

Effet de la variabilité climatique sur les revenus agricoles au sud-ouest du Tchad: Cas des exploitations agricoles familiales de Moundou

[Effect of climate variability on farm income in southwestern Chad: The case of family farms in Moundou]

Ali MAHAMADOU¹, Allarasse NDLKAG¹, and Halidou Maiga Nafissatou²

¹Department Economie et Sociologie Rurale, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger

²Department Productions Animales, Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger

Copyright © 2023 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: Family farms in Moundou are facing the effects of climate variability. Due to increased rainfall variability and rising temperatures marked by an evolving trend, farm household incomes are increasingly affected. The objective of this study is to assess the effects of climate variability on the incomes of farm managers in order to contribute to a better understanding of the effects of climate variability on family farming. The study uses the Ricardian model to analyze the effects of rainfall and temperature variations and socioeconomic determinants on the incomes of farm managers. Data were collected from 105 farm managers distributed according to their wealth level. The results showed that an increase of 1 mm in average rainfall will lead to an increase of 1.2% FCFA/hectare of agricultural income, i.e., a gain of 1633 FCFA/hectare. On the other hand, a 1% increase in temperature will result in a 5.65% decrease in agricultural income, i.e., a loss of 7,692 FCFA/hectare on average. The analysis of the projected effects of climate variability through scenarios of increases in average temperatures of 1°C and 1.5°C and average annual decreases in rainfall of 5% and 8% showed that income losses will be accentuated. Thus, this situation calls for reflection on appropriate adaptation strategies to mitigate the adverse effects on family farming while taking into account the diversification of family farms.

KEYWORDS: Climate variability, farm income, Ricardian model, family farms, Moundou, Chad.

RESUME: Les exploitations agricoles familiales à Moundou sont confrontées aux effets des variabilités climatiques. En raison de variabilité des pluies accrue et d'augmentation des températures marquée par une tendance évolutive, les revenus des ménages agricoles sont de plus en plus affectés. L'objectif de cette étude est d'évaluer les effets de la variabilité climatique sur les revenus des chefs d'exploitation agricole afin de contribuer à une meilleure connaissance des effets de la variabilité climatique sur l'agriculture familiale. L'étude est basée sur le modèle Ricardien pour analyser les effets des variations des précipitations et des températures et des déterminants socioéconomiques sur les revenus des catégories de chefs d'exploitation agricole. Les données sont collectées auprès de 105 chefs d'exploitants agricoles repartis, selon leur niveau de richesse. Les résultats ont montré que l'augmentation de 1 mm en moyenne de la précipitation va entraîner une augmentation de 1,2% FCFA/hectare de revenu agricole, soit un gain de 1633 FCFA/hectare. Tandis que, l'augmentation de 1% de températures entrainera une baisse de revenu agricole de 5,65%, soit une perte de 7.692 FCFA/hectare en moyenne. L'analyse de la projection des effets des variabilités climatiques à travers des scénarios des hausses des températures moyennes de 1°C et de 1,5°C et des baisses moyennes annuelles des précipitations de 5% et de 8% a montré que les pertes de revenus seront accentuées. Ainsi, cette situation pousse à réfléchir sur les stratégies d'adaptation appropriées pour atténuer les effets néfastes sur l'agriculture familiale tout en tenant compte de la diversification des exploitations agricoles familiales.

MOTS-CLEFS: Variabilité climatique, revenus agricoles, modèle Ricardien, exploitations familiales, Moundou, Tchad.

1 INTRODUCTION

La variabilité climatique constitue aujourd'hui un des obstacles majeurs au développement socioéconomique des populations dans le monde en général et particulièrement en Afrique Subsaharienne. Au Sahel, les sécheresses sévères et généralisées au cours des décennies 70 et 80, avec une percée en Afrique de l'Ouest et du Centre [15], représentent le plus fort signal de changement climatique observé sur terre. Cette grande période de sécheresse a eu des incidences, non seulement néfastes sur les rendements agricoles, mais aussi plus dramatiques sur les conditions d'existence des populations rurales [18]. Selon le rapport du Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat [7], la température moyenne globale va augmenter et pourrait atteindre 4,5 °C d'ici 2100, le régime des précipitations va se modifier et la variabilité climatique sera accrue notamment avec une fréquence des événements extrêmes de plus en plus récurrents. Au Tchad, les changements climatiques majeurs récents enregistrés au cours des dernières décennies ont montré des variations des régimes des précipitations marquées par une brusque alternance d'années humides et sèches, une variabilité accrue des pluies et une augmentation des températures de l'ordre de 1°C [11]. Ce qui a un impact direct sur les rendements et la production agropastorale dans les zones agro-écologiques du Tchad [13].

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'impact des variabilités climatiques sur les revenus des exploitations agricoles familiales dans la zone soudanienne du Tchad. De manière spécifique, elle vise évaluer les pertes occasionnées par la hausse de température et la baisse des précipitations sur les revenus des petits exploitants agricoles et à mieux comprendre la manière dont les différentes catégories de chefs d'exploitations agricoles s'adaptent aux risques climatiques à l'échelle spatiale.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL

2.1.1 ZONE DE L'ÉTUDE

L'étude porte sur Moundou (16°05'00" Est et la latitude 8°34'00" Nord) situé dans la zone soudanienne à plus de 400 km au Sud-Ouest de la capitale N'Djamena, Tchad. Il est localisé sur les rives du fleuve Logone [11] et entre deux plans d'eau à savoir le Lac Taba à l'Est et le Lac Wey à l'Ouest. Il est limité au nord par la sous-préfecture de Déli, à l'ouest par la sous-préfecture de Bah et le lac Wey, à l'est par le lac Taaba et au sud par la sous-préfecture de Mbaïkoro. La population est estimée à 210 400 habitants en 2020 [4]. Le climat est tropical semi-humide de type soudanien, favorable à l'agriculture. Moundou est soumis à un régime pluviométrique uni-modal, allant de mai à octobre. Les types de sols sont essentiellement les sols hydro-morphes recouverts d'alluvions, les sols ferrallitiques lessivés, peu fertiles et sols rouges, sableux en profondeur [11]. La principale activité économique est l'agriculture, car elle représente plus de 80% de ménages ruraux. Cette agriculture repose en grande partie sur les cultures vivrières même si certains exploitants agricoles continuent par cultiver le coton.

2.1.2 ECHANTILLONNAGE ET COLLECTE DES DONNÉES

L'échantillonnage s'est effectué en plusieurs étapes. Il importe de signaler qu'au Tchad, la méthode de segmentation utilisée pour élaborer une typologie se base sur le sexe du chef d'exploitation (CE), l'accès à la traction animale et aux équipements ([1]; [3]; [19]). Cela reste valable pour cette présente étude. Cependant, pour de question de contrôle, une variable projetée supplémentaire comme la taille de ménage y est ajoutée. Ainsi, en collaboration avec les personnes ressources, cette démarche a permis de catégoriser les chefs d'exploitation agricole se trouvant dans la liste. Ensuite, des calculs de proportionnalités ont été faits pour obtenir le nombre de chefs d'exploitation à enquêter dans chaque catégorie. Enfin, au vu du nombre obtenu, un tirage au hasard avec un pas de 5 a été effectué pour retenir de la population d'étude un échantillon de 105 chefs d'exploitation agricole dont 45 exploitants moins équipés, 35 exploitants moyennement équipés et 25 exploitants bien équipés selon les critères préalablement définis.

Les données primaires ont été obtenues à partir d'une enquête auprès de l'échantillon retenu. Elles ont concerné les caractéristiques des exploitations, les productions végétales en pluvial strict, les facteurs de production (intrants et matériels agricoles) et l'environnement des exploitations agricoles. Ces données ont été collectées du 1^{er} juin au 30 septembre 2021 et se rapportent à une année (mai 2019 à avril 2020). Quant aux données secondaires, elles ont été collectées à l'échelle du département, précisément auprès des services déconcentrés de l'Etat, des Organisations Non Gouvernementales (ONG) et des informateurs clés. Les données sur les températures et les précipitations proviennent de la station de météorologie de l'aérodrome de Moundou et concernent la période allant de 1991 à 2020.

2.1.3 MÉTHODE

Parmi les méthodes utilisées pour évaluer l'impact du climat sur l'agriculture, on distingue deux grandes méthodes dont la méthode par la fonction de production et le modèle Ricardien [16]. La méthode par la fonction de production mesure les effets directs d'une modification du climat en se fondant sur une approche expérimentale ([19]; [3] et [2]). De ce fait, elle s'oriente vers l'agronomie et ne prend pas en compte les adaptations possibles des producteurs. Tandis que, le modèle ricardien s'oriente vers l'économie et prend en compte implicitement des adaptations des agriculteurs [12].

Cette présente étude s'est basée sur le modèle ricardien pour évaluer l'impact du climat sur les revenus agricoles en prenant en compte les caractéristiques socioéconomiques des chefs d'exploitation agricole afin de montrer que certains exploitants s'adaptent mieux que les autres dans ce contexte des variabilités climatiques au sud-ouest du Tchad. Plus formellement, chaque exploitant agricole de Moundou maximise son profit sous les contraintes données par les conditions exogènes à son exploitation: conditions pédoclimatiques et socio-économiques. Ceci permet d'utiliser l'équation [12] qui traduit que le revenu net agricole (V) représente la valeur actuelle de la productivité future de la terre.

$$V = \int P_{LE} e^{-\delta t} = \int [\sum P_i Q_i (X, F, Z, G) - \sum R X] e^{-\delta t} dt \quad (1)$$

Où:

P_{LE} = revenu net par hectare, P_i = prix de marché de la culture i ; Q_i = quantité produite de la culture i ; F = variables climatiques; Z = ensemble des variables édaphiques; G = ensemble des variables socio-économiques; X = vecteur des facteurs de production (autres que la terre); R = vecteur des prix des facteurs de production; t = temps et δ = taux d'actualisation.

Le modèle ricardien standard est un modèle quadratique sur le climat. Ainsi, on aura:

$$V = \beta_0 + \beta_1 F + \beta_2 F^2 + \beta_3 Z + \beta_4 G + u \quad (2)$$

Où:

- u : terme d'erreur;
- F et F^2 : capture des termes linéaires et quadratiques pour les températures et les précipitations

Les dérivées de l'équation précédente par rapport aux variables climatiques (température et précipitation) permettent de déterminer les impacts marginaux du climat. La nouvelle fonction de profit en résultant est uniquement fonction des variables exogènes. Le coefficient du terme linéaire de chaque variable climatique représente l'impact marginal de cette variable sur le revenu agricole.

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

L'évaluation d'impact prévisionnel de la variation des températures et des précipitations sur le revenu agricole des exploitants s'est basée sur des simulations à partir des scénarios de [6] GIEC. En effet, selon [7], les températures augmenteront de 1,8 à 4°C en 2090-2099 par rapport à 1980-1999. Ainsi, le changement du bien être U , résultant du changement du climat de C_0 à C_1 peut être mesuré comme suit:

$$\Delta U = V(C_1) - V(C_0) \quad (4)$$

Par ailleurs, la conception du modèle ricardien offre une certaine flexibilité quant au choix de variables. Puisque, dans la littérature, ce modèle a été utilisé aussi pour observer le comportement des individus et des collectivités. [5] ont étudié l'impact du changement climatique sur les revenus en se référant aux résultats d'enquêtes sur les revenus des fermiers réalisés spécifiquement pour ce travail. Alors que, [4] n'ayant considéré que les variables climatiques (précipitations et températures) et le progrès technique dans leur analyse, sont parvenus à évaluer l'impact du climat sur les revenus agricoles en Tunisie. D'autre part, [10] se sont intéressés aux revenus nets agricoles des zones agro-écologiques de Kenya en effectuant une enquête sur les données comptables pour mettre en exergue l'impact du climat. Tandis que, [14] s'est fixé sur les variables climatiques, édaphiques, hydrologiques et socio-économiques pour mettre en exergue l'impact du climat sur les revenus des ménages agricoles au Burkina Faso. Afin d'affiner le modèle ricardien au contexte de la présente étude, des modifications sont apportées au modèle standard développé par [12]. Ainsi, le nouveau modèle se présente comme suit:

$$V = \beta_0 + \beta_1 F + \beta_2 F^2 + \beta_3 G + u \quad (5)$$

Partant de l'évidence des résultats obtenus par [14], Chebil *et al.* en 2011 et [12]. en 1994; en prenant seulement en compte les variables climatiques (températures et précipitations), la forme sans adaptation du modèle se présente comme suit:

$$RN_{na} = \beta_0 + \beta_1 temp_sp + \beta_2 temp_sp^2 + \beta_3 temp_ss + \beta_4 temp_ss^2 + \beta_5 precip_sp + \beta_6 precip_sp^2 + \beta_7 precip_ss + \beta_8 precip_ss^2 + \mu$$

Où:

- *temp_sp* et *temp_ss* sont les températures moyennes de la saison pluvieuse et de la saison sèche;
- *precip_sp* et *precip_ss*: représente la pluviométrie totale moyenne respectivement pour la saison humide et la saison sèche;
- Les β_i sont les coefficients et μ le terme d'erreur.

En effet, le modèle sans adaptation inclut seulement les variables physiques du climat (température et précipitations).

Il importe de signaler que les caractéristiques socioéconomiques sont très indispensables pour mieux produire en agriculture pluviale dans la zone d'étude. Ainsi, en incluant au modèle sans adaptation les caractéristiques socioéconomiques, la forme avec adaptation sera:

$$RN_{na} = \beta_0 + \beta_1 temp_sp + \beta_2 temp_sp^2 + \beta_3 temp_ss + \beta_4 temp_ss^2 + \beta_5 precip_sp + \beta_6 precip_sp^2 + \beta_7 precip_ss + \beta_8 precip_ss^2 + \sum_{j=1}^m \alpha_j G_j + \mu$$

Où:

- G_j est l'ensemble des variables socioéconomiques: la taille de ménage, niveau d'éducation et possession d'animaux;
- Les α_j sont des coefficients.

Pour mieux appréhender les variables que comportent les deux (2) modèles susmentionnés dans le cadre de ce travail, les définitions suivantes sont retenues. Il s'agit de:

A) Variable dépendante ou expliquée

La variable dépendante est le revenu net des exploitants agricoles enquêtés. Ce revenu se définit comme étant la valeur de la production des cultures en pluvial strict moins les charges opérationnelles. Il est calculé pour chaque exploitation. Le coût de la main d'œuvre familiale n'est pas pris en compte dans le calcul.

B) Les variables indépendantes ou explicatives

Dans ce travail, les variables explicatives sont réparties en deux (2) types: les variables climatiques et les caractéristiques socioéconomiques.

- Les variables climatiques sont constituées des températures et des précipitations. Elles sont définies en deux (2) variables saisonnières. La décision de considérer l'effet saisonnier des variables climatiques part de l'aspect de forte saisonnalité qui caractérise le climat et qui affecte l'activité agricole dans la zone d'étude.
- Les caractéristiques socioéconomiques quant à elles, se rapportent à la taille du ménage, le niveau d'éducation et la possession des bœufs. Dans cette étude, la taille de ménage est un nombre entier alors que, le niveau d'éducation et la possession des bœufs sont des variables dichotomiques qui prennent la valeur (1) ou (0).

Les analyses sont effectuées étape par étape en utilisant les logiciels STATA et SPSS 20. L'introduction des variables s'est faite en deux (2) séquences. Tout d'abord, les variables climatiques ont été intégrées. Cette première séquence de variables a permis de définir un modèle reposant uniquement sur les facteurs physiques du climat, bien évidemment les températures et les précipitations: c'est le modèle sans adaptation. Ensuite, des variables relatives aux caractéristiques socioéconomiques sont intégrées: c'est le modèle avec adaptation.

L'évaluation globale des liaisons est faite avec le coefficient de détermination (R^2). La signification individuelle des paramètres est estimée avec le test de Student. L'effet marginal de la température est calculé sur la base de la température

moyenne de l'échantillon tandis que, celui de la précipitation est calculé sur la base de la moyenne des précipitations annuelles de l'échantillon d'étude.

3 RESULTATS

3.1 EFFETS DES PARAMÈTRES ASSOCIÉS AUX VARIABLES CLIMATIQUES ET SOCIOÉCONOMIQUES SUR LES REVENUS DES EXPLOITANTS AGRICOLES

Les résultats des enquêtes ressortent un revenu moyen de 136.148 FCFA/Ha/an pour l'ensemble de l'échantillon. Cependant, le revenu varie d'une catégorie à une autre. En effet, il est de 64.370 FCFA/Ha/an pour les exploitants moins équipés, de 168.155FCFA/Ha/an pour les exploitants moyennement équipés et de 225.147 FCFA/Ha/an pour les exploitants bien équipés.

Le modèle Ricardien affiné au contexte de l'étude a permis de mettre en évidence les liens entre le revenu agricole, les facteurs physiques du climat (précipitations et températures) et les déterminants socioéconomiques des chefs d'exploitation. Le tableau 1 indique les effets des paramètres associés aux variables climatiques et socioéconomiques sur les revenus des exploitants agricoles. Dans le modèle sans adaptation, le coefficient de détermination R^2 est de 0,69. Le test de Fisher-Snedcor (F) a montré que les paramètres associés aux variables climatiques et socioéconomiques, dans leur globalité, ont des effets significatifs sur les revenus. Le test de Student a révélé que les termes quadratiques de la température et de la précipitation sont significatifs au seuil de 1%. En intégrant les caractéristiques des chefs d'exploitation, le coefficient de détermination R^2 a augmenté ($R^2= 0,82$). Ce qui explique que les facteurs socioéconomiques ont des effets statistiquement significatifs sur les revenus (voir tableau 1).

Tableau 1. Modèles de régression (variable dépendante = revenu agricole)

Variables	Modèle sans adaptation		Modèle avec adaptation	
	Coefficient	t	Coefficient	t
Variables climatiques				
Température sp	115,10***	3,12	245,14***	2,62
Température sp ²	-5,06***	-5,18	-7,12***	-3,06
Température ss	14,15*	0,74	-1567,13***	-1,86
Température ss ²	-0,37*	-1,07	8,25***	2,30
Précipitation sp	7,22*	7,40	42,20	2,05
Précipitation sp ²	-0,003	-8,77	-0,048	-2,01
Précipitation ss	3,47***	0,07	158,11***	0,75
Précipitation ss ²	0,36***	0,09	-1,64***	-0,76
Variables socio-économiques				
Taille			35,58	7,49
Niveau d'éducation			30,15	0,51
Possession des bœufs			-19,23	-0,25
Constante	-424,41	-1,96	-545,23	-1,09
Nombre d'observations	105		105	
F	51,12		8,36	
R ²	0,69		0,82	

* Significatif au seuil de 10%; ** Significatif au seuil de 5%; *** Significatif au seuil de 1%.

Avec: sp = saison des pluies et ss = saison sèche

Les résultats de l'étude ont montré que l'effet marginal de la précipitation est significatif au seuil de 1% tandis que, celui de la température est significatif au seuil de 10% (tableau 1).

3.2 EFFETS DES VARIATIONS DES PRÉCIPITATIONS ET DES TEMPÉRATURES SUR LE REVENU AGRICOLE DANS LES MODÈLES SANS ADAPTATION ET AVEC ADAPTATION.

Le tableau 2 indique les effets des variations des précipitations et des températures sur le revenu agricole dans les modèles sans adaptation et avec adaptation. Si la moyenne des précipitations augmente de 1 mm, le revenu moyen agricole des chefs

d'exploitation augmente de 1,2% FCFA/hectare, soit un gain de revenu agricole de 1633 FCFA/hectare pour l'ensemble des chefs exploitation agricole (voir tableau II). En associant ce gain aux revenus moyens des catégories de chefs d'exploitation, les revenus moyens agricoles seront de 66.003 FCFA/ hectare pour les exploitants moins équipés, de 169.788 FCFA/hectare pour les exploitants moyennement équipés et de 226.780 FCFA pour les exploitants bien équipés. Tandis que l'augmentation de 1% de températures entraîne une baisse des revenus agricoles de 5,65%, soit une perte de 7.692 FCFA/hectare en moyenne pour l'ensemble de chefs d'exploitation (voir tableau 2).

Tableau 2. Impact marginal du climat sur le revenu agricole (FCFA/ha)

Variable	Modèle sans adaptation	Modèle avec adaptation
Température	-7.079,69*	-7.692,62*
	(-5,20)	(-5,65)
Précipitation	12.321***	1.633***
	(9,05)	(1,2)

*Significatif au seuil de 10%; ** Significatif au seuil de 5%; *** Significatif au seuil de 1%. Le nombre entre parenthèse représente l'élasticité du climat.

Sur la base du rapport de GIEC (2007) qui prévoit une augmentation des températures de 1,8 à 4°C en 2090-2099 par rapport à 1980-1999, l'effet de la variabilité climatique future pourrait être simulé à travers une augmentation de la température de 1°C et de 1,5°C et une diminution de la pluviométrie moyenne de 5% et de 8%. Ajoutant les valeurs futures aux valeurs actuelles des variables climatiques, les revenus agricoles sont significativement affectés.

3.3 IMPACTS DES SCÉNARIOS CLIMATIQUES GIEC SUR LES REVENUS AGRICOLES

Le tableau 3 présente les variations projetées des revenus agricoles vis-à-vis des variations futures des températures et des précipitations. En effet, les résultats ont montré qu'un réchauffement de 1°C entrainera une baisse des revenus de 19% et une hausse des températures moyennes de 1,5°C va engendrer une perte des revenus de 28% en moyenne pour l'ensemble de chefs d'exploitations. Et, une baisse moyenne annuelle des précipitations de 5% entrainera une perte de 12% des revenus pour l'ensemble de chefs d'exploitation, tandis qu'une baisse moyenne annuelle des précipitations de 10% engendrera une perte de 24% de revenus (*ceteris paribus* (voir tableau 3).

Tableau 3. Impacts des scénarios climatiques GIEC sur les revenus agricoles

Scénarios	Δ Revenus nets	
	FCFA/ha	%
Température (+1°C)	-25.868	-19
Température (+1,5°C)	-38.121	-28
Précipitation (-5%)	-16.338	-12
Précipitation (-10%)	-32.676	-24

3.4 IMPACTS PROJÉTÉS DES VARIATIONS DES TEMPÉRATURES ET DES PRÉCIPITATIONS SUR LES REVENUS AGRICOLES DES CATÉGORIES DE CHEFS D'EXPLOITATION AGRICOLE

Le tableau 4 indique les pertes futures que pourraient occasionner les variations températures et des précipitations sur les revenus des chefs d'exploitation agricole.

Tableau 4. Impacts projetés des variations des températures et des précipitations sur les revenus agricoles des catégories de chefs d'exploitation agricole

Scénarios	Nouveaux revenus moyens agricoles (FCFA/Ha)		
	Exploitants moins équipés	Exploitants moyennement équipés	Exploitants bien équipés
Augmentation température (1°C)	38502 (-25.868)	142.287 (-25.868)	199.279 (-25.868)
Augmentation température (1,5°C)	26249 (-38.121)	130.034 (-38.121)	187.026 (-38.121)
Diminution pluviométrie (5%)	48032 (-16.338)	151.817 (-16.338)	208.809 (-16.338)
Diminution pluviométrie (10%)	31694 (32.676)	135479 (-32676)	192.471 (-32676)

3.5 RÉGRESSIONS SUR LES CARACTÉRISTIQUES SOCIOÉCONOMIQUES

Le Tableau 5 indique les valeurs ajoutées que pourraient apporter les facteurs socioéconomiques sur les revenus agricoles des chefs d'exploitation agricole. Les résultats montrent que si la taille de ménage augmente d'un actif agricole, le revenu agricole du chef d'exploitation augmente de 1013 FCFA/hectare (voir Tableau V). Comme la taille du ménage, le niveau d'éducation et la possession des bœufs ont des effets significatifs sur les revenus des exploitants enquêtés. En effet, le niveau d'éducation fait augmenter le revenu agricole jusqu'à 17.603 FCFA/hectare (voir Tableau V). La possession de bœufs a un effet positif sur le revenu au seuil de 5% (Sig = 0,41 (voir tableau V)). Le niveau de revenu agricole moyen des chefs d'exploitation qui possèdent des bœufs est plus important que celui des chefs d'exploitation agricole qui n'en possèdent pas (Figure 13). Cependant, le signe négatif du coefficient du paramètre associé à la variable et sa valeur assez faible (-0,81 (voir tableau 5)) présage une influence négative de l'élevage. Toutefois, dans la pratique, l'effet reste moins remarquable car la possession de bœufs est à première vue un déterminant très indispensable pour la production agricole dans la zone d'étude.

Tableau 5. Résultats des régressions sur les caractéristiques socioéconomiques

Modèle	Coefficients non standardisés		Coefficients standardisés	t	Sig.	90,0% % intervalles de confiance pour B	
	A	Erreur standard	Bêta			Borne inférieure	Limite supérieure
(Constante)	13267,255	31164,963		,426	,671	-38602,818	65137,328
Taille	1013,945	1040,137	,086	,975	,333	-717,229	2745,120
Niveau d'éducation	17603,254	11655,757	,119	1,510	,135	-1796,255	37002,764
Possession de bétail	-24295,238	29766,936	-,164	-,816	,417	-73838,475	25247,999

Avec:

- (Constante) = variable dépendante: revenus agricoles;
- variables indépendantes: Taille de ménages, niveau d'instruction et possession de bétail.
- Sig = paramètre ou coefficient

4 DISCUSSION

L'étude a mis en évidence que l'agriculture à Moundou est tributaire du climat. En effet, les revenus agricoles sont affectés par les modifications du climat. Dans une perspective de changement climatique, la température moyenne globale va augmenter, le régime des précipitations va se modifier, la variabilité climatique sera accrue et les événements extrêmes seront de plus en plus récurrents [7]. Cela pourrait engendrer d'énormes dommages à l'agriculture plus particulièrement dans la zone soudanienne du Tchad qui, d'ores et déjà fait face aux défis du changement climatique. Certes, dans une tendance globale, le revenu agricole dans la zone d'étude est très sensible à la précipitation qu'à la température en système pluvial strict. Cependant, si la moyenne des précipitations augmente de 1 mm, le revenu moyen agricole des chefs d'exploitation augmente de 1,2% FCFA/hectare, soit un gain de revenu agricole de 1633 FCFA/hectare tandis que, l'augmentation de 1% de températures entraîne une baisse des revenus agricoles de 5,65%, soit une perte de 7.692 FCFA/hectare en moyenne pour l'ensemble de chefs d'exploitation. En outre, des réchauffements de 1°C et de 1,5°C par rapport à la moyenne actuelle entraîneront des baisses des revenus respectivement de 19% et de 28% en moyenne pour l'ensemble de chefs d'exploitations. Et, des baisses moyennes annuelles des précipitations de 5% et de 10% engendreront des pertes de revenus respectivement de 12% et de 24% pour l'ensemble de chefs d'exploitation. Ces résultats montrent que la précipitation affecte moins Moundou

que la plaine de Jeffara au sud-est tunisien et l'ensemble de Burkina Faso ([6]; [14]). Tandis que, Moundou est plus affecté par la température que la plaine de Jeffara et l'ensemble de Burkina Faso [14]. D'une manière spécifique, l'analyse a montré que les exploitants moins équipés sont plus affectés que les exploitants moyennement équipés et les exploitants bien équipés du fait de leurs faibles capacités de production à s'adapter car, ils ne sont pas à mesure d'appliquer certaines formes d'adaptation afin de réduire leur exposition et limiter les effets néfastes sur leur exploitation.

5 CONCLUSION

L'agriculture dans la zone soudanienne du Tchad particulièrement à Moundou est significativement affectée par la variabilité climatique. Les simulations à travers des scénarios de diminution des précipitations et d'augmentation des températures ont montré une situation alarmante. L'analyse croisée entre les variables a pu montrer les effets positifs des déterminants socioéconomiques sur les revenus agricoles. En effet, les chefs d'exploitation instruits ont été plus enclins à adopter les innovations d'une part et, que l'instruction permet aux exploitants de comprendre l'utilité des innovations dans les exploitations agricoles d'autre part. Et aussi, l'élevage pourrait être bénéfique pour l'agriculture en ce sens qu'il permettrait d'améliorer la productivité des terres par le fumier et le développement de la traction animale et par ailleurs, les résidus des récoltes constitueront des aliments pour les animaux. Ceci peut servir d'option pour la résilience des systèmes de production agricoles face aux enjeux environnementaux et agroécologique. Toutefois, il n'est pas seulement question de prendre en compte les formes et stratégies développées par les agriculteurs mais, il s'avère aussi nécessaire d'adopter une approche inclusive dans la mise en place des politiques et mesures d'accompagnement de l'agriculture familiale afin de permettre aux exploitants moins équipés de garantir leurs revenus dans ce contexte de climat qui change au Tchad. En outre, si des actions de lutte contre les effets néfastes des changements climatiques ne sont pas engagées, les conséquences à long terme seront importantes.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient également respectivement Directeur des données statistiques du Tchad, les chefs des exploitations, pour avoir créé le cadre ayant permis la réalisation de cette étude.

REFERENCES

- [1] ADAMS R.M., ROSENWEIG C., PEARL R., RITCHIE J., MC CARL B., GLYER D., CURRY B., JAMES J., BOOTE K. et ALLEN H., 1990. «Global Climate Change and U.S Agriculture», *Nature*, 345, pp 219-223.
- [2] CHEBIL A., NADHEM M., TIZAOUI H., 2011. « Impact du changement climatique sur la productivité des cultures céréalières dans la région de Béja (Tunisie) »– In *AJJARE* 6 (2): pp. 144-154.
- [3] DJONDANG K., LEROY J., 2001. Bilan des activités de l'année 2000. Composante conseil de Gestion. ITRAD, Bébédjia, Tchad, 23 p.
- [4] DJONNEWA A., HAVARD M., TARLA F., ZEBAZE I., 2000. Les exploitations agricoles dans les terroirs de référence du Prasac au Cameroun en 1999. Document de travail. Prasac, N'Djamena, Cameroun, 24 p.
- [5] FLEISCHER A., LICHTMAN I., MENDELSON R., 2007. « Climate change, irrigation, and Israeli agriculture: Will warming be harmful? », In *Ecological Economics*, ECOLEC-02900; n° de pages 8.
- [6] 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 [Équipe de rédaction principale, Pachauri, R.K. et Reisinger, A. (publié sous la direction de)]. GIEC, Genève, Suisse, 103 pages.
- [7] GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), 2007. Climate change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.
- [8] HOUCINE J., BEN KHALIFA A., MONGI S., 2013. « Impact des changements climatiques sur l'agriculture dans la plaine de Jeffara au sud-est tunisien. », In *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 107 (2): pp. 229 – 242.
- [9] INSEED (Institut Nationale de la Statistique et des Etudes Economiques et Démographiques), 2014.
- [10] KABUBO-MARIARA J. et KARANJA F., 2007. « The economic impact of climate change on Kenyan crop agriculture: A Ricardian approach », In *Global and Planetary Change* 57: pp. 319–330.

- [11] MBAIGUEDEM M., 2012. *Étude de vulnérabilité et adaptation des femmes rurales face au changement climatique: Cas du Département du Chari au Tchad*. Mémoire Mastère Changement Climatique et Développement Durable, Centre Régional AGRHYMET, Niger, 85 p.
- [12] MENDELSON R. and DINAR A. 2003. « Climate, Water, and Agriculture,» In *Land Economics* 79 (3): pp. 28-41.
- [13] MHUR (Ministère de l'Hydraulique Urbaine et Rurale), 2012. La seconde communication nationale du Tchad sur les changements climatiques.
- [14] OUEDRAOGO M., 2012. « Impact des changements climatiques sur les revenus agricoles au Burkina Faso.,» In *Journal of Agriculture and Environment for International Development – JAEID* 2012, 106 (1): pp. 3 – 21.
- [15] PATUREL J. E., SERVAT E., KOUAME B., BOYER J. F., LUBES H., OUEDRAOGO M. et MASSON J. M., 1997. « Climatic variability in humid Africa along the Gulf of Guinea. Part two: An integrated regional approach. », In *Journal of Hydrology*, pp.16-36.
- [16] RICARDO, D., 1817. *On the principles of political economy and taxation*. John Murray, London, England.
- [17] ROSENZWEIG C. et PARRY M.L., 1994. «Potential impact of climate change on world food supply», *Nature*, 367, pp 133-138.
- [18] SARR B., 2006. « Les changements climatiques et la vulnérabilité des ressources en eau et de l'agriculture, Centre Régional AGRHYMET, DFR, Niamey », In *Communication scientifique*, 22 p.
- [19] VALL E., DONGMO NGOUTSOP A., ABAKAR O., MEYER C., 2002. La traction animale dans le nouveau contexte des savanes cotonnières du Tchad, du Nord-Cameroun, et de la Centrafrique. I. Diffusion de la traction animale et sa place dans les exploitations. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 55 (2): 117-128.