



FAERE

French Association of Environmental
and Resources Economists

Policy Papers

Impact du changement climatique sur
l'agriculture : détermination de
l'existence d'un biais de prix dans les
études ricardiennes

Fabrice Ochou - Philippe Quirion

PP 2017-04

Suggested citation:

F. Ochou, P. Quirion (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.

Fabrice OCHOU^(1,2), Philippe QUIRION⁽¹⁾

(1) Centre International de Recherches sur l'Environnement et le Développement

(2) Université Félix Houphouët Boigny d'Abidjan-Cocody

**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**¹ pour ses conseils avisés ainsi que le Relecteur anonyme de la FAERE²*

*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.*

¹ Ses références sur ce lien : <http://www2.centre-cired.fr/DUMAS-Patrice-1178>

² 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 d'une part, et la valeur de production par hectare d'autre part, du maïs et du mil ne sont pas les mêmes, ce qui traduit la présence d'un biais de prix. Dans le cas du Sorgho, les effets des variables climatiques sur les rendements et la valeur de la production par hectare sont pratiquement les mêmes, ce qui montre l'absence de biais de prix statistiquement significatif. La quantification du biais de prix dans les cas où il existe, à savoir pour le Maïs et le Mil montre que plus le changement climatique sera défavorable, plus le biais de prix sera grand. Dans le pire cas considéré, il atteint un écart de 2,05 points de pourcentage pour le mil et 0,92 points de pourcentage pour le maïs. Il ressort de cette analyse que les études ricardiennes en coupe instantanée ou même en panel supposant des prix constants sous-estiment l'impact du changement climatique en utilisant le revenu ou de la valeur de production.

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

Abstract :

This study shows the existence of a price bias in the so-called "Ricardian" studies inspired by Mendelsohn et al. (AER, 1994) and quantifies this bias. To do this, we use panel data on 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 the yield and value of production per hectare of maize and millet are not the same, reflecting the presence of a price bias. In the case of Sorghum, the effects of climatic variables on yields and the value of production per hectare are practically the same, indicating the absence of statistically significant price bias. Quantifying the price bias in cases where it exists, ie for maize and millet shows that the more unfavorable the climate change, the greater the price bias will be. In the worst case, it reaches a gap of 2.05 percentage point for millet and 0.92 percentage point for maize. From this analysis, Ricardian in cross sectional or even panel studies assuming constant prices underestimate the impact of climate change by using income or production value.

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

I. 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, C. et Parry, M.L., 1994**)
- Les études dites ricardiennes qui ont suivi l'article fondateur de **Mendelsohn, Nordhaus et Shaw, (1994)³ (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

³ The impact of global warming on agriculture – A Ricardian analysis. *American Economic Review*, 84(4): 753-771

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 entraîner une baisse des prix s'il réduit la qualité des produits par exemple. 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 au Niger 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 étude 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.

II. 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 au CO₂ (comme c'est le cas dans l'étude de Mendelsohn et al, 1994), la réduction moyenne mondiale des rendements de céréales serait presque 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. 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.

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 le changement de prix à court terme par rapport à la quantité (elle-même influencée par le climat) est positif. 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

III. METHODOLOGIE.

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 l'ensemble des variables climatiques (MNS, 1994).
- (3) Un 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 suivre les mêmes tendances puisque qu'on serait en présence de prix constants. Ainsi à l'inverse si l'effet des variables climatiques sur le rendement diffère de celui de la valeur de la production, cela signifiera 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 d'un indice de prix sur les variables climatiques. Si les prix sont influencés par les variables climatiques, cela confirmera 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 10 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.

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 ne sont 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.

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/ CONAGESE⁴, 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.

Les températures présentent de grandes variations saisonnières. Les températures moyennes atteignent leurs fortes valeurs en mars, avril, puis en octobre, leurs faibles valeurs (au-dessous de 25°C) en novembre, décembre, janvier et en février. Les valeurs les plus élevées ainsi que les plus faibles se rencontrent dans la partie Nord du pays donnant des amplitudes thermiques diurnes, mensuelles et annuelles élevées. Les températures maximales journalières ont une évolution annuelle similaire à celle des moyennes, mais restent comprises entre 28°C et 42°C. Les températures journalières minimales moyennes, à l'exception de la pointe nord du pays,

⁴ Secrétariat permanent du Conseil National pour la Gestion de l'Environnement (Burkina Faso).

restent comprises entre 16°C et 27°C (SP/CONAGESE, 2001 dans **Ouedraogo, M. 2012**). Les figures dans la description des données donnent plus de précision.

Cependant, nous ne distinguons pas dans nos travaux les zones pour les régressions parce que nous utilisons des effets fixes par province.

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 années⁵ du « Census of Agriculture » des Etats-Unis). Ce résultat est d'ailleurs confirmé par **Masseti et Mendelsohn, (2011b)**⁶ qui ont évalué à partir des mêmes données les résultats année par année. Il faut aussi indiquer que cette méthode comme mentionnée dans **Masseti 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.

C'est donc à travers ce modèle appliqué au modèle ricardien que nous voulons tester nos hypothèses sur l'existence d'un éventuel biais de prix.

⁵ Les six années utilisées par DG, 2007 sont 1978, 1982, 1987,1992, 1997, 2002.

⁶ 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 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 :

$$R_{it} = \alpha_i + \lambda_t + \beta C_{it} + \beta_1 C_{it}^2 + u_{it} \quad (1)$$

$$Vp_{it} = \rho_i + \kappa_t + \beta_2 C_{it} + \beta_3 C_{it}^2 + v_{it} \quad (2)$$

$$I_{it} = \sigma_i + \omega_t + \beta_4 C_{it} + \beta_5 C_{it}^2 + \beta_6 Q_{it-1} + z_{it} \quad (3).$$

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 à savoir la température et la pluie. Notons que la présence du terme quadratique reflète la relation non-linéaire qu'il y a entre les variables climatiques et les productions agricoles ; Q_{it} les quantités récoltées, et I_{it} les différents indices de prix et u_{it} , v_{it} , et z_{it} , 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).

Nous précisons aussi que nous ajoutons la production antérieure dans l'équation de l'indice de prix (équation 3) car nous supposons que les prix d'une année actuelle peuvent être influencés par la production précédente. En effet, les paysans peuvent conserver une partie de leur production si celle-ci a été bonne par exemple.

Le panel à effets fixes a pour avantage principal de contrôler les variables qui ne varient pas dans le temps comme les caractéristiques socio-économiques et les sols de chacune des régions et qui seraient susceptibles d'être corrélées à nos variables d'intérêt.

3.2.3. Les données.

La Valeur de la production par hectare : C'est le quotient de la valeur de la production du maïs, du mil et du sorgho respectivement par leurs superficies. 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 cultivées⁷. Le maïs, le mil et le sorgho

⁷ 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.

représentent respectivement 11%, 29%, 35% et des superficies céréalieres. La valeur de la production s'obtient les produits de chaque prix par chaque quantité récoltée comme suit :

$$V_p = \frac{P_c * Q_c}{Sup_c} \text{ Où } P_c \text{ représente le prix de vente de chaque culture et } Q_c \text{ les différentes}$$

productions de chaque culture. Sup_c est la superficie cultivée pour chaque culture.

Le rendement R est le quotient de la quantité sur la superficie cultivée pour chaque culture.

$$R = \frac{Q_c}{Sup_c} \text{ Les prix, les quantités et les superficies servant au calcul ont été fournis par la}$$

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 variables climatiques C , sont le résultat des données dérivées des observations, générées à travers des processus de spatialisation (C.R.U TS 3.23)⁸ (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 $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. 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 zone⁹). 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.

Les variables climatiques choisies sont la température moyenne et le cumul des pluies pendant la saison des pluies. En effet, le revenu des agriculteurs dépend de la période des récoltes et celle-ci dépend de la saison des pluies en cours. La saison des pluies pour chaque année est de Mai à Octobre (Nana, 2015 ; p72).

Pour notre exercice, nous utiliserons donc la moyenne des températures de cette période et le cumul des pluies de cette même période. Nous précisons que le cumul des pluies au lieu de sa moyenne a été utilisé par plusieurs auteurs. (Ouédraogo (2012) ; Schlenker et Lobell (2010))

L'indice des Prix : Il s'agit de l'indice du prix d'un produit pour une année donnée par rapport à une année de référence (base 100). Dans notre cas, la base 100 est l'année de référence 2001.

⁸ C.R.U: Climate Research Unit, University of East Anglia.

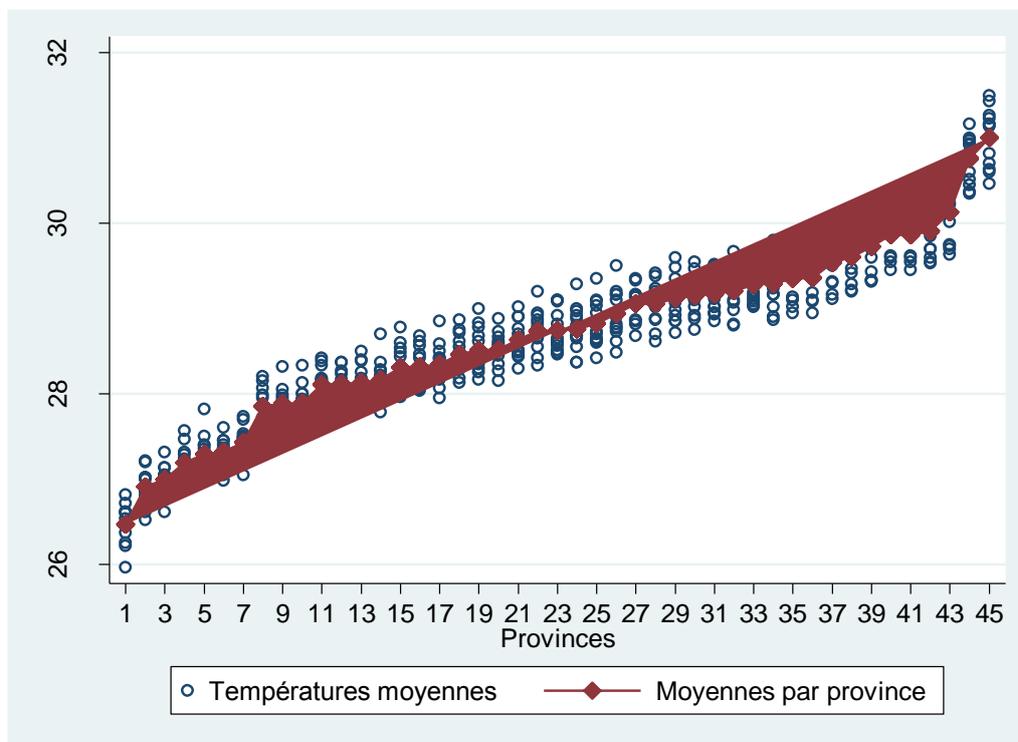
⁹ Il faut préciser qu'il ne peut y avoir de fortes disparités climatiques à l'intérieur d'une province car elles ne sont pas grandes. (En moyenne 6000 km² par province).

3.2.3.1. Descriptions des données

Tableau 1: Statistiques descriptives

| Variable | Moyenne | Ecart-type | Min | Max |
|--|----------------|-------------------|------------|------------|
| Température moyenne (en °C) | 28,7 | 1,01 | 25,9 | 31,5 |
| Précipitations cumulées (en mm) | 772,6 | 155,4 | 288,3 | 1 241,7 |
| Rendement du maïs (en Kg/ha) | 1 262,5 | 544,9 | 112,5 | 3 291,7 |
| Valeur de la de la production du maïs (FCFA/ha) | 167 466,9 | 85 903,3 | 12 457,4 | 684 682,6 |
| Rendement du mil (Kg/ha) | 912,9 | 394,9 | 60,4 | 3 766,3 |
| Valeur de la production du mil (FCFA/ha) | 140 240,7 | 84 564,2 | 9 031,6 | 1 040 721 |
| Rendement du Sorgho (Kg/ha) | 1 024,1 | 343,05 | 313,3 | 2 841,7 |
| Valeur de la production du sorgho (FCFA/ha) | 138 530,9 | 58 458,5 | 43 384,6 | 534 240,3 |
| 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 |

Figure 1 : Répartition de la température moyenne dans les 45 provinces pendant la saison des pluies sur l'ensemble des 12 années.



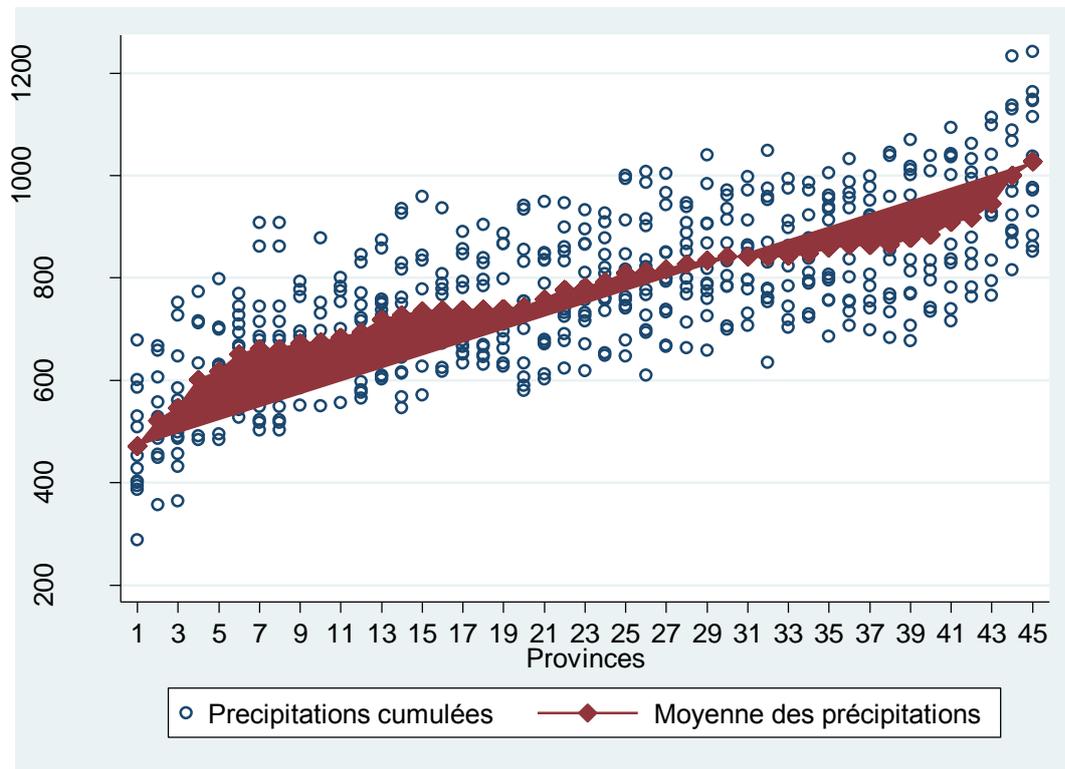
En abscisse, les premières lettres du nom de chaque province

Source : Auteur à partir des données.

La figure 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 28 et 30°C pour la plupart des provinces (soit environ 71% des provinces, 33 provinces sur les 45). Notons que nous classons les provinces¹⁰ par ordre croissant des moyennes des températures sur les 12 années.

¹⁰ L'ordre des provinces en abscisse est disponible en annexe partie 1. point 2. (Pour les figures 1 et 2)

Figure 2 : Répartition des précipitations cumulées dans les 45 provinces pendant la saison des pluies sur l'ensemble des 12 années.



En abscisse, les premières lettres du nom de chaque province

Source : Auteur à partir des données.

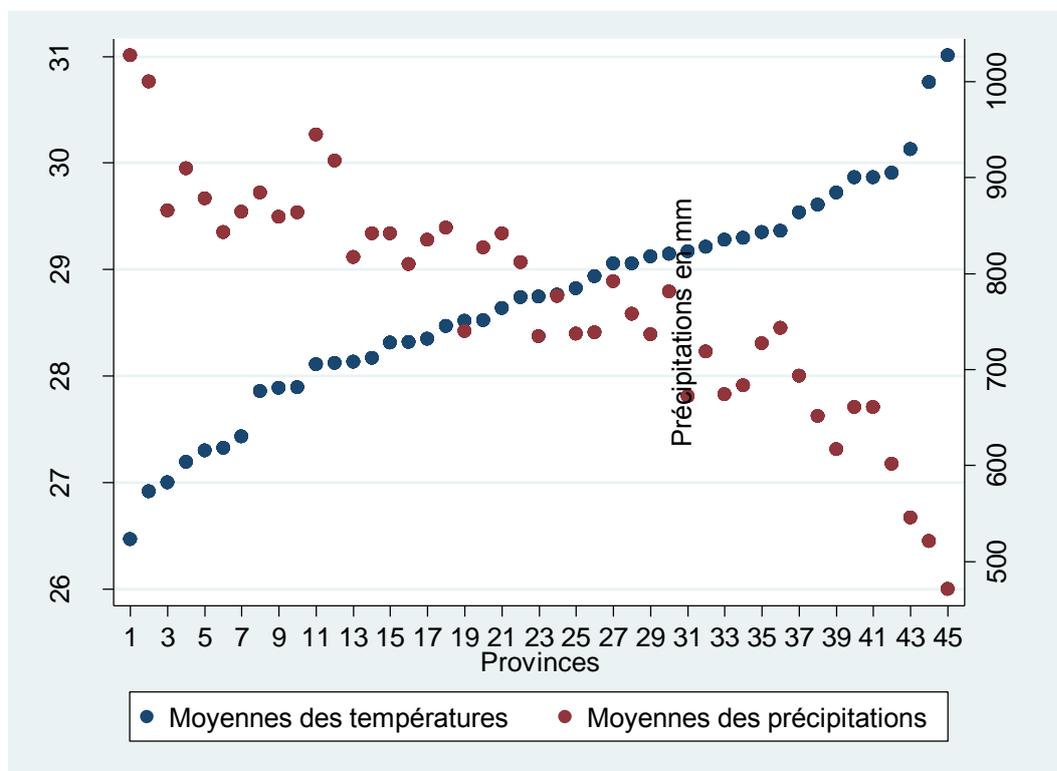
La figure 2 nous montre aussi comment les précipitations cumulées sur l'ensemble de la saison des pluies varie de province en province. Nous constatons donc que pendant la saison des pluies, la moyenne sur les 12 années d'étude des précipitations cumulées moyennes (point rouge sur la figure) oscille entre 600 et 1000 mm de pluie pour la plupart des provinces (soit environ 88% des provinces, 40 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 1. (voir annexe partie 1, point 2 pour la liste).

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.

En plus de ces deux figures, nous représentons dans la figure 3 suivante les moyennes des températures et des précipitations, mais en maintenant les provinces dans l'ordre de la figure 1.

L'objectif est d'observer comment se comporte les précipitations correspondantes à ces températures quand elles croissent.

Figure 3 : Moyenne des températures et des précipitations cumulées dans les 45 provinces



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.

3.3. Méthode d'estimation

3.3.1. Les différentes estimations.

3.3.1.1. Estimation séparée

Nous procédons à deux groupes d'estimations. Le premier est l'estimation culture par culture. Ainsi, il s'agira d'estimer respectivement pour le Maïs, le Mil et le Sorgho chacune des équations (1), (2) et (3).

3.3.1.2. Estimation agrégée.

Le second type d'estimation consistera à agréger les cultures et ainsi estimer les équations (1), (2) et (3) pour le total des cultures. En effet, les agriculteurs sont censés s'adapter face aux changements climatiques en procédant à des substitutions par exemple. Considérer le total des cultures nous permettra de savoir s'il y a dans ce cas précis un biais de prix ou non.

Ainsi, nous obtenons les variables dépendantes de chacune des équations (1), (2) et (3) de la manière suivante :

- La valeur de la production par hectare totale.

C'est le quotient de la somme des valeurs monétaires de la production de chaque culture par la somme des superficies cultivées totales :

$$V_p = \frac{\sum P_c * Q_c}{\sum Sup_c}$$

- 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). 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 :

Rendement total en kcal= production totale en Kcal/ Superficie totale.

- L'indice de prix.

Afin de trouver un indice de prix pouvant représenter la matrice des prix des 3 cultures choisies, nous calculons l'indice de Paasche.

Comme l'explique l'INSEE¹¹, l'indice de Paasche est un indice synthétique¹² 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). L'indice est une moyenne pondérée des indices 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. L'indice de Paasche pondère par les masses de la période courante.

$$\text{Indice de Paasche} = \frac{\sum(\text{indices simples} \times \text{quantité courante} \times \text{Prix initial ou de référence})}{\sum(\text{quantité courante} \times \text{Prix initial})}$$

3.3.2. Procédure d'estimation.

Avant de présenter les éventuels résultats, il conviendrait de procéder d'abord aux différents tests d'hypothèses. Seulement, Selon **Baltagi (2005)** lorsque nous disposons dans les données

¹¹ INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (France)

¹² 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.

de panel d'un nombre d'individus (45 provinces ici) supérieur au nombre d'années (12 années ici), certains tests comme la stationnarité ne sont pas nécessaires.

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 paraît 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 maîtriser 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.

Or, nous disposons de données distribuées sur les 45 provinces du Burkina qui ont des caractéristiques individuelles comme la position géographique, la culture ou les sols qui ne varient pas dans le temps. D'où le fait d'estimer un modèle à effets fixes est avantageux puisqu'il donne un meilleur « pouvoir explicatif » aux variables présentes dans le modèle.

Les différentes équations présentent des problèmes d'hétéroscédasticité que nous corrigeons par l'estimateur de la matrice variance covariance de **White (1980)**.

3.3.3. 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 variables climatiques température et pluie) peuvent ne pas être corrects parce qu'ils peuvent renfermer (ou comporter) les effets des changements structurels. On entend ici par changement structurel toute politique, décision ou évènement

capable d'influencer aussi notre variable à expliquer. Nous notons que l'ajout des effets fixes annuels ne permet pas 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 ou le progrès technique.

IV. RESULTATS

4.1. Tableau 2 : Résultats des différentes estimations. (***) Significatif à 1%, ** Significatif à 5%, * Significatif à 10% « NS =Estimation faite mais Non Significative »

| Cultures Variables dépendantes | Maïs | | | Mil | | | Sorgho | | | Totaux | | |
|--|-------------|---|---------------------------|-------------|---|--------------------------|------------|---|-----------------------------|----------------------------|--|-------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) | (1) | (2) | (3) |
| Variables Indépendantes | Rendement | Valeur de la production par hectare | Indice du prix du maïs | Rendement | Valeur de la production par hectare | Indice du prix du mil | Rendement | Valeur de la production par hectare | Indice du prix du Sorgho | Rendement total en Kcal | Valeur de la production par hectare totale | Indice de Paasche |
| Température moyenne pendant la saison des pluies. (Mai- Octobre) | NS | NS | 101,66 * | -322,64* | -60888.89 ** | -10.05979 ** | NS | NS | NS | NS | NS | NS |
| Précipitations cumulées pendant la saison des pluies. (Mai- Octobre) | 5,47 *** | 667,76 *** | NS | 2,73*** | 353.2064 * | NS | 3,08*** | 431.8325*** | NS | 11483,94 *** | 441.0208 *** | NS |
| Température moyenne pendant la saison des pluies. au Carré | NS | NS | -1,88 * | | | | | | | NS | NS | NS |
| Précipitations cumulées pendant la saison des pluies au carré. | -0,002 *** | -0,348 ** | NS | - 0,0015*** | -0,2187876* | NS | -0,001*** | -0,2346607*** | NS | -6,29 *** | -0.25 *** | NS |
| Production antérieure d'une année | | | NS | | | NS | | | NS | | | NS |
| 2002 | -132,44 | -3447,981 | | 243,4533*** | 50444,99*** | | 160,7474 | 37149,09** | | 562436,9 *** | 41038,92 *** | |
| 2003 | -331,6 *** | -67267,37 *** | -34,35 *** | 4,835697 | -19901,31*** | -31.57021*** | -80.47954 | -33484.59*** | -32.27406*** | -131032,7 * | -28322.39 *** | -34.6785*** |
| 2004 | -358,12 *** | -88385,18 *** | -46,88 *** | 253,7779*** | -9877,989 | -43.788*** | 165.1063** | -29212.71*** | -49.04491*** | 276578,5 ** | -32335,01 *** | -47.51239*** |
| 2005 | -41,95 | 38900,17 ** | 10,18 *** | 272,5863*** | 83313,57*** | 15.43008*** | 132.3931* | 51051.77*** | 9.211702*** | 571323 *** | 61501.08 *** | 9.589136*** |
| 2006 | -40,66 | -28407,58 | -27,43 *** | 329,6101*** | 33477,68*** | -24.6325*** | 257.9408** | 12259.94 | -28.44111*** | 852649,4 *** | 14915.79 ** | -28.46139*** |
| 2007 | -507,37 *** | -94329,96 *** | -36,93 *** | 123,262 | 2620,457 | -29.68832*** | 39.81897 | -20115.15 | -33.85432*** | -41543,19 | -23190.54 *** | -34.25003*** |
| 2008 | -93,9 | 14677,97 | -2,53 | -0,642794 | 3438,175 | -9.739131** | -107.3969 | -12762.78 | -13.82664*** | 41836,35 | 8069,87 | -13.56719*** |
| 2009 | -277 ** | -8940,991 | 5,18 *** | 95,49438 | 33617,59** | 2.616778 | 9.834176 | 17592.27 | -2.356073 | 171768 | 25382.28 *** | 0,0216692 |
| 2010 | -156,8 | -6461,633 | -7,74 *** | 181,0367*** | 41065,31*** | -2.690662 | 62.51259 | 12966.47 | -11.11762*** | 431307,3 *** | 25952.5 *** | -10.2455*** |
| 2011 | -167,47 | 4648,385 | 7,26 *** | 163,8185 | 43131,16 ** | 3.972818 | 138.8505* | 30361.72** | -5.841601** | 419019,9 ** | 33971.78 *** | -1.831621 |
| 2012 | 70,56 | 103225,6 *** | 29,94 *** | 166,1531** | 127355,3*** | 49.5046** | 5.460064 | 72974.69*** | 33.25518*** | 580318,4 *** | 99901.63 *** | 33.55785*** |
| Constante | -9361,1 | -6647552 | -1230,9 | 8920,876* | 1729307** | 413.3355*** | 6662.365 | 934038 | 294.2884* | 9,31.10 ⁷ | 1043448 | -550.2285 |
| R ² within | 0,24 | 0,51 | 0,92 | 0,19 | 0,42 | 0,88 | 0,17 | 0,46 | 0,85 | 0,29 | 0,69 | 0,88 |

Le tableau 2 nous indique que les coefficients des variables climatiques (température et précipitations) sont généralement significatifs ainsi que les coefficients associés aux termes quadratiques. Grâce à la significativité des coefficients associés aux termes quadratiques et pour mieux interpréter les résultats, nous calculons les différentes élasticités. Ces élasticités nous permettront donc de mesurer et comparer l'effet des variables climatiques sur les différents rendements et valeurs de productions. Les régressions sur les indices de prix confirmeront ou non la présence de biais de prix. Néanmoins le tableau 2 ne présente pas des estimations avec le terme quadratique de la température pour le mil et le sorgho. Nous en donnerons les explications dans les analyses et interprétations ci-dessous.

4.2. Analyse et Interprétation des résultats. ¹³

4.2.1. Pour le maïs.

4.2.1.1. Effet de la précipitation sur le rendement du maïs

Les résultats de l'estimation nous montrent que seuls les coefficients de la précipitation et de son terme quadratique sont significatifs. Cela traduit la présence d'un maximum d'environ 1294,9 mm¹⁴ de pluie au niveau duquel le rendement du maïs serait le plus élevé.

La figure 4 nous montre une relation quasi linéaire et croissante entre le rendement du maïs et les précipitations cumulées. Nous ne représentons donc pas le point associé à ce maximum car les observations de la précipitation cumulée pendant la saison des pluies s'arrêtent à environ 1242 mm de pluie. Cette situation traduit donc le fait que plus de pluie augmentera le rendement du maïs.

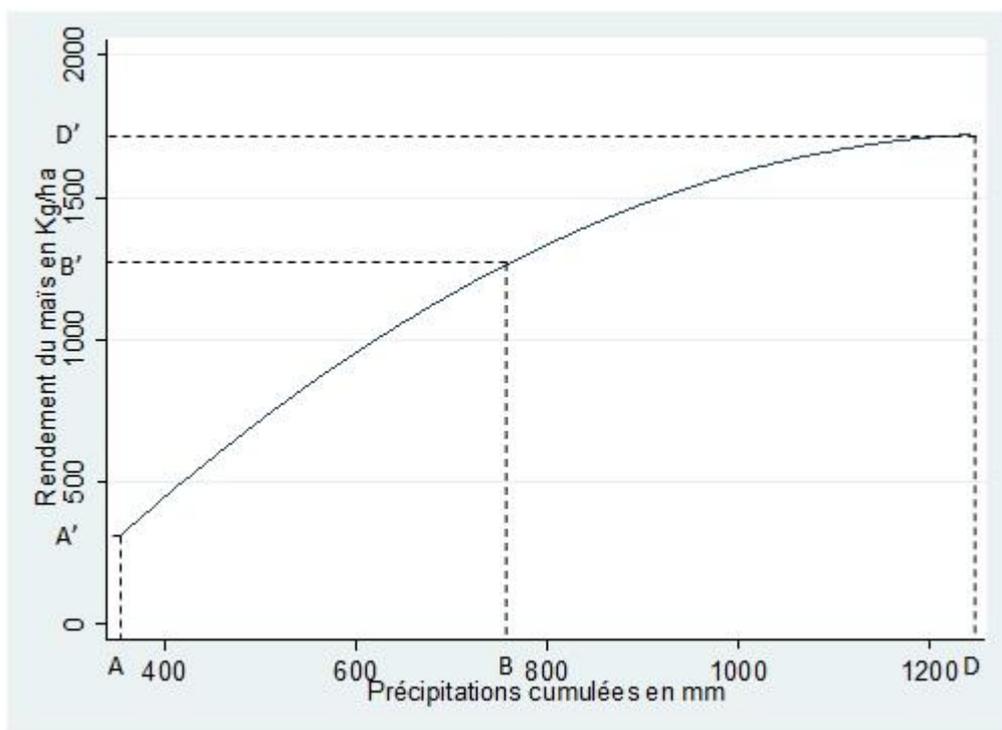
Sur la figure 4, A, B, et D représentent respectivement le minimum des précipitations, la moyenne des précipitations et le maximum des précipitations observées.

A', B', et D', représentent donc le niveau de rendement de maïs obtenu avec des précipitations minimales, celui obtenu avec la moyenne des précipitations et celui obtenu avec les précipitations maximales.

¹³ Le logiciel STATA 13 est utilisé pour les régressions et les différentes tables des estimations se trouvent en annexe partie 2. A. Les mêmes régressions ont aussi été faites en utilisant les superficies moyennes par province comme pondération. Ces régressions ne changent pas les résultats obtenus ici.

¹⁴ Méthode de calcul donnée en annexe partie 1. Point 3.

Figure 4 : Fonction de réponse des précipitations cumulées sur le rendement du maïs¹⁵.



Source : Auteur.

Pour mieux interpréter les résultats de notre régression, nous calculons l'élasticité du rendement par rapport à la précipitation aux points moyens¹⁶ (cf tableau 1) qui est 0,79.

Le résultat obtenu signifie donc que si les précipitations augmentent de 1% par rapport à la moyenne, les rendements vont augmenter de 0,79% (moins que proportionnellement) en moyenne.

4.2.1.2. Effet de la précipitation sur la valeur de la production par hectare du maïs.

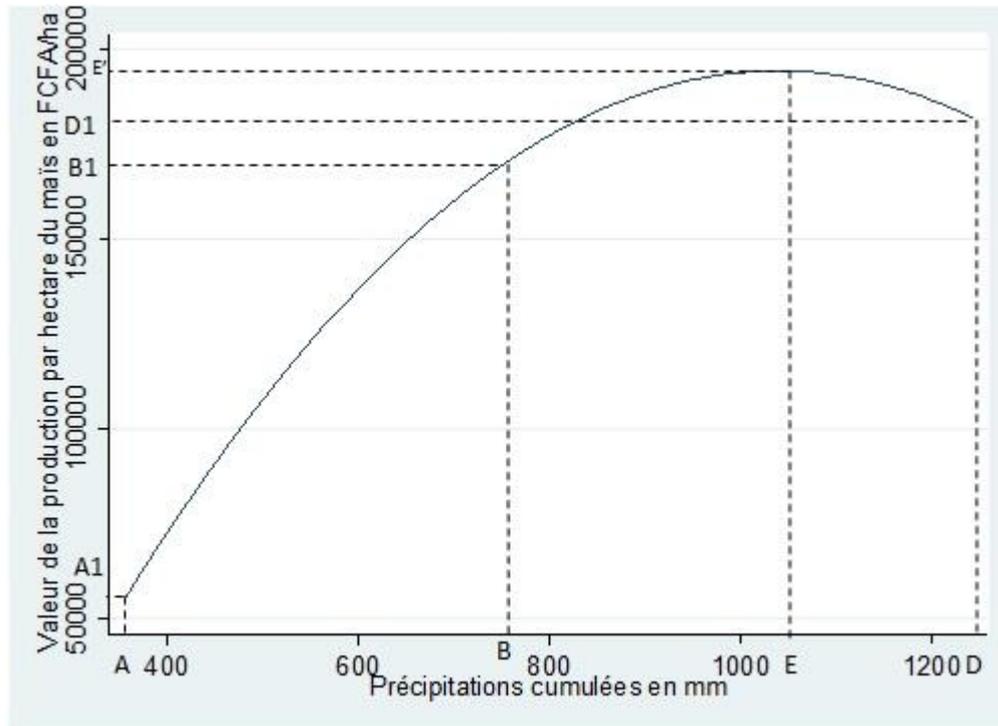
Sur la figure 5, E représente le niveau de précipitation pour lequel la valeur de la production par hectare du maïs est la plus élevée, soit environ 1039 mm

A1, B1, E' et D1, représentent donc la valeur de production par hectare du maïs obtenue avec les précipitations minimales, celle obtenue avec la moyenne des précipitations, la valeur de la production la plus élevée et la valeur de production obtenue avec les précipitations maximales.

¹⁵ La figure correspondante en nuage de points disponible en annexe partie 1 point 5 (Figure 11)

¹⁶ Les élasticités sont calculées aux points moyens (tableau 1) et conformément aux résultats des régressions du tableau 2 (Exemple de calcul en annexe partie 1. Point 4).

Figure 5 : Fonction de réponse des précipitations cumulées sur la valeur de la production par hectare du maïs.¹⁷



Source : Auteur.

Comme le montre la figure 5, il existe donc une relation concave entre la valeur de la production par hectare du maïs et les précipitations cumulées. Après le maximum, la valeur de la production par hectare de maïs baisse, mais légèrement avant d'atteindre le niveau obtenu avec les précipitations maximales.

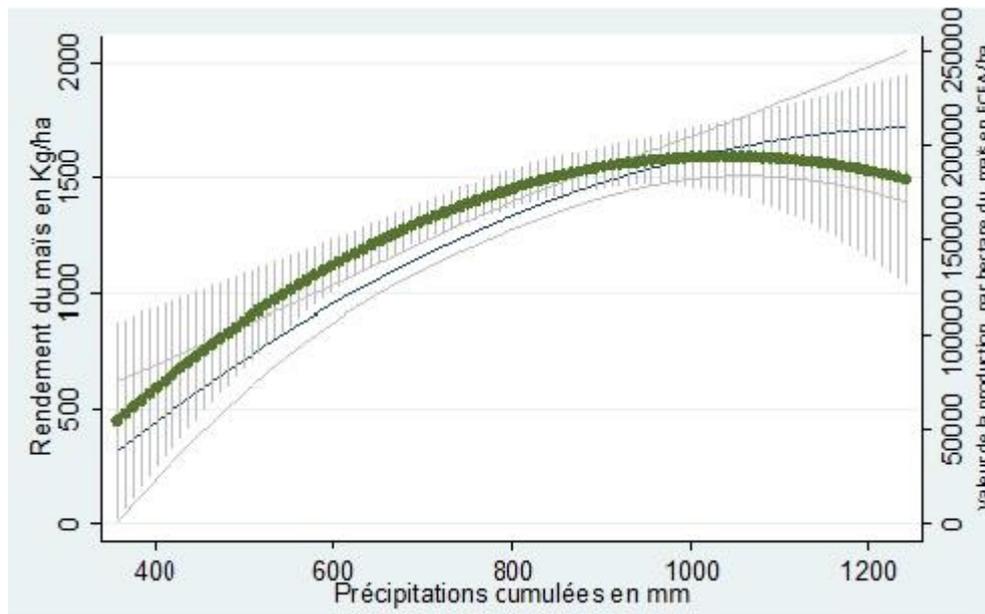
Pour mieux interpréter les résultats de notre régression, nous calculons l'élasticité aux points moyens de la valeur de la production par hectare du maïs par rapport à la précipitation qui est 0,6.

Le résultat obtenu signifie donc que si les précipitations augmentent de 1% par rapport à la moyenne, la valeur de la production par hectare du maïs va augmenter de 0,6% (moins que proportionnellement) en moyenne.

Les résultats que nous venons d'obtenir nous montrent que dans le cas du maïs les précipitations ont (au point moyen) un effet plus fort sur les rendements (0,79%) que sur la valeur de la production par hectare. (0,6%). Il se peut que cette légère différence soit due au biais de prix : s'il n'y avait pas de biais, l'effet serait le même.

¹⁷ Figure correspondante en nuage de points disponible en annexe partie 1. Point 5 (Figure 12)

Figure 6 : Effet de la pluie sur la valeur de la production par hectare du maïs et son rendement représentant le biais de prix.



(En vert la valeur de la production par hectare du maïs et en bleu le rendement. Les hachures et les courbes en gris représentent les intervalles de confiance à 95%)

Source : Auteur.

La figure 6 nous montre à la fois l'effet de la pluie sur la valeur de la production par hectare du maïs et sur son rendement. L'écart constaté est dû au biais de prix puisque s'il n'y avait pas de biais, les tendances seraient les mêmes.

4.2.1.3 . Vérification avec l'indice du prix du maïs

Nous confirmons la présence du biais de prix en régressant un indice simple de prix du maïs sur les mêmes variables climatiques. Si les prix sont influencés par les variables climatiques (températures ou précipitations), cela signifie donc qu'ils peuvent varier de leur fait ou par des variables qui leur sont corrélées sans obligatoirement passer par les rendements.

C'est ici le cas puisque les coefficients de la température et de son terme quadratique sont significatifs comme le montre le tableau 2. L'écart constaté sur la figure 6 entre la valeur de la production par hectare et le rendement est dû à ce biais de prix.

4.2.2. Pour le mil.

Avant de débiter l'analyse des résultats du mil, il est nécessaire de noter que, comme pour le maïs, nous avons d'abord effectué des régressions normales, c'est-à-dire avec toutes les

variables explicatives présentes dans le modèle tels que présentés dans les équations (1), (2) et (3). (Les résultats obtenus sont dans le tableau 9 avec les analyses et interprétations en annexe partie 2, point B.1.1)

Cependant, les résultats de ces premières régressions nous montrent une relation convexe pour les températures (figures 13 et 14 en annexe partie 2.). Il y'a certes une baisse des rendements et de la valeur de la production quand la température augmente, mais une légère hausse après le seuil au niveau duquel le rendement et la valeur de production sont minimaux. On peut essayer d'expliquer ces légères hausses par le fait que les fermiers en se rendant compte de la hausse des températures prennent des mesures (augmentation des engrais, de la main d'œuvre) pour essayer de rehausser leur niveau de rendement, ce qui permettra aussi l'augmentation de la valeur de leur production.

Les formes décroissantes des courbes de fonction de réponse de la température sont à peu près conformes à celle de Kurukulasuriya et Mendelsohn, 2008a (page 16) dans leurs études sur les fermes Africaines. Ils expliquent pour justifier cette forme que dans les études impliquant les Etats Unis par exemple, qui a un climat tempéré, les fonctions de réponse ont une forme concave. Or, en raison de sa température initiale chaude, l'Afrique se trouve sur le côté droit de la courbe concave, ce qui implique que le réchauffement aura des impacts négatifs importants (Mendelsohn et al., 1994, 1999, 2001 dans Kurukulasuriya et Mendelsohn, 2008a). Seulement, il n'y a aucune raison que la courbe remonte pour de très hautes températures. D'ailleurs **Fisher et Hanemann (1998)** et **Darwin (1999)** font aussi cette remarque de convexité dans leurs différentes critiques du modèle ricardien.

Sur la base de ce constat et pour corriger ce « problème », nous suggérons une nouvelle hypothèse¹⁸ selon laquelle il existe en réalité pour certaines céréales, notamment le mil, une relation linéaire entre la valeur de sa production, son rendement et la température. Sous la base de cette nouvelle hypothèse, nous reprenons les différents calculs pour le mil dont les résultats sont présentés dans le tableau 2.

Les résultats du tableau 2 nous montrent que pour le rendement et la valeur de la production par hectare du mil, la température est significative avec un coefficient négatif. Les coefficients de la précipitation et de son terme quadratique sont aussi significatifs respectivement positifs et négatifs.

¹⁸ La description détaillée en annexe partie 1, point 6.

Suivant la procédure de calcul pour trouver ou pas présence de biais de prix, nous calculons les élasticités. L'élasticité du rendement du mil par rapport à la température est de -10,13 et celle de la valeur de la production par hectare par rapport à la température est de -12,45. Par ailleurs, l'élasticité du rendement par rapport à la pluie est de 0,34 et celle de la valeur de la production par rapport à la pluie est de 0,09. Nous constatons un écart entre les élasticités (-10,13 et -12,45 ; 0,34 et 0,09), ce qui suggère la présence d'un biais de prix dans le cas du mil. La vérification avec la régression sur l'indice de prix confirme ce résultat d'autant plus que la température y est significative.

Les figures 13 et 14 (annexe partie 1, points 7.1 et 7.2) nous montrent ces effets de la température et de la pluie à la fois sur le rendement du mil et la valeur de la production et les écarts qui en découlent.

4.2.3. Pour le Sorgho.

Le « problème » de convexité constaté pour le mil entre la température, les rendements et la valeur de la production existent aussi pour le sorgho¹⁹. Nous appliquons donc la même hypothèse d'effet linéaire de la température proposée pour le mil. Les résultats de la régression sont présentés dans le tableau 2.

Sous la nouvelle hypothèse donc, nous constatons que seuls la pluie et son coefficient associé au terme quadratique sont significatifs. L'effet de la précipitation en moyenne sur les rendements du sorgho (0,52) est légèrement différent de celle de l'effet des précipitations sur la valeur de la production par hectare du sorgho. (0,42). Ce qui peut laisser entendre que cette légère différence constatée est aussi due au biais de prix ou peut être quasi inexistant puisque les effets ne sont pas très différents.

Les résultats de la régression sur l'indice du prix de sorgho nous montrent qu'aucune des variables climatiques n'est significative. Ce qui signifie qu'il n'y a vraiment pas biais de prix.

La figure 15 (annexe partie 1, point 7.3) montre cet effet de la pluie à la fois sur le rendement du sorgho et la valeur de la production. Nous constatons que les fonctions de réponse de la pluie sur le rendement et la valeur de la production du sorgho sont pratiquement confondues.

¹⁹ Figures, tableaux et interprétations de cette première hypothèse pour le sorgho en annexe partie 2. B. 2.

4.2.4. Pour les totaux.

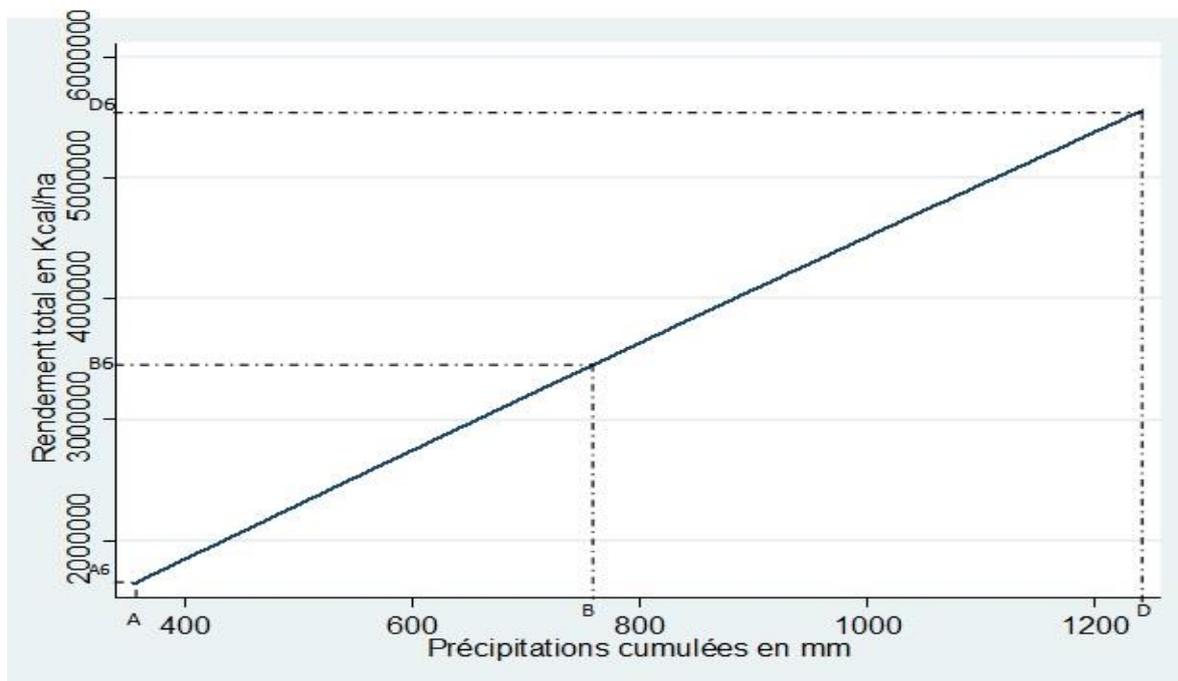
Comme expliqué dans la méthodologie, nous comparons dans cette partie l'effet des variables climatiques sur le rendement total en Kcal/ha et sur la valeur de la production totale en FCFA/ha. Il est important de prendre en compte les productions, rendements ou valeurs de productions totales parce qu'ils peuvent refléter les adaptations des producteurs que constituent les choix entre les différentes céréales. Les résultats du tableau 2 nous montrent que seuls les coefficients de la précipitation et celui associé à son terme quadratique sont significatifs.

4.2.4.1. Effet de la pluie sur le rendement total en Kilocalories.

Les résultats nous indiquent que le coefficient de la précipitation et le coefficient associé au terme quadratique de la précipitation sont significatifs.

La figure 7 nous montre une relation quasi linéaire, croissante et positive entre le rendement total et les précipitations cumulées. Cela signifie donc que plus de pluie augmentera le rendement total. Sur la figure 7, A6, B6 et D6 représentent respectivement le rendement total obtenu avec des précipitations minimales, celui obtenu avec la moyenne des précipitations et celui obtenu avec les précipitations maximales observées.

Figure 7 : Fonction de réponse des précipitations cumulées sur le rendement total



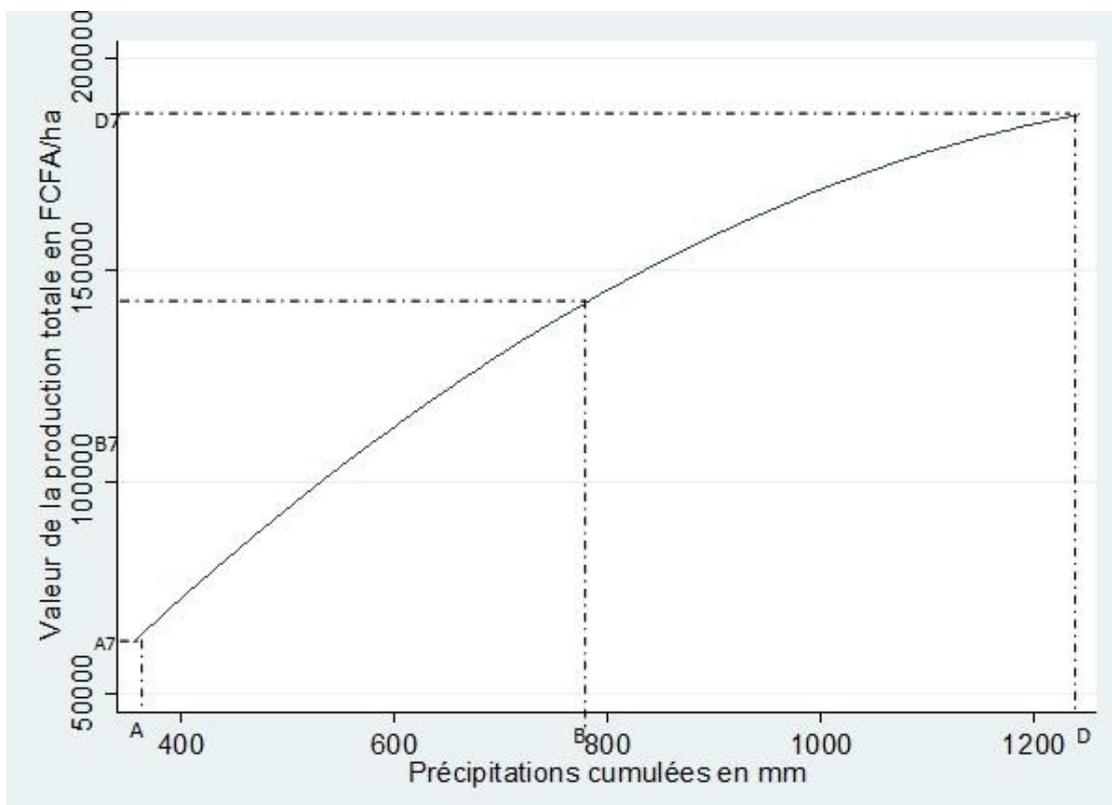
Source : Auteur.

Pour mieux interpréter l'effet de la pluie sur le rendement total, nous calculons l'élasticité (aux points moyens) qui est de 0,38. Cela signifie que si les précipitations augmentent de 1%, le rendement total va augmenter de 0,38%.

4.2.4.2. Effet de la pluie sur la valeur de la production totale par hectare.

Les résultats nous indiquent que le coefficient de la précipitation et le coefficient associé au terme quadratique de la précipitation sont significatifs. Il existe une relation quasi linéaire, croissante et positive entre la valeur de la production totale et les précipitations cumulées comme le montre la figure 8 ci-dessous.

Figure 8 : Fonction de réponse des précipitations cumulées sur la valeur de la production totale.



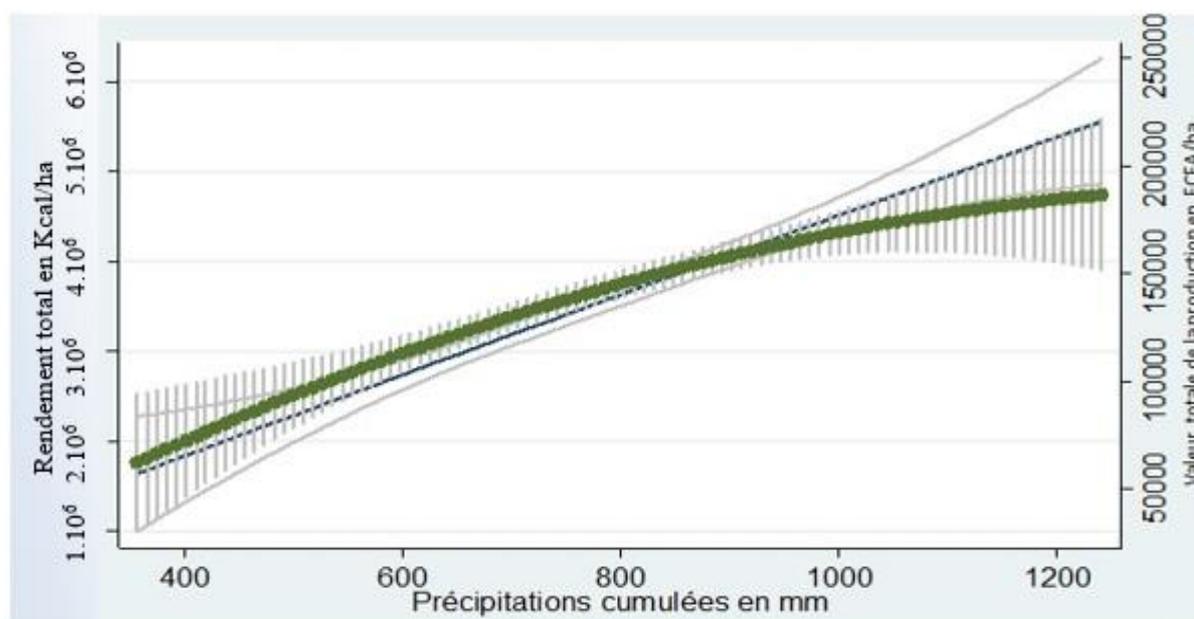
Source : Auteur.

A7, B7 et D7 représentent respectivement la valeur de la production totale obtenue avec des précipitations minimales, celle obtenue avec la moyenne des précipitations et celle obtenue avec les précipitations maximales observées.

Le calcul de l'élasticité de la valeur de la production totale par hectare sur la pluie est de 0,31. Cela signifie que si les précipitations augmentent de 1%, la valeur totale de la production va augmenter de 0,31%.

Quand nous comparons les différents effets de la précipitation sur le rendement total (0,38) et sur la valeur de la production totale par hectare (0,31), nous nous rendons compte qu'ils sont pratiquement les mêmes. Ce qui veut dire qu'il n'y a pas de biais de prix lorsque les quantités sont agrégées. Cela vient sûrement du fait que les fermiers arrivent à s'adapter en ajustant les prix ou en passant d'une culture à l'autre.

Figure 9 : Effet de la pluie sur le rendement total et sur la valeur de la production totale représentant le biais de prix.



(En vert la valeur de la production totale et en bleu le rendement total. Les courbes sont rangées à l'intérieur de leurs intervalles de confiance à 95%)

Source : Auteur.

La figure 9 nous montre que les 2 courbes (en vert la valeur de la production par hectare et en bleu le rendement total en kcal) suivent pratiquement la même tendance. Les effets de la pluie sur ces deux valeurs sont presque les mêmes.

4.2.4.3. Vérification avec l'indice de prix de Paasche²⁰.

Le résultat de cette régression nous montre qu'aucune variable climatique n'est significative sur l'indice de prix de Paasche lorsque nous procédons à la vérification. Ce qui signifie qu'il n'y a effectivement pas de biais de prix dans ce cas précis.

²⁰ Nous vérifions aussi avec l'indice de prix de Laspeyres qui donne le même résultat (régressions en annexe partie 2, A 6.4)

En conclusion, lorsque chaque culture est prise individuellement, nous constatons la présence d'un biais de prix sauf pour le sorgho. Lorsque nous agrégeons les valeurs de la production par hectare et les rendements, il n'existe pas de biais de prix.

Il convient aussi de rappeler que les calculs des élasticités ayant servi aux différentes comparaisons ont été faites aux points moyens. Nous faisons donc à chaque fois **l'hypothèse** que cette élasticité représente l'effet global d'une variable par rapport à une autre. Les effets obtenus peuvent être différents si nous ne sommes pas aux points moyens.

Tableau 3 : Récapitulatif des calculs de l'élasticité.

| Cultures Variables Climatiques | Maïs | | Mil | | Sorgho | | Totaux | |
|---|-------|------|--------|--------|--------|------|--------------|-------------------------|
| | Vp/ha | Rend | Vp/ha | Rend | Vp/ha | Rend | Vp/ha totale | Rendement total en Kcal |
| Température | NS | NS | S | S | NS | NS | NS | NS |
| Température au Carré | NS | NS | | | | | NS | NS |
| Elasticité par rapport à la température | X | X | -12,45 | -10,13 | X | X | X | X |
| Pluie | S | S | S | S | S | S | S | S |
| Pluie au carré | S | S | S | S | S | S | S | S |
| Elasticité par rapport à la pluie. | 0,6 | 0,79 | 0,09 | 0,34 | 0,52 | 0,42 | 0,3 | 0,38 |
| Biais de prix | Oui | | Oui | | Non | | Non | |

Vp/ha = valeur de la production par hectare ; Rend = rendement ; « S » = Significatif, « NS » = Non significatif « X » : calcul pas effectué puisque pas de significativité.

V. QUANTIFICATION DU BIAIS DE PRIX.

Nous venons de voir 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 scénarios 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.

Chaque scénario combine une anomalie de température entre 0 et +6°C et une anomalie de précipitation entre -20% et +20%.

Nous utiliserons donc pour « quantifier » le biais de prix les résultats des régressions dans le tableau 2 uniquement pour le maïs et le mil puisque c'est pour ces 2 cultures qu'on a détecté la présence d'un biais de prix.

Pour le maïs nous quantifierons l'intervalle d'anomalie des précipitations puisque c'est seulement cette dernière qui est significative. Pour le mil, nous quantifierons l'intervalle d'anomalie à la fois pour la température et la pluie, les deux variables étant significatives dans le cas du mil.

Pour ce faire, nous calculerons selon chaque scénario la différence entre le rendement de la culture à la température et/ou 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 pourrions ainsi comparer les différents pourcentages de variation obtenus pour chacun des scénarios

Cette méthode est donnée par l'opération suivante :

$$\Delta \text{ Rendement en (\%)} = \frac{R(C_1) - R(C_0)}{R(C_0)} \times 100 \quad (4)$$

$$\Delta \text{ Valeur de la production par hectare (\%)} = \frac{V(C_1) - V(C_0)}{V(C_0)} \times 100 \quad (5)$$

5.1. Quantification du biais de prix pour le maïs.

Ces différentes variations pour chacun des scénarios sont reportées dans le tableau 4 ci-dessous pour le maïs.

Tableau 4 : Quantification du biais de prix pour le maïs

| Scenarios de variation de pluie | Pourcentage de variation des rendements | Ecart constaté du au biais de prix En points de pourcentage |
|---------------------------------|--|--|
| | Pourcentage de variation des valeurs de production par hectare | |
| -20% | -10,13 | 0,92 |
| | -9,21 | |
| -10% | -4,45 | 0,52 |
| | -3,93 | |
| +10% | 3,21 | 0,63 |
| | 2,58 | |
| +20% | 5,20 | 1,38 |
| | 3,82 | |

Source : Nos calculs.

Le tableau 4 nous indique comment le rendement du maïs et la valeur de sa production par hectare varient selon les différents scénarios de variation des précipitations par rapport à la moyenne. Le tableau 4 nous permet 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 du maïs vont baisser. Par exemple, pour une baisse de 20% des pluies, les rendements vont baisser d'environ 10% et la valeur de la production d'environ 9%. Nous constatons donc que quel que soit le scenario d'augmentation ou de baisse des pluies, il y a un écart qui représente le biais de prix. Il part de 0,92 points de pourcentage pour un scenario de baisse des pluies de 20% à 1,38 points de pourcentage sur la base d'un scenario d'augmentation de 20% des pluies sans forcément suivre une logique de croissance ou de décroissance.

5.2. Quantification du biais de prix pour le mil.

Nous avons noté lors de l'interprétation des résultats sur le mil qu'il était absurde d'obtenir une relation convexe entre la température, les rendements et la valeur de la production. Nous avons donc émis l'hypothèse selon laquelle la température a une relation linéaire avec les

variables dépendantes. Nous quantifions donc dans le tableau ci-dessous le biais de prix pour le mil sur la base de cette dernière hypothèse.²¹

Tableau 5 : Quantification du biais de prix pour le Mil calculé à partir du scénario de Sultan et al. 2013 (sans le terme quadratique de la température)

| Scénarios de Variation de la pluie / Scénarios de Variation de la température | -20% | -10% | Pas de variation de la pluie | +10% | +20% |
|---|-----------------------------------|------------------|------------------------------|-------------------|------------------|
| Pas de variation de la température | -1,23 (μ) -0,48 ($\$$) | -0,5 -0,15 | Référence | 0,28 -0,002 | 0,34 -0,16 |
| | 0,75 (*) | 0,35 | | 0,282 | 0,5 |
| +2°C | -9,26 -8,07 | -8,53 -7,75 | -8,02 -7,591 | -7,73 -7,593 | -7,67 -7,75 |
| | 1,19 | 0,78 | 0,43 | 0,14 | 0,08 |
| +4°C | -17,28 -15,66 | -16,55 -15,34 | -16,04 -15,182 | -15,76 -15,185 | -15,69 -15,35 |
| | 1,62 | 1,21 | 0,86 | 0,58 | 0,34 |
| +6°C | -25,3 -23,25 | -24,57 -22,93 | -24,06 -22,774 | -23,78 -22,776 | -23,72 -22,94 |
| | 2,05 | 1,64 | 1,29 | 1,01 | 0,78 |

(μ) représente le pourcentage de variation du rendement du mil, ($\$$), le pourcentage de variation de la valeur de production par hectare, et (*) représente l'écart entre les 2 pourcentages en valeur absolue.

²¹ Le calcul du biais de prix pour ce tableau se fait sur la base des résultats de la régression avec les nouvelles hypothèses de linéarité de la température (résultats du mil au tableau 2). Nous quantifions tout de même à titre de comparaison le biais de prix du mil avec les premières hypothèses pour le mil. (tableau 7 en annexe partie 1, point 8.1.)

Tableau 6 : Récapitulatif des écarts issus du tableau 5

| | -20% | -10% | zero variation | 10% | 20% |
|----------------|------|------|----------------|-------|------|
| zero variation | 0,75 | 0,35 | 0 | 0,282 | 0,5 |
| 2°C | 1,19 | 0,78 | 0,43 | 0,14 | 0,08 |
| 4°C | 1,62 | 1,21 | 0,86 | 0,58 | 0,34 |
| 6°C | 2,05 | 1,64 | 1,29 | 1,01 | 0,78 |

Avec cette spécification, nous obtenons les signes attendus. D'abord, le tableau 5 nous montre de façon générale qu'il y a une baisse de plus en plus grande du rendement et de la valeur de la production du mil au fur et à mesure d'un scénario de réchauffement du climat. Par exemple, sur la base d'une baisse de 20% des pluies, nous enregistrons une baisse des rendements de 1,23% (pour un réchauffement de +2°C), à 25,3% (pour un réchauffement de +6°C). De même pour la valeur de la production par hectare du mil, les résultats nous montrent que sur la base d'un scénario de baisse de 20% des pluies, il y aura une baisse de la valeur de la production de 0,48% (pour un réchauffement de 2°C) à 23,25% (pour un réchauffement de 6°C.). A titre de comparaison, sur environ 88% (31/35) des scénarios qu'ils ont utilisé, Sultan et al, (2013), ont aussi trouvé de façon générale une baisse de 41% des rendements du mil et du sorgho dans le pire des cas (+6°C/ -20% des précipitations).

Ensuite, les écarts constatés nous montrent aussi l'amplitude du biais de prix. Nous constatons que plus les températures augmentent à partir de +2°C, plus le pourcentage de biais de prix augmente. Par exemple, sur la base d'une baisse de pluie de 10% des précipitations, le biais varie de 0,35 pour un réchauffement de 2°C à 1,64 points de pourcentage pour un réchauffement de 6°C.

De même, plus les pluies diminueront, plus l'écart de biais de prix augmentera. Par exemple, dans un scénario de réchauffement de 4°C, le biais varie de 0,34 pour une hausse des pluies de +20% à 1,62 points de pourcentage pour une baisse de pluie de -20%.

De façon générale, nous pouvons dire que plus les rendements et les valeurs de productions sont affectés négativement par le climat, plus le biais de prix augmente.

Il convient de noter que malgré l'ambiguïté sur la convexité mentionnée plus haut, les résultats sur la variation du biais de prix sont les mêmes dans les deux cas d'hypothèse pour le mil. Plus la température augmente, plus le biais de prix augmente. De même, plus les pluies baissent, plus le biais de prix augmente. (Tableau 7 en annexe partie 1, point 8.1)

VI. CONCLUSION ET DISCUSSION.

L'ensemble des résultats obtenus nous montrent qu'il y a selon les cas présence ou absence 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 nous ont montré qu'il existe pour chacune des cultures étudiées et les totaux une relation décroissante entre la température et les rendements, et entre la température et les valeurs de production par hectare. Cela signifie de façon générale que lorsque la température augmente, les rendements et les valeurs de production par hectare baissent.

Les résultats ont aussi montré qu'il existe une relation concave, croissante entre les précipitations et les rendements, et entre les précipitations et les valeurs de production par hectare. Cela signifie aussi que lorsque les précipitations augmentent, les rendements des cultures et leurs valeurs de production par hectare augmentent.

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 dans le cas du maïs et du mil et absence de biais dans le cas du Sorgho et lorsque nous agrégeons les cultures. En effet, en calculant les élasticités aux points moyens, nous avons mesuré l'effet des variables climatiques à la fois sur les rendements et les valeurs de production par hectare. Il s'est trouvé que pour le maïs et le mil, les effets n'étaient pas les mêmes. L'écart constaté est donc dû au biais de prix ; Le sorgho et les totaux donnent à peu près les mêmes effets, d'où l'absence de biais de prix. Nous avons aussi vérifié les résultats en faisant la régression des différents indices de prix sur les variables climatiques. Dans les cas où il y a biais de prix, les variables climatiques sont significatives ce qui montre qu'effectivement, soit les variables climatiques elles-mêmes, soit d'autres variables qui leur sont fortement corrélées influencent les prix. Dans les cas où il n'y a pas de biais de prix, il n'y a donc eu aucune relation directe entre le prix et les variables climatiques.

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 entraîne le biais que nous venons de constater pour les cultures comme le maïs et le mil. 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. Néanmoins, les résultats obtenus avec le sorgho et les résultats totaux peuvent laisser entendre que les agriculteurs dans ces 2 cas arrivent à s'adapter en ajustant les prix par exemple.

La première partie des résultats infirme l'hypothèse de constance des prix et la seconde montre qu'elle peut être réelle. Cela nous amène à dire que cette hypothèse qui peut ne pas fonctionner dans le cas de certaines cultures, fonctionne pour d'autres ou lorsqu'on considère un ensemble de cultures.

Aussi, le biais de prix aurait pu être calculé par d'autres méthodes. Par exemple, par la différence entre l'élasticité locale (pour la production consommée dans la province) et par le prix « d'exportation » prenant en compte les frais d'accès au marché (qui pourraient dépendre de la quantité exportée, et induire une élasticité différente). Cette méthode pourrait en effet réduire le lien prix-climat et par conséquent le biais de prix. Cependant, pour les cultures utilisées c'est-à-dire nos céréales, il y a une très faible proportion exportée ou quasi inexistante.

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 pour le maïs et le mil en utilisant plusieurs scénarios portant sur des variations de la température et de la pluie. Cela a montré pour le maïs qu'il y a bel et bien un écart qui part de 0,92 pour 20% de baisse des pluies à 1,38 points de pourcentage pour un scénario d'augmentation de 20% des pluies. Dans le cas du mil, les résultats des différents scénarios nous ont montré que plus les températures augmentent dans les scénarios, plus le biais de prix s'accroît, quel que soit le scénario de variation des pluies. De même, quand les pluies baissent dans les scénarios, quel que soit le scénario de variation de la température, le biais de prix augmente. Cela est aussi vrai lorsque nous émettons l'hypothèse que l'effet de la température sur le rendement et la valeur de la production par hectare du mil est linéaire. Le biais de prix est de plus en grand dans les plus pessimistes des cas, et plus petit dans les plus optimistes.

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 se focaliser uniquement sur les revenus des agriculteurs.

Ces derniers peuvent être finalement des mauvais indicateurs de l'impact des changements climatiques.

BIBLIOGRAPHIE

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. **Cline, W. R.** (1996). The impact of global warming on agriculture: Comment, *The American Economic Review* 86(5), 1309–1301.
7. **Darwin, R.** (1999) The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis: Comment. *The American Economic Review*, 89(4), 1049-1052.
8. **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
9. **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.
10. **Fisher, A. C., & Hanemann, W. M.** (1998). The impact of global warming on agriculture: Rethinking the Ricardian approach. *Department of Agricultural & Resource Economics*, UCB.
11. **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
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. **Hausman, J.A.** (1978), « Specification tests in Econometrics, » *Econometrica* 46, 1251-1271

14. **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.
15. **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
16. **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
17. **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
18. **Masseti, E. et Mendelsohn, R.** (2011a). Estimating Ricardian Models with panel data. *Climate Change Economics*, Vol.2, N°4 301-319
19. **Masseti, 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.
20. **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.
21. **Mendelsohn, R. Nordhaus, W. and Shaw, D.** (1994). The impact of global warming on agriculture: A Ricardian analysis. *American Economic Review* 84, 753–771.
22. **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.
23. **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
24. **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.
25. **Ndiaye, M., Maître d'Hôtel, E., & Le Cotty, T.** (2015). Maize price volatility: does market remoteness matter? *Policy Research Working Paper* 7202 World Bank Group
26. **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
27. **Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD),** (2015) : Rapport Annuel 2014 du PNUD Burkina Faso.

28. **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.
29. **Rosenzweig, C. Parry, M. Frohberg, K. and Fisher, G.** (1993) Climate change and world food supply. *Oxford : Oxford University Press*,
30. **Rosenzweig, C. and Iglesias, A.,** (1 994). Eds. Implications of climate change for international agriculture: Crop modeling study. Washington, DC: Environmental Protection Agency.
31. **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*.
32. **Schlenker, W., & Lobell, D. B.** (2010). Robust negative impacts of climate change on African agriculture. *Environmental Research Letters*, 5(1), 014010.
33. **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.
34. **SP/CONAGESE** 2001. Convention cadre des nations unies sur les changements climatiques Communication du Burkina Faso, SP/CONAGESE, Ouagadougou, 126p.
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. **White, H.** (1980). « A heteroskedasticity-Consistent Covariance Matrix Estimator and a Direct Test for Heteroskedasticity , » *Econometrica* 48, 817-838
37. **Wourtese, F. and Taylor, J.** (2008) Migration Income Diversification: Evidence from Burkina Faso. *World Development* Vol.36, No. 4, pp. 625-640.

ANNEXES PARTIE 1.

1. Figure 10 : Carte du Burina Faso avec les 45 provinces.



2. Listes des provinces correspondant aux abscisses des figures 1 et 2.

2.1. Correspondance des provinces en abscisse de la figure 1.

1.LERABA ; 2. COMOE ; 3. PONI ; 4. KENEDOUGOU ; 5. HOUET ; 6.NOUMBIEL ; 7.BOUGOURIBA ; 8.SISSILI ;9.TUY ;10.IOBA ; 11.NAHOURI; 12. BOULGOU ; 13. KOULPELGO; 14.BALE; 15.ZIRO; 16.KOMPIENGA; 17.BANWA ;18.BAZEGA 19.KOURITENGA; 20.MOUHOUN ; 21.ZOUNDWEOGO ; 22.SANGUIE ; 23.GOURMA ; 24.BOULKIEMDE ; 25.GANZOURGOU ; 26.KADIOGO ; 27.NAYALA ; 28 .PASSORE ; 29.TAPOA ;30. KOSSI ; 31.GNAGNA ;32.KOURWEOGO ; 33.KOMANDJORI ; 34.OUBRITENGA ; 35.ZONDOMA ; 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 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. Calcul des minimums et maximums

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

Nous n'utilisons pas les coefficients des estimations (comme nous le ferons pour les élasticités) parce que les coefficients de courbe obtenue tiennent compte 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 la courbe obtenue. Par exemple pour le rendement du maïs en relation avec les précipitations cumulées, l'équation de la courbe obtenue est :

$r = -0,0016 p^2 + 4,1437p - 956,550$ avec $r =$ rendement et $p =$ précipitations, d'où :

$$\frac{\partial r}{\partial p} = 0 \Leftrightarrow p = 1294,9$$

Nous procédons de la même manière pour déterminer les autres maximums ou minimums.

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 minimums et maximums, 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 rendement du maïs ;

L'équation obtenue après estimation est :

$$r = - 5,47p - 0,0027p^2$$

Elasticité (Rendement/Pluie) = $\frac{\partial r}{\partial p} * \frac{p_{moyen}}{r_{moyen}}$, Elasticité = 0,79. Nous utilisons la même méthode

pour le calcul des autres élasticités.

5. Figures de nuage de points correspondantes aux figures 1 et 2

Figure 11 : Rendements de maïs en fonction des précipitations cumulées.

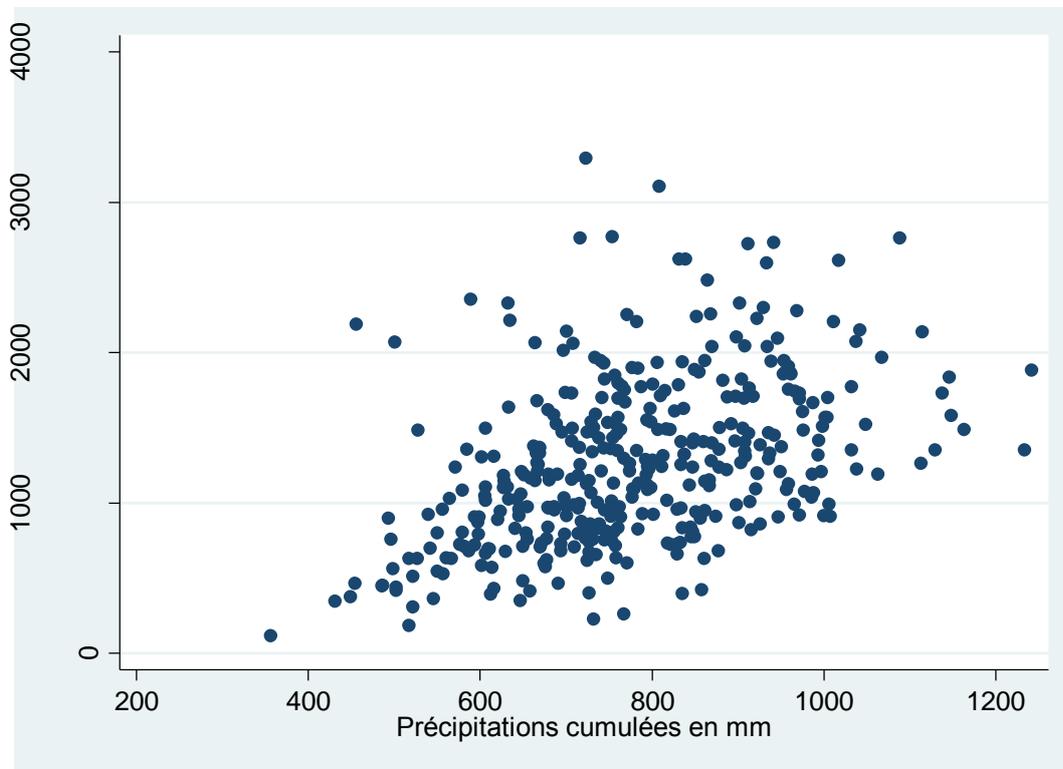
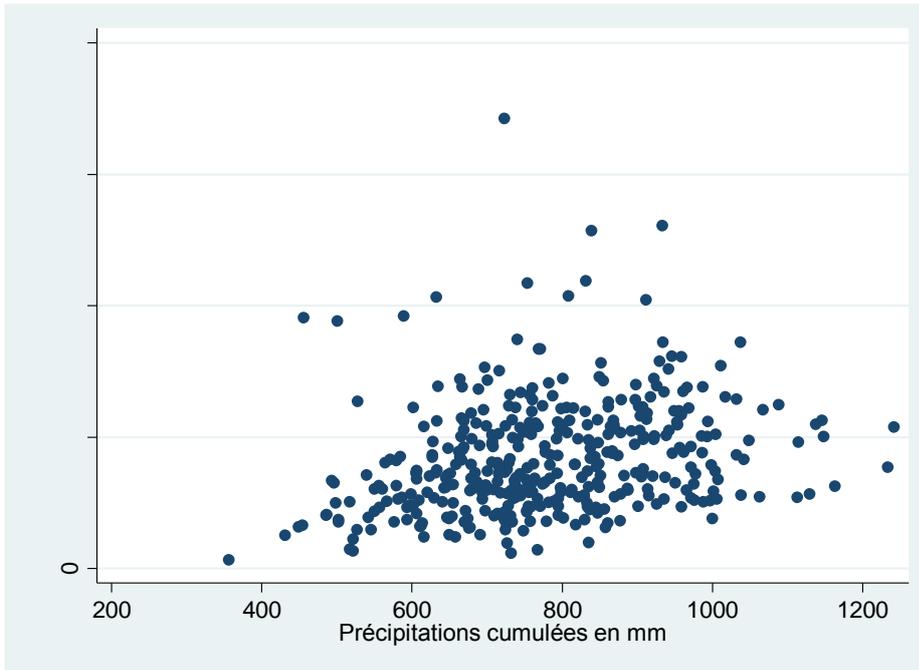


Figure 12 : Valeur de la production par hectare du maïs en fonction des précipitations cumulées.



6. Description de la nouvelle hypothèse sans l'utilisation du terme quadratique pour la température.

Nous faisons donc l'hypothèse dans cette partie à partir des explications données dans le texte principal que la température a un effet linéaire sur les rendements et la valeur de la production du mil et du sorgho

Nous obtenons donc ce groupe de nouvelles équations que nous estimons. Ces équations sont les mêmes que celles présentées dans la méthodologie sauf que nous supprimons le terme quadratique de la température. Nous obtenons donc :

$$R_{it} = \alpha_i + \lambda_t + \theta T_{it} + \theta_1 P + \theta_2 P_{it}^2 + \mu_{it} \quad (6)$$

$$V_{it} = \rho_i + \kappa_t + \theta_3 T_{it} + \theta_4 P + \theta_5 P_{it}^2 + \nu_{it} \quad (7)$$

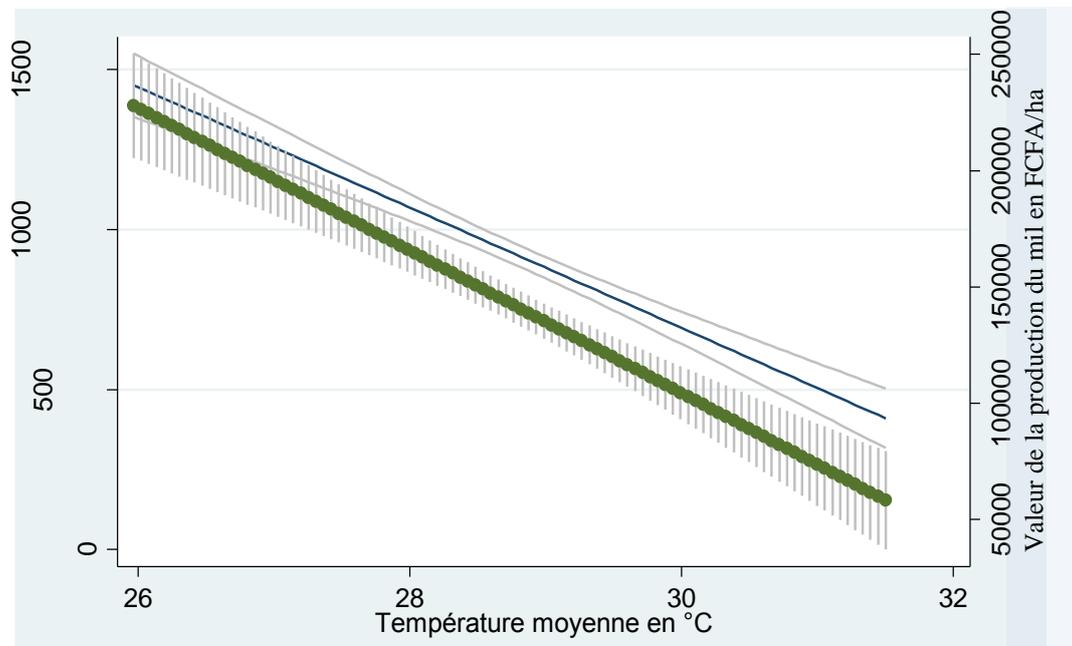
$$I_{it} = \sigma_i + \omega_t + \theta_6 T_{it} + \theta_7 P + \theta_8 P_{it}^2 + \theta_9 Q_{it-1} + z_{it} \quad (8)$$

Où R_{it} les rendements, V_{it} représente la valeur de la production par hectare d, c'est-à-dire le revenu par hectare obtenu de la vente des produits agricoles, T_{it} , la température moyenne, P_{it} les précipitations cumulées; Q_{it} les quantités récoltées, et I_{it} les différents indices de prix et u_{it} , v_{it} , et z_{it} , les termes d'erreur des différentes équations, α_i , ρ_i et σ_i les effets inobservés

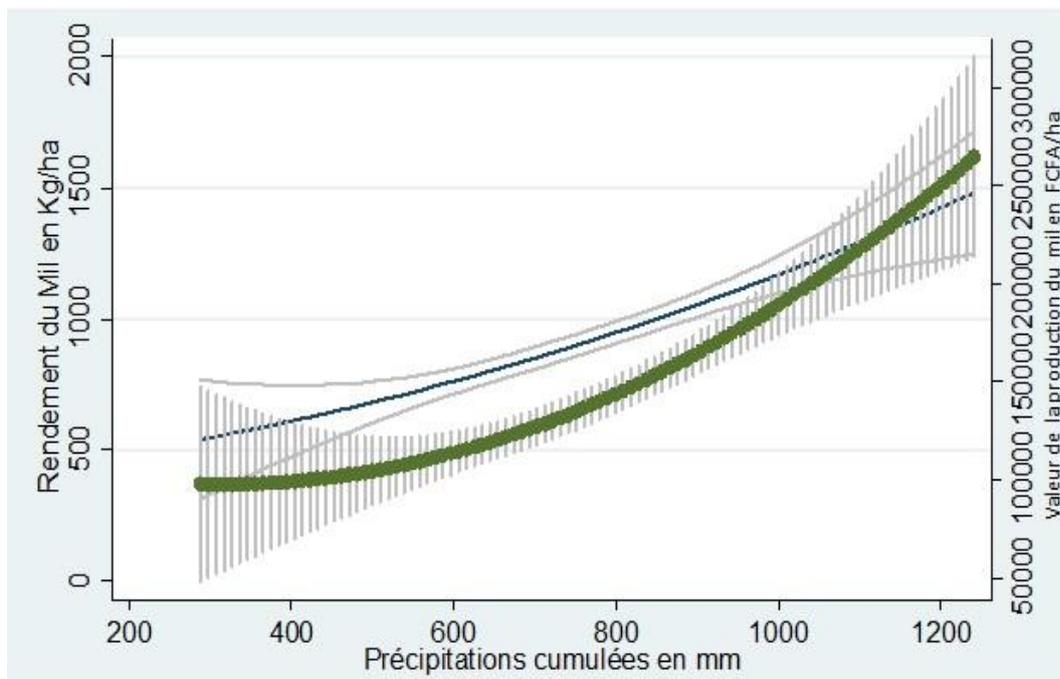
ou effets fixes ; λ_i , κ_i , ω_i , les effets fixes annuels. i représente les différentes provinces du Burkina-Faso ($i=1$ à 45) et t le nombre d'années étudiées (de 2001 à 2012).

7. Représentations des potentiels biais de prix pour le mil et le sorgho avec les nouvelles hypothèses.

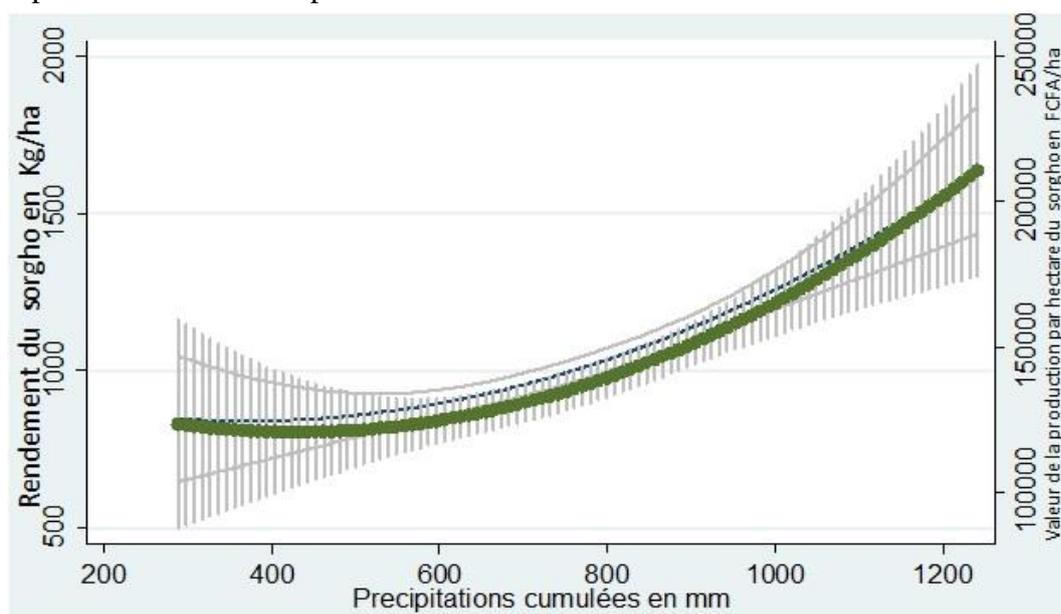
7.1. **Figure 13** : Effet de la température sur le rendement du mil et sur sa valeur de la production représentant le biais de prix. (Avec les nouvelles hypothèses de linéarité).



7.2. **Figure 14** : Effet de la pluie sur le rendement du mil et sur sa valeur de la production représentant le biais de prix.



7.3. **Figure 15** : Effet de la pluie sur le rendement du sorgho et sur sa valeur de la production représentant le biais de prix.



8. Calcul du biais de prix et interprétations pour mil avec les hypothèses de non linéarité de la température.

8.1. **Tableau 7** : Quantification du biais de prix pour le mil avec les hypothèses de départ (présence de la température et de son terme quadratique)

| Scénarios de Variation de la pluie \ Scénarios de Variation de la température | -20% | -10% | Pas de variation de la pluie | +10% | +20% |
|---|--|---------------------------|------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Pas de variation de la température | -0,18 ^(μ) -0,051 ^(\$) 0,129 ^(*) | -0,077 -0,015 0,062 | Référence | 0,051 -0,006 0,057 | 0,078 -0,034 0,112 |
| +2°C | -0,69 -0,41 0,28 | -0,59 -0,38 0,21 | -0,51 -0,36 0,15 | -0,46 -0,37 0,09 | -0,43 -0,4 0,03 |
| +4°C | -0,35 0,08 0,43 | -0,25 0,12 0,37 | -0,17 0,135 0,3 | -0,12 0,129 0,25 | -0,09 0,1 0,19 |
| +6°C | 0,84 1,45 0,61 | 0,95 1,49 0,54 | 1,02 1,5 0,48 | 1,08 1,5 0,42 | 1,1 1,47 0,37 |

(μ) représente le pourcentage de variation du rendement du mil, (\$), le pourcentage de variation de la valeur de production par hectare, et (*) représente l'écart entre les 2 pourcentages en valeur absolue.

Tableau 8 : Récapitulatif des écarts issus du tableau 7

| | -20% | -10% | zero variation | 10% | 20% |
|----------------|-------|-------|----------------|-------|-------|
| zero variation | 0,129 | 0,062 | Référence | 0,057 | 0,112 |
| 2°C | 0,28 | 0,21 | 0,15 | 0,09 | 0,03 |
| 4°C | 0,43 | 0,37 | 0,3 | 0,25 | 0,19 |
| 6°C | 0,61 | 0,54 | 0,48 | 0,42 | 0,37 |

8.2. Analyse et interprétation de la quantification.

Le tableau 7 nous montre les taux de variation du rendement du mil et de sa valeur de production par hectare selon les différents scénarios. Les écarts calculés (et représentés dans le tableau 8) montrent le biais de prix puisque sans biais de prix, les variations de rendement et de valeur de production par hectare seraient les mêmes.

Nous constatons de façon générale que plus la température augmente (quelles que soit les variations de pluie), plus l'écart entre la variation du rendement et la valeur de production est grand. Cela signifie que le biais de prix augmente plus dans les cas où les températures augmentent.

Le tableau 7 nous montre aussi que dans un scénario d'accroissement des pluies quels que soit les niveaux d'accroissement des températures, les écarts, c'est-à-dire le biais de prix baisse de plus en plus. Ce qui montre que moins les pluies sont affectées par le climat, moins les prix seront dépendants des facteurs autres que l'offre et la demande du mil.

Cependant, comme nous l'avions soupçonné, selon un scénario d'augmentation des températures de +6°C, on note une légère augmentation des rendements et de la valeur de la production par hectare. Cela voudrait dire que plus les températures augmenteront pour le mil, plus le rendement et la valeur de la production par hectare du mil augmentera, ce qui paraît absurde.

Nous pouvons donner néanmoins deux types d'explication possibles.

La première est qu'un réchauffement de +6°C n'est pas immédiat, mais progressif. Les agriculteurs sont donc censés avoir le temps de réagir et de trouver des nouvelles formes d'adaptation de plus en plus performantes. Ces formes d'adaptation pourraient donc leur

permettre à terme de maintenir et/ou augmenter leurs rendements et ainsi d'accroître la valeur de leur production. On ne peut pas malheureusement pas le vérifier avec les données.

La seconde est que cette ambiguïté n'est pas nouvelle car elle est présente dans l'utilisation du modèle ricardien avec données de panel (Leonor et al, 2015). Dans cet article étudiant l'impact des Changements climatiques sur l'Agriculture au Mexique, les résultats des régressions montrent que pour l'échantillon des fermes avec une agriculture basée uniquement sur la pluie, les signes des coefficients de la température et de son terme quadratique sont respectivement négatifs et positifs pendant l'été. La température moyenne pour cet échantillon pendant l'été au Mexique ($22,5^{\circ}\text{C}$) est la plus chaude et la plus proche de l'échantillon que nous utilisons ($28,69^{\circ}\text{C}$). Ainsi pour des températures de plus en plus chaudes, il est fort probable de trouver une relation convexe entre la valeur de la production par hectare et la température. Ces signes ne pas discutés dans Leonor et al, (2015) mais signifient, soit, dans le plus optimiste des cas que les cultures céréalières telles que le Mil s'adapteront de plus en plus à la chaleur et conserveront donc leur niveau de production en plus des adaptations progressives des fermiers. Soit ces résultats suggèrent que la forme fonctionnelle avec laquelle le modèle ricardien est formulé n'est pas toujours adaptée à tout type de culture et pour des climats de plus en plus chauds comme celui du Burkina. Par ailleurs, dans leur article Leonor et al, (2015) trouvent que sur la base d'un scénario d'augmentation de la température de $2,5^{\circ}\text{C}$ et une baisse de 10% des pluies, les revenus agricoles varieront entre -18,6 et 36,4%. Ce résultat donne un intervalle très large qui montre que les revenus augmentent aussi du fait d'une augmentation de la température et de baisse de pluie.