

Adama FAYE*

Malick NDIAYE¹

Abdoulaye NDIAYE¹

maiyaalla@gmail.com

Laboratoire de Recherches en Economie de Saint-Louis (LARES), UFR des sciences économiques et de gestion, Université Gaston Berger, Saint-Louis, BP 234, Sénégal.

L'IMPACT DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR LES RENDEMENTS DES PRINCIPALES CULTURES CÉRÉALIÈRES AU SÉNÉGAL

RÉSUMÉ

Cet article évalue l'impact des changements climatiques sur les rendements des principales cultures céréalières au Sénégal. Notre démarche empirique consiste à combiner une analyse des coefficients de corrélation linéaire à celle de régression multivariée du lien rendement céréalière-changement climatique. Nos résultats montrent que les niveaux de température et de précipitation influencent positivement les rendements céréalières au Sénégal. Toutefois, l'effet économique de la variation des températures est plus important que celui de la variation des précipitations sur le rendement des produits céréalières. Donc, au Sénégal, le faible niveau des températures expliquerait une bonne part des faibles rendements dans la filière céréalière. Les températures moyennes sont encore en-deçà des 29°C qui ne permettent pas de doper la productivité dans la filière céréalière. Ces résultats impliquent d'importantes mesures de politiques économiques dans la filière.

Mots clés : Changement climatique, rendement, cultures céréalières.

JEL classification : O13, Q18, Q54

Abstract :

This article estimates the impact of climate change on the yields of the main cereal crops in Senegal. We used a linear correlation coefficients analysis and multivariate regression for our empirical investigation. Our results show that temperature and precipitation levels have a positive influence on cereal yields in Senegal. However, the economic effect of the variation of the temperatures is more important than of the variation of the precipitation on the cereal yield products. In Senegal, the low level of temperatures would explain a good part of the low yields in the cereals sector. Average temperatures are still below 29°C, which does not boost productivity in the cereals sector. These results imply important economic policy measures in the sector.

Keywords: climate change, yield, cereal crops.

INTRODUCTION

Le réchauffement climatique est aujourd'hui, l'un des défis majeurs de notre planète. Il constitue une menace pour les ressources, l'environnement, la paix et la sécurité entre autres. L'ampleur de ces dégâts nécessite une réponse collective et solidaire de la part de la communauté internationale. De nos jours, l'Afrique est considérée comme l'un des continents les plus vulnérables à la variabilité et aux changements du climat. Le sous-secteur économique de l'agriculture est le plus vulnérable à la sensibilité courante du climat, avec des impacts économiques énormes sur l'environnement et la productivité. Le Sénégal à l'image de ses voisins d'Afrique de l'Ouest, est touché par des changements climatiques à cause de sa forte dépendance de l'agriculture sous pluie qui a pour effet l'accroissement de la pauvreté et l'appauvrissement des sols. Aussi, ces

phénomènes influent négativement sur la pluviométrie entraînant ainsi la baisse de la productivité ou des rendements, la réduction de la sécurité alimentaire, l'augmentation de la température de l'eau, etc., (Secrétariat du NEPAD 2007).

Aussi, le monde scientifique est conscient de l'ampleur des changements climatiques et de ses impacts sur l'économie et sur l'agriculture dans les pays du Sahel notamment au Sénégal. Malgré quelques efforts consentis dans la réduction des gaz à effet de serre, les changements climatiques prennent des proportions inquiétantes avec des répercussions économiques, sociales et environnementales qui s'aggravent d'année en année.

Selon le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat, les changements climatiques peuvent être définis comme étant tout changement du climat dans le temps causé soit par la variabilité naturelle ou par les activités humaines (IPCC, 2007). Ces changements du climat se manifestent par : i) une augmentation de la température moyenne ; ii) des changements dans les régimes de pluies et dans la disponibilité de l'eau ; iii) une élévation du niveau de la mer et la salinisation des écosystèmes et iv) une augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes. Dans le même ordre d'idées, la Convention Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) considère ceux-ci comme étant l'ensemble des variables attribuables directement ou indirectement aux activités humaines, et qui affectent la composition de l'air atmosphérique et s'ajoutent à la variabilité naturelle du climat.

La littérature empirique reste unanime sur les impacts profonds des changements climatiques sur l'agriculture, la sylviculture, l'élevage et la pêche entre autres. En effet, selon une étude prospective menée au Maroc, la réduction des précipitations et l'augmentation des températures atmosphériques tendent à augmenter progressivement l'aridité. Par conséquent, les rendements agricoles baissent (FAO, 2013). De même, une autre étude réalisée au Brésil a indiqué que les changements climatiques peuvent avoir des impacts dramatiques sur différentes cultures suivant leur répartition géographique. Ces résultats indiquent que l'augmentation de l'évapotranspiration conduit à

une augmentation des zones à haut risque climatique pour le coton, le riz, le café, le haricot, le tournesol, le millet et le soja et une diminution pour le manioc et la canne à sucre. Selon Lobell et Field (2007), les changements climatiques affectent différemment les cultures et les régions. Dans une étude portant sur la Chine, Chen, et al. (2014) montrent qu'il existe une relations non linéaires et asymétriques entre les rendements de maïs et de soja et les variables météorologiques. Ils concluent que le changement climatique a entraîné une perte économique nette d'environ 200 millions de dollars pour les filières du maïs et du soja au cours de la dernière décennie en Chine ; et par conséquent, les rendements de maïs et de soja devraient diminuer de 4 à 14% et de 8 à 21% respectivement d'ici 2100. Au Bangladesh, Iqbal et Siddique (2014) trouvent, sur un échantillon de 23 régions de 1975 à 2008, un effet négatif du changement climatique sur la productivité agricole, la pauvreté et la sécurité alimentaire. Dans une autre étude plus récente, Ali et al. (2017) ont évalué les effets du changement climatique (Température maximale, température minimale, précipitations, humidité relative et ensoleillement) sur les principales cultures (blé, riz, maïs et canne à sucre) au Pakistan. En utilisant des séries chronologiques sur la période 1989 à 2015, ils trouvent que la température maximale affecte négativement la production de blé, tandis que la température minimale a un effet positif et significatif sur toutes les cultures. L'effet des précipitations sur le rendement des différentes variétés de culture est négatif, sauf pour le blé.

En Afrique Sub-saharienne, les effets dévastateurs du changement climatique ne sont plus à démontrer comme en témoignent les fréquentes inondations et sécheresses et le changement des systèmes agricoles marginaux (Ngaira, 2007). Les prédictions de hausse de température de 4,5 degrés centigrades d'ici 2030 révèlent déjà que les systèmes agricoles seront sérieusement affectés, en particulier la section de la sécurité alimentaire. Toutefois, de rares études s'intéressent à la question des conséquences des changements climatiques sur le secteur agricole. Au Sénégal, aucune étude, à notre connaissance, n'a été menée dans ce domaine. Certains travaux précurseurs analysent uniquement l'impact du changement climatique sur le développement local, et sur les mesures d'adaptation des systèmes agricoles (Seck et al., 2005 ; Banque

Mondiale, 2010 ; Fabre, 2010) mais pas une évaluation directe de l'incidence des variabilités climatiques sur les filières céréalières. Cet article offre l'intérêt de combler ce vide en évaluant l'impact des changements climatiques sur le rendement des principales cultures céréalières au Sénégal. Dans le rapport de 2009 du Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), on constate que la vulnérabilité du secteur agricole face aux changements climatiques provient principalement de la combinaison de deux phénomènes que sont : la variabilité de la température, d'une part, et d'autre part, la variabilité de la pluviométrie. Ces variations climatiques ont des répercussions négatives sur les rendements des cultures et entraînent une augmentation de la demande en eau des végétaux. Par exemple, les rendements des cultures pourraient être diminués de 86 % par rapport aux rendements actuels dans le pire des cas (une baisse de 50% des précipitations et une hausse de 5°C de la température ; PNUD, 2009).

La suite de l'article est organisée comme suit : la section 2 expose la méthodologie et l'analyse des données et la section 3 porte sur l'analyse des résultats. Enfin, la dernière section présente la conclusion et les recommandations.

1. Méthodologie et analyse des données

Dans cette partie, nous présentons la méthode d'analyse de trend (2.1), ensuite nous définissons le modèle empirique et le choix des variables, et enfin, nous analysons les données.

1.1. Analyse de trend

Le trend annuel est analysé suivant chaque variable climatique. A l'instar de Poudel et Rajib (2016), nous vérifions l'existence de trend positif ou négatif entre nos principales variables d'intérêt en utilisant la méthode de test de trend de Mann-Kendall. Celle-ci est un test non-paramétrique très robuste contre les influences de valeurs extrêmes. En particulier, cette technique peut être adoptée dans le cas des données contenant des valeurs aberrantes et des

trends non linéaires (Partal et Kahya, 2006 et Karpouzou et al., 2010). Le Test de Mann-Kendall avec une limite de confiance de 95% est utilisé comme un test de trend monotone. Dans les caractéristiques du test, l'hypothèse nulle (H_0) signifie qu'il n'y a pas de trend dans la population étudiée. Le H_0 sera rejetée si la p-value $< 0,05$.

Similairement, le trend est calculé en utilisant la méthode de pente de Sen (1968). La pente de Sen est un autre indicateur pour mesurer le trend suivant une procédure non-paramétrique développée par Sen (1968). La pente est calculée en utilisant l'équation suivante :

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad \text{pour } i= 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

Où x_j et x_k constituent les valeurs de x aux dates j et k ($j > k$) respectivement. L'estimateur de la pente de Sen est donné par la médiane des N valeurs de Q_i . Si N est impair, l'estimateur de Sen est donné par la formule $Q_{med} = Q(N+1)/2$, et si N est pair, l'estimateur la pente est défini par $Q_{med} = [QN/2 + Q(N+1)/2]/2$.

1.2. Relation rendement céréalier et changement climatique

Nous associons une analyse des coefficients de corrélation linéaire à celle de régression multivariée du lien rendement céréalier-changement climatique. D'une part, l'analyse des coefficients de corrélation, nous permet de voir s'il existe une forte corrélation linéaire significative entre le rendement céréalier et le changement climatique. D'autre part, la régression multivariée permet de calculer le pourcentage de variation du rendement céréalier suite à une variation de 1% de la variable représentant le changement climatique.

1.3. Modèle empirique et choix des variables

Le modèle empirique est défini par l'équation (2) ci-après :

$$\Delta trend_t = a_0 + a_1 \Delta temp_t + a_2 \Delta precip_t + a_3 \Delta terres_t \quad (2)$$

Où $\Delta rend_t$ représente la variation du rendement céréalier à l'année t , $\Delta temp_t$ et $\Delta precip_t$, définissent respectivement la variation des températures et de précipitations. Enfin, $\Delta terres_t$ représente la variation des terres utilisées dans l'agriculture (en ha). Nous avons ajouté cette variable dans le modèle comme variable de contrôle. Les coefficients a_1 et a_2 sont définis comme étant les paramètres d'impact de la température et des précipitations respectivement.

1.4. Analyse des données

Les données annuelles utilisées proviennent de la base de données de la Banque mondiale (WDI, 2016) sur le Sénégal. L'échantillon couvre la période 1980-2014 pour des raisons de disponibilité des données. La zone d'étude porte sur le Sénégal. Ce dernier est situé à l'extrême Ouest du continent africain, entre 12,5 et 16,5 degrés de latitude Nord. Il couvre une superficie de 196 712 km². Il est limité au Nord par la République Islamique de Mauritanie et à l'Est par le Mali, au Sud par la Guinée Bissau et la République de Guinée, à l'Ouest par l'Océan Atlantique. La Gambie, située entre les régions de Kaolack et de Ziguinchor, forme une enclave sur le cours inférieur du fleuve du même nom. La population est estimée en 2014 à 13 926 253 habitants (ANSD, 2014) dont 54% en zone rurale. L'agriculture emploie 77% de la population active mais contribue à 12,4% du produit intérieur brut. L'agriculture est principalement pluviale et dépend fortement des quantités et de la répartition saisonnière des pluies. Les produits de base (notamment les céréales) sont cultivés pour la consommation locale et le coton et l'arachide sont exportés. Le Sénégal est importateur net de produits céréaliers. Les zones agro-climatiques très fertiles à la production de céréales, notamment la partie nord et sud du pays (la vallée du fleuve Sénégal et le bassin de l'anambé), sont caractérisées par une plus grande variabilité des précipitations, une agriculture pluviale moins diversifiée et une hausse des températures. La production agricole est sujette à la sécheresse et aux menaces liées aux changements climatiques. Ces régions sont très touchées par la sécheresse et leurs populations sont souvent exposées à l'insécurité alimentaire. Les tableaux 1 et 2 et le graphique 3 retracent respectivement, la pente de Sen associée au trend, les statistiques descriptives des variables et l'évolution des trends.

La distribution de la pluviométrie au Sénégal connaît une très forte hétérogénéité à la fois spatiale et temporelle. Sur la période 1981-2014, la moyenne s'affiche à 290,361mm. L'analyse de la pente de Sen associée à la variable précipitation (tableau 2) montre que cette dernière augmente de 7,65mm par année. Bacci, et al. (2013) révèlent qu'au Sénégal, il y a eu une augmentation de la pluie de 100 mm par an en moyenne sur la période 1981-2010 et durant ces cinq dernières années. Ces augmentations pluviométriques sont probablement dues au réchauffement de l'Atlantique Nord (Hoerling, et al., 2006).

En ce qui concerne la température, la moyenne s'établit à 28,471°C attestant que le réchauffement climatique n'a pas encore atteint des seuils critiques au Sénégal. D'ailleurs, la pente de Sen associée à cette variable (tableau 2) confirme une baisse moyenne des températures de 0,04°C par année. De plus, les valeurs moyennes des températures fluctuent entre 27,38°C et 29,2°C. Toutefois, selon les zones agro-climatiques, des variations régionales importantes peuvent être constatées. En effet, les températures suivent une tendance à la hausse au début des années 1980 et atteignent les plus fortes valeurs à partir de 1999 et ne cessent de progresser (Graphique 3). Selon Funk, et al. (2012), les températures ont augmenté de 0,9°C depuis 1975 sur l'ensemble du Sénégal. Cette tendance est plus accentuée à l'intérieures du pays (axe Podor-Bakel-Matam-Kolda) par rapport à l'axe Saint-Louis-Dakar-Ziguinchor qui bénéficient de l'atténuation thermique de l'océan.

Les variations des conditions climatiques pourraient avoir une influence considérable sur les rendements des cultures céréalières. Schlenker and Roberts (2009) ont déterminé un seuil critique de température favorable à la production céréalière. Selon ces auteurs, seuls les niveaux de températures supérieurs à 29°C et 30°C peuvent influencer positivement les rendements céréaliers. Ritchie and Nesmith (1991) trouvent un seuil maximal de 34°C au-delà duquel la température aura un effet néfaste sur les rendements des plantes. Au Sénégal, tous les niveaux de températures moyennes sont en-deçà de 29°C sur la période 1980-2014 à l'exception de l'année 1999. Ces niveaux de température pourraient avoir des effets néfastes sur les rendements céréaliers

(Schlenker and Roberts, 2009). Les rendements céréaliers sont encore très faibles au Sénégal. La moyenne sur la période d'étude s'établit à 866,1 kg/ha (tableau 1). La valeur de la pente de Sen associée à cette variable, soit -20,85kg/ha (tableau 2), révèle que le rendement céréalier diminue de 20,85kg/ha chaque année. Toutefois, le rendement des céréales est caractérisé par une forte variabilité sur la période 1980 à 2014 (entre 547,4kg/ha et 1228,9kg/ha, ce qui montre une distribution inégale de la productivité dans la filière céréalière au Sénégal. Cette inégalité est confirmée par la distribution de la dotation des terres utilisées qui varie entre 912518ha à 1614337ha ; la valeur moyenne se fixe à 1243850ha sur la période d'étude.

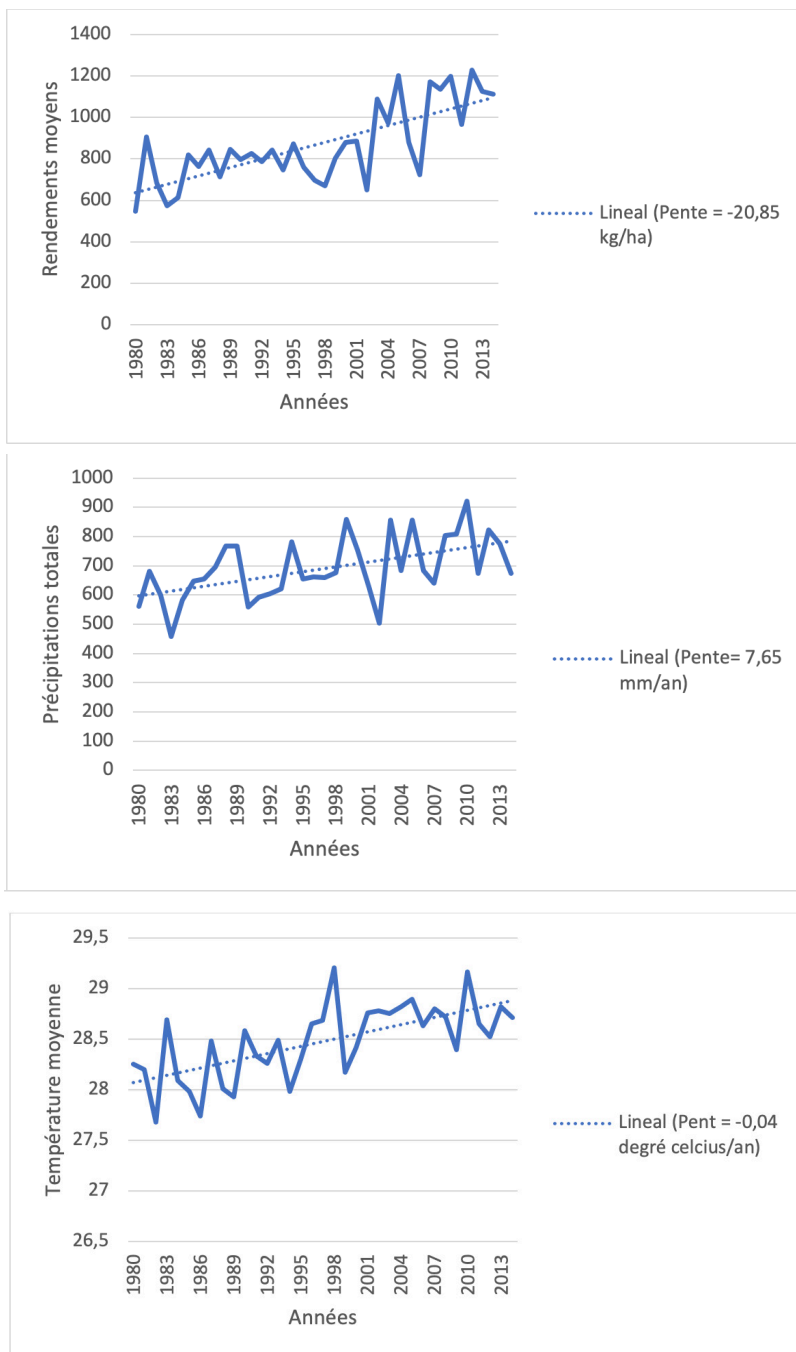
Tableau 1 : Test Mann-Kendall et la pente de Sen évaluée

Variables	Pente de Sen	P-value	Significatif
Return	-20,85kg/ha	0,000	Oui
Temp	-0,04°C	0,000	Oui
Presip	7,65mm/an	0,000	Oui

Tableau 2 : Statistiques descriptives

Variables	Obs.	Moyenne	Ecart-type	Min	Max
Return	35	866,069	189,161	547,4	1228,9
Temp	35	28,471	0,372	27,68	29,2
Presip	35	290,361	107,122	457,62	921,32
Terres	35	1243850	149176,7	912518	1614337

Graphique 3 : Evolution des trends des variables rendements, température et précipitation et les pentes de Sen associées



2. Analyse des résultats

L'analyse des coefficients de corrélation (Tableau 3, annexe) révèle l'existence d'une relation linéaire significative entre le rendement des céréales et nos deux variables d'intérêt. La méthode des moindres carrés ordinaires est donc adaptée dans l'estimation de l'équation (2). En effet, sous les hypothèses standards (c'est-à-dire, les hypothèse d'Homoscédasticité et d'absence d'autocorrélation des erreurs), elle fournit les meilleurs estimateurs. Dans la même veine, le rendement céréalier au Sénégal semble très fortement lié à la pluviométrie avec un coefficient de corrélation estimé à 72,6%. Ce résultat rejoint l'opinion selon laquelle la production agricole du Sénégal est majoritairement sous-pluies.

En ce qui concerne l'évaluation empirique, le tableau 4 rapporte les résultats des estimations de l'impact du changement climatique sur le rendement des produits céréaliers. Nous distinguons dans nos estimations le modèle restrictif (colonne 1, tableau 4) et le modèle de base (colonne 2, tableau 4). Tous les modèles sont globalement significatifs ($prob > Fisher = 0,000$) et les R^2 sont assez élevés avec 54% et 61% attestant une qualité assez bonne des modèles. En effet, les variables reflétant le changement climatique (température et précipitation) expliquent 54% à 61% des variabilités du rendement des produits céréaliers. La méthode des moindres carrés ordinaires fournit les meilleurs estimateurs car les hypothèses d'Homoscédasticité et d'absence d'autocorrélation des erreurs sont toutes respectées (tableau 4).

Ainsi, dans le modèle restrictive (colonne 1, tableau 4), on constate que seule la variation des précipitations exerce un effet positif et significatif sur le rendement des produits céréaliers. Toutefois, en introduisant une variable de contrôle dans le modèle notamment la dotation des terres utilisées dans l'agriculture, les résultats des estimations s'améliorent. En effet, les coefficients associés aux variations de température et de précipitation ressortent tous positif et significatif (colonne 2, tableau 4). Toutefois, l'effet économique de la variation des températures est plus important que celui de la variation des précipitations sur le rendement des produits céréalier. En effet, une baisse

de 1°C de la température entraîne une réduction des rendements de 111, 21kg/ha ; alors qu'une baisse de 1mm des précipitations fait régresser les rendements de 0,796kg/ha. Donc, au Sénégal, le faible niveau des températures expliquerait une bonne part des faibles rendements dans la filière céréalière. Les températures moyennes sont encore en-deçà des 29°C qui ne permettent pas de doper la productivité dans la filière céréalière.

Tableau 4 : Résultats des estimations du lien rendements-changements climatiques

Variables	Return	Return
$\Delta temp$	97,326 (1,82)	111,210 (2,21)*
$\Delta precip$	1,062 (6,06)**	0,796 (3,99)**
$\Delta terres$	-	0,000 (2,34)*
Constant	11,735 (0,53)	13,485 (0,65)
R^2	0,54	0,61
<i>prob> Fisher</i>	0,000	0,000
<i>Test autocorrélation</i>		
	0,123	0,248
<i>(prob>Fisher)</i>		
<i>Breusch-Pagan Test</i>		
<i>(prob>Chi2)</i>	0,399	0,965
<i>Obs,</i>	34	34

* $p < 0,05$ et ** $p < 0,01$ indiquent la significativité respectivement à 10% et 5% ; les valeurs entre parenthèses représentent les T-statistiques.

CONCLUSION

Le Sénégal, à l'instar des autres pays en développement, est confronté à des phénomènes météorologiques extrêmes tels que l'augmentation de température et la baisse des précipitations qui ont impacté les principales cultures. Prenant en compte l'importance de l'agriculture dans l'économie du pays et les moyens de subsistance ruraux, les approches d'adaptation au changement climatique semblent très essentielles.

L'objectif de cet article était d'analyser l'impact du changement climatique (variation des températures et des précipitations) sur les principales cultures céréalières au Sénégal, notamment le blé, le riz, le maïs et le mil. La méthodologie empirique utilisée combine une analyse des coefficients de corrélation linéaire à celle de régression multivariée du lien rendement céréalier-changement climatique. Les résultats montrent que le changement climatique (les niveaux de température et de précipitation) a des effets positifs sur le rendement des principales cultures céréalières. Toutefois, l'impact de la variation des températures sur le rendement des principales cultures céréalières est plus important que celui de la variation des précipitations.

Malgré le fait que la population sénégalaise croît à un taux moyen de 2,6% par an, près de 46,7% de celle-ci vivent en dessous du seuil de pauvreté. Le pays devrait davantage multiplier ses efforts pour faire face aux multiples problèmes liés à la sécurité alimentaire surtout dans les zones rurales. Pour cela, le gouvernement doit, d'une part, assister en nourriture suffisante aux populations les plus vulnérables, et d'autre part, accompagner les acteurs du secteur agricole à l'élaboration de stratégies d'adaptation au changement climatique.

ANNEXE

Tableau 5 : Matrice de corrélation

Variables	Return	Temp	Precip
Return	1,000		
Temp	0,379* 0,025	1,000	
Precip	0,726* 0,000	0,141 0,418	1,000

BIBLIOGRAPHIE

- Ali, S., Liu, Y., Ishaq, M., Shah, T., Abdullah, Ilyas, A., et Ud Din, I., 2017. Climate Change and Its Impact on the Yield of Major Food Crops: Evidence from Pakistan. *foods, MDPI*, 39(6), pp. 7-14.
- ANACIM, PAM, 2012. Climate risk and food security in Senegal: Analysis of climate impacts on food security and livelihoods.
- Bacci, M., Diop, M., et Pasqui, M., 2013. CLIMAT: Encadrement climatique et évaluation du changement climatique dans les régions d'étude. Rapport n°6, PAPSEN, Dakar, p.152.
- Banque mondiale, 2010. Développement local, institutions et changement climatique au Sénégal :Analyse de la situation et recommandations opérationnelles. Draft final, Département du Développement Social, Institutions sociales et changement climatique, 89p.
- Chakirou, R. M., 2006. Réchauffement climatique et agriculture durable en Afrique: Eléments pour un débat. Ecole doctorale Paris-Sorbone, Ufr de Géographie et Aménagement, Paris.
- Chen, S., Chen, X., et Xu, J.,2014. Impacts of Climate Change on Agriculture: Evidence from China. *Environment for Development (EfD)*, 49(EfD DP 14-07), pp. 6-18.
- Cunha, D., Coelho, A., Féres, J., et Braga, M. ,2012. Impacts of climate change on Brazilian agriculture: an analysis of irrigation as an adaptation strategy. the

- International Association of Agricultural Economists (IAAE) Triennial Conference 18-24 August, pp. 4-12.
- De Salvo, M., Begalli, D., et Signorello, G., 2013. Measuring the effect of climate change on agriculture: a literature review of analytical models. *Journal of Development and Agricultural Economics*, 5(2), pp. 499-509.
- Fabre, C., 2010. L'adaptation des agriculteurs vivriers du Sénégal au changement climatique: Cas de la communauté rurale de Sessène, région de Thiès. Faculté des arts et des sciences, Département de géographie. Université de Montréal, p. 134.
- Funk, C., Rowland, J., Adoum, A., Eilerts, G., Verdin, J., et White, L., 2012. A Climate Trend Analysis of Senegal. *U.S. Geological Survey Fact Sheet* (3123), 4.
- Hatfield, J., et Prueger, J., 2011. Agroecology: Implications for Plant Response to Climate Change. Dans S. Yadav, R. Redden, J. Hatfield, H. Lotze-Campen, et A. Hall, *Crop Adaptation to Climate Change* (pp. 27-43). West Sussex, UK.
- Hoerling, M., Hurrell, J., Eischeid, J., et Phillips, A., 2006. Detection and attribution of twentieth-century northern and southern African rainfall change. *Journal of Climatology*, 19, pp. 3989-008.
- Iqbal, K., et Siddique, A., 2014. The impact of climate change on agricultural productivity: evidence from panel data of Bangladesh. *university of western Australia*, 34(discussion paper 14.29), pp. 3-7; pp. 17-19.
- Klein, J., Harte, J., et Zhao, X., 2007. Experimental warming, not grazing, decreases rangeland quality on the Tibetan plateau. *Ecol. Appl.*, 17, pp. 541-557.
- Lobell, D., et Field, C., 2007. Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environ. Res. Lett.*, 2(014002).
- Ludena, C., et Mejia, C., 2012. Climate Change, Agricultural Productivity and its Impacts on the Food Industry: A General Equilibrium Analysis. The International Association of Agricultural Economists (IAAE) Triennial Conference 18-24 August, 27, pp. 6-18.
- Michalska, B., 1998. Yields of faba bean as affected by weather conditions at the Przylewice Experiment Station. *Pam. Puł.*, 92, pp. 147-161.
- Montle, B., et Tewelmedhin, M., 2014. Assessment of farmers' perceptions and the economic impact of climate change in Namibia: Case study on small-scale irrigation farmers (SSIFs) of Ndonga Linena irrigation project. *Journal of Development and Agricultural Economics*, 6(11), pp. 443-454.
- MPEN., 1999. Deuxième communication nationale du Sénégal. Draft, Dakar.
- Ngaira, J. K., 2007. Impact of climate change on agriculture in Africa by 2030. *Scien-*

- tific Research and Essays*, 2(7), pp. 238-243.
- Pereda, P., et Alves, D., 2014. Climate and Weather Impacts on Agriculture: The Case of Brazil. RSA Global Conference Brazil, April 29, pp. 3-16.
- PNUD, 2009.. Rapport National sur le Développement Humain: Changement climatique, Sécurité alimentaire et Développement Humain. Dakar : République du Sénégal, p. 102.
- PNUD, 2010. Rapport National sur le Développement Humain: Changement climatique, Sécurité alimentaire et Développement humain. Dakar: République du Sénégal.
- Sagna, P., Ndiaye, O., Diop, C., Diongue Niang, A., et Sambou, P. C., 2015. Les variations récentes du climat constatées au Sénégal sont-elles en phase avec les descriptions données par les scénarios du GIEC ? *Pollution atmosphérique*, 17(227),pp. 6-11.
- Schlenker, W., et Roberts, M., 2009. Nonlineartemperatureeffectsindicatesevere damages toU.S.cropieldsunderclimatechange. *Proc.Natl.Acad.Sci.*, 106, pp. 15594-15598.
- SECK, M., MOUSSA NA ABOU, M., WADE, S., et THOMAS, J.-P., 2005. Adaptation aux Changements Climatiques: L'étude de cas des systèmes de production agricoles de Sébikotane (Sénégal). IDS, IIED, ENDA TM.
- Spash, C., 2007. Climate change: Need for new economic thought. *Econ. Political Wkly*, 42, pp. 483-490.
- Tobey, J., Reilly, J., et Kane, S., 1992. Economic Implications of Global Climate Change for World Agriculture. *Journal ofAgricultural and Resource Economics*, 17(1), pp. 195-204.
- UKaid, 2013. Economic Impacts of Climate change on farmers in Nioro du Rip, Senegal : An integrated assessment.
- Zhao, D., et Li, Y.-R., 2015. Climate Change and Sugarcane Production: Potential Impact and Mitigation Strategies. *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Agronomy*, 10, pp. 3-6.