

# **Adaptation autonome aux changements climatiques et sécurité alimentaire en zone soudano-sahélienne au Cameroun**

**TAGANG TENE Nelson Sergio** Université de Yaoundé II – Cameroun Faculté des Sciences Economiques et de Gestion

[Sergeo.tagang@yahoo.com](mailto:Sergeo.tagang@yahoo.com)

**TSAMBOU André Dumas** Université de Yaoundé II – Cameroun Faculté des Sciences Economiques et de Gestion

[tsamboudumas@yahoo.fr](mailto:tsamboudumas@yahoo.fr)

**FOUOPI DJIOGAP** Université de Yaoundé II – Cameroun Faculté des Sciences Economiques et de Gestion

*This paper was presented at the Conference on Climate Change and Food Security in West Africa co-organized by Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD) and Center for Development Research (ZEF), University of Bonn, on 17-18 November 2019 in Dakar, Senegal.*

## Résumé

La zone soudano-sahélienne du Cameroun est une partie essentielle de l'écosystème local, potentiellement vulnérable aux changements climatiques. Cette vulnérabilité soulève des inquiétudes quant à la sécurité alimentaire des ménages agricoles. De ce fait, l'adaptation mise en œuvre par les ménages agricoles pourrait atténuer en partie cette vulnérabilité. Ainsi, l'objectif de ce papier est d'évaluer l'effet de l'adaptation aux changements climatiques sur la sécurité alimentaire des ménages agricoles dans la zone soudano-sahélienne du Cameroun. Nous avons utilisé le modèle de régression à commutation endogène (*endogenous switching regression model*) pour estimer l'impact de l'adoption des stratégies d'adaptation sur la sécurité alimentaire des ménages agricoles. Cette méthode permet de traiter le biais de sélectivité tout en prenant en compte l'impact différentiel entre les ménages adoptants et non-adoptants des stratégies d'adaptation. Nous utilisons les données d'enquête auprès de 721 exploitations agricoles des régions du Nord et de l'Extrême-nord (zone soudano-sahélienne) du Cameroun, réalisées en 2014 dans le cadre du projet du Contrat de Désendettement et de Développement (C2D)<sup>1</sup> agrosystèmes du Nord (Actions 6 et 7).

Les résultats de cette étude montrent que l'adaptation aux changements climatiques a un effet significativement positif sur la sécurité alimentaire des ménages agricoles. La pertinence de ces résultats enrichit le débat sur la nécessité de mettre en œuvre des programmes et des politiques d'adaptation planifiées aux changements climatiques, en adéquation avec les préoccupations des ménages agricoles.

**Mots clés** : Adaptation ; changement climatique ; ménage agricole ; sécurité alimentaire.

---

<sup>1</sup> Le programme Agrosystème est un projet de l'IRAD qui vise la conception, l'évaluation et la diffusion des agrosystèmes performants et durables en milieu rural du grand nord Cameroun. Ces actions permettront de Contribuer à l'amélioration durable de la productivité des petites exploitations de polyculture du Nord Cameroun tout en préservant la fertilité des sols par des propositions techniques adaptées et performantes proposées aux structures de développement.

## **Abstract**

The Sudano-Sahelian zone of Cameroon is an essential part of the local ecosystem, potentially vulnerable to climate change. This vulnerability raises concerns about the food security of agricultural households. As a result, the adaptation implemented by agricultural households could partially reduce this vulnerability. Thus, the objective of this paper is to assess the effect of climate change adaptation on the food security of agricultural households in the Sudano-Sahelian zone of Cameroon. We used the *endogenous switching regression model* to estimate the impact of adopting adaptation strategies on the food security of agricultural households. This method makes it possible to address selectivity bias while taking into account the differential impact of adaptation strategies between adopting and non-adopting households. We use survey data from 721 farms in the northern and extreme northern regions (Sudano-Sahelian zone) of Cameroon, carried out in 2014 as part of the Northern Agrosystems Debt Reduction and Development Contract (C2D) project (Actions 6 and 7).

The results of this study show that adaptation to climate change has a significantly positive effect on the food security of agricultural households. The relevance of these results enriches the debate on the need to implement planned climate change adaptation program and policies in line with the concerns of agricultural households.

**Keywords:** Adaptation; climate change; agricultural household; food security.

## **1- Introduction**

La question de la sécurité alimentaire est au cœur du débat actuel sur les implications des changements climatiques en Afrique Subsaharienne. Dans cette partie du continent, les ménages agricoles pratiquent l'agriculture de subsistance, généralement faite sur des parcelles de moins d'un hectare et dont la production est basée sur des cultures vivrières dans des conditions extrêmement difficiles. Le système de production est caractérisé par une combinaison de la productivité de la terre et des conditions climatiques difficiles. Il en résulte de faibles rendements et une insécurité alimentaire (Di Falco et Chavas, 2009 ; Di Falco et al., 2011).

La sécurité alimentaire est un concept large qui s'appréhende par la disponibilité, la stabilité et l'utilisation des denrées alimentaires. Dans cette étude, nous mettons l'accent sur l'un des déterminants clés de la sécurité alimentaire qu'est la disponibilité dans un contexte d'agriculture

de subsistance au Cameroun : la productivité alimentaire (FAO, 2002). La disponibilité ou encore l'accès aux denrées alimentaires est déterminé par la productivité alimentaire des ménages. Elle représente environ 60% de la production agricole nationale dont 80% sont consommés par ces ménages (Banque Mondiale, 2006).

Les économies des pays de l'Afrique subsaharienne sont peu diversifiées et dépendent fortement de l'agriculture pluviale, ce qui lie les perspectives de développement de leur économie au climat. Cline, (2007) ; Parry et al., (2005) ; Rosenzweig et Parry, (1994) mettent en évidence le fait que les changements climatiques devraient réduire la productivité alimentaire. D'un autre côté, le quatrième rapport du Groupe d'Expert Intergouvernemental sur l'évolution du Climat (GIEC, 2007) définit les changements climatiques comme étant un changement de l'état du climat identifiable par des changements de la moyenne et/ou de la variabilité de ses propriétés qui persiste pendant une période prolongée, généralement des décennies ou plus. De plus, il indique que dans les zones tropicales sèches, la productivité alimentaire devrait diminuer même pour de faibles augmentations de températures (0,5 à 2 °C). De même, l'accès à l'alimentation sera fortement affecté suite à une diminution d'environ 50% des rendements de l'agriculture de subsistance d'ici 2020 (GIEC, 2007).

Face à cette situation peu reluisante, l'identification des innovations à l'épreuve du climat et des stratégies d'adaptation est essentielle pour soutenir la production des cultures vivrières et assurer la sécurité alimentaire (Bryan et al., 2009 ; GIEC, 2014). L'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques, se définit donc comme l'ajustement des pratiques agronomiques, des processus agricoles et des investissements en capital en réponse aux menaces observées ou prévues des changements climatiques (Easterling et al., 2007). Dans de nombreux pays en développement, les ménages agricoles ont adopté de manière autonome des pratiques de gestion agricole pour lutter contre les aléas climatiques. Cette autonomie dans l'adaptation aux changements climatiques peut être définie comme étant celle qui se produit dans un système de façon naturelle et non comme une adaptation planifiée qui est le produit des décisions politiques délibérées (Smith et al., 2000 ; Stage, 2010). Il est donc évident que les ménages agricoles s'adaptent aux changements climatiques en modifiant le calendrier agricole, en cultivant diverses espèces et variétés de cultures, en adoptant des pratiques de conservation du sol et de l'eau, en diversifiant les activités et en mettant sur pied un système d'irrigation (Asseng et Pannell, 2013 ; Devkota et al., 2017 ; Niles et al., 2016 ; Zhang et al., 2015). C'est le cas des ménages agricoles

camerounais qui ont traditionnellement utilisé les connaissances indigènes pour faire face aux aléas climatiques sur la base d'observations et d'interprétations des phénomènes naturels. Nous pouvons mentionner la hauteur d'un nid de fourmis dans les arbres, ou la couleur des grenouilles pour prévoir l'apparition et la cessation de la saison des pluies de même que la quantité de pluies (Molua, 2006).

Au Cameroun, l'agriculture est l'activité principale qui occupe plus de 60% de la population et contribue à hauteur de 21% du produit intérieur brut (PIB) (FAO, 2017). Selon le modèle HadCM3 (Gordon et al, 2000 ; Johns et al, 2003), les températures devraient augmenter de 0,7 à 0,8 C d'ici 2020. Le modèle Goddard Institute for Space Studies (GISS) (Hassan et al., 1998) prévoit que cette augmentation va doubler au cours de la même période. Quant aux précipitations, le modèle GISS prévoit une nette tendance à la baisse d'ici l'année 2080 dans la zone soudano-sahélienne (Tingem et al., 2008c). On note également, une insécurité alimentaire de plus en plus grandissante en zone rurale (22%) contrairement à la zone urbaine (10,5%) avec de fortes disparités entre les régions. La zone soudano-sahélienne est la plus touchée par l'insécurité alimentaire avec un taux de prévalence de 33,7% (FAO, 2017). Ces forts taux font suite à une faible productivité alimentaire, se caractérisant par de faibles niveaux d'intrants, de faibles subventions gouvernementales et l'utilisation d'outils rudimentaires (Molua et Utomakili, 1998).

Il existe une littérature abondante sur l'impact des changements climatiques sur la production alimentaire (Pearce et al., 1996 ; Parry et al., 2004 ; Stern et al, 2007). Les résultats de ces études sont essentiels pour apprécier l'ampleur du problème et concevoir des stratégies d'atténuation appropriées. Plusieurs études ont également analysé l'impact de l'adaptation sur la production agricole au niveau des ménages et des exploitations agricoles (Tingem et al., 2008 ; Di Falco et al., 2011 ; Huang et al., 2016 ; Khanal et al., 2016 ; Khanal et al., 2018a). Cependant, en majorité ces études ne distinguent pas l'adaptation autonome de l'adaptation planifiée. De plus, on note une quasi-absence d'étude sur le sujet au Cameroun. Comme nous l'avons dit plus haut, l'accent mis sur la productivité alimentaire est motivé par ses implications pour la réalisation de la sécurité alimentaire. D'où la question de savoir : quel est l'effet de l'adaptation autonome aux changements climatiques sur la sécurité alimentaire des ménages agricoles de la zone soudano-sahélienne au Cameroun ?

Ainsi, notre contribution à la littérature existante sur l'adaptation aux changements climatiques sera axée sur plusieurs points. Premièrement, nous examinons l'impact de l'adaptation autonome sur la productivité alimentaire au niveau des ménages agricoles. Deuxièmement, nous utilisons le modèle de régression à commutation endogène avec l'analyse du contrefactuel afin d'examiner ce que les ménages agricoles auraient produit s'ils n'avaient pas adopté une stratégie d'adaptation spécifique. Troisièmement, à partir de cette étude, nous essayerons d'apporter une modeste contribution à la littérature empirique relative aux changements climatiques et à son impact sur la productivité alimentaire et par conséquent sur la sécurité alimentaire. D'un autre côté, il sera important de vérifier si l'adaptation autonome aux changements climatiques améliore la sécurité alimentaire des ménages de la zone soudano-sahélienne au Cameroun. En outre, les réactions des ménages agricoles aux changements climatiques varient d'un endroit à un autre en fonction des conditions climatiques, sociales, économiques et institutionnelles spécifiques (Deressa et al., 2009 ; Khanal et al., 2018b). Il est donc important d'étudier les pratiques d'adaptation locales et leur impact sur la productivité alimentaire pour une planification efficace de l'adaptation au niveau local.

## **2- Méthodologie**

En réponse à la problématique de cette recherche, la méthodologie présentée dans ce travail va s'articuler sur la source de données et la modélisation de l'adaptation aux changements climatiques et à la sécurité alimentaire (productivité alimentaire).

### **2.1 Sources de données**

Les données concernant l'étude proviennent de l'enquête auprès de 721 exploitations agricoles retenues dans les régions du Nord et de l'Extrême-nord constituant la zone soudano-sahélienne camerounaise. Ces données ont été collectées dans le cadre du projet du contrat de désendettement et de développement C2D agrosystèmes du Nord (Actions 6 et 7) réalisé en 2014. Un échantillon de 200 exploitations agricoles par terroir<sup>2</sup> (MOWO, SIRLAWE, ZERA et SANGUERRE) a été défini. Ces données comportent des sections sur les caractéristiques socio-économiques des exploitations, les conditions de vie des ménages, les facteurs de production,

l'environnement socio-institutionnel des exploitations agricoles, la perception par ménages des changements climatiques et enfin les différentes stratégies d'adaptation adoptées face aux changements climatiques.

## **2.2 Modélisation de l'adaptation aux changements climatiques et à la productivité alimentaire.**

Selon Di Falco et al., (2011), une décision d'adaptation aux changements climatiques et ses effets sur la productivité alimentaire peuvent être simulés en utilisant un cadre en deux étapes (khanal et al., 2018a ; Huang et al., 2015 ; khanal et al., 2018b).

Dans un premier temps, nous avons utilisé un modèle de sélection pour les décisions relatives à l'adaptation aux changements climatiques. Il suppose que les ménages agricoles peu enclins à prendre des risques mettront en œuvre des stratégies d'adaptation aux changements climatiques s'ils en tirent des avantages nets, et que ces avantages nets peuvent être représentés par une variable latente  $A^*$ .

$$A_i^* = Z_i \gamma + y_i \quad \text{Avec } A_i = 1, \text{ si } A_i^* > 0 \text{ et } A_i = 0, \text{ si non} \quad (1)$$

Cela signifie que le ménage agricole choisit de s'adapter ( $A_i = 1$ ), si  $A^* > 0$ , et 0 sinon.

Le vecteur  $Z$  représente les variables qui affectent les décisions d'adaptation des ménages agricoles. Selon la littérature empirique sur les déterminants des décisions des ménages en matière d'adaptation aux changements climatiques, (khanal et al., 2018a ; Deressa et al., 2009 ; Di Falco et al., 2011), cette étude est fondée sur les variables explicatives des caractéristiques des ménages agricoles et sur les informations climatiques fournies par les agents de vulgarisation. Les caractéristiques du ménage comprennent le sexe, l'âge, l'éducation, la part de travail, la superficie cultivée et la connaissance du climat. L'information fournie par le gouvernement comprenait principalement la météo, les avertissements de pluies et de sécheresses.

Dans un deuxième temps, l'effet de l'adaptation sur la productivité alimentaire a été modélisé grâce à la technologie de production. L'approche la plus simple aurait été d'utiliser la méthode des moindres carrés ordinaires (MCO), en prenant l'adaptation comme une variable muette dans l'équation de productivité alimentaire. Toutefois, l'évaluation de l'impact de l'adaptation sur la productivité alimentaire au moyen de l'approche MCO peut avoir créé de nombreux problèmes potentiels. Car l'adaptation peut être potentiellement endogène, ce qui, si elle est vraie, conduira à des estimations biaisées (Di Falco, 2011). De plus, des problèmes tels que le biais de sélection

de l'échantillon et des estimations incohérentes pourrait augmenter et confondre les résultats (khanal et al., 2018a).

Selon Di Falco et al., (2011), un modèle d'équation simultanée de l'adaptation aux changements climatiques et son impact sur la productivité alimentaire avec commutation endogène a été estimé avec une probabilité maximale d'information complète. Dans notre étude, nous utilisons comme instrument, la variable liée à la perception des changements climatiques. Nous établissons la validité de cet instrument en effectuant un simple test de falsification. Ainsi, si une variable est un instrument valide, alors elle aura une incidence sur la décision d'adaptation, mais pas sur la productivité alimentaire des exploitations agricoles qui ne se sont pas adaptées.

Dans le présent travail, nous avons choisi le modèle de régression à commutation endogène pour estimer l'impact de l'adaptation aux changements climatiques sur la productivité alimentaire. Les ménages adaptateurs et les non-adaptateurs ont des fonctions de productivité alimentaires différentes.

Le modèle de régression est défini comme celui de Di Falco et al, (2011).

$$\text{ménages adoptants : } y_{1i} = X_{1i}S_1 + v_{1i} \text{ si } A_i = 1 \quad (2a)$$

$$\text{ménages non-adoptants : } y_{2i} = X_{2i}S_2 + v_{2i} \text{ si } A_i = 0 \quad (2b)$$

Où,  $y_i$  représente la quantité produite par hectare dans les régimes 1 et 2,  $X_i$  représente le vecteur d'intrants et les caractéristiques du ménage, celles de l'exploitation agricole et des facteurs climatiques.  $S_1$  et  $S_2$  sont les vecteurs des paramètres à estimer, les termes  $v_{1i}$  et  $v_{2i}$ , d'erreur dans l'équation de sélection et de résultat sont supposés avoir une distribution normale trivariée, avec une moyenne nulle et la matrice de covariance  $\Sigma$  c'est-à-dire  $(y, v_1, v_2) : N(0, \Sigma)$  (Di Falco et al., 2011 ; Khonje et al., 2015 ; Khanal et al., 2018).

$$\text{Avec } \Sigma = \begin{pmatrix} \dagger^2_y & \dagger_{y1} & \dagger_{y2} \\ \dagger_{1y} & \dagger^2_1 & \cdot \\ \dagger_{2y} & \cdot & \dagger^2_2 \end{pmatrix}$$

Après, Di Falco et al. (2011) et Khanal et al. (2018), les valeurs attendues de  $v_{1i}$  et  $v_{2i}$  sont non nulles, données comme :



$$E[V_{1i} | A_i = 1] = \dagger_{1y} \frac{w(Z_i \mathbf{r})}{\Phi(Z_i \mathbf{r})} = \dagger_{1y} \lambda_{1i} \quad (3a)$$

$$E[V_{2i} | A_i = 0] = \dagger_{2y} \frac{w(Z_i \mathbf{r})}{1 - \Phi(Z_i \mathbf{r})} = \dagger_{2y} \lambda_{2i} \quad (3b)$$

Ou,  $w(\cdot)$  est la fonction de densité de la probabilité normale standard,  $\Phi(\cdot)$  la fonction de densité cumulative normale, et  $\lambda_{1i} = \frac{w(Z_i \mathbf{r})}{\Phi(Z_i \mathbf{r})}$  ;  $\lambda_{2i} = \frac{w(Z_i \mathbf{r})}{1 - \Phi(Z_i \mathbf{r})}$  . Si les covariances estimées

$\hat{\dagger}_{1y}$  et  $\hat{\dagger}_{2y}$  sont statistiquement significatives, alors la décision d'adaptation et la quantité produite par hectare sont corrélées, c'est-à-dire que l'on trouve des preuves de commutation endogène et de rejet de l'hypothèse d'absence de biais de sélectivité de l'échantillon. Ce modèle est défini comme « un modèle de régression de commutation avec commutation endogène » (Manddala et Nelson, 1975 ; Di Falco et al., 2011).

Une méthode efficace pour estimer les modèles de régression à commutation endogène est l'estimation maximale probable de l'information complète (Lee and Trost, 1978). La fonction de vraisemblance logarithmique, compte tenu des hypothèses précédentes concernant la distribution des termes d'erreur, est la suivante :

$$\ln L_t = \sum_{i=1}^N A_i \left[ \ln \Phi \left( \frac{V_{1i}}{\dagger_1} \right) - \ln \dagger_1 + \ln \Phi(\rho_{1i}) \right] + (1 - A_i) \left[ \ln \Phi \left( \frac{V_{2i}}{\dagger_2} \right) - \ln \dagger_2 + \ln(1 - \Phi(\rho_{2i})) \right] \quad (3)$$

Ou,  $\rho_{ji} = \frac{(Z_i \mathbf{r} + \dots_j V_{ji} / \dagger_j)}{\sqrt{1 - \dots_j^2}}$ ,  $J=1,2$ , avec  $\dots_j$  signifiant le coefficient de corrélation entre le terme

d'erreur  $y_i$  de l'équation de sélection (1) et les termes d'erreur  $v_{ji}$  des équations (2a) et (2b), respectivement.

Selon Di Falco et al. (2011), le modèle de régression à commutation endogène peut être utilisé pour étudier quatre attentes conditionnelles de la productivité alimentaire.

$$E(y_{1i} / A_i = 1) = X_{1i} S_1 + \dagger_{1y} \lambda_{1i}, \quad (4a)$$

$$E(y_{2i} / A_i = 0) = X_{2i} S_2 + \dagger_{2y} \lambda_{2i}, \quad (4b)$$

$$E(y_{2i} / A_i = 1) = X_{1i} S_2 + \dagger_{2y} \lambda_{1i}, \quad (4c)$$

$$E(y_{1i} / A_i = 0) = X_{2i}S_1 + \tau_{1y} \}_{2i}, \quad (4d)$$

L'équation (4a) représente la productivité alimentaire attendue des ménages agricoles qui se sont adaptés par rapport aux ménages agricoles qui ne se sont pas adaptés (4b). Quant à (4c), elle représente la productivité alimentaire attendue dans le cas hypothétique contrefactuel des ménages agricoles adoptants s'ils ne s'étaient pas adaptés, et (4d) les ménages agricoles non-adoptants s'il s'étaient adaptés. De plus, à la suite de Heckman et al., (2001), nous calculons l'effet du traitement « s'est adapté » sur le traité (TT) comme la différence entre (4a) et (4c), qui représente l'effet de l'adaptation aux changements climatiques sur la productivité alimentaire des exploitations agricoles qui se sont réellement adaptées aux changements climatiques.

$$\begin{aligned} TT &= E(y_{1i} | A_i = 1) - E(y_{2i} | A_i = 1) \\ &= X_{1i}(S_1 - S_2) + (\tau_{1y} - \tau_{2y}) \}_{2i} \end{aligned} \quad (5)$$

De même, nous calculons l'effet du traitement sur les exploitations agricoles non traitées (TU) qui ne se sont pas réellement adaptées aux changements climatiques comme étant la différence (4d) et (4b).

$$\begin{aligned} TU &= E(y_{1i} | A_i = 0) - E(y_{2i} | A_i = 0) \\ &= X_{1i}(S_1 - S_2) + (\tau_{1y} - \tau_{2y}) \}_{2i} \end{aligned} \quad (6)$$

Plus de détails sur le modèle de régression à commutation endogène peuvent être trouvés dans Di Falco et al. (2011).

### 3- Résultats et Discussions

#### 3.1- Déterminants de l'adaptation

Les résultats de cette étude montrent (troisième colonne du tableau 1) que les principaux moteurs de la décision des ménages agricoles d'adopter certaines stratégies en réponse aux changements climatiques sont représentés par la perception des ménages aux changements climatiques ; la fourniture de l'information sur le climat par la radio, les vulgarisateurs, les organisations de producteurs et les ménages ayant des revenus. Le revenu des ménages augmente la probabilité de 66,2%, 43,8% et de 37,2% d'adopter des pratiques d'adaptation respectivement. Ce qui stipule que plus le revenu des ménages augmente, plus ils sont susceptibles d'adopter des pratiques

d'adaptation. Le rôle de la perception que les ménages ont des changements climatiques et de l'information climatique semble également très pertinent. Force est de relever que les ménages agricoles qui ont perçu des changements au niveau des températures et des précipitations sont susceptibles de s'adapter à 124,5% aux changements climatiques. De même, ceux qui reçoivent des informations (radio, vulgarisateur, organisation de paysans) sur le climat sont plus susceptibles de s'adapter à 98,5% ; et à 107% et de 94,4% respectivement aux changements climatiques. Cela signifie que le manque d'accès aux informations radio, aux services de vulgarisation et aux informations provenant des organisations de paysans sont des obstacles majeurs à l'adaptation. Ces résultats sont conformes à celui de (Bryan et al., 2009) sur l'Ethiopie et l'Afrique du sud. Nous constatons également que les dépenses en investissements (insecticides, pesticides, etc.) sont négatives et significatives à l'adoption des pratiques d'adaptation. Cela signifie qu'une augmentation de 1% de l'utilisation des pesticides et des insecticides réduit de 13,7% la probabilité d'adopter des stratégies d'adaptation. Ce qui confirme la littérature qui met en évidence les dangers de l'utilisation de ces produits pour la préservation de la qualité du sol.

**Tableau 1 : Résultats de la régression de commutation endogène pour l'adaptation et l'impact de l'adaptation sur la productivité alimentaire.**

Variables	Designation	Adaptation	Productivité Alimentaire (log)	
			Non-adopteurs	Adopteurs
Fertilisants	Utilisation	-0.00234	0.0270	0.0470***
	d'engrais chimique	(0.0254)	(0.0801)	(0.0160)
Travail	Quantité de main d'œuvre utilisée	0.0373**	-0.117**	0.00451
	Dépenses	(0.0167)	(0.0507)	(0.0106)
Capital	Dépenses d'investissements	-0.137***	0.553***	-0.0317
	Exploitation d'élevage	(0.0484)	(0.160)	(0.0212)
Terrain	Exploitations d'élevage du ménage	-0.120	-0.271	0.0267
	Superficie des terres cultivées	(0.156)	(0.469)	(0.0953)
		0.595***	-1.230***	-0.308***
		(0.140)	(0.448)	(0.0778)

Sexe du chef de ménage	Homme	0.737*** (0.208)	-0.0853 (0.642)	0.0650 (0.164)
	Moins de 30 ans	-0.157 (0.244)	0.890 (0.730)	0.139 (0.147)
Age du chef de ménage	De 30 à 50 ans	0.154 (0.194)	-0.407 (0.636)	0.221** (0.101)
	Primaire	-0.526*** (0.191)	0.720 (0.628)	0.0246 (0.102)
Niveau d'éducation du chef de ménage	Secondaire	-0.436** (0.223)	0.541 (0.788)	0.0985 (0.117)
	Marié	0.189 (0.220)	-0.489 (0.669)	0.180 (0.164)
Statut matrimoniale du chef de ménage	Chrétien		-1.259* (0.736)	0.725*** (0.179)
	Traditionaliste		-1.348 (0.857)	0.720*** (0.196)
	Moins de 06 ans	0.270*** (0.0686)	0.00396 (0.240)	0.0300 (0.0246)
Taille du ménage	De 6 à 14 ans	-0.0150 (0.0459)	0.255* (0.155)	0.0470** (0.0231)
	De 15 à 21 ans	-0.0225 (0.0506)	0.0778 (0.214)	0.0149 (0.0252)
	De 22 à 50 ans	-0.0200 (0.0290)	0.343*** (0.132)	0.0804*** (0.0174)
	Réseau de paysans		0.474 (0.593)	-0.136 (0.103)
Appartenance à un groupe	Moins de 50 m	0.662*** (0.209)	-0.419 (0.667)	-0.169 (0.118)
	De 50 à 100 m	0.438* (0.232)	0.400 (0.732)	0.159 (0.131)
Revenu du ménage	De 100 à 200 m	0.372* (0.219)	-1.194* (0.704)	0.167 (0.120)
	Migration			0.160* (0.0900)
Migration d'un membre du ménage	Radio	0.985*** (0.192)		
	Vulgarisateurs	1.070***		

		(0.204)		
	Organisation de	0.944***		
	paysans	(0.177)		
Perception des		1.245***		
changements climatiques		(0.413)		
Constant		-0.955	-0.962	5.648***
		(0.687)	(2.052)	(0.332)
†			2,489***	1,03***
			(0,277)	(0,0294)
...			-0,934	-0,203
			(0,316)	(0,114)

Note : Erreurs-types entre parenthèses. \*Significatif au niveau de 10% ; \*\*significatif au niveau de 5% ; \*\*\*significatif au niveau de 1%

### 3.2- Productivité alimentaire

La productivité alimentaire moyenne de la zone soudano-sahélienne est de 1006,9 kg/ha, ce qui est inférieur à la productivité alimentaire moyenne du Cameroun de 1269,5 kg/ha (INS, 2015). La majorité des parcelles de culture est alimenté par des pluies, ce qui peut être la raison d'une faible productivité. De plus, la productivité des adoptants des pratiques d'adaptation aux changements climatiques (4546,5 kg/ha) est significativement plus élevée que celle des non-adoptants (2351 kg/ha). Ce constat est conforme à d'autres études (Di Falco, Kohlin et Yesuf, 2012 ; Zhou et Turvey, 2014 ; Khanal et al., 2018a) qui estiment que la mise en œuvre des stratégies d'adaptation améliore la productivité alimentaire. Toutefois, cette approche ne tient pas compte du biais de sélection.

Les résultats présentés dans les deux dernières colonnes du tableau 1 tiennent compte du changement endogène dans la fonction de productivité alimentaire. Les coefficients estimés des termes de corrélations ne sont pas significativement différents de zéro, ce qui indique que l'hypothèse d'absence de biais de sélectivité de l'échantillon dans l'adaptation ne peut être rejetée (Di Falco et al., 2011 ; Khanal et al., 2018a). Toutefois, les différences dans les équations de productivité alimentaire entre les ménages adoptants et les non-adoptants montrent la présence d'hétérogénéité dans l'échantillon. Conformément aux prévisions de la théorie économique, les intrants tels que les fertilisants et le travail sont associés de manière significative à une augmentation de la productivité alimentaire des ménages qui se sont adaptés aux changements climatiques. Plusieurs variables ont des effets significatifs sur la productivité

alimentaire des adoptants. C'est le cas de l'utilisation des engrais qui augmente de 47 % la productivité alimentaire. Contrairement à la superficie des terres cultivées qui réduit de 30,8% la productivité alimentaire. Cela peut s'expliquer par un problème d'utilisation optimale des facteurs de production (la terre et la main-d'œuvre) au sein des ménages qui s'adaptent. De plus la migration des membres du ménage d'une localité à une autre accroît leur productivité alimentaire. Face aux effets néfastes des changements climatiques, les membres d'un ménage se déplacent d'une localité à une autre à la recherche non seulement des terres fertiles mais également des conditions climatiques favorables. Quant aux variables, âge de l'exploitant, religion de l'exploitant et la taille de la famille, elles sont positives et significatives. Autrement dit, elles accroissent la productivité alimentaire respectivement de 22,1%, 72,5% et 8,04%.

Le tableau 2 quant à lui, présente la productivité alimentaire prévue dans des conditions réelles et contrefactuelles. Les cellules (a) et (b) représentent la productivité alimentaire observée dans l'échantillon. La productivité alimentaire prévue pour les adoptants est d'environ 4546,356 kg/ha, et de 2352,582 kg/ha pour les non-adoptants. Cette simple comparaison peut toutefois être trompeuse et amener les chercheurs à conclure qu'en moyenne, les ménages adoptants ont produit environ 93, 24% (soit 2193,774 kg/ha) de plus que les ménages non-adoptants. La dernière colonne du tableau 2 présente les effets moyens du traitement, qui montrent l'impact de l'adaptation sur la productivité alimentaire. Ces effets de traitement expliquent le biais de sélection découlant de la probabilité que les ménages adoptants et non-adoptants soient systématiquement différents (Abdulai et Huffman, 2014). La cellule (c) représente la productivité alimentaire prévue à l'hectare des ménages adoptants s'ils avaient décidé de ne pas s'adapter et la cellule (d) représente la productivité alimentaire prévue à l'hectare des ménages non-adoptants s'ils avaient décidé de s'adapter. Les ménages qui ont effectivement adopté auraient produit 1649,724 kg/ha (soit 56,95%) de moins s'ils n'avaient pas adopté des stratégies d'adaptation.

**Tableau 2 : productivité alimentaire moyenne prévue à l'hectare ; effets du traitement**

Sous-échantillon	Etape de décision		Effet de traitement
	S'adapter	Ne pas s'adapter	
ménage adaptateur	<b>(a)</b> 4546.356 (7125.129)	<b>(c)</b> 2896.632 (5214.088)	TT= 1649.724*** (10476.85)
ménage non-adaptateur	<b>(d)</b> 7091.413 (7513.013)	<b>(b)</b> 2352.582 (8893.83)	TU= 4738.831*** (9713.874)

Note : Erreurs-types entre parenthèses. \*Significatif au niveau de 10% ; \*\*significatif au niveau de 5% ; \*\*\*significatif au niveau de 1%

De même, les ménages agricoles qui n'ont pas effectivement adopté auraient produit 4738,831 kg/ha (soit 49,64%) de plus s'ils avaient adopté des stratégies d'adaptation. Ces résultats impliquent que l'adaptation aux changements climatiques augmente considérablement la productivité alimentaire. Cependant, l'effet de l'hétérogénéité transitoire est négatif (TT-TU), ce qui signifie que l'effet est beaucoup plus faible pour les ménages agricoles qui se sont effectivement adaptés que pour ceux qui ne se sont pas adaptés. Ces résultats sont similaires aux travaux de Di Falco et al., (2011) en Ethiopie ; Khanal et al., (2018a) au Népal et de Quan et al., (2019) en Chine.

#### **4- Conclusion**

Cette étude compare la productivité alimentaire entre les ménages agricoles qui adoptent les pratiques d'adaptation aux changements climatiques et ceux qui ne les adoptent pas dans la zone soudano-sahélienne camerounaise. Lorsque nous analysons les résultats pour les deux groupes (adoptants et non-adoptants), des tendances intéressantes se dégagent. Les ménages agricoles qui ont eu recours aux pratiques d'adaptation ont tendance à produire plus que ceux qui ne se sont pas adaptés dans le cas hypothétique où ils ne se seraient pas adaptés. De même, l'impact de l'adaptation sur la productivité alimentaire est plus faible pour les ménages qui se sont effectivement adaptés que pour les ménages qui ne se sont pas adaptés dans le cas hypothétique qu'ils se seraient adaptés. Force est de constater que si les deux groupes de ménages agricoles bénéficiaient de la mise en œuvre de stratégies d'adaptation, ce sont les ménages agricoles qui ne se sont pas adaptés qui bénéficieraient le plus de cette adaptation. Cet effet bénéfique de l'adaptation s'avère important. Si les ménages agricoles qui ne se sont pas adaptés s'étaient adaptés, ils auraient produit plus que les ménages agricoles qui se sont adaptés. Par conséquent, les stratégies d'adaptation semblent particulièrement importantes pour les ménages les plus vulnérables, ceux qui ont déjà le moins de capacités de production alimentaire, en les aidant à combler l'écart de production avec des ménages agricoles moins vulnérables.

Ces résultats sont particulièrement importants pour la conception des politiques visant à élaborer des stratégies d'adaptation efficaces pour faire face aux impacts potentiels des changements climatiques. Les politiques publiques peuvent jouer un rôle important pour aider les ménages agricoles à diffuser l'information sur le climat. De même, les services de vulgarisation sont d'une importance capitale dans la mise en œuvre des stratégies d'adaptation, qui pourraient aboutir à une plus grande sécurité alimentaire pour tous les ménages agricoles, indépendamment de leurs caractéristiques non observables. Lesdits services de vulgarisation constituent une importante source d'information et d'éducation. C'est le lieu de noter les changements de cultures et les mesures spécifiques de conservation des sols (fertilisation) qui peuvent apporter des gains de productivité alimentaire. La recherche prospective est nécessaire pour mieux comprendre la dimension comportementale du processus d'adaptation. Il serait plus intéressant d'axer la recherche sur la distinction du rôle des différentes stratégies d'adaptation et l'identification des stratégies les plus efficaces.



## 5- Références bibliographiques

- Abdulai, A., & Huffman, W. (2014). The adoption and impact of soil and water conservation technology: An endogenous switching regression application. *Land Economics*, 90(1), 26-43.
- Adger, W. N., Huq, S., Brown, K., Conway, D., & Hulme, M. (2003). Adaptation to climate change in the developing world. *Progress in development studies*, 3(3), 179-195.
- Alam, G. M., Alam, K., & Mushtaq, S. (2016). Influence of institutional access and social capital on adaptation decision: Empirical evidence from hazard-prone rural households in Bangladesh. *Ecological Economics*, 130, 243-251.
- Aryal, A., Brunton, D., & Raubenheimer, D. (2014). Impact of climate change on human-wildlife-ecosystem interactions in the Trans-Himalaya region of Nepal. *Theoretical and applied climatology*, 115(3-4), 517-529.
- Aryal, A., Shrestha, U. B., Ji, W., Ale, S. B., Shrestha, S., Ingty, T., . . . Raubenheimer, D. (2016). Predicting the distributions of predator (snow leopard) and prey (blue sheep) under climate change in the Himalaya. *Ecology and evolution*, 6(12), 4065-4075.
- Asseng, S., & Pannell, D. J. (2013). Adapting dryland agriculture to climate change: Farming implications and research and development needs in Western Australia. *Climatic change*, 118(2), 167-181.
- Bahinipati, C. S., & Patnaik, U. (2015). The damages from climatic extremes in India: do disaster-specific and generic adaptation measures matter? *Environmental Economics and Policy Studies*, 17(1), 157-177.
- Bahinipati, C. S., & Venkatachalam, L. (2015). What drives farmers to adopt farm-level adaptation practices to climate extremes: Empirical evidence from Odisha, India. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 14, 347-356.
- Bandara, J. S., & Cai, Y. (2014). The impact of climate change on food crop productivity, food prices and food security in South Asia. *Economic Analysis and Policy*, 44(4), 451-465.
- Biggs, E. M., Tompkins, E. L., Allen, J., Moon, C., & Allen, R. (2013). Agricultural adaptation to climate change: observations from the Mid-Hills of Nepal. *Climate and Development*, 5(2), 165-173.

- Bryan, E., Deressa, T. T., Gbetibouo, G. A., & Ringler, C. (2009). Adaptation to climate change in Ethiopia and South Africa: options and constraints. *Environmental science & policy*, 12(4), 413-426.
- Butt, T. A., McCarl, B. A., Angerer, J., Dyke, P. T., & Stuth, J. W. (2005). The economic and food security implications of climate change in Mali. *Climatic change*, 68(3), 355-378.
- Challinor, A. J., Watson, J., Lobell, D. B., Howden, S., Smith, D., & Chhetri, N. (2014). A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. *Nature Climate Change*, 4(4), 287.
- Coromaldi, M., Pallante, G., & Savastano, S. (2015). Adoption of modern varieties, farmers' welfare and crop biodiversity: Evidence from Uganda. *Ecological Economics*, 119, 346-358.
- Deressa, T. T., Hassan, R. M., Ringler, C., Alemu, T., & Yesuf, M. (2009). Determinants of farmers' choice of adaptation methods to climate change in the Nile Basin of Ethiopia. *Global Environmental Change*, 19(2), 248-255.
- Devkota, R. P., Pandey, V. P., Bhattarai, U., Shrestha, H., Adhikari, S., & Dulal, K. N. (2017). Climate change and adaptation strategies in Budhi Gandaki River Basin, Nepal: a perception-based analysis. *Climatic change*, 140(2), 195-208.
- Di Falco, S., & Veronesi, M. (2013). How can African agriculture adapt to climate change? A counterfactual analysis from Ethiopia. *Land Economics*, 89(4), 743-766.
- Di Falco, S., Veronesi, M., & Yesuf, M. (2011). Does adaptation to climate change provide food security? A micro-perspective from Ethiopia. *American Journal of Agricultural Economics*, 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, Ethiopia. *Environmental and Resource Economics*, 52(4), 457-478.
- du Cameroun, I. A. S. (2017). Yaoundé: Institut national de la statistique; 2013.
- Easterling, W. E., Aggarwal, P. K., Batima, P., Brander, K. M., Erda, L., Howden, S. M., . . . Schmidhuber, J. (2007). Food, fibre and forest products. *Climate change*, 273-313.
- Field, C. B. (2014). *Climate change 2014—Impacts, adaptation and vulnerability: Regional aspects*: Cambridge University Press.

- Finger, R., Hediger, W., & Schmid, S. (2011). Irrigation as adaptation strategy to climate change—a biophysical and economic appraisal for Swiss maize production. *Climatic change*, *105*(3-4), 509-528.
- Fosu-Mensah, B., MacCarthy, D., Vlek, P., & Safo, E. (2012). Simulating impact of seasonal climatic variation on the response of maize (*Zea mays* L.) to inorganic fertilizer in sub-humid Ghana. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *94*(2-3), 255-271.
- Gordon, C., Cooper, C., Senior, C. A., Banks, H., Gregory, J. M., Johns, T. C., . . . Wood, R. A. (2000). The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate dynamics*, *16*(2-3), 147-168.
- Hassan, H., Hanaki, K., & Matsuo, T. (1998). A modeling approach to simulate impact of climate change in lake water quality: phytoplankton growth rate assessment. *Water Science and Technology*, *37*(2), 177.
- Hassan, R. M., & Nhemachena, C. (2008). Determinants of African farmers' strategies for adapting to climate change: Multinomial choice analysis. *African Journal of Agricultural and Resource Economics*, *2*(311-2016-5521), 83-104.
- Heckman, J. J., & Vytlacil, E. (2001). Policy-relevant treatment effects. *American Economic Review*, *91*(2), 107-111.
- Huang, J., Wang, Y., & Wang, J. (2015). Farmers' adaptation to extreme weather events through farm management and its impacts on the mean and risk of rice yield in China. *American Journal of Agricultural Economics*, *97*(2), 602-617.
- Huang, K.-T., & Hwang, R.-L. (2016). Future trends of residential building cooling energy and passive adaptation measures to counteract climate change: The case of Taiwan. *Applied energy*, *184*, 1230-1240.
- Huq, S., Reid, H., Konate, M., Rahman, A., Sokona, Y., & Crick, F. (2004). Mainstreaming adaptation to climate change in least developed countries (LDCs). *Climate Policy*, *4*(1), 25-43.
- Hyde, K. D., Nilsson, R. H., Alias, S. A., Ariyawansa, H. A., Blair, J. E., Cai, L., . . . Goonasekara, I. D. (2014). One stop shop: backbones trees for important phytopathogenic genera: I (2014). *Fungal Diversity*, *67*(1), 21-125.

- II, I. P. o. C. C. W. G. (2014). *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability: IPCC Working Group II*.
- Islam, S., Cenacchi, N., Sulser, T. B., Gbegbelegbe, S., Hareau, G., Kleinwechter, U., . . . Robinson, S. (2016). Structural approaches to modeling the impact of climate change and adaptation technologies on crop yields and food security. *Global Food Security, 10*, 63-70.
- Johns, T., Gregory, J., Ingram, W., Johnson, C., Jones, A., Lowe, J., . . . Stevenson, D. (2003). Anthropogenic climate change for 1860 to 2100 simulated with the HadCM3 model under updated emissions scenarios. *Climate dynamics, 20*(6), 583-612.
- Kaiser, H. M., Riha, S. J., Wilks, D. S., Rossiter, D. G., & Sampath, R. (1993). A farm-level analysis of economic and agronomic impacts of gradual climate warming. *American Journal of Agricultural Economics, 75*(2), 387-398.
- Kassie, B., Van Ittersum, M., Hengsdijk, H., Asseng, S., Wolf, J., & Rötter, R. P. (2014). Climate-induced yield variability and yield gaps of maize (*Zea mays* L.) in the Central Rift Valley of Ethiopia. *Field Crops Research, 160*, 41-53.
- Khanal, P. N., Grebner, D. L., Munn, I. A., Grado, S. C., Grala, R. K., Henderson, J. E., & Measells, M. K. (2016). Nonindustrial private forest landowner beliefs toward climate change and carbon sequestration in the southern United States. *Journal of Forestry, 114*(5), 524-531.
- Khanal, U., Wilson, C., Hoang, V.-N., & Lee, B. (2018). Farmers' adaptation to climate change, its determinants and impacts on rice yield in Nepal. *Ecological Economics, 144*, 139-147.
- Khanal, U., Wilson, C., Lee, B. L., & Hoang, V.-N. (2018). Climate change adaptation strategies and food productivity in Nepal: a counterfactual analysis. *Climatic change, 148*(4), 575-590.
- Khonje, M., Manda, J., Alene, A. D., & Kassie, M. (2015). Analysis of adoption and impacts of improved maize varieties in eastern Zambia. *World Development, 66*, 695-706.
- Kumar Sarkar, U., Kumar Pathak, A., Kumar Tyagi, L., Mohan Srivastava, S., Prakash Singh, S., & Kumar Dubey, V. (2013). Biodiversity of freshwater fish of a protected river in India: comparison with unprotected habitat. *Revista de biologia tropical, 61*(1), 161-172.
- Kurukulasuriya, P., & Mendelsohn, R. (2008). *How will climate change shift agro-ecological zones and impact African agriculture? : The World Bank*.

- Lacy, S. M., Cleveland, D., & Soleri, D. (2006). Farmer choice of sorghum varieties in southern Mali: Managing Unpredictable Growing Environments and Resources. *Human Ecology*, 34(3).
- Lane, S., Tayefi, V., Reid, S., Yu, D., & Hardy, R. (2007). Interactions between sediment delivery, channel change, climate change and flood risk in a temperate upland environment. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 32(3), 429-446.
- Lee, L.-F., & Trost, R. P. (1978). Estimation of some limited dependent variable models with application to housing demand. *Journal of Econometrics*, 8(3), 357-382.
- Lehmann, N., Finger, R., Klein, T., Calanca, P., & Walter, A. (2013). Adapting crop management practices to climate change: Modeling optimal solutions at the field scale. *Agricultural Systems*, 117, 55-65.
- Liu, P., Cai, H., & Wang, J. (2010). Effects of soil water stress on growth development, dry-matter partition and yield constitution of winter wheat. *Research of Agricultural Modernization*, 31(3), 330-333.
- Lobell, D. B., & Field, C. B. (2007). Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental research letters*, 2(1), 014002.
- Lokshin, M., & Sajaia, Z. (2004). Maximum likelihood estimation of endogenous switching regression models. *The Stata Journal*, 4(3), 282-289.
- Maddala, G. (1983). Methods of estimation for models of markets with bounded price variation. *International Economic Review*, 361-378.
- Maddala, G. S., & Nelson, F. D. (1975). *Switching regression models with exogenous and endogenous switching*. Paper presented at the Proceedings of the American Statistical Association.
- Mendelsohn, R., & Seo, N. (2007). *Changing farm types and irrigation as an adaptation to climate change in Latin American agriculture*: The World Bank.
- Mendola, M. (2007). Agricultural technology adoption and poverty reduction: A propensity-score matching analysis for rural Bangladesh. *Food policy*, 32(3), 372-393.
- Molua, E., & Utomakili, J. (1998). An analysis of resource-use efficiency in banana production in the south west province of Cameroon. *Int J Trop Agric*, 16, 113-118.

- Molua, E. L. (2006). Climatic trends in Cameroon: implications for agricultural management. *Climate Research*, 30(3), 255-262.
- Morton, T. (2007). *Ecology without nature: Rethinking environmental aesthetics*: Harvard University Press.
- Niles, M. T., Brown, M., & Dynes, R. (2016). Farmer's intended and actual adoption of climate change mitigation and adaptation strategies. *Climatic change*, 135(2), 277-295.
- Othniel Yila, J., & Resurreccion, B. P. (2013). Determinants of smallholder farmers' adaptation strategies to climate change in the semi arid Nguru Local Government Area, Northeastern Nigeria. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 24(3), 341-364.
- Parry, M. L., Carter, T. R., & Konijn, N. T. (2013). *The impact of climatic variations on agriculture: volume 1: assessment in cool temperate and cold regions*: Springer Science & Business Media.
- Piao, S., Ciais, P., Huang, Y., Shen, Z., Peng, S., Li, J., . . . Ding, Y. (2010). The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*, 467(7311), 43.
- Piya, L., Maharjan, K. L., & Joshi, N. P. (2013). Determinants of adaptation practices to climate change by Chepang households in the rural Mid-Hills of Nepal. *Regional environmental change*, 13(2), 437-447.
- Quan, S., Li, Y., Song, J., Zhang, T., & Wang, M. (2019). Adaptation to Climate Change and its Impacts on Wheat Yield: Perspective of Farmers in Henan of China. *Sustainability*, 11(7), 1928.
- Reid, S., Smit, B., Caldwell, W., & Belliveau, S. (2007). Vulnerability and adaptation to climate risks in Ontario agriculture. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(4), 609-637.
- Reidsma, P., Ewert, F., Lansink, A. O., & Leemans, R. (2010). Adaptation to climate change and climate variability in European agriculture: the importance of farm level responses. *European journal of agronomy*, 32(1), 91-102.
- Reilly, J. M., & Schimmelpfennig, D. (1999). Agricultural impact assessment, vulnerability, and the scope for adaptation. *Climatic change*, 43(4), 745-788.
- Rosenzweig, C. (1989). Global climate change: Predictions and observations. *American Journal of Agricultural Economics*, 71(5), 1265-1271.

- Rosenzweig, C., & Parry, M. L. (1994). Potential impact of climate change on world food supply. *Nature*, 367(6459), 133.
- Sarker, M. A. R., Alam, K., & Gow, J. (2017). Performance of rain-fed Aman rice yield in Bangladesh in the presence of climate change. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 1-9.
- Sarker, S., Scholz-Romero, K., Perez, A., Illanes, S. E., Mitchell, M. D., Rice, G. E., & Salomon, C. (2014). Placenta-derived exosomes continuously increase in maternal circulation over the first trimester of pregnancy. *Journal of translational medicine*, 12(1), 204.
- Seo, S. N., & Mendelsohn, R. (2008). Measuring impacts and adaptations to climate change: a structural Ricardian model of African livestock management 1. *Agricultural economics*, 38(2), 151-165.
- Smit, B., Burton, I., Klein, R. J., & Wandel, J. (2000). An anatomy of adaptation to climate change and variability *Societal adaptation to climate variability and change* (pp. 223-251): Springer.
- Stage, J., Stage, J., & McGranahan, G. (2010). Is urbanization contributing to higher food prices? *Environment and Urbanization*, 22(1), 199-215.
- Thornes, J. E. (2002). IPCC, 2001: Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability, Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, edited by JJ McCarthy, OF Canziani, NA Leary, DJ Dokken and KS White (eds). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, USA, 2001. No. of pages: 1032. Price:£ 34.95, ISBN 0 521 01500 6 (paperback), ISBN 0 521 80768 9 (hardback). *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 22(10), 1285-1286.
- Tingem, M., Rivington, M., Bellocchi, G., Azam-Ali, S., & Colls, J. (2008). Comparative assessment of crop cultivar and sowing dates as adaptation choice for crop production in response to climate change in Cameroon. *The African Journal of Plant Science and Biotechnology*, 2(1), 10-17.
- Tingem, M., Rivington, M., & Colls, J. (2008). Climate variability and maize production in Cameroon: simulating the effects of extreme dry and wet years. *Singapore Journal of Tropical Geography*, 29(3), 357-370.

- Waha, K., Müller, C., Bondeau, A., Dietrich, J., Kurukulasuriya, P., Heinke, J., & Lotze-Campen, H. (2013). Adaptation to climate change through the choice of cropping system and sowing date in sub-Saharan Africa. *Global Environmental Change*, 23(1), 130-143.
- Wang, J., Wang, E., Yang, X., Zhang, F., & Yin, H. (2012). Increased yield potential of wheat-maize cropping system in the North China Plain by climate change adaptation. *Climatic change*, 113(3-4), 825-840.
- Xie, W., Xiong, W., Pan, J., Ali, T., Cui, Q., Guan, D., . . . Davis, S. J. (2018). Decreases in global beer supply due to extreme drought and heat. *Nature plants*, 4(11), 964.
- Yorobe Jr, J., Rejesus, R., & Hammig, M. (2011). Insecticide use impacts of integrated pest management (IPM) farmer field schools: Evidence from onion farmers in the Philippines. *Agricultural Systems*, 104(7), 580-587.
- Zhang, H.-L., Zhao, X., Yin, X.-G., Liu, S.-L., Xue, J.-F., Wang, M., . . . Chen, F. (2015). Challenges and adaptations of farming to climate change in the North China Plain. *Climatic change*, 129(1-2), 213-224.
- Zheng, X., Su, L., Hu, S., Ye, Z., & He, J. (2015). Legendre wavelet for power amplifier linearization. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, 84(2), 283-292.
- Zhou, L., & Turvey, C. G. (2014). Climate change, adaptation and China's grain production. *China Economic Review*, 28, 72-89.

## 6- Annexes

### Annexe 1 : définition et statistiques descriptives des variables

Variable	Définition	Moyenne	Ecart-type
Productivité alimentaire	Production agricole en kg a hectare	4302.978	37383.12
Fertilisant	Utilisation d'engrais chimique a hectare	46015.91	32721.27
Travail	Utilisation de la main d'œuvre a hectare (jour)	10745.45	11575.88
Capital	Dépense d'investissement (pesticides, semences...) a hectare	20650.15	13866.51
Exploitation	Total des exploitations d'élevage du	0.3120666	0.4636585



d'élevage	ménage en unité standard d'élevage		
Terrain	Superficie des terres cultivées a hectare	2.621637	2.099153
Sexe	Sexe du chef de ménage (homme)	0.8987517	0.3018666
Age du chef de ménage	Moins de 30ans	0.1636616	0.370225
	De 30 a 50 ans	0.5409154	0.4986691
Niveau d'éducation	Primaire	0.331484	0.4710734
	Secondaire	0.260749	0.439348
Statut matrimonial	Chef de ménage a un statut de marié	0.9056865	0.2924672
Religion du chef de ménage	Chrétien	0.6823856	0.4658718
	Traditionaliste	0.257975	0.4378239
Taille du ménage	De 06 a 14ans	1.697642	1.79818
	De 15 a 20ans	1.801664	1.996747
	De 21 a 50ans	1.409154	1.772592
Appartenance à un groupe	Réseau de paysans	0.2094313	0.4071852
Revenu du ménage	Moins de 50m	0.2857143	0.4520676
	De 50_100m	0.1525659	0.3598182
	De 100_200m	0.1719834	0.3776279
Migration	Migration d'un membre du ménage	0.3037448	0.460193
Source d'information	radio	0.2149792	0.4110931
	Vulgarisateur	0.2857143	0.4520676
	Réseau de paysans	0.2343967	0.4239152
Perception des changements climatiques	Croyance climatique	0.9861304	0.117031