.0778                        Prob > F          =    0.0000

                                  (Std. Err. adjusted for 42 clusters in ID)
```

vp_ha	Coef.	Robust Std. Err.	t	P>|t|	[95% Conf.	Interval]
prec67	595.6352	387.6117	1.54	0.132	-187.1625	1378.433
precarre67	-1.099211	.6638189	-1.66	0.105	-2.439821	.2413982
prec89	508.6795	224.0898	2.27	0.029	56.12103	961.238
precarre89	-.4839708	.2942913	-1.64	0.108	-1.078304	.1103625
_cons	-60907.92	56367.84	-1.08	0.286	-174745.1	52929.25
sigma_u	32243.845					
sigma_e	45713.704					
rho	.33222433	(fraction of variance due to u_i)				

Régression avec présence d'effets fixes annuels

```
. xtreg vp_ha prec67 precarre67 prec89 precarre89 i.annee[aweight=moy_sup_tot], fe robust

Fixed-effects (within) regression               Number of obs     =        380
Group variable: ID                              Number of groups  =         42

R-sq:                                           Obs per group:
     within  = 0.6809                                         min =          3
     between = 0.1503                                         avg =        9.0
     overall = 0.5173                                         max =         12

                                                F(15,41)          =      24.51
corr(u_i, Xb)  = 0.0196                         Prob > F          =     0.0000

                                    (Std. Err. adjusted for 42 clusters in ID)
------------------------------------------------------------------------------
             |               Robust
      vp_ha |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
      prec67 |   431.9308   216.4242     2.00   0.053    -5.146763    869.0085
  precarre67 |  -.6128092   .3503166    -1.75   0.088    -1.320288    .0946695
      prec89 |   517.9106   138.7311     3.73   0.001     237.7374    798.0838
  precarre89 |  -.5518482   .1657089    -3.33   0.002    -.8865041   -.2171922
             |
       annee |
        2002 |   25953.94   5388.334     4.82   0.000     15071.98     36835.9
        2003 |  -31327.19   3771.095    -8.31   0.000    -38943.07   -23711.31
        2004 |   -33793.6   4508.083    -7.50   0.000    -42897.86   -24689.34
        2005 |   59236.24   8772.595     6.75   0.000     41519.62    76952.85
        2006 |   10671.21   7915.576     1.35   0.185    -5314.623    26657.04
        2007 |  -33327.86    5068.23    -6.58   0.000    -43563.36   -23092.36
        2008 |   8917.093   8493.276     1.05   0.300    -8235.426    26069.61
        2009 |   14971.83    7689.56     1.95   0.058    -557.5489    30501.21
        2010 |    21316.3   6992.805     3.05   0.004     7194.042    35438.55
        2011 |   17377.13   9058.347     1.92   0.062    -916.5693    35670.84
        2012 |   100685.8    10487.3     9.60   0.000     79506.24    121865.3
             |
       _cons |  -59297.01   44534.01    -1.33   0.190    -149235.3    30641.24
-------------+----------------------------------------------------------------
     sigma_u |  29189.169
     sigma_e |  27138.775
         rho |  .53635285   (fraction of variance due to u_i)
------------------------------------------------------------------------------
```

Test pour savoir si effets fixes annuels appropriés.

```
. testparm i.annee

 ( 1)  2002.annee = 0
 ( 2)  2003.annee = 0
 ( 3)  2004.annee = 0
 ( 4)  2005.annee = 0
 ( 5)  2006.annee = 0
 ( 6)  2007.annee = 0
 ( 7)  2008.annee = 0
 ( 8)  2009.annee = 0
 ( 9)  2010.annee = 0
 (10)  2011.annee = 0
 (11)  2012.annee = 0

       F( 11,    41) =   26.94
            Prob > F =    0.0000
```

2.3.Sur l'indice de Paasche

Régression normale

```
. xtreg d.pa_v prec67 precarre67 prec89 precarre89 l.prec67 l.precarre67 l.prec89 l.precarre89 [aweight=moy_sup_tot], fe

Fixed-effects (within) regression               Number of obs     =       334
Group variable: ID                              Number of groups  =        42

R-sq:                                           Obs per group:
     within  = 0.0301                                         min =         2
     between = 0.0162                                         avg =       8.0
     overall = 0.0146                                         max =        11

                                                F(8,284)          =      1.10
corr(u_i, Xb)  = -0.1090                        Prob > F          =    0.3628

------------------------------------------------------------------------------
       D.pa_v |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
--------------+---------------------------------------------------------------
      prec67  |   .0904507   .2475281     0.37   0.715    -.3967718    .5776731
   precarre67 |  -.0001921   .0004101    -0.47   0.640    -.0009993    .0006151
      prec89  |   .0718303   .1544636     0.47   0.642    -.2322084     .375869
   precarre89 |   -.000086   .0001887    -0.46   0.649    -.0004574    .0002854
              |
      prec67  |
         L1.  |  -.3714226   .2716337    -1.37   0.173    -.9060933    .1632482
              |
   precarre67 |
         L1.  |   .0007485   .0004536     1.65   0.100    -.0001444    .0016414
              |
      prec89  |
         L1.  |  -.2126193   .1607233    -1.32   0.187    -.5289794    .1037407
              |
   precarre89 |
         L1.  |   .0002441    .000199     1.23   0.221    -.0001475    .0006357
              |
       _cons  |   65.66068   73.97235     0.89   0.375    -79.94296    211.2643
--------------+---------------------------------------------------------------
     sigma_u  | 8.9731214
     sigma_e  | 30.040769
         rho  | .08191231   (fraction of variance due to u_i)
------------------------------------------------------------------------------
F test that all u_i=0: F(41, 284) = 0.30                     Prob > F = 1.0000
```

Test d'hétéroscédasticité de Wald (Greene, 2000)

```
. xttest3

Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity
in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (42)  =    2643.58
Prob>chi2 =      0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité (White, 1980)

```
. xtreg d.pa_v prec67 precarre67 prec89 precarre89 l.prec67 l.precarre67 l.prec89 l.precarre89 [aweight=moy_sup_tot], fe robust

Fixed-effects (within) regression               Number of obs     =       334
Group variable: ID                              Number of groups  =        42

R-sq:                                           Obs per group:
     within  = 0.0301                                         min =         2
     between = 0.0162                                         avg =       8.0
     overall = 0.0146                                         max =        11

                                                F(8,41)           =      1.72
corr(u_i, Xb)  = -0.1090                        Prob > F          =    0.1216

                                (Std. Err. adjusted for 42 clusters in ID)
------------------------------------------------------------------------------
             |               Robust
       D.pa_v |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
--------------+---------------------------------------------------------------
      prec67  |   .0904507    .204606     0.44   0.661    -.3227596    .5036609
   precarre67 |  -.0001921   .0003337    -0.58   0.568    -.0008661    .0004819
      prec89  |   .0718303   .1199736     0.60   0.553    -.1704613    .3141219
   precarre89 |   -.000086    .000167    -0.52   0.609    -.0004232    .0002512
              |
      prec67  |
         L1.  |  -.3714226   .1516792    -2.45   0.019    -.6777449   -.0651002
              |
   precarre67 |
         L1.  |   .0007485   .0002991     2.50   0.016     .0001445    .0013525
              |
      prec89  |
         L1.  |  -.2126193   .1379965    -1.54   0.131    -.4913089    .0660702
              |
   precarre89 |
         L1.  |   .0002441   .0001558     1.57   0.125    -.0000705    .0005587
              |
       _cons  |   65.66068   65.01566     1.01   0.318    -65.64112    196.9625
--------------+---------------------------------------------------------------
     sigma_u  | 8.9731214
     sigma_e  | 30.040769
         rho  | .08191231   (fraction of variance due to u_i)
------------------------------------------------------------------------------
```

Régression avec présence d'effets fixes annuels.

```
. xtreg d.pa_v prec67 precarre67 prec89 precarre89 l.prec67 l.precarre67 l.prec89 l.precarre89 i.annee [aweight=moy_sup_tot], fe robust

Fixed-effects (within) regression               Number of obs     =        334
Group variable: ID                              Number of groups  =         42

R-sq:                                           Obs per group:
     within  = 0.9077                                         min =          2
     between = 0.8642                                         avg =        8.0
     overall = 0.8972                                         max =         11

                                                F(18,41)          =     977.51
corr(u_i, Xb)  = -0.0031                        Prob > F          =     0.0000

                                    (Std. Err. adjusted for 42 clusters in ID)
------------------------------------------------------------------------------
             |               Robust
        D.pa_v |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
       prec67 |    .104925    .088088     1.19   0.240    -.0729724    .2828224
   precarre67 |  -.0001877   .0001294    -1.45   0.154    -.0004491    .0000736
       prec89 |   .0868594   .0564441     1.54   0.132    -.0271318    .2008507
   precarre89 |  -.0000937   .0000667    -1.41   0.168    -.0002285     .000041

       prec67 |
          L1. |  -.0167373   .1179982    -0.14   0.888    -.2550396    .2215649

   precarre67 |
          L1. |   .0001273   .0001945     0.65   0.516    -.0002655    .0005202

       prec89 |
          L1. |  -.1617231   .0455746    -3.55   0.001    -.2537629   -.0696833

   precarre89 |
          L1. |   .0001989   .0000527     3.78   0.001     .0000926    .0003053

        annee |
         2003 |  -46.90541   2.258623   -20.77   0.000    -51.46679   -42.34403
         2004 |  -31.17532   2.565647   -12.15   0.000    -36.35675   -25.99389
         2005 |   39.59252   3.560404    11.12   0.000     32.40214    46.7829
         2006 |  -56.29003   2.187436   -25.73   0.000    -60.70764   -51.87241
         2007 |  -22.85511    2.18653   -10.45   0.000     -27.2709   -18.43933
         2008 |   9.685606   2.856636     3.39   0.002     3.916512    15.4547
         2009 |  -11.95445   3.068124    -3.90   0.000    -18.15065   -5.758249
         2010 |  -21.29439   1.990908   -10.70   0.000    -25.31511   -17.27367
         2011 |  -10.06256   2.156871    -4.67   0.000    -14.41845   -5.706672
         2012 |   25.07933   2.678268     9.36   0.000     19.67045    30.4882

        _cons |   8.533386   25.01853     0.34   0.735    -41.99257    59.05934
-------------+----------------------------------------------------------------
      sigma_u |   3.370763
      sigma_e |   9.432814
          rho |  .11323541   (fraction of variance due to u_i)
------------------------------------------------------------------------------
```

Tests pour savoir si effets fixes annuels appropriés.

```
. testparm i.annee

 ( 1)  2003.annee = 0
 ( 2)  2004.annee = 0
 ( 3)  2005.annee = 0
 ( 4)  2006.annee = 0
 ( 5)  2007.annee = 0
 ( 6)  2008.annee = 0
 ( 7)  2009.annee = 0
 ( 8)  2010.annee = 0
 ( 9)  2011.annee = 0
 (10)  2012.annee = 0

       F( 10,    41) =  304.58
            Prob > F =    0.0000
```

2.4.Sur l'indice de Laspeyres pour vérifier les résultats de l'indice de Paasche.

Régression normale

```
. xtreg d.lasp_v prec67 precarre67 prec89 precarre89 l.prec67 l.precarre67 l.prec89 l.precarre89 [aweight=moy_sup_tot], fe

Fixed-effects (within) regression               Number of obs     =       334
Group variable: ID                              Number of groups  =        42

R-sq:                                           Obs per group:
     within  = 0.0298                                         min =         2
     between = 0.0145                                         avg =       8.0
     overall = 0.0142                                         max =        11

                                                F(8,284)          =      1.09
corr(u_i, Xb)  = -0.1259                        Prob > F          =    0.3701

------------------------------------------------------------------------------
    D.lasp_v |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
      prec67 |   .0715519   .2502541     0.29   0.775    -.4210363    .5641401
  precarre67 |  -.0001617   .0004146    -0.39   0.697    -.0009778    .0006544
      prec89 |   .0708845   .1561647     0.45   0.650    -.2365026    .3782716
  precarre89 |  -.0000842   .0001907    -0.44   0.659    -.0004597    .0002912

      prec67 |
        L1.  |  -.382435   .2746252    -1.39   0.165     -.922994    .1581241

  precarre67 |
        L1.  |   .0007645   .0004586     1.67   0.097    -.0001383    .0016672

      prec89 |
        L1.  |  -.2217292   .1624933    -1.36   0.173    -.5415733    .0981149

  precarre89 |
        L1.  |   .0002545   .0002011     1.27   0.207    -.0001414    .0006504

       _cons |   72.36488   74.78701     0.97   0.334     -74.8423     219.572
-------------+----------------------------------------------------------------
     sigma_u |  9.0750563
     sigma_e |  30.371608
         rho |  .08196394   (fraction of variance due to u_i)
------------------------------------------------------------------------------
F test that all u_i=0: F(41, 284) = 0.30                     Prob > F = 1.0000
```

Test d'hétéroscédasticité de Wald (Greene, 2000)

```
. xttest3

Modified Wald test for groupwise heteroskedasticity
in fixed effect regression model

H0: sigma(i)^2 = sigma^2 for all i

chi2 (42)  =    2740.02
Prob>chi2 =      0.0000
```

Régression après correction de l'hétéroscédasticité (White, 1980)

```
. xtreg d.lasp_v prec67 precarre67 prec89 precarre89 l.prec67 l.precarre67 l.prec89 l.precarre89 [aweight=moy_sup_tot], fe robust

Fixed-effects (within) regression               Number of obs     =       334
Group variable: ID                              Number of groups  =        42

R-sq:                                           Obs per group:
     within  = 0.0298                                         min =         2
     between = 0.0145                                         avg =       8.0
     overall = 0.0142                                         max =        11

                                                F(8,41)           =      1.78
corr(u_i, Xb)  = -0.1259                        Prob > F          =    0.1094

                                (Std. Err. adjusted for 42 clusters in ID)
------------------------------------------------------------------------------
             |               Robust
    D.lasp_v |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
      prec67 |   .0715519   .2062302     0.35   0.730    -.3449385    .4880423
  precarre67 |  -.0001617   .0003362    -0.48   0.633    -.0008407    .0005173
      prec89 |   .0708845   .1208135     0.59   0.561    -.1731033    .3148722
  precarre89 |  -.0000842   .0001682    -0.50   0.619     -.000424    .0002555

      prec67 |
        L1.  |  -.382435   .1510627    -2.53   0.015    -.6875124   -.0773576

  precarre67 |
        L1.  |   .0007645    .000298     2.57   0.014     .0001626    .0013663

      prec89 |
        L1.  |  -.2217292    .141232    -1.57   0.124     -.506953    .0634946

  precarre89 |
        L1.  |   .0002545   .0001595     1.60   0.118    -.0000676    .0005766

       _cons |   72.36488   65.12723     1.11   0.273    -59.16224     203.892
-------------+----------------------------------------------------------------
     sigma_u |  9.0750563
     sigma_e |  30.371608
         rho |  .08196394   (fraction of variance due to u_i)
------------------------------------------------------------------------------
```

Régression avec présence d'effets fixes annuels.

```
. xtreg d.lasp_v prec67 precarre67 prec89 precarre89 l.prec67 l.precarre67 l.prec89 l.precarre89 i.annee [aweight=moy_sup_tot], fe robust

Fixed-effects (within) regression               Number of obs     =        334
Group variable: ID                              Number of groups  =         42

R-sq:                                           Obs per group:
     within  = 0.9084                                         min =          2
     between = 0.8863                                         avg =        8.0
     overall = 0.9003                                         max =         11

                                                F(18,41)          =     705.40
corr(u_i, Xb)  = 0.0072                         Prob > F          =     0.0000

                                    (Std. Err. adjusted for 42 clusters in ID)
------------------------------------------------------------------------------
             |               Robust
    D.lasp_v |      Coef.   Std. Err.      t    P>|t|     [95% Conf. Interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
      prec67 |    .0890481   .0897004     0.99   0.327    -.0921055    .2702016
  precarre67 |    -.000164   .0001319    -1.24   0.221    -.0004305    .0001024
      prec89 |    .0806333   .0561747     1.44   0.159    -.0328137    .1940803
  precarre89 |   -.0000898   .0000663    -1.35   0.183    -.0002237    .0000442
             |
      prec67 |
         L1. |   -.0273334   .1153424    -0.24   0.814    -.2602721    .2056053
             |
  precarre67 |
         L1. |    .0001432   .0001912     0.75   0.458    -.0002428    .0005293
             |
      prec89 |
         L1. |   -.1743321   .0472575    -3.69   0.001    -.2697706   -.0788936
             |
  precarre89 |
         L1. |    .0002138   .0000547     3.91   0.000     .0001034    .0003243
             |
       annee |
        2003 |   -46.73933     2.2182   -21.07   0.000    -51.21908   -42.25959
        2004 |   -31.16203   2.500298   -12.46   0.000    -36.21148   -26.11257
        2005 |    40.16761   3.661764    10.97   0.000     32.77253    47.56269
        2006 |   -56.23603   2.262749   -24.85   0.000    -60.80575   -51.66632
        2007 |   -22.47015   2.140832   -10.50   0.000    -26.79364   -18.14665
        2008 |    10.23145   2.816055     3.63   0.001     4.544315    15.91859
        2009 |   -11.56115   3.087029    -3.75   0.001    -17.79553   -5.326766
        2010 |   -20.32046   1.995596   -10.18   0.000    -24.35065   -16.29028
        2011 |   -10.20498   2.081528    -4.90   0.000    -14.40871   -6.001252
        2012 |     27.2775   2.447689    11.14   0.000     22.33429    32.22071
             |
       _cons |    16.72987   25.32603     0.66   0.513    -34.41708    67.87682
-------------+----------------------------------------------------------------
     sigma_u |  3.1226083
     sigma_e |  9.4983617
         rho |   .09753652   (fraction of variance due to u_i)
------------------------------------------------------------------------------
```

Tests pour savoir si effets fixes annuels appropriés.

```
. testparm i.annee

 ( 1)  2003.annee = 0
 ( 2)  2004.annee = 0
 ( 3)  2005.annee = 0
 ( 4)  2006.annee = 0
 ( 5)  2007.annee = 0
 ( 6)  2008.annee = 0
 ( 7)  2009.annee = 0
 ( 8)  2010.annee = 0
 ( 9)  2011.annee = 0
 (10)  2012.annee = 0

       F( 10,    41) =  282.39
            Prob > F =    0.0000
```

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

La présente thèse s'est attachée à montrer l'importance du modèle ricardien dans l'évaluation économique de l'impact des changements climatiques sur l'Agriculture, tout en relevant que des limites dans son application pour les pays en développement telles que le « biais de prix » peuvent fausser les véritables effets du climat.

Les principaux résultats obtenus ainsi que les limites de la recherche et les pistes d'amélioration sont rappelées dans la présente conclusion. De plus, un commentaire général, en termes de discussions et perspectives est esquissé.

1. Principaux résultats

A travers une synthèse bibliographique bien documentée, il est montré que le modèle ricardien a été largement utilisé ces vingt dernières années et a fait progresser la recherche dans l'évaluation de l'impact des changements climatiques sur l'Agriculture puisqu'il permet de prendre en compte l'adaptation des fermiers. Le modèle a, malgré cette « performance », reçu de nombreuses critiques qui ont donné lieu à des débats compte tenu des lacunes observées telles que le manque de prise en compte de l'irrigation, les hypothèses de constance de prix, et l'adaptation supposée sans coût. Ce qu'il convient de retenir de cet essai est que, d'une part, les différents types de modèles dont le modèle agronomique auquel le modèle ricardien a succédé, continuent de subsister puisque le débat n'est pas encore tranché concernant le meilleur modèle possible. D'autre part les études plus récentes utilisent des données de panel.

Afin de mettre en exergue l'apport du modèle ricardien, nous avons, par la suite, procédé à son application en utilisant des données de ménages agricoles propres à la Côte d'Ivoire qui jusque-là n'avait jamais bénéficié d'une étude de ce type, contrairement à d'autres pays d'Afrique. Les résultats ont révélé que dans l'estimation de l'impact du climat, il est nécessaire de considérer des zones climatiques plutôt que l'ensemble du pays, pour tenir compte des sensibilités particulières qui caractérisent ces zones. C'est le cas pour le Centre et le Nord de la Côte d'Ivoire où le revenu agricole est sensible à la température et à la pluie notamment avec une plus grande ampleur au Nord. Ce fait n'est pas observable quand on effectue une estimation globale avec l'ensemble des ménages sans tenir compte des zones climatiques, puisque dans ce cas, le résultat montre que le climat n'a aucun effet sur le revenu agricole. En outre, il ressort des simulations que les changements climatiques ont, en général, des impacts négatifs sur les revenus des ménages agricoles dans la majeure partie du pays. Toutefois, le revenu agricole est plus sensible à la température qu'à la pluie.

Enfin la possibilité de l'existence d'un biais de prix dans le modèle ricardien a été analysée et quantifiée. Les hypothèses de recherche émises pour tenter de justifier la présence de ce biais sont : (i) en cas d'absence de biais de prix, il y'a des effets égaux entre la valeur monétaire de la production et les rendements car Mendelsohn et al., (1994) font l'hypothèse de constance des prix dans le papier fondateur du modèle ricardien ; (ii) si l'effet des variables climatiques sur les rendements diffère de celui sur les valeurs de la production, alors les « gaps » entre les rendements et les valeurs monétaires de la production par hectare sont dus à ce biais de prix ou une variable « inobservée » qui est fortement corrélée à ce dernier. Les résultats des estimations ont montré l'existence d'un biais de prix dû à un écart relatif de 40 à 80% entre la variation des rendements totaux en kilocalories et celle de la valeur de la production respectivement pour des baisses de 20% à des hausses de 20% des précipitations. Un tel résultat montre que l'hypothèse de constance des prix telle qu'émise par MNS (1994) n'est pas toujours viable pour l'estimation de l'impact des changements climatiques sur les revenus agricoles dans les pays en développement. Plus précisément, ce résultat met en évidence le fait que les pays en développement n'ont pas les infrastructures nécessaires pour maintenir un prix unique dans une zone donnée comme le suppose MNS (1994). Cette analyse permet de conclure que les études de l'impact des changements climatiques sur l'agriculture dans les pays en développement doivent tenir compte de l'imperfection des marchés et ne doivent pas uniquement se focaliser sur les revenus des agriculteurs, qui pourraient être finalement des mauvais indicateurs de l'impact des changements climatiques.

2. Limites de la recherche

D'une façon générale, une difficulté importante est liée au manque de données climatiques sur des longues périodes au niveau des stations météorologiques en particulier pour la Côte d'Ivoire. Ce manque pourrait en partie s'expliquer par la crise socio-politique qui a secoué ce pays depuis le début des années 2000. Ensuite, il convient de mentionner que le changement climatique peut faire varier les zones climatiques, ce que nous n'observons pas avec la méthode utilisée dans l'évaluation de l'impact du Changement Climatique sur les revenus agricoles en Côte d'Ivoire. En effet, dans cet essai, nous avons utilisé les zones climatiques déterminées dans la littérature que nous confirmons avec les données climatiques par une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). Afin de pouvoir tenir compte des possibles évolutions des zones climatiques surtout pour le climat futur, l'on ne peut pas se contenter des scénarios climatiques utilisés, mais se baser sur les sorties de modèles et redéfinir les zones climatiques. Ainsi, les résultats obtenus dépendraient alors des nouvelles zones climatiques définies. Concernant l'étude sur le biais de prix, des données à l'échelle des provinces sont utilisées comme s'il s'agissait de tirages aléatoires dans une population alors qu'il s'agit de l'ensemble de la population. De plus, les données de rendement et de production sont

agrégées par point de grille ou par province, ce qui entraîne potentiellement une perte d'information.

3. Pistes d'amélioration

L'identification et l'analyse de ces limites ont permis de dégager des pistes d'amélioration pour des investigations futures. Ainsi, concernant l'utilisation des sorties de modèles pour prédire les zones climatiques futures en Côte d'Ivoire, il serait intéressant d'aborder la question en collaboration avec des spécialistes d'autres disciplines telles que les climatologues, les géographes et les physiciens du climat. Ensuite, sur le fait que des données à l'échelle des provinces sont utilisées, leur précision à une échelle plus fine comme les communautés locales (les villes ou les communes) à l'intérieur des provinces permettrait d'obtenir des résultats plus pertinents. On pourrait alors observer, avec plus de précision, les disparités à l'intérieur de chaque province et au-delà déterminer des climats locaux plus précis tout en évitant d'agréger les données climatiques sur un plus large espace. La nécessité de disposer de données socio-économiques et climatiques à une échelle plus fine, pour mieux quantifier l'impact du climat sur l'Agriculture et bâtir de meilleures solutions d'adaptation, appelle des collaborations plus étroites entre les chercheurs en économie de l'environnement et les autres acteurs du domaine. Les structures chargées de la collecte des données doivent véritablement être fonctionnelles en travaillant à recueillir plus efficacement les données, c'est-à-dire une collecte systématique à partir du niveau local jusqu'au niveau national.

4. Discussions et Perspectives

Le fait de choisir le biais de prix entre toutes les limites identifiées dans le premier essai pour en faire une démonstration suggère que cette limite, de notre point de vue, est la plus pertinente surtout pour les pays en développement. La principale raison est que l'hypothèse de constance de prix (qui engendre le biais de prix) est trop forte pour les pays africains puisque rien dans ces pays ne garantit que les prix sont constants même dans une zone géographique restreinte. De plus, le biais de prix implique que l'évaluation de l'impact climatique sur l'Agriculture peut être sous-estimé. Dans ce cas, si des décisions sont prises en fonction de tels résultats (dans le cas où le biais de prix existe et est important), les politiques entreprises peuvent s'avérer inefficaces.

Les deux applications faites dans notre thèse, c'est-à-dire l'approche en coupe instantanée et les données de panel nous posent la question de la méthode adéquate dans l'estimation de l'impact des changements climatiques sur l'agriculture. Pour notre part, nous considérons que l'approche avec les données de panel est préférable car elle prend en compte plusieurs années en plus de la dimension spatiale, ce qui permet d'avoir des résultats plus stables. De plus, il est difficile, dans l'approche en coupe instantanée, de justifier le choix de l'année. En réalité, cela dépend soit du

financement d'un projet lié à l'évaluation de l'impact climatique sur l'Agriculture, soit de la disponibilité des données. Or, les simulations pour l'impact du climat futur sont faites à partir de ces résultats obtenus en coupe instantanée. Si une année choisie est particulière à cause de son caractère extrême (une grande sécheresse ou une saison de pluie exceptionnelle par exemple), les projections faites pour le futur peuvent s'avérer fausses. Néanmoins, l'application des données de panel demande une régularité des données sur plusieurs années. Pour de nombreux pays Africains, il est difficile d'obtenir à la fois pour plusieurs années des données de rendements, de revenus et climatiques. Dans ce contexte, il est quand même nécessaire de continuer à évaluer l'impact des changements climatiques sur l'agriculture avec une approche en coupe instantanée pour une année où toutes les variables sont disponibles. L'objectif sera d'avoir pour chaque pays Africain une étude disponible dans le domaine de l'impact des changements climatiques sur l'Agriculture qu'il faudra améliorer par l'approche du panel au fur et à mesure que des données seront disponibles d'année en année.

Notre étude confirme le fait que le Changement Climatique est néfaste et aura des conséquences graves pour l'Agriculture en Afrique. Sur la base des résultats obtenus pour la Côte d'Ivoire par exemple, si rien n'est fait, la majorité des ménages se retrouveront en état de vulnérabilité grave en considérant le pourcentage de ménages qui passeront à un revenu négatif face au climat futur. Ce résultat suppose que les prix agricoles n'augmenteront peut-être pas dans ce cas. Il est vrai que si les rendements baissent, les prix augmenteront. Les pertes seront limitées pour les paysans, mais la plupart des consommateurs de produits alimentaires seront appauvris

En plus, l'étude sur le Burkina Faso, au-delà de montrer qu'il existe un biais de prix a aussi confirmé des impacts négatifs du climat futur sur l'Agriculture tant pour les rendements que pour les revenus agricoles. Si les revenus agricoles sont touchés, l'agriculture vivrière risque de disparaitre petit à petit au profit des cultures de rente. Les prix des cultures de rente sont le plus souvent fixés sur le marché international.

Des politiques Etatiques Africaines dans la majorité des cas garantissent les prix aux producteurs de ces cultures pour qu'en cas de baisse, ces paysans ne puissent pas voir chuter leurs revenus. Par exemple, en Côte d'Ivoire, l'Etat a mis en place un mécanisme de sécurisation du revenu des producteurs du café et du cacao. Ce prix garanti correspond à environ 60% du CAF (Coût Assurance Fret) et a permis d'accroître de façon significative le revenu des producteurs qui est passé de 1105 Milliards en 2012/2013 à 1612 Milliards en 2015/16, soit une hausse de 45,88% (Institut National de la Statistique. (2015), Enquête sur le niveau de vie des ménages en Côte d'Ivoire (ENV)). L'objectif de l'Etat est donc de maintenir un niveau de revenu acceptable pour ces

agriculteurs indépendamment des facteurs exogènes dont les changements climatiques qui peuvent agir sur les rendements.

Ce n'est pas le cas pour la plupart des produits vivriers des petits marchés locaux. Cela risque d'avoir pour effet l'augmentation des prix des produits de première nécessité avec une répercussion grave sur la sécurité alimentaire.

Références bibliographiques.

1. **Institut National de la Statistique**. (2015), Enquête sur le niveau de vie des ménages en Côte d'Ivoire (ENV 2015), Ministère d'Etat, Ministère du plan et du développement.
2. **Mendelsohn, R. Nordhaus, W. & Shaw, D.** (1994). The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis. *American Economic Review* 84, 753–771.

TABLES DES MATIERES

Remerciements ... **ii**
Résumé. ... **iv**
Sommaire ... **vi**
Liste des figures ... **xi**
Liste des tableaux ... **xiii**
Acronymes ... **xiv**
INTRODUCTION GENERALE ... **2**
1. Contexte ... 2
2. Les effets visibles du Changement Climatique sur l'Afrique ... 2
3. La recherche de solutions face aux effets du Changement Climatique ... 3
4. L'Agriculture au cœur de la croissance économique en Afrique Subsaharienne ... 4
5. Le modèle ricardien, une méthode pour évaluer l'impact du climat sur l'Agriculture. ... 5
6. L'Afrique bénéficie d'un nombre restreint d'études. ... 6
7. Objectif général de la thèse ... 7
8. Plan de la thèse ... 7
Références bibliographiques ... 9
Chapitre 1 : REVUE DE LITTERATURE SUR LE MODELE RICARDIEN ET SON DEVELOPPEMENT ... **11**
1. Introduction ... 12
2. L'approche agronomique ou fonction de production ... 13
2.1. Approche de « région comparable ». ... 13
2.2. Modèle de croissance des cultures. ... 14
2.2.1. Etude sur une région spécifique ... 14
2.2.2. Etude à l'échelle mondiale. ... 15
2.3. Les études récentes sur l'Afrique ... 17
2.4. Discussion de l'adaptation dans les différentes utilisations du modèle « fonction de production ». 19
3. L'approche Ricardienne ... 20
3.1. La critique faite au modèle de « fonction de production » ... 20
3.2. Présentation de l'Article fondateur du modèle ricardien : (Mendelsohn Nordhaus et Shaw, 1994 (MNS)) ... 22
3.3. Les développements de l'approche ricardienne ... 22
4. Critiques sur le modèle ricardien ... 27
4.1. Les principales critiques ... 27
4.1.1. La non-prise en compte de l'irrigation. ... 27
4.1.2. L'hypothèse de constance des prix. ... 34

4.1.3. L'adaptation sans coût. 36
4.2. Les autres thèmes de critiques. 38
4.2.1. Non prise en compte du Bétail. 38
4.2.2. Non prise en compte de l'effet du CO_2 39
4.2.3. Relation convexe entre la valeur des terres ou le revenu et les variables climatiques. 39
4.2.4. Biais d'agrégation 40
5. Nouvelle approche de l'utilisation du modèle ricardien avec données de panel. 41
5.1. Critique de DG sur le modèle ricardien : Non stabilité des coefficients dans le temps. 41
5.2. Proposition de DG, (2007) 42
5.3. Critiques sur l'article de DG 42
5.3.1. Critique sur la méthode d'utilisation du panel par DG 42
5.3.2. Critique sur les données et les résultats dans DG. 42
5.4. L'utilisation des données de panel peut-elle s'appeler méthode ricardienne ? 43
6. Conclusion 45
Références bibliographiques 47
Chapitre 2 : IMPACTS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES REVENUS AGRICOLES : UNE APPLICATION DU MODELE RICARDIEN A LA COTE D'IVOIRE 54
1. Introduction. 55
2. Revue de la littérature. 56
3. Méthodologie 60
3.1. Les déterminants du climat ivoirien. 60
3.2. Choix des zones climatiques 61
3.2.1. Choix basé sur la littérature. 61
3.2.2. Choix basé sur nos propres calculs. 65
3.3. Modèle théorique 66
3.4. Modèle empirique 67
3.5. Description des données 68
3.5.1. La variable dépendante. 68
3.5.2. Les variables climatiques 68
3.5.3. La main d'œuvre salariée par hectare 70
3.5.4. Les sols. 70
3.6. Les différentes estimations 74
3.6.1. Estimation par zones. 74
3.6.1.1. Zone Sud 74
3.6.1.2. Zone Centre 74
3.6.1.3. Zone Nord. 74
3.6.2. Estimation avec l'ensemble du pays. 74
4. Résultats et interprétations 75
4.1. Résultats après estimations 75

4.2. Interprétations des résultats. ... 78
5. Simulation de l'impact du futur Climat sur les revenus nets par hectare. ... 83
5.1. Prédiction dans le Centre. ... 85
5.2. Prédictions dans le Nord. ... 86
6. Conclusion ... 89
Références bibliographiques ... 91
Annexes. ... 94
Annexe 1 : Carte pédagogique ... 94
Annexe 2 : Les régressions. ... 95
Annexe 3 : Calcul du seuil ... 122
Annexe 4 : Calcul des élasticités. ... 122
Annexe 5 : Résultats de la CAH ... 123
Annexe 6 : Scénarios de référence. ... 126
Chapitre 3 : IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'AGRICULTURE : DETERMINATION DE L'EXISTENCE D'UN BIAIS DE PRIX DANS LES ETUDES RICARDIENNES. ... 128
1. Introduction. ... 130
2. Revue de la littérature ... 132
3. Méthodologie ... 133
3.1. Hypothèse ... 134
3.2. Justification de la zone d'étude, modèle et données ... 134
3.2.1. *Justification de la zone d'étude* ... 134
3.2.1.1. Brève description des caractéristiques climatiques du Burkina Faso. ... 135
3.2.2. Justification du modèle utilisé ... 135
3.2.3. Les données ... 137
3.2.3.1. La Valeur totale de la production par hectare ... 137
3.2.3.2. Les rendements totaux ... 137
3.2.3.3. Les variables climatiques ... 138
3.2.3.3.1. Choix des variables climatiques. ... 139
3.2.3.4. L'indice des Prix : ... 141
3.2.3.5. Descriptions des données ... 142
3.3. Méthode d'estimation ... 142
3.3.1. Procédure d'estimation. ... 142
3.3.2. *Présence d'effets fixes annuels*. ... 143
3.3.3. *Pondération avec les superficies.* ... 144
4. Résultats ... 145
4.1. Tableau des résultats ... 145
4.2. Analyse et interprétations des résultats ... 146
4.2.1. Effet des précipitations de Juin-Juillet sur le rendement total en kilocalories par hectare. 146

4.2.2. *Effet des précipitations cumulées de Juin-Juillet sur la valeur de la production totale par hectare* 147

4.2.3. *Comparaison des effets de la pluie sur le rendement et la valeur de la production pour Juin-Juillet.* 147

4.2.4. *Effet des précipitations cumulées d'Août-Septembre sur rendement total en kilocalories par hectare.* 148

4.2.5. *Effet des précipitations cumulées d'Août-Septembre sur la valeur totale de la production.* 149

4.2.6. Comparaison des effets de la pluie d'août et Septembre sur le rendement et la valeur de la production 149

4.3. Vérification avec l'indice de prix de Paasche 150

5. Quantification du biais de prix. 151

6. Conclusion et discussions. 154

Références bibliographiques 155

Annexes 159

Annexe partie 1 159

1. Carte du Burkina Faso 159

2. Liste des provinces correspondant aux abscisses des figures 3.1 et 3.2. 159

2.1. Correspondance des provinces en abscisse de la figure 3.1. 159

2.2. Correspondance des provinces en abscisse de la figure 3.2. 159

3. Statistiques descriptives des différents mois de la saison des pluies. 160

4. Matrice des corrélations entre les variables choisies (Précipitations de Juin à Juillet et d'Août à Septembre 160

5. Calcul des élasticités. 160

Annexe partie 2 : Les régressions sous STATA 13 164

1. Tests de racine unitaire 164

2. Régressions 167

2.1. Sur le Rendement total en kcal/ha 167

2.2. Sur la valeur de la production totale par hectare. 169

2.3. Sur l'indice de Paasche 171

2.4. Sur l'indice de Laspeyres pour vérifier les résultats de l'indice de Paasche. 173

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES 175

1. Principaux résultats 175

2. Limites de la recherche 176

3. Pistes d'amélioration 177

4. Discussions et Perspectives 177

Références bibliographiques. 180

TABLES DES MATIERES 181