

Liens entre la variation des indices agroclimatiques à l'horizon 2050 et le rendement des principales cultures dans la zone agropastorale de production cotonnière de la Commune de Banikoara au Nord du Bénin

Katé Sabai¹, Déguénon Donalde Dolorès², Hounmenou G. Castro^{3*}, Agbangba Codjo Emile¹, Ogouwalé Euloge⁴, Sinsin Brice²

⁽¹⁾Institut National des Recherches Agricoles du Bénin. 01 BP 884 (Bénin).

⁽²⁾Université d'Abomey-Calavi. Laboratoire d'Ecologie Appliquée. 03 BP 1974 (Benin).

⁽³⁾Université d'Abomey-Calavi. Laboratoire de Biomathématiques et d'Estimations Forestières. 04 BP1525 (Benin). E-mail : castrohounmenou@gmail.com

⁽⁴⁾Université d'Abomey Calavi. Département de Géographie. 01BP 2507 (Bénin).

Reçu le 06 octobre 2020, accepté le 22 octobre 2020, publié en ligne le 12 décembre 2020

RÉSUMÉ

Description du sujet. La connaissance des indices agroclimatiques est primordiale pour bien comprendre les facteurs climatiques qui influencent l'agriculture afin de prévoir les impacts potentiels des changements climatiques sur l'agriculture pour mieux s'adapter. C'est ainsi qu'une étude a été réalisée du 15 novembre 2017 au 27 janvier 2018 au Nord du Bénin en vue d'analyser les liens entre la variation des indices et le rendement des principales cultures de la région.

Objectif. La présente étude conduite dans la zone cotonnière de Banikoara vise à simuler le climat futur et à déterminer les patrons de rendements agricoles à l'horizon 2050.

Méthodes. L'étude s'est appuyée sur deux étapes : la recherche documentaire et les enquêtes du terrain qui ont permis de collecter les données climatologiques, des statistiques agricoles sur la période 1971-2012, des informations qualitatives, socio-économiques et socio-anthropologiques. Les modèles mathématiques (DSSAT, Crop-Model FAO, 1978) ont été privilégiés dans le cadre de la présente étude.

Résultats. L'étude a révélé que la quasi-totalité des indices agroclimatiques pourrait se détériorer à l'horizon 2050 entraînant ainsi une augmentation des indices agroclimatiques par culture. De même, les rendements des différentes spéculations ont été très fluctuants entre 1996-1997 et 2011-2012. L'examen des données a révélé que les rendements des cultures vont globalement baisser à l'exception du sorgho - *Sorghum bicolor* (L.) Moench. Toutefois, les rendements resteront très élevés pour le niébé - *Vigna unguiculata* (L.) Walp., le sorgho et le riz - *Oryza* sp. L. Les rendements seront élevés pour l'arachide - *Arachis hypogaea* L. et le cotonnier - *Gossypium* sp L. tandis qu'ils seront moyens pour le maïs - *Zea mays* L., l'igname - *Dioscorea* sp, et le soja - *Glycine max* (L.) Merr..

Conclusion. Les travaux de recherche visant l'amélioration de la performance des indices agroclimatiques constitueraient un aspect très important en vue d'assurer la sécurité nutritionnelle et alimentaire des populations.

Mots-clés : Changements climatiques, Spéculations agricoles, Patrons de rendements agricoles, Nord du Bénin

ABSTRACT

Change in agroclimatic indices by 2050 and the yield of the main crops in the cotton-producing agropastoral zone of Banikoara Commune in Northern Benin

Description of the subject. Knowledge of agroclimatic indices is essential to understand the climatic factors that influence agriculture in order to predict the potential impacts of climate change on agriculture to better adapt. Thus, a study was carried out from November 15, 2017 to January 27, 2018 in northern Benin to analyze the links between the variation in agroclimatic indices by 2050 and the yield of the region's main crops.

Objective. This study carried out in the cotton zone of Banikoara aims to simulate the future climate and to identify patterns of agricultural yields in 2050 horizon.

Methods. The study was based on two stages: documentary research and field surveys which provided climatological data, agricultural statistics for the period 1971-2012, qualitative information, socio-economic

investigations and socio-anthropological statistics. Mathematical models (DSSAT, FAO Crop-Model, 1978) were used in this study.

Results.

The study revealed that almost all agroclimatic indices could deteriorate by 2050, leading to an increase in agroclimatic indices per crop. Similarly, the yields of the various speculations were highly fluctuating between 1996-1997 and 2011-2012. A review of the data revealed that crop yields will decrease overall with the exception of sorghum - *Sorghum bicolor* (L.) Moench. However, yields will remain very high for cowpea - *Vigna unguiculata* (L.) Walp., sorghum and rice - *Oryza* sp. L.. Yields will be high for groundnuts - *Arachis hypogaea* L. and cotton - *Gossypium* sp L while they will be medium for maize - *Zea mays* L., yam - *Dioscorea* sp C., and soya - *Glycine max* (L.) Merr .

