



Impact des changements climatiques sur les revenus des ménages agricoles au Bénin : Evidence basée sur l'application du modèle Ricardien

Epiphane SODJINOU^{1*}, Saïd K. HOUNKPONOU²

¹ Département d'Economie et de Sociologie Rurale, Faculté d'Agronomie, Université de Parakou (UP), BP 123 Parakou, Bénin

² ONG « Initiatives pour un Développement Intégré Durable (IDID) », 03 BP 92 Porto-Novo, Bénin

Reçu le 08 Janvier 2019 - Accepté le 27 Mai 2019

Impact of climate change on agricultural households' incomes in Benin: Evidence based on the application of the Ricardian model

Abstract: The objective of this study was to analyze farmers' perceptions of the effect of climate change on agriculture and to assess the impact of this climate change on agricultural household's incomes. To do this, both qualitative and quantitative data were collected in six of the twelve departments of Benin on a random sample of 360 households. Descriptive statistics and the Ricardian model were used to assess the impact of climatic variables on the incomes of agricultural households. Results obtained indicate that climate change has impact not only on farming systems but also on rural household's incomes. Effects of climate change on cropping systems are expressed in terms of decrease agricultural production due to the variability of rainfall; the emergence of diseases, pests and pathogens; new spatial distributions of pests and insect; and erratic and unpredictable rainfall. The reduction in precipitation appears to be more harmful to farmers' agricultural income than the increase in temperature. A reduction in precipitation by one millimeter would, *ceteris paribus*, reduce net agricultural income by FCFA 614 per hectare. The reduction in net farm income is greater among producers who do not use climate change adaptation strategies than among producers who use adaptation strategies. Finally, the study showed that any action aimed at improving soil fertility, with the aim of limiting the harmful effect of climate change, will lead to an improvement in the farm household's incomes. Also, public investment should be concentrated in research on high-yield, heat tolerant and / or flood prone varieties.

Keywords: Climate change, adaptation, agriculture, impact, perception, Benin.

Résumé : L'objectif de cette étude était d'analyser les perceptions paysannes de l'effet des changements climatiques sur l'agriculture et d'évaluer l'impact de ces changements climatiques sur les revenus agricoles des producteurs. Pour ce faire, des données qualitatives et quantitatives ont été collectées dans six des douze départements du Bénin sur un échantillon aléatoire de 360 ménages. Des statistiques descriptives et le modèle ricardien ont été utilisés pour apprécier l'impact des variables climatiques sur les revenus. Les résultats indiquent les effets des changements climatiques sur les systèmes culturels s'expriment en terme de baisse de la production agricole due à la variabilité des précipitations ; l'émergence de maladies, de ravageurs et de vecteurs pathogènes ; de nouvelles distributions spatiales des ravageurs et insectes nuisibles ; et une pluviométrie erratique et imprévisible. La réduction de la précipitation apparaît plus néfaste sur le revenu agricole des producteurs que l'accroissement de la température. Une réduction des précipitations d'un millimètre entraînerait, *ceteris paribus*, une baisse du revenu agricole net de 614 FCFA/ha. La réduction du revenu agricole net est plus forte chez les producteurs n'utilisant pas de stratégies d'adaptation aux changements climatiques que chez ceux utilisant des stratégies d'adaptation.

Enfin, toute action visant l'amélioration de la fertilité des sols, dans le but de limiter l'effet néfastes des changements climatiques, entraînera une amélioration du revenu agricole des producteurs. De même, l'investissement public devrait être concentré dans la recherche sur les variétés à haut rendement, tolérantes à la chaleur et /ou sujettes aux inondations.

Mots clés: Changement climatique, adaptation, agriculture, impact, perception, Bénin.

1. Introduction

Les changements climatiques sont au centre des préoccupations aussi bien au plan scientifique qu'au plan politique. L'Afrique en général, et l'Afrique de l'Ouest en particulier, est plus vulnérable aux changements et à la variabilité climatiques notamment à cause de certaines de ses caractéristiques physiques et socio-économiques qui la prédisposent à être affectée de façon disproportionnée par les effets négatifs des variations du climat (Niasse et al., 2004). On assiste déjà à la dégradation des terres, aux inondations et à la sécheresse à travers l'Afrique de l'Ouest conséquence directe du changement climatique (Liniger et al., 2011). L'impact des changements climatiques pourrait être très sévère en Afrique de l'Ouest où la plupart des pays sont moins aptes à s'adapter au changement climatique, limitant ainsi la perspective d'atteindre les Objectifs Millénaires pour le Développement (OMD) (Sonneveld et al., 2012). Mieux, les communautés pauvres de cette région sont les plus vulnérables du fait de leurs faibles capacités d'adaptation et de leur grande dépendance de l'agriculture pluviale (GIEC, 2007).

L'impact des changements climatiques sur l'agriculture est multiple et pèse sur les personnes, le capital des exploitations et les résultats (systèmes d'élevage et de culture moins productifs) (Minderhoud-Jones, 2009). Selon les estimations, les changements climatiques vont faire baisser la productivité agricole de l'ordre de 9 à 21% au cours des prochaines décennies, avec pour conséquences la recrudescence des conflits autour des ressources naturelles et l'abandon des activités agropastorales (Di Falco et al., 2011 ; Vodounou & Doubogan, 2016).

Au Bénin, les changements climatiques affectent de plus en plus l'environnement rural et l'équilibre agraire causant ainsi la baisse de la productivité et de l'efficacité (Sodjinou et al., 2019). Les zones de production agricole souffrent du glissement des saisons avec des pluies tardives et de courte durée ; ce qui

affecte du coup la production agricole et la sécurité alimentaire des ménages (Minderhoud-Jones, 2009). Sous l'effet des changements climatiques, les rendements du maïs et du coton pourraient diminuer significativement, allant jusqu'à 30% pour le maïs et 20% pour le coton (Akponikpe et al., 2019).

Malheureusement, au Bénin, on manque encore d'informations pertinentes sur l'impact économique du changement climatique sur ménages agricoles et ruraux ainsi que les stratégies d'adaptation utilisées par ces ménages pour atténuer les négatifs du changement climatique. La présente étude vise à analyser les perceptions paysannes de l'effet des changements climatiques sur l'agriculture et à évaluer l'impact de ces changements climatiques sur les revenus agricoles des producteurs.

2. Matériel et méthodes

2.1. Données utilisées

La présente étude été réalisée dans les départements de la Donga, de l'Alibori (au Nord), des Collines (au Centre), du Plateau, de l'Atlantique et du Couffo (au Sud). Ces départements avaient été retenus compte tenu du fait qu'ils sont considérés comme étant très vulnérables aux effets des changements climatiques (Sodjinou, 2013). Dans chacun de ces départements, deux communes sont considérées et dans chaque commune un village a été sélectionné. Ensuite, un recensement des ménages a été effectué dans chacun des villages échantillonnés, avec l'aide de cinq personnes-ressources par village. Ces personnes-ressources sont les habitants du village ayant une très bonne connaissance des ménages de son village. A l'issue de ce recensement, 30 ménages ont été sélectionnés de manière aléatoire pour les enquêtes quantitatives, ce qui donne un total de 360 ménages interviewés dont 120 au Nord, 60 au Centre et 180 au Sud (tableau 1). En plus des ménages, des discussions en focus groups ont eu lieu dans chaque village.

* Auteur Correspondant : sodjinoue@gmail.com

Copyright © 2019 Université de Parakou, Bénin

Tableau 1. Répartition des ménages interviewés par commune et par région

Région	Département	Commune	Effectif	Pourcentage
Nord	Alibori	Banikoara	30	8,3
		Gogounou	30	8,3
	Donga	Bassila	30	8,3
		Copargo	30	8,3
	<i>Sous-total</i>			<i>120</i>
Centre	Collines	Savalou	30	8,3
		Savè	30	8,3
	<i>Sous-total</i>			<i>60</i>
Sud	Atlantique	Allada	30	8,3
		Kpomassè	30	8,3
	Couffo	Aplahoué	30	8,3
		Lalo	30	8,3
	Plateau	Kétou	30	8,3
		Pobè	30	8,3
	<i>Sous-total</i>			<i>180</i>
<i>Total</i>			<i>360</i>	<i>100</i>

2.2. Cadre théorique

Les modèles d'évaluation de l'impact des changements climatiques disponibles dans la littérature peuvent être regroupés en deux grandes catégories à savoir les modèles d'équilibre général et les modèles d'équilibre partiel (Deressa, 2007). Les modèles d'équilibre général tel que le CGE (*Computable General Equilibrium*) sont des modèles analytiques qui considèrent l'économie comme un système complet constitué d'éléments interdépendants. Ces modèles conviennent particulièrement pour des questions environnementales, car ils sont capables de capturer des effets macro-économiques complexes des changements exogènes tout en fournissant un aperçu des impacts micro-économiques sur les producteurs, les consommateurs et les institutions (Deressa, 2007 ; Mabugu, 2002). Ces modèles ne conviennent pas pour la présente étude étant donné que nous avons travaillé sur une partie de l'économie notamment l'agriculture.

Les modèles d'équilibre partiel se focalisent sur une partie de l'économie par exemple sur un seul marché ou un sous-ensemble de marchés ou secteurs (Sadoulet & de Janvry, 1995). Ces modèles sont de deux types à savoir les modèles de simulation de la croissance des cultures (*Crop growth simulation models*) et les modèles utilisant les approches économétriques (Deressa, 2007). Les modèles de simulation de la croissance des cultures comprennent les techniques dites de Zonage Agro-Ecologique (ZAE) et les approches basées sur les fonctions de production.

Selon Deressa (2007), l'approche ZAE est utilisée pour évaluer l'aptitude, de diverses caractéristiques biophysiques des terres, à la production agricole. Dans

cette approche, les caractéristiques des cultures, la technologie existante, le sol et les facteurs climatiques sont inclus, comme déterminants d'aptitude à la production agricole. En combinant ces variables, le modèle permet l'identification et la distribution des terres potentielles de production agricole. Etant donné que le modèle inclut le climat comme un facteur déterminant de l'aptitude des terres pour la production agricole, il peut être utilisé pour prédire l'impact de l'évolution des variables climatiques sur la production agricole potentielle et les modes de culture (Deressa, 2007 ; Martin & Vaitkeviciute, 2016). L'insuffisance de l'approche ZAE est qu'elle ne permet pas de prendre en compte les niveaux faibles d'intrants généralement utilisés dans les pays en développement et a tendance à s'écarter considérablement des niveaux de rendement observés sur le terrain (Sonneveld et al., 2012). En outre, la ZAE ignore les mécanismes d'ajustement utilisés par les agriculteurs pour anticiper l'évolution des conditions climatiques et, par conséquent, a tendance à surestimer les pertes attendues (Sonneveld et al., 2012).

L'approche utilisant la fonction de production pour analyser l'impact du changement climatique sur l'agriculture se fonde sur une fonction de production empirique ou expérimentale mesurant la relation entre la production agricole et le changement climatique (Mendelsohn et al., 1994). Dans cette approche, une fonction de production, qui inclut des variables telles que la température, les précipitations et le dioxyde de carbone comme facteur de production, est estimée (Deressa, 2007). Un avantage de ce modèle est qu'il fait une prédiction plus fiable de la façon dont le climat affecte le rendement. L'impact du changement climatique sur les rendements agricoles est déterminé par des expériences

contrôlées. Cependant, un problème avec ce modèle est que ses estimations ne tiennent pas compte de l'adaptation (Deressa, 2007, Mendelsohn et al., 1994). Les analyses qui n'intègrent pas une adaptation surestiment les dommages liés à toute déviation par rapport à l'optimum (Kurukulasuriya & Mendelsohn, 2008).

La principale approche économétrique utilisée dans l'évaluation de l'impact des changements climatiques sur les revenus est le modèle ricardien mis au point par Mendelsohn et al. (1994). La technique a été nommée ainsi parce qu'elle est basée sur l'observation faite par David Ricardo selon laquelle les valeurs des terres refléteraient la productivité de ces terres en situation de concurrence parfaite (Deressa, 2007). L'approche tient compte implicitement de la possibilité de mise en œuvre de stratégies d'adaptation aux changements climatiques par les agriculteurs. Elle vise à isoler, à travers une analyse économétrique de données transversales, les effets du changement climatique sur le revenu agricole et la valeur de la terre, après la prise en compte d'autres variables explicatives pertinentes (par exemple, la dotation en facteurs, la proximité avec les marchés) (Di Falco et al., 2011).

L'approche ricardienne suppose que tout facteur influençant la productivité des terres devrait se refléter dans la valeur des terres ou les revenus nets. Elle suppose également que la valeur des terres, à un moment donné, inclut des changements climatiques futurs et les mesures d'adaptation possibles (Di Falco et al., 2011 ; Di Falco et al., 2012). Un avantage de ce modèle est qu'il est moins coûteux, puisque les données secondaires et transversales peuvent être relativement faciles à collecter sur des variables climatiques, la production et les facteurs socio-économiques (Deressa, 2007). Le modèle ricardien tient aussi compte des coûts des différentes alternatives d'adaptation aux changements climatiques. Par exemple, si un agriculteur décide d'introduire une nouvelle culture sur son champ/parcelle à mesure que le climat se réchauffe, le modèle ricardien suppose que l'agriculteur paiera les coûts normalement associés à la culture de cette nouvelle spéculation, tels que le coût de la nouvelle semence ainsi que les nouveaux intrants spécifiques à la nouvelle culture introduite (Kurukulasuriya & Mendelsohn, 2008).

Selon Deressa (2007), une des faiblesses de l'approche ricardienne, est qu'elle n'est pas fondée sur des expériences contrôlées dans les exploitations agricoles. Selon cet auteur, les réponses des agriculteurs varient d'un endroit à un autre, non seulement en raison de facteurs climatiques, mais aussi en raison de nombreuses conditions socio-économiques. Ces facteurs non-climatiques sont rarement entièrement inclus dans le modèle. Un autre inconvénient de l'approche ricardienne est qu'il ne peut pas mesurer l'effet des variables qui ne varient pas dans l'espace notamment l'effet des différents niveaux de dioxyde de carbone (Kurukulasuriya & Mendelsohn, 2008).

Cependant, malgré ces faiblesses, le modèle ricardien a été utilisé dans diverses études à travers le monde (par exemple Deressa, 2007 ; Di Falco et al., 2012 ; Ouédraogo, 2012 ; Mendelsohn, 2000) pour évaluer l'impact des changements climatiques sur l'agriculture en tenant compte des stratégies d'adaptation utilisées par les agriculteurs.

2.3. Approche empirique

L'approche ricardien a été utilisée dans cette étude. Elle consiste à régresser les revenus nets ou prix de la terre sur un ensemble de variables explicatives dont les variables climatiques ; ce qui permet de mesurer la contribution marginale que chaque input apporte au revenu agricole. L'approche ricardienne permet ainsi de mesurer la contribution marginale de chaque input au revenu agricole comme capitalisé dans la valeur des terres (Deressa, 2007). Mathématiquement, l'équation du modèle ricardien est donnée par Mendelsohn et al. (1994) :

$$V = \sum P_i Q_i (X, F, H, Z, G) - \sum P_x X \quad (1)$$

Dans cette équation, P_i représente le prix de marché de la culture i , Q_i est l'output de la culture i , X est un vecteur des intrants achetés (autres que les terrains), F est un vecteur de variables climatiques, H correspond au débit d'eau, Z est un vecteur des variables liées au sol, G est un vecteur de variables économiques telles que l'accès au marché et P_x est un vecteur des prix des intrants. L'agriculteur est supposé choisir X pour maximiser les revenus nets compte tenu des caractéristiques de la ferme et les prix du marché.

Selon Kurukulasuriya et Mendelsohn (2008), le modèle ricardien standard repose sur une formulation quadratique du climat :

$$V = B_0 + B_1 F + B_2 F^2 + B_3 H + B_4 Z + B_5 G + \varepsilon \quad (2)$$

où ε est un terme d'erreur, B_0 à B_5 sont les paramètres à estimer. L'équation 2 inclut aussi bien les termes linéaires que les termes quadratiques pour la température et les précipitations. Le signe du terme quadratique indique le type de relation existant entre le revenu net et les facteurs climatiques. Ainsi, lorsque le terme quadratique est positif, la fonction a une forme de U et quand il est négatif, la fonction est en forme de montagne (inverse de U). En se basant sur les recherches agronomiques et analyses transversales antérieures, on peut s'attendre à ce que le revenu agricole ait une relation en forme de montagne avec la température (Kurukulasuriya & Mendelsohn, 2008). L'impact marginal d'une variable climatique donnée sur le revenu agricole net, évalué à la moyenne, est donné par la formule suivante :

$$E[dV / df_i] = b_{1,i} + 2b_{2,i} * E[f_i] \quad (3)$$

Dans cette étude, la variable dépendante utilisée est le revenu agricole net par hectare. Ce choix se justifie

par le fait qu'au Bénin, le fonctionnement parfait du marché de la terre n'est pas effectif dans la plupart des régions du Bénin. En effet, en dépit de la promulgation de diverses lois sur le foncier au Bénin – notamment le Plan Foncier Rural (PFR) et le code domanial – l'oralité continue de dominer les contrats de vente des terres. De même, une grande partie du territoire béninois continue d'être confrontée aux problèmes de l'insécurité foncière. Le revenu agricole net (*REVNET*) est la différence entre la valeur de la production végétale et les coûts associés (coûts des semences, des fertilisants et des pesticides, coûts de l'utilisation de l'équipement et du matériel agricoles). Il est donné par la formule suivante :

$$REVNET = PB - CT \quad (4)$$

Avec $CT = CV + CF + MO$ les coûts totaux constitués des charges variables (*CV*) comprenant les coûts des semences, des fertilisants, des pesticides, les coûts de la main-d'œuvre occasionnelle ; des charges fixes (*CF*) correspondant à l'amortissement des équipements (un amortissement linéaire a été utilisé) et de la main-d'œuvre familiale et salariée permanente (*MO*). Le coût de la main-d'œuvre salariée correspond à l'argent effectivement dépensé par le producteur. Quant à la main-d'œuvre familiale, son coût est obtenu en multipliant la quantité (en homme-jour) par le prix unitaire moyen de vente de la main-d'œuvre salariée dans les milieux d'enquête.

Dans cette étude, cinq catégories de variables indépendantes ont été considérées à savoir les variables climatiques (précipitation et température), les inputs de la production (engrais, pesticides, main-d'œuvre, utilisation de bœuf de trait, fertilité du sol), les variables agro-écologiques (distance entre le village et le chef-lieu de commune, distance entre village et marché le plus proche du domicile, zonage agro-écologique), l'adaptation et les spéculations produites (cf. tableau 2). De même, cinq types de modèles ont été considérés :

- un modèle intégrant les variables climatiques et la variable d'adaptation aux changements climatiques (ADAPT) quel que soit la mesure/stratégie utilisée ;
- un modèle incluant les variables climatiques, l'adaptation aux changements climatiques (ADAPT), et les inputs de production ;
- un modèle incluant les variables climatiques, l'adaptation aux changements climatiques (ADAPT), les inputs de production du maïs et les variables agro-écologiques ;
- un modèle incluant les variables climatiques, l'adaptation aux changements climatiques (ADAPT), les inputs de production du maïs, les variables agro-écologiques, et les différentes cultures pratiquées ;
- un modèle tenant compte des variables climatiques, chacune des mesures/stratégies d'adaptation aux changements climatiques utilisée par les

producteurs, les inputs de production du maïs, les variables agro-écologiques, et les différentes cultures pratiquées.

3. Résultats et discussion

3.1. Perceptions paysannes de l'effet des changements climatiques sur l'agriculture

Les changements climatiques, de par leurs manifestations, ont des répercussions sur les moyens d'existence des ménages, en particulier sur leurs activités agricoles. En effet, tous les paysans interviewés au cours de cette étude sont unanimes sur cette situation. Ceci peut s'expliquer par le fait que l'environnement de croissance et de développement des plantes est fortement perturbé ces dernières années et ne favorise plus une bonne production. Certains producteurs (90% des cas) estiment que les changements climatiques ont surtout impacté le rendement des cultures qui ont considérablement baissé au cours de la dernière décennie (figure 1). Cette baisse de rendement et/ou perte de production entraînent au niveau des producteurs des situations d'insécurité alimentaire source de sous-alimentation et de mauvaise qualité des aliments. De la même manière, les producteurs estiment que le changement climatique a aussi bouleversé le calendrier agricole classique (43% des cas). Ainsi, ils ne sont plus à même de cerner les dates de semis et sont pleinement conscient du fait que les semis sont à risque. Par conséquent, les périodes et dates d'exécution des autres opérations agricoles deviennent aléatoires. Ce qui se répercute sur la production en fin de campagne. Les cultures sont aussi détruites non seulement par l'inondation mais aussi par les animaux transhumants (26% des interviewés).

Dans l'ensemble, les perceptions paysannes rejoignent pratiquement les résultats de (Vodounou & Doubogan, 2016). En effet, selon cet auteur, les conséquences du changement climatique sur les systèmes culturels s'expriment en terme de baisse de la production agricole due à la variabilité des précipitations ; l'émergence de maladies, de ravageurs et de vecteurs pathogènes ; de nouvelles distributions spatiales des ravageurs et insectes nuisibles ; et une pluviométrie erratique et imprévisible.

L'élevage des animaux est l'activité secondaire à laquelle s'adonnent les producteurs des villages parcourus. L'impact des changements climatiques sur les animaux d'élevage, selon les interviewés, se traduit par la recrudescence de certaines maladies (plaies au niveau des pieds des bœufs, fièvre aphteuse, la gale, les maladies diarrhéiques, etc.). La persistance de la sécheresse serait la cause de manque de fourrage frais. Il est à noter

aussi l'assèchement des marres et des citernes ce qui influe négativement sur l'abreuvement des animaux et une diminution significative des cheptels. Dans l'ensemble, les producteurs interviewés sont unanimes sur le fait que le changement climatique engendre une baisse de performance des animaux d'élevage résultant surtout des fluctuations des ressources pastorales et hydriques. On note aussi une l'émergence de nouvelles maladies due aux changements environnementaux et

aux déséquilibres des écosystèmes (Vodounou & Dou-bogan, 2016).

Ces effets cumulés affectent négativement les revenus agricoles et par ricochet les conditions de vie des ménages. D'ailleurs, quasiment tous les producteurs interviewés (98% des cas) ont indiqué que les changements climatiques ont d'impact sur la production de leur culture de base notamment le maïs et l'igname.

Tableau 2. Variables indépendantes utilisées dans les modèles ricardien

Variable	Description	Signes attendus
<i>Variables climatiques</i>		
HPSP	Pluviométrie au cours de la saison pluvieuse (mm)	+/-
HPSP	Pluviométrie au cours de la saison sèche (mm)	+/-
TPPS	Température moyenne au cours de la saison pluvieuse (mm)	+/-
<i>Inputs de la production</i>		
MOTTOTHA	Main-d'œuvre totale (h-j/ha)	+
ENGRAISH	Engrais minéral (kg/ha)	+
BETRAIT	Possession de bœuf de trait (1=oui, 0=non)	+
UPEST	Utilisation de pesticides (1=oui, 0=non)	+
FERTILIT	Niveau de fertilité de sols (1= pauvre, 2= moyen, 3= fertile)	+
<i>Variables agro-écologiques</i>		
DISTCOM	Distance entre le village et le chef-lieu de commune (km)	+
DISVIL	Distance entre village et marché le plus proche du domicile (1= ≤1 km, 2=]1, 5 km], 3=]5,10 km], 4= > 10km)	+
ZAE2	Zonage Agro-écologique 2 (1=oui, 0=non)	+
ZAE5	Zonage Agro-écologique 5 (1=oui, 0=non)	+
<i>Adaptation</i>		
ADAPT	Adaptation au changement climatique (1=oui, 0=non)	+
MCONSER	Utilisation de mesure de conservation (1=oui, 0=non)	+
MSOL	Utilisation de plantes améliorantes (1=oui, 0=non)	+
CHTVAR	Changement de variétés (1=oui, 0=non)	+
CHTCHAMP	Changement de champs (1=oui, 0=non)	+
CHGTDS	Changement de date de semis (1=oui, 0=non)	+
<i>Spéculations produites</i>		
COTON	Production du coton (1=oui, 0=non)	+/-
MAIS	Production du maïs (1=oui, 0=non)	+/-
NIEBE	Production du niébé (1=oui, 0=non)	+/-
SORGHO	Production du sorgho/mil (1=oui, 0=non)	+/-
ARACHID	Production de l'arachide (1=oui, 0=non)	+/-
IGNAME	Production d'igname (1=oui, 0=non)	+/-
MANIOC	Production de manioc (1=oui, 0=non)	+/-

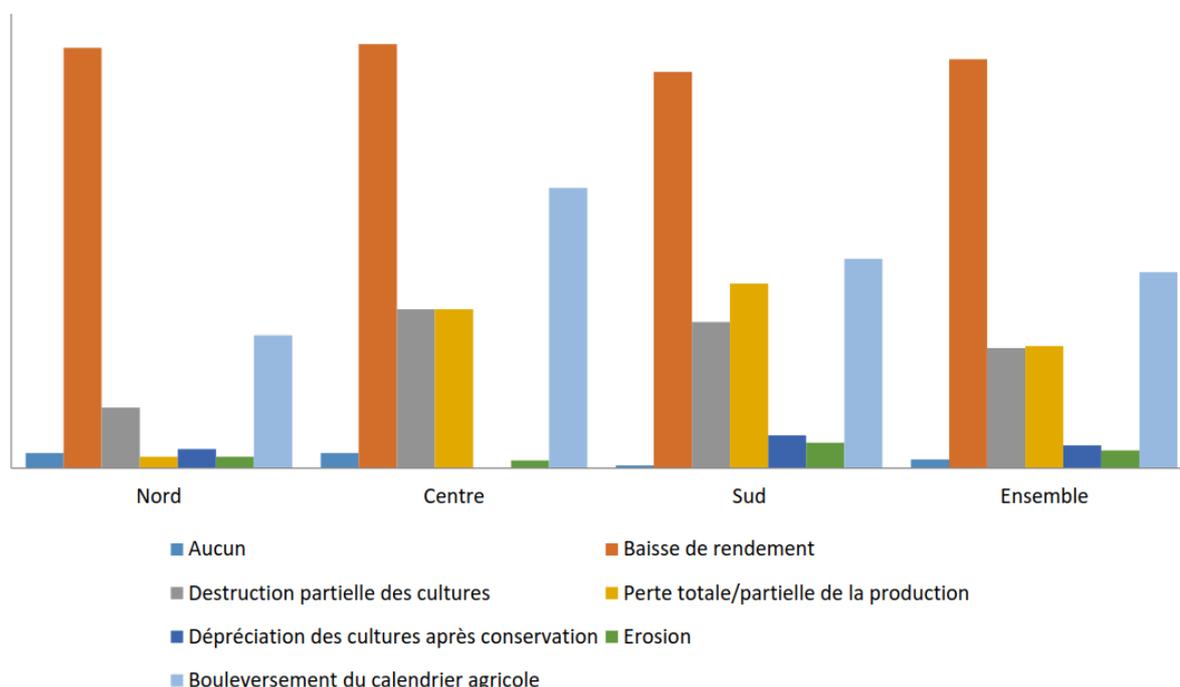


Figure 1. Appréciation paysanne de l'impact des changements climatiques sur leur culture de base (en %)

3.2. Résultats du modèle ricardien

Les résultats du modèle ricardien (tableau 3) indiquent que les effets des variables climatiques (précipitations et température) sur le revenu net agricole sont consistants quel que soit le modèle considéré. En particulier, la température a une influence négative sur les revenus des ménages agricoles. Cependant, les coefficients de la température et de son terme quadratique ne sont pas significatifs au seuil de 5% au niveau des cinq modèles. L'effet négatif obtenu est en concordance avec les résultats obtenus par divers auteurs notamment (Seo & Mendelsohn, 2008). Selon ces derniers, l'augmentation de la température encourage les agriculteurs à adopter une agriculture diversifiée et à éviter la spécialisation telle que la production végétale uniquement ou encore d'élevage uniquement.

Par contre, les coefficients des précipitations et de leurs termes quadratiques ont pratiquement le même niveau de signification dans les différents modèles. Autrement dit, la précipitation de la saison pluvieuse et de la saison sèche ont un impact significatif sur les revenus agricoles nets des producteurs. Les termes quadratiques sont significatifs indiquant que la relation entre les précipitations et le revenu net n'est pas linéaire. Ainsi, le

signe positif de HPPS2 (terme quadratique de la précipitation de la saison pluvieuse) indique que la relation entre le revenu net et la précipitation de la saison pluvieuse a une forme de U. Autrement dit, le revenu net maximum est atteint, *ceteris paribus*, lorsque la précipitation de la saison pluvieuse est autour de 844,86 mm (modèle 4) et 825,07 mm (modèle 5). Ce revenu tend à augmenter lorsque les précipitations sont plus faibles ou plus élevées que ces valeurs. Pour la saison sèche, par contre, le revenu maximum des producteurs lorsque les précipitations est de 84,05 mm (modèle 4) et 78,26 mm (modèle 5). Le revenu, *ceteris paribus*, tend à diminuer si la pluviométrie de la saison sèche est plus faible ou plus élevée que cette valeur.

Par ailleurs, on constate (tableau 3) que l'adaptation a un impact positif et significatif sur le revenu agricole net par hectare, au niveau des quatre premiers modèles. Il en résulte que les ménages qui utilisent des stratégies d'adaptation aux changements climatiques ont, *ceteris paribus*, un revenu net de 28 059 FCFA/ha de plus que les ménages qui n'utilisent aucune mesure d'adaptation.

Tableau 3. Impact des variables climatiques sur les revenus agricoles : résultats du modèle ricardien

Variable	Description	Modèle (1)	Modèle (2)	Modèle (3)	Modèle (4)	Modèle (5)
HPPS	Pluviométrie au cours de la saison pluvieuse (mm)	-2940.5*** (860.4)	-3471.8*** (893.6)	-5201.7*** (1241.9)	-4748.6*** (1388.9)	-3782.5** (1486.7)
HPPS2	HPPS ²	1.8*** (0.5)	2.1*** (0.5)	3.1*** (0.7)	2.8*** (0.8)	2.3*** (0.9)
HPSP	Pluviométrie au cours de la saison sèche (mm)	4857.9* (2756.4)	5248.7* (2732.9)	9166.3** (3902.6)	7855.5* (4293.0)	5862.0 (4381.6)
HPSP2	HPSP ²	-30.7** (13.4)	-33.0** (13.4)	-54.4*** (19.9)	-46.7** (21.7)	-37.5* (22.1)
TPPS	Température moyenne au cours de la saison pluvieuse (mm)	-5,8 x10 ⁶ (8,9 x10 ⁶)	-12,3x10 ⁶ (9,1 x10 ⁶)	-11,4 (9,9 x10 ⁶)	-10,9 x10 ⁶ (10,8 x10 ⁶)	-4,2 x10 ⁶ (10,9 x10 ⁶)
TPPS2	TPPS ²	106962.0 (163517.2)	225502.2 (166543.4)	212895.6 (180600.1)	202651.3 (197890.8)	80850.2 (200009.8)
ADAPT1	Adaptation au changement climatique (1=oui, 0=non)	36289.6** (15247.9)	38674.7** (15408.1)	35652.0** (15397.1)	28058.9* (15914.3)	NC
MCONSER	Utilisation de mesure de conservation (1=oui, 0=non)	NC	NC	NC	NC	32829.8*** (12319.7)
MSOL	Utilisation de plantes améliorantes (1=oui, 0=non)	NC	NC	NC	NC	3342.3 (12013.4)
CHTVAR	Changement de variétés (1=oui, 0=non)	NC	NC	NC	NC	3452.5 (12547.2)
CHTCHAMP	Changement de champs (1=oui, 0=non)	NC	NC	NC	NC	2573.5 (13554.3)
CHGTDS	Changement de date de semis (1=oui, 0=non)	NC	NC	NC	NC	15356.2 (11782.7)
UMOSA	Utilisation de la main-d'œuvre salariée (1=oui, 0=non)		17077.0 (13273.5)	14653.2 (13340.1)	14596.7 (13545.7)	14447.0 (13480.0)
MOTTOTHA	Main-d'œuvre totale (homme-jour/ha)		-143.5*** (48.2)	-146.7*** (48.1)	-143.8*** (48.1)	-150.8*** (48.6)
ENGRAISH	Engrais minéral (kg/ha)		-41.2 (75.0)	-90.2 (76.4)	-60.8 (77.4)	-58.0 (77.5)
BETRAIT	Possession de bœuf de trait (1=oui, 0=non)		-68226.0** (27028.9)	-67331.9** (26819.4)	-70013.2** (27339.8)	-69196.3** (27375.8)
UPEST	Utilisation de pesticide (1=oui, 0=non)		-13531.0 (13505.6)	-22511.0 (13748.2)	-13432.9 (14898.0)	-14831.2 (15072.4)
FERTILIT	Niveau de fertilité du sol (1= pauvre, 2= moyen, 3= fertile)		23553.0*** (8843.4)	23255.4*** (8769.4)	21200.8** (8973.6)	24357.5*** (9020.2)
DISTCOM	Distance du village par rapport au chef-lieu de la commune (km)			-586.4 (856.5)	-114.1 (901.5)	147.4 (901.4)
DISVIL	Distance entre village et marché le plus proche du domicile (1= ≤1 km, 2=]1, 5 km], 3=]5,10 km], 4= > 10km)			24220.5*** (8467.6)	24311.3*** (8674.5)	23431.3** (9038.7)
COTON	Production du coton (1=oui, 0=non)				-19228.7 (17159.2)	-22256.5 (17110.9)
NIEBE	Production du niébé (1=oui, 0=non)				-7169.3 (11848.1)	-8690.6 (11922.8)
SORGHO	Production du sorgho (1=oui, 0=non)				-5379.8 (17922.3)	-4201.3 (18005.7)
ARACHID	Production d'arachide (1=oui, 0=non)				17645.4 (14333.3)	17434.0 (14321.5)
IGNAME	Production d'igname (1=oui, 0=non)				28688.3* (16142.7)	28690.3* (16231.4)
MANIOC	Production du manioc (1=oui, 0=non)				-2907.7 (13564.4)	-1644.4 (13520.7)
CONSTANTE	Constante	79,8 x10 ⁶ (122 x10 ⁶)	168 x10 ⁶ (125 x10 ⁶)	156 x10 ⁶ (135 x10 ⁶)	148 x10 ⁶ (148 x10 ⁶)	56,7 x10 ⁶ (149 x10 ⁶)
HPP	Valeur de la pluviométrie de la saison pluvieuse maximisant le revenu (mm)				844.86	825.07
HPS	Valeur de la pluviométrie de la saison sèche maximisant le revenu (mm)				84.05	78.26
TPS	Valeur de la température de la saison pluvieuse maximisant le revenu (°C)				26.87	26.20
F		26.98***	17.01***	15.56***	11.42***	10.08***
R ²		0.351	0.392	0.406	0.417	0.432
R ² ajusté		0.338	0.369	0.380	0.381	0.389

Nombre d'observations = 357 ; NC = Non inclus ; *** Significatif à 1%, ** Significatif à 5%, * Significatif à 10%

Dans les trois premiers modèles, l'impact de l'adaptation sur les revenus agricoles nets par hectare est de 36 290 FCFA environ. Ces différents résultats sont en concordance avec ceux de Di Falco et al. (2011) qui ont trouvé qu'en Ethiopie, l'adaptation au changement climatique améliore la productivité des cultures et le revenu agricole net à l'hectare, et donc contribue à la sécurité alimentaire des populations. Comme Sonneveld et al. (2012) l'ont montré, sous les conditions moyennes du changement climatique, les rendements actuels, qui sont déjà faibles, ne seront pas affectés, à condition que les producteurs adoptent des stratégies d'adaptation au changement climatique.

Les résultats de la présente étude sont aussi en lien avec ceux de Issahaku & Maharjan (2014) qui ont trouvé, qu'au Ghana, les changements climatiques réduisent les revenus agricoles notamment ceux du manioc et du maïs, mais les pertes de revenus peuvent être minimisées grâce à l'adaptation changement climatique. Les stratégies d'adaptation aux changements climatiques adoptées par les producteurs étaient d'abandonner les cultures comme le maïs et le manioc au profit du sorgho, du riz et de l'igname qui sont des variétés plus adaptées à la sécheresse (igname et sorgho) ou aux inondations (cas du riz) (Issahaku & Maharjan, 2014). La principale recommandation qui se dégage est que l'investissement public devrait être concentré dans la recherche sur les variétés à haut rendement, tolérantes à la chaleur et /ou sujettes aux inondations.

En considérant le modèle 5, qui prend en compte les différentes stratégies d'adaptation aux changements climatiques, on remarque que c'est l'utilisation de mesures de conservation du sol qui a un impact significatif sur le revenu agricole net. Les producteurs utilisant cette stratégie ont un revenu de 32 830 FCFA/ha plus élevé que ceux qui n'utilisent cette stratégie. Les autres stratégies ont aussi un impact positif, mais non significatif, sur le revenu agricole net des producteurs.

La fertilité du sol a un effet positif et significatif sur le revenu agricole net, au seuil de 1%. Le revenu agricole net des producteurs tend donc, *ceteris paribus*, à augmenter de 21 201 FCFA lorsque la fertilité est améliorée d'une unité. Il s'ensuit que toute action visant l'amélioration de la fertilité des sols, dans le but de limiter les effets néfastes des changements climatiques, entraînera une amélioration du revenu agricole des producteurs. Ainsi donc les actions visant l'amélioration de la fertilité des sols devraient être encouragées.

La main-d'œuvre a une influence négative et significative sur le revenu agricole net. L'utilisation d'une unité supplémentaire de main-d'œuvre réduirait le revenu agricole net de 144 FCFA/ha (modèle 4). Par contre, l'utilisation de la main-d'œuvre salariée améliore le revenu agricole net par hectare. Cette influence,

toutefois non significative, permet de dire que l'effet négatif de la main-d'œuvre totale serait probablement dû à la main-d'œuvre familiale.

La possession de bœufs de trait a une influence significative et négative sur le revenu agricole net. Ainsi, les producteurs utilisant de bœuf de trait semblent avoir un revenu inférieur d'environ 70 000 FCFA/ha au revenu de producteur ne possédant pas bœuf de trait. Par ailleurs, les producteurs ayant leur domicile proche des chefs des communes semblent avoir un revenu relativement plus élevés que ceux situés loin des chefs-lieux de communes. Ainsi, les producteurs situés un kilomètre plus proche des chefs-lieux de communes sont plus enclins à avoir un revenu agricole net de 586 FCFA/ha que ceux situés plus loin.

Parmi les cultures, on constate que seule l'igname a une influence significative sur le revenu agricole net par hectare. Les agriculteurs produisant l'igname semble avoir un revenu relativement plus élevé que celui des producteurs ne faisant l'igname.

3.3. Sensibilité des revenus agricoles aux changements climatiques

Les résultats du tableau 4 indiquent que l'effet marginal de la précipitation sur le revenu agricole net des producteurs est de 614 FCFA/ha (modèle 4). Ce qui signifie qu'une réduction des précipitations d'un millimètre entraînerait, *ceteris paribus*, une baisse du revenu agricole net de 614 FCFA/ha. La baisse est relativement plus forte chez les producteurs qui n'utilisent pas de stratégies d'adaptation au changement climatique (soit 733 FCFA/ha) que chez les producteurs qui utilisent cette mesure (soit 595 FCFA/ha). Au niveau du modèle 5, on constate que la réduction des précipitations entraînerait une baisse du revenu agricole net de 592 FCFA/ha. Comme dans le cas du modèle 4, cette réduction est plus faible chez les producteurs qui s'adaptent aux changements climatiques que chez ceux qui ne s'adaptent pas. Dans l'ensemble, ces résultats confirment ceux de Deressa (2007) selon qui la réduction de la précipitation apparaît plus néfaste sur le revenu agricole des producteurs que l'accroissement de la température. Huonga et al. (2019), quant à eux, ont trouvé que les revenus nets des agriculteurs diminuent avec l'augmentation des températures et des précipitations pendant la saison sèche. La même tendance est notée par Mishra et al. (2016) dans la région d'Odisha (en Inde) où ils ont montré que l'accroissement de la température a une influence significative et négative sur les revenus nets de la production agricole. Il en est de même des résultats obtenus au Nigeria par Onyekuru & Marchant (2016).

Tableau 4. Effets marginaux de la précipitation et de la température sur le revenu agricole net

	Pas d'adapta- tion	Adapta- tion	Ensemble
Modèle 4			
Pluviométrie de la saison pluvieuse (mm)	733 (483)	595 (767)	614 (735)
Pluviométrie de la saison sèche (mm)	-68 (3542)	-444 (3005)	-392 (3083)
Température de la saison pluvieuse (°C)	235765 (149213)	166707 (126313)	176379 (131737)
Modèle 5			
Pluviométrie de la saison pluvieuse (mm)	689 (394)	576 (625)	592 (599)
Pluviométrie de la saison sèche (mm)	-488 (2839)	-790 (2408)	-747 (2471)
Température de la saison pluvieuse (°C)	202932 (59530)	175381 (50394)	179239 (52558)

() : Les chiffres entre parenthèses sont des écart-types.

5. Conclusion

Dans l'ensemble, on peut retenir que les changements climatiques ont des impacts aussi bien sur les systèmes cultureux que sur les producteurs et leurs ménages. Les conséquences des changements climatiques sur les systèmes cultureux s'expriment en terme de baisse de la production agricole due à la variabilité des précipitations ; l'émergence de maladies, de ravageurs et de vecteurs pathogènes ; de nouvelles distributions spatiales des ravageurs et insectes nuisibles ; et une pluviométrie erratique et imprévisible. Une réduction des précipitations des saisons pluvieuses d'un millimètre entraînerait une baisse du revenu agricole net des producteurs. La réduction du revenu agricole net est relativement plus forte chez les producteurs qui n'utilisent pas de stratégies d'adaptation au changement climatique que chez les producteurs qui utilisent cette mesure. Enfin, toute action visant l'amélioration de la fertilité des sols, dans le but de limiter l'effet néfastes des changements climatiques, entraînera une amélioration du revenu agricole des producteurs. De même, l'investissement public devrait être concentré dans la recherche sur les variétés à haut rendement, tolérantes à la chaleur et /ou sujettes aux inondations.

REMERCIEMENTS

Les auteurs présentent leurs sincères remerciements au Centre de Recherches pour le Développement International (CRDI) qui a financé la collecte de données ayant servi à la rédaction du présent article à travers le Projet de Renforcement des connaissances économiques et de capacité d'adaptation aux changements climatiques au Bénin (PRECAB) de l'Organisation Non Gouvernementale «Initiatives pour un Développement Intégré Durable (IDID)». Les auteurs remercient également les enquêteurs, les élus locaux des communes pilotes du projet PRECAB, les agents des services publics de vulgarisation ainsi les producteurs pour leurs contributions au succès de la phase de collecte de données.

CONFLIT D'INTERET

Les auteurs n'ont déclaré aucun conflit d'intérêt.

REFERENCES

- Akponikpe P.B.I., Tovihoudji P., Lokonon B., Kpadonou E., Amegnaglo J., Segnon A. C., Yegbemey R., Hounsou M., Wabi M., Totin E., Fandohan-Bonou A., Dossa E., Ahojo N., Laourou D. & Aho N. 2019. Etude de Vulnérabilité aux changements climatiques du Secteur Agriculture au Bénin. Report produced under the project "Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation dans les pays francophones les moins avancés d'Afrique subsaharienne", Climate Analytics gGmbH, Berlin.
- Deressa T.T. 2007. Measuring The Economic Impact of Climate Change on Ethiopian Agriculture: Ricardian Approach. Policy Research Working Paper 4342, The World Bank. Available at: <http://water.worldbank.org/>. (consulté le 21 février 2013)
- Di Falco S., Veronesi M. & Yesuf M. 2011. Does adaptation to climate change provide food security? A micro-perspective from Ethiopia. *Amer. J. Agr. Econ.* 93(3): 829–846

- Di Falco S., Yesuf M., Kohlin G. & Ringler C. 2012. Estimating the Impact of Climate Change on Agriculture in Low-Income Countries: Household Level Evidence from the Nile Basin. *Environmental and Resource Economics*, 52(4): 457-478
- GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat). 2007. Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. GIEC, Genève, Suisse, 103p.
- Huonga N.T.L., Bo Y.S. & Fahad S. 2019. Economic impact of climate change on agriculture using Ricardian approach: A case of northwest Vietnam. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(4): 449-457
- Issahaku Z.A., Maharjan K.L. 2014. Climate Change Impact on Revenue of Major Food Crops in Ghana: Structural Ricardian Cross-Sectional Analysis. In: K. Maharjan (Eds.) *Communities and Livelihood Strategies in Developing Countries*. Springer, Tokyo, pp. 13-32
- Kurukulasuriya P. & Mendelsohn R. 2008. A Ricardian analysis of the impact of climate change on African cropland. *African Journal of Agricultural and Resource Economics* 2(1): 1-23
- Liniger H.P., Mekdaschi Studer R., Hauert C. & Gurtner M. 2011. La pratique de la gestion durable des terres. Directives et bonnes pratiques en Afrique subsaharienne. *TerrAfrica, Panorama mondial des approches et technologies de conservation (WOCAT) et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)*
- Mabugu R, 2002. The use of CGE modeling in the analysis of environmental policy reform. Collaborative Regional Masters in Environmental Economics and Policy (CEEPA) Specialization Course Module. Lecture notes. University of Pretoria, South Africa.
- Martin E. & Vaitkeviciute J. 2016. Mesure de l'impact du changement climatique sur l'agriculture de Côte-d'Or. *Économie rurale*, 355: 21-48.
- Mendelsohn R. 2000. Efficient Adaptation to Climate Change. *Climatic Change* 45(3):583-600. DOI: 10.1023/A:1005507810350
- Mendelsohn R., Nordhaus W.D. & Shaw D. 1994. The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis. *The American Economic Review*, 84(4): 753-771
- Minderhoud-Jones M. 2009. Implications du changement climatique sur les systèmes de production agricole durables dans les pays ACP : Quelles stratégies d'information et de communication ? Résumé exécutif du Séminaire sur le Changement Climatique du 26-31 octobre 2008 à Ouagadougou (Burkina Faso). CTA, Wageningen, 9p.
- Mishra D., Sahu N.C. & Sahoo D. 2016. Impact of climate change on agricultural production of Odisha (India): a Ricardian analysis. *Reg Environ Change* 16, 575-584 doi:10.1007/s10113-015-0774-5
- Niasse M., Afouda A. & Amani A. 2004. Réduire la vulnérabilité de l'Afrique de l'Ouest aux impacts du climat sur les ressources en eau, les zones humides et la désertification : éléments de stratégie régionale de préparation et d'adaptation. UICN, Gland, Suisse et Cambridge, Royaume-Uni xviii+71pp.
- Onyekuru N.A. & Marchant R. 2016. Assessing the economic impact of climate change on forest resource use in Nigeria: A Ricardian approach. *Agricultural and Forest Meteorology*, 220: 10-20
- Ouédraogo M. 2012. Impact des changements climatiques sur les revenus agricoles au Burkina Faso. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 106(1): 3-21
- Sadoulet, E. & de Janvry A. 1995. *Quantitative Development Policy Analysis*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.

- Seo, S. N. & Mendelsohn R. 2008. A Structural Ricardian Analysis of Climate Change Impacts and Adaptations in African Agriculture. *Policy Research Working Paper* No. 4603. World Bank, Washington, DC.
<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/6770> License: CC BY 3.0 IGO.” (consulté le 03 janvier, 2019).
- Sodjinou E., Hounkponou S.K. & Adjobo M.A.A.C. 2019. Facteurs déterminant l’adoption des stratégies d’adaptation aux changements climatiques au Bénin : cas des producteurs de maïs. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB)*, Numéro Spécial Économie et Sociologie Rurales (ESR), pp. 49-66.
- Sodjinou, E., 2013 : Etude économique des options d’adaptation aux changements climatiques au Bénin. *Projet de Renforcement des Connaissances Economiques et de Capacité d’Adaptation aux changements climatiques au Bénin (PRECAB). Initiatives pour un Développement Intégré Durable (IDID)*, Porto-Novo, 69p.
- Sonneveld B.G.J.S., Keyzer M.A., Adegbola P. & Pande S. 2012. The Impact of Climate Change on Crop Production in West Africa: An Assessment for the Oueme River Basin in Benin. *Water Resource Management*, 26: 553–579
- Vodounou J.B.K. & Doubogan Y.O. 2016. Agriculture paysanne et stratégies d’adaptation au changement climatique au Nord-Bénin. *Cybergeo : European Journal of Geography. Environnement, Nature, Paysage*, document 794. <http://journals.openedition.org/cybergeo/27836> ; (consulté le 03 janvier 2020).