Conclusion. Research aimed at improving the performance of agro-climatic indices would be a very important aspect in order to ensure the nutritional and food security of the populations.

Keywords: Climate Change, Agricultural crops, Patterns of agricultural yields, North Benin.

1. INTRODUCTION

Les conditions de production agricole sont devenues de plus en plus difficiles à cause des aléas climatiques (Caquet, 2014 ; Chanzy, 2015). Actuellement, les changements climatiques sont au centre des préoccupations aussi bien des acteurs scientifiques que des décideurs politiques au niveau mondial (Niang, 2009) car ils constituent un des nombreux obstacles au développement humain (Boko, 1988 ; Brown, Crawford, 2008). Les variabilités du climat ont un impact direct sur la production agricole, puisque les systèmes agricoles dépendent en partie de la nature du climat (Boko *et al.*, 2007 ; Mertz *et al.*, 2009).

Les effets du changement climatique sur la production agricole sont particulièrement importants dans les pays en développement où l'agriculture est à 100 % pluviale sans aucune alternative d'irrigation et constitue la principale source d'emplois et de revenus pour la majorité de la population (Delille, 2011 ; Enete et Onyekuru, 2011 ; Agossou, 2012).

Le Bénin, pays côtier, n'échappe pas au dérèglement climatique et à ses effets socio-environnementaux (Brown et Crawford, 2008 ; FIDA, 2008). Cette évolution du climat est préjudiciable à l'économie du pays qui repose essentiellement sur l'agriculture (Gbetibouo, 2009 ; Wethe, 2009 ; UICN, 2011). La région septentrionale du pays, depuis les années 1958, 1977 et 1983, subit le plus fort déficit pluviométrique avec une généralisation de la sécheresse et une baisse constante de nombre de jours de pluie dans les différentes régions de production (Boko *et al.*, 2012). Le raccourcissement de l'unique saison pluvieuse qui caractérise normalement la région, induit un retard dans l'installation des cultures (Houndenou, 1999).

De nombreuses recherches effectuées sur la thématique de changement climatique au Bénin ont

abordé la variabilité climatique et la production cotonnière (Boko, 1988 ; Afouda, 1990 ; Guibert, *et al.*, 2010 ; Gnanglé *et al.*, 2011 ; Agossou *et al.*, 2012). Mais dans un contexte de climat variable et en constante évolution, la connaissance des indices agroclimatiques en lien avec le rendement reste encore très peu connue alors qu'ils demeurent primordiaux dans le but de prévoir les impacts potentiels de ces changements sur l'agriculture. Les intervenants et les producteurs agricoles seront ainsi en mesure de s'adapter aux avantages et aux inconvénients qu'apporteront les changements climatiques.

Le présent travail vise globalement à évaluer l'ampleur de la vulnérabilité de la zone agropastorale de production cotonnière de la commune de Banikoara aux changements climatiques à l'horizon 2050. De façon spécifique, il s'agit de (i) déterminer la variation des indices agroclimatiques de la commune de Banikoara à l'horizon 2050, (ii) analyser les patrons de rendements par culture et par scénario climatique, et enfin (iii) simuler les rendements (kg/ha) des principales cultures en 2050 selon les scénarios pédologiques le plus optimiste. Les enquêtes de terrain et leur exploitation ont abouti à des résultats qui permettent de répondre à l'objectif énoncé.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Zone d'étude

La zone agropastorale de production cotonnière de la commune de Banikoara couvre une superficie de 4397,2 km² dont environ 49 % de terres cultivables et 50 % d'aires protégées (Parc National du W du Niger et la zone cynégétique de l'Atacora). Elle est située au Nord-Ouest du Département de l'Alibori, entre 2°05' et 2°46' de longitude Est et entre 11°02' et 11°34' de latitude Nord et est limitée au Nord par la Commune de Karimama, au Sud par les Communes de Kérou et de Gogounou, à l'Est par la

2.4. Protocole de calcul de la biomasse et du rendement par culture

En somme, l'estimation du "rendement futur" a été faite grâce au DSSAT V4.0 qui utilise les résultats du modèle de photosynthèse élaboré par De Wit (1965) et dans lequel l'évaluation des rendements des cultivars est fondée sur la méthodologie développée par la FAO en 1978. Il est utilisé pour estimer les rendements de cultures en fonction de la génétique, du climat, des sols et des techniques d'utilisation des terres. Le DSSAT V4.0 tient compte également des effets physiologiques bénéfiques des concentrations accrues de CO₂ sur la croissance. Les données climatiques de 2050 à estimer à partir des scénarii empiriques (analogues sec et humide) et des données extraites du HadCM2 et du CSIRO-Tr sur la base des scénarii SRESA2, seront introduites dans le DSSAT V4.0 pour estimer les rendements potentiels des cultures testées. Les variables d'entrée du Crop-Model qui sont utilisées dans la présente étude sont de trois ordres :

Les données climatologiques : Elles concernent les moyennes mensuelles de températures (minimales, maximales et moyennes en °C) ; la vitesse moyenne du vent en m S⁻¹ ; la pluviométrie en mm, l'évapotranspiration potentielle en mm j⁻¹ ; la valeur du rayonnement global en Wm⁻², la tension de vapeur de l'air en hPa, etc.

Les informations sur les cultures choisies : Sur chaque culture « Arachide, Coton, Niébé, Manioc, Igname, Riz, Maïs, Sorgho, Soja » les informations collectées concernent le cycle variétal en jours et l'indice de réponse de la culture au déficit hydrique ; l'indice de surface foliaire à la phase de pleine croissance et l'indice de récolte; le pourcentage de matière sèche et le coefficient cultural à la phase de pleine végétation ; le groupe d'adaptabilité de la culture (C3, C4).

Les informations sur le sol et la possibilité de travail : Elles sont relatives à l'indice du sol, à la texture, à la structure et au pH du sol.

2.5. Détermination des indicateurs de vulnérabilité des rendements

Les indicateurs qui sont calculés sont l'indice d'humidité et l'indice de stress agroclimatique. L'indice d'humidité (IH) mesure le rapport des précipitations (P) à l'évapotranspiration potentielle (ETP) sur une période déterminée. Son expression mathématique est :

$$IM = \frac{\sum P}{\sum ETP} * 100.$$
 Il évalue l'efficacité des précipitations par rapport à la demande climatique. Plus les valeurs sont faibles, plus les périodes sont sèches et moins les cultures se trouvent dans de conditions favorables. L'indice de stress agroclimatique (IAC) est le rapport du déficit

d'évaporation à l'évapotranspiration potentielle (ETP) sur une période donnée. Il est noté :
$$IAC = \frac{(\sum ETP - \sum ETR)}{\sum ETP} * 100.$$
 Dans ce cas, plus la valeur de l'IAC est élevée, plus les cultures se trouvent dans de conditions défavorables et donc difficiles. En somme, les différents indicateurs calculés permettent d'appréhender les facteurs de la vulnérabilité des cultures et leur capacité de résistance à la sécheresse climatique.

2.6. Critères d'appréciation des rendements agricoles

Pour apprécier les rendements, des classes ont été conçues à partir de la méthode de Komolafe *et al.* (1980) qui ont donné les minima et maxima des productions de différentes cultures. Les classes ont été conçues sur la base des maxima. En effet, le rendement maximum de chaque culture donné par Komolafe est pondéré respectivement au ¼ ou 25 %, au ½ ou 50 % et au ¾ ou 75% pour définir les marges de classement de chaque culture. Soit le rendement maximum donné par Komolafe d'une culture, Rendci le rendement réel observé de la culture; les classes suivantes ont été conçues (Tableau 3).

Tableau 3. Classes de rendements agricoles en kg/ha

N°	Cultures	Rend.Très Faible	Rend. Faible	Rend. Moyen	Rend. Fort	Rend. Très Fort
1	Arachide	[1 - 280[	[280-560[	[560-840[	[840-1120[	[1120 et +[
2	Coton	[1 - 325[	[325-650[	[650-975[	[975 - 1300[	[1300 et +[
3	Niébé	[1 - 168[	[168-336[	[336-504[	[504-672[	[672 et +[
4	Manioc	[1 - 6275[	[6275-12550[	[12550-18824[	[18824-25099[	[25099 et +[
5	Igname	[1 - 3136[	[3136-6272[	[6272-9408[	[9408-12544[	[12544 et +[
6	Riz	[1 - 504[	[504-1008[	[1008-1512[	[1512-2016[	[2016 et +[
7	Maïs	[1 - 336[	[336-672[	[672-1008[	[1008-1344[	[1344 et +[
8	Sorgho	[1-196[	[196-392[	[392-588[	[588-784[	[784 et +[
9	Soja	[1-196[	[196-392[	[392-588[	[588-784[	[784 et +[

3. RESULTATS

3.1. Variation de l'Indice agroclimatique (IAC) par culture

La détermination des valeurs de l'IAC par station et suivant chaque culture, entre les temps (1961-1990 et 2050) indique des variations importantes par endroits (figure 2). De l'analyse de cette figure, il ressort que l'IAC connaîtra une augmentation pour la quasi-totalité des cultures. Le taux d'augmentation sera plus faible pour le soja (5,8 %) et plus élevé pour le sorgho (13,5 %). Par contre, le riz sera marqué par un écart négatif estimé à -1,2 %.

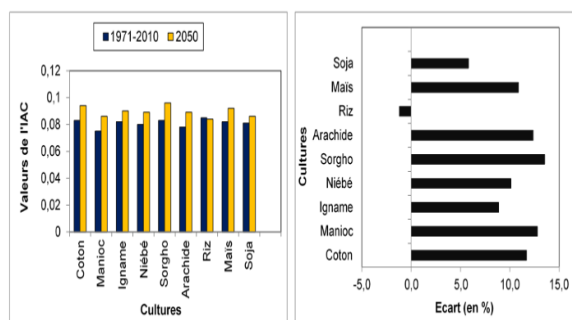


Figure 2. IAC en 1971-2010 et 2050 et écart en pourcentage

3.2. Patrons de rendement par culture et par scénario climatique

Dans la zone agropastorale de production cotonnière de la Commune de Banikoara, les rendements des spéculations ont été très fluctuants et les conditions agroclimatiques futures pourraient être défavorables pour certaines plantes cultivées.

Evolution et rendement futur du niébé

Les rendements du niébé sont très fluctuants d'une année à une autre et sont au-dessus de la limite supérieure d'un rendement fort (figure 3). Il ressort de l'analyse de cette figure que les rendements du niébé ont été très élevés entre les campagnes agricoles 1996-1997 et 2011-2012. Ces rendements sont au-dessus de 672,0 kg/ha avec une moyenne de 850,7 kg/ha pour la variété locale du niébé et de 1083,3 pour la variété améliorée. Les rendements futurs du niébé seront modifiés en fonction des scénarios climatiques et des types de sols (tableau 4).

Tableau 4. Scénarios de rendement futur du niébé

Variables	Sol de type 1 (S1)	Sol de type 2 (S2)	Sol de type 3 (S3)
-10 % de saison humide + 1 °C de température	Bon	Très Bon	Bon
-20 % de saison humide + 1 °C de température	Moyen	Bon	Moyen
-20 % de saison humide + 1,5 °C de température	Faible	Moyen	Moyen
-25 % de saison humide + 1 °C de température	Faible	Faible	Faible
-25 % de saison humide + 2 °C de température	Faible	Faible	Faible

Légende : Sol de type 1 (sol ferrugineux à sesquioxydes et à concrétions sur granito-gneiss), Sol de type 2 (sol ferralitique à concrétions et cuirasses de texture argilo-

sableux et horizons évolués), Sol de type 3 (sol hydromorphe peu humifère sur alluvions).

De l'examen des données du tableau 4, il ressort que le niébé pourrait bénéficier de bonnes conditions de développement dans le cas d'une réduction de 10 % de la DuSC avec une augmentation de + 1 °C sur tous les types de sols cultivables. Le rendement sera moyen sur les sols de type 2 et 3 en cas de diminution de 20 % de la saison humide avec une augmentation de 1 °C de température. Au-delà de ces limites de température, les rendements seront mauvais.

Evolution et rendement futur du maïs

Les rendements du maïs ont été très fluctuants entre les campagnes agricoles 1996-1997 et 2011-2012 (figure 3).

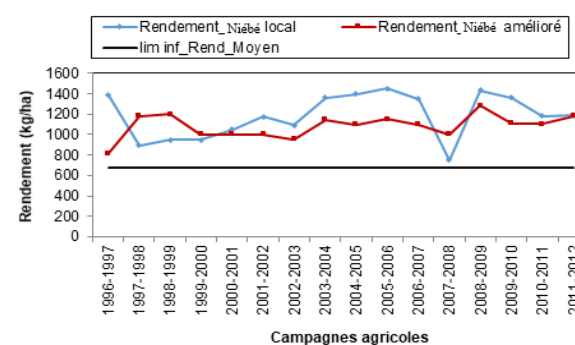


Figure 3. Évolution du rendement du maïs dans la Commune de Banikoara

De l'analyse de la figure 4, il ressort que les rendements du maïs ont été élevés entre les campagnes agricoles 1996-1997 et 2011-2012. Les rendements du maïs local ont été plus importants que ceux du maïs amélioré entre les campagnes 2000-2001 et 2006-2007 et entre 2008-2009 et 2011-2012. En effet, les rendements ont évolué avec une moyenne de 1185,9 kg/ha pour le maïs local et de 1083,3 kg/ha pour le maïs amélioré. Dans les conditions climatiques futures, les rendements du maïs pourraient être modifiés selon les différents types de sols (Tableau 5).

Tableau 5. Scénarios de rendement futur du maïs

Variables	Sol de type 1 (S1)	Sol de type 2 (S2)	Sol de type 3 (S3)
-10 % de saison humide + 1 °C de température	Bon	Bon	Bon
-20 % de saison humide + 1 °C de température	Moyen	Moyen	Moyen
-20 % de saison humide + 1,5 °C de température	Faible	Faible	Faible
-25 % de saison humide + 1 °C de température	Faible	Faible	Faible
-25 % de saison humide + 2 °C de température	Faible	Faible	Faible

Légende : Sol de type 1 (sol ferrugineux à sesquioxydes et à concrétions sur granito-gneiss), Sol de type 2 (sol

ferrallitique à concrétions et cuirasses de texture argilo-sableux et horizons évolués), Sol de type 3 (sol hydromorphe peu humifère sur alluvions).

Le scénario de réduction de 10 % de la DuSC avec une augmentation de +1 °C sur les sols de type S1, S2 et S3'' permet d'obtenir un bon rendement pour le maïs. En cas d'une réduction de 20 % de la DuSC avec une augmentation de +1 °C, les rendements seront moyens. Au-delà de cette limite agroclimatique, les rendements seront faibles sur tous les types de sols.

Evolution et rendement futur de l'arachide

Les rendements de l'arachide ont évolué entre 909,0 kg/ha pendant la campagne agricole 2002-2003 et à 1100,0 kg/ha pendant la campagne 2000-2001 (figure 4).

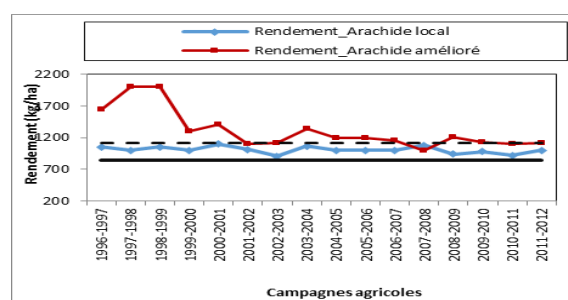


Figure 4. Evolution du rendement de l'arachide dans la Commune de Banikoara

De l'analyse de la Figure 5, il ressort que les rendements de l'arachide améliorée ont été toujours supérieurs à ceux de l'arachide locale sauf pendant la campagne agricole 2007-2008. Le niveau de rendement de l'arachide améliorée n'a plus atteint celui de la campagne 2000-2001 qui était de 1403,0 kg/ha. La moyenne de rendements était de 1005,9 kg/ha pour l'arachide locale tandis qu'il était de 1312,9 kg/ha pour l'arachide améliorée. Les rendements de l'arachide améliorée ont été globalement plus élevés que ceux de l'arachide locale. Dans les conditions climatiques futures, les rendements de l'arachide pourraient être modifiés selon les différents types de sols (Tableau 6).

Tableau 6. Scénarios de rendement futur de l'arachide

Variables	Sol de type 1 (S1)	Sol de type 2 (S2)	Sol de type 3 (S3)
-10 % de saison humide + 1 °C de température	Bon	Bon	Bon
-20 % de saison humide + 1 °C de température	Moyen	Moyen	Faible
-20 % de saison humide + 1,5 °C de température	Faible	Faible	Faible
-25 % de saison humide + 1 °C de température	Faible	Faible	Faible
-25 % de saison humide + 2 °C de température	Faible	Faible	Faible

Légende : Sol de type 1 (sol ferrugineux à sesquioxydes et à concrétions sur granito-gneiss), Sol de type 2 (sol ferrallitique à concrétions et cuirasses de texture argilo-sableux et horizons évolués), Sol de type 3 (sol hydromorphe peu humifère sur alluvions).

Trois scénarios permettent d'obtenir des conditions favorables à l'amélioration du rendement de l'arachide dans la Commune de Banikoara d'ici 2050 (une réduction de 10 % de la DuSC avec une augmentation de +1 °C sur les sols de type S1 ; une réduction de 10 % de la DuSC avec une augmentation de +1 °C sur les sols de type S2 ; et une réduction de 10 % de la DuSC avec une augmentation de +1 °C sur les sols de type S3). A partir d'une réduction de 20 % de la DuSC avec une augmentation 1 °C, les rendements deviendront moyens sur les sols de type S1 et S2 et faibles sur les sols de type S3. Les conditions de rendement seront défavorables sur tous les types de sols en cas d'une réduction de 25 % de la DuSC avec une augmentation d'au moins 1 °C de la température.

Evolution et rendement futur du coton

Les rendements du coton ont été très fluctuants entre les campagnes agricoles 1996-1997 et 2011-2012 (figure 5).

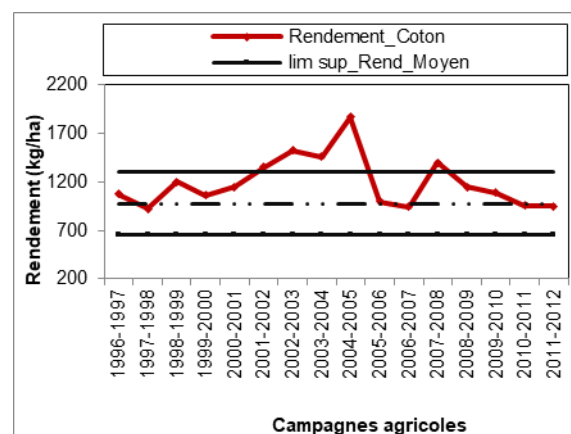


Figure 5. Evolution du rendement du coton dans la Commune de Banikoara

Les rendements du coton ont été très fluctuants d'une année à une autre. Le coton a atteint son rendement record de 1800,0 kg/ha en 2004-2005, puis est passé en dessous des 1500,0 kg/ha au cours des campagnes suivantes. Cette baisse de rendement s'est accentuée depuis 2008-2009 pour atteindre 975,0 kg/ha en 2011-2012. Les rendements ont été globalement élevés même si en 1997-1998, 2006-2007, 2010-2011 et 2011-2012, ils n'ont pas atteint la limite inférieure du rendement. Les rendements futurs du coton pourraient être modifiés selon l'évolution des conditions climatiques et pédologiques (Tableau 7).

Tableau 7. Scénarios de rendement futur du coton

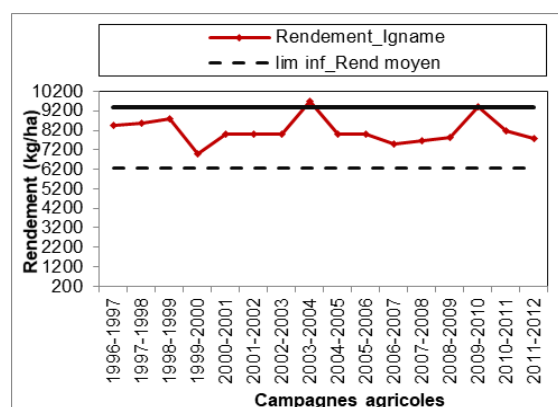
Variabes	Sol de type 1 (S1)	Sol de type 2 (S2)	Sol de type 3 (S3)
-10 % de saison humide + 1 °C de température	Bon	Bon	Bon
-20 % de saison humide + 1 °C de température	Moyen	Bon	Bon
-20 % de saison humide + 1,5 °C de température	Moyen	Moyen	Bon
-25 % de saison humide + 1 °C de température	Faible	Faible	Faible
-25 % de saison humide + 2 °C de température	Faible	Faible	Faible

Légende : Sol de type 1 (sol ferrugineux à sesquioxydes et à concrétions sur granito-gneiss), Sol de type 2 (sol ferralitique à concrétions et cuirasses de texture argilo-sableux et horizons évolués), Sol de type 3 (sol hydromorphe peu humifère sur alluvions).

Plusieurs scénarii prévoient des conditions favorables selon les variables agroclimatiques initiales. Ainsi, selon les scénarios "diminution de 10 % de la DuSC avec une augmentation thermique de 1 °C sur tous les types de sols", les rendements du coton seront bons. Il en est de même pour le scénario "une réduction de 20 % de la saison humide avec une augmentation thermique de 1 °C sur les sols de type S2 et S3. Les conditions agroclimatiques seront défavorables à partir d'une diminution de 25 % de la DuSC sur tous les types de sols.

Evolution et rendement futur de l'igname

Le rendement de l'igname, en moyenne de 8178,6 kg/ha entre 1996-1997 et 2011-2012 a enregistré deux valeurs record de l'ordre de 9700,0 kg/ha en 2003-2004 et de 9430 kg/ha en 2009-2010 (figure 6).

**Figure 6.** Evolution du rendement de l'igname dans la Commune de Banikoara

Les rendements de l'igname ont été dans l'ensemble moyens sur la période d'analyse. La plus faible valeur a été enregistrée en 1999-2000 avec un rendement de l'ordre de 7000,0 kg/ha. Les conditions agroclimatiques futures pourraient être modérément propices à l'igname car aucun scénario ne prévoit non seulement de conditions très favorables pour un bon rendement de l'igname mais non plus de conditions très défavorables (Tableau 8).

Tableau 8. Scénarios de rendement futur de l'igname

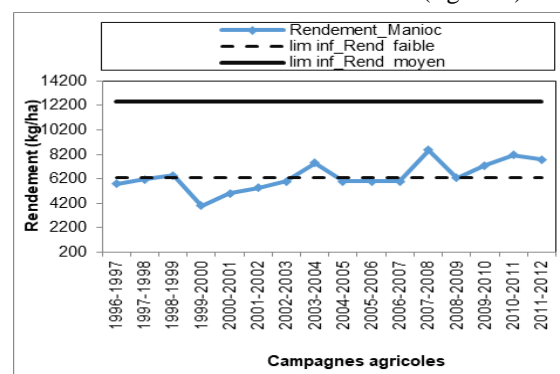
Variabes	Sol de type 1 (S1)	Sol de type 2 (S2)	Sol de type 3 (S3)
-10 % de saison humide + 1 °C de température	Bon	Moyen	Bon
-20 % de saison humide + 1 °C de température	Moyen	Moyen	Moyen
-20 % de saison humide + 1,5 °C de température	Moyen	Moyen	Moyen
-25 % de saison humide + 1 °C de température	Moyen	Moyen	Moyen
-25 % de saison humide + 2 °C de température	Moyen	Moyen	Moyen

Légende : Sol de type 1 (sol ferrugineux à sesquioxydes et à concrétions sur granito-gneiss), Sol de type 2 (sol ferralitique à concrétions et cuirasses de texture argilo-sableux et horizons évolués), Sol de type 3 (sol hydromorphe peu humifère sur alluvions).

Deux scénarios prévoient de bon rendement dans la Commune de Banikoara. Il s'agit d'une réduction de 10 % de la saison humide avec une augmentation thermique de 1 °C sur les sols de type S1 et S3. Les autres scénarios prévoient un rendement moyen pour la culture de l'igname, ce qui indique que cette culture sera moins sensible aux fluctuations climatiques par rapport aux cultures citées supra.

Evolution et rendement futur du manioc

Le manioc a enregistré des rendements globalement faibles entre 1996-1997 et 2011-2012 (figure 7).

**Figure 7.** Evolution du rendement du manioc dans la Commune de Banikoara

De l'analyse de la Figure 8, il ressort que les rendements du manioc n'ont jamais atteint les limites d'un rendement moyen depuis 1996-1997. Ils ont été soit très faibles, soit faibles avec une moyenne de 6 409,0 kg/ha. La plus forte valeur a été enregistrée en 2007-2008 (8551,0 kg/ha) tandis que la plus faible valeur a été observée en 1999-2000 (4000 kg/ha). Les conditions agroclimatiques futures pourraient être davantage défavorables au rendement du manioc (Tableau 9).

Tableau 9. Scénarios de rendement futur du manioc

Variables	Sol de type 1 (S1)	Sol de type 2 (S2)	Sol de type 3 (S3)
-10 % de saison humide + 1 °C de température	Faible	Faible	Moyen
-20 % de saison humide + 1 °C de température	Faible	Faible	Faible
-20 % de saison humide + 1,5 °C de température	Faible	Faible	Faible
-25 % de saison humide + 1 °C de température	Faible	Faible	Faible
-25 % de saison humide + 2 °C de température	Faible	Faible	Faible

Légende : Sol de type 1 (sol ferrugineux à sesquioxydes et à concrétions sur granito-gneiss), Sol de type 2 (sol ferralitique à concrétions et cuirasses de texture argilo-sableux et horizons évolués), Sol de type 3 (sol hydromorphe peu humifère sur alluvions).

Aucun scénario ne prévoit de conditions limites ou favorables pour le rendement de la culture du manioc. Dans le meilleur des scénarios, le rendement sera moyen sur les sols de type S3 en cas d'une réduction de 10 % de la DuSC avec une augmentation thermique de 1 °C.

Evolution et rendement futur du sorgho

Les rendements du sorgho sont globalement très forts entre 1996-1997 et 2011-2012 (Figure 8).

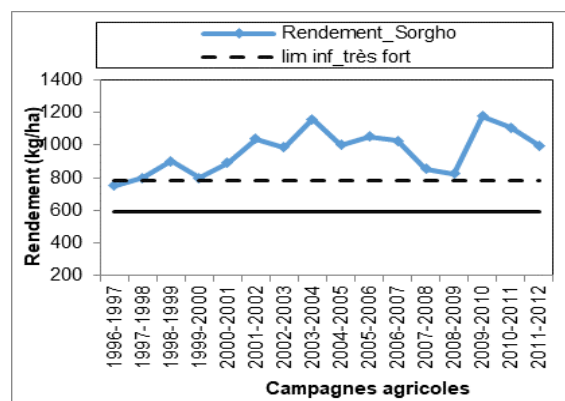


Figure 8. Evolution du rendement du sorgho dans la Commune de Banikoara

Les rendements du sorgho ont été fluctuants et globalement très forts. Ils ont évolué entre 750 kg/ha en 1996-1997 et 1176 kg/ha en 2009-2010 avec une moyenne de 959,6 kg/ha. Les conditions agroclimatiques futures pourraient être davantage défavorables au rendement du manioc (Tableau 10).

Tableau 10. Scénarios de rendement futur du sorgho

Variables	Sol de type 1 (S1)	Sol de type 2 (S2)	Sol de type 3 (S3)
-10 % de saison humide + 1 °C de température	Très bon	Très bon	Très bon
-20 % de saison humide + 1 °C de température	Bon	Bon	Bon
-20 % de saison humide + 1,5 °C de température	Moyen	Moyen	Moyen
-25 % de saison humide + 1 °C de température	Moyen	Moyen	Moyen
-25 % de saison humide + 2 °C de température	Faible	Faible	Faible

Légende : Sol de type 1 (sol ferrugineux à sesquioxydes et à concrétions sur granito-gneiss), Sol de type 2 (sol ferralitique à concrétions et cuirasses de texture argilo-sableux et horizons évolués), Sol de type 3 (sol hydromorphe peu humifère sur alluvions).

Le sorgho se retrouvera dans des conditions agroclimatiques très favorables dans la commune de Banikoara dans le scénario "10 % de diminution de la DuSC couplée de 1 °C d'accroissement de température" et favorable dans le scénario "une réduction de 20 % de saison humide + 1 °C de température". A partir de 20 % de réduction de la saison humide avec une augmentation thermique de + 1,5 °C, les rendements seront moyens.

Evolution et rendement futur du riz

Les rendements du riz ont été fluctuants et ont été globalement élevés entre les campagnes agricoles 1996-1997 et 2011-2012 (figure 9).

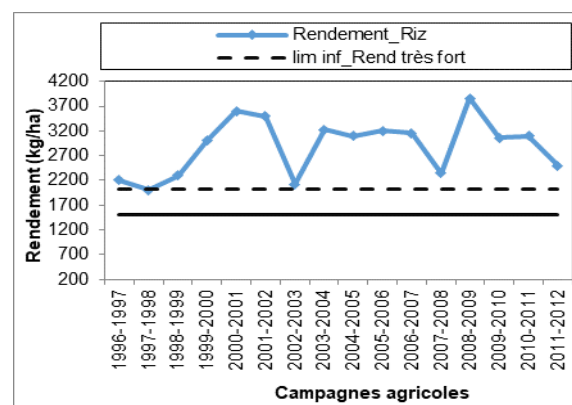


Figure 9. Evolution du rendement du riz dans la Commune de Banikoara

Les rendements du riz ont varié entre 2000,0 kg/ha en 1997-1998 et 3858,0 kg/ha en 2008-2009. Ces rendements ont été généralement élevés et ont dépassé 2016,0 kg/ha. Le rendement moyen était de 2891,6 kg/ha sur la période considérée. Les conditions de bons rendements du riz seront maintenues dans le cas du scénario « une réduction de 10 % de saison humide avec une augmentation de + 1 °C de température sur tous les types de sol (Tableau 11).

Tableau 11. Scénarios de rendement futur du riz

Variables	Sol de type 1 (S1)	Sol de type 2 (S2)	Sol de type 3 (S3)
-10 % de saison humide + 1 °C de température	Bon	Très bon	Très bon
-20 % de saison humide + 1 °C de température	Moyen	Bon	Bon
-20 % de saison humide + 1,5 °C de température	Faible	Moyen	Moyen
-25 % de saison humide + 1 °C de température	Faible	Faible	Faible
-25 % de saison humide + 2 °C de température	Faible	Faible	Faible

Légende : Sol de type 1 (sol ferrugineux à sesquioxydes et à concrétions sur granito-gneiss), Sol de type 2 (sol ferralitique à concrétions et cuirasses de texture argilo-sableux et horizons évolués), Sol de type 3 (sol hydromorphe peu humifère sur alluvions).

Les conditions agroclimatiques seront encore favorables à un bon rendement du riz en cas d'une diminution de 10 % de la saison humide associée avec une augmentation thermique sur tous les types de sol et dans le scénario « une réduction de 20 % de la saison humide avec une hausse de 1 °C de température sur les sols de type 2 (S2) et de type 3 (S3). En cas de réduction de 20 % de la saison humide associée à un accroissement de + 1,5 °C de température, les conditions agroclimatiques seront défavorables à la culture du riz sur les sols de types S1. Les scénarios les plus pessimistes concernent la « réduction de 25 % de la DuSC » quel que soit l'augmentation de la température et le type de sol.

3.3. Evolution probable des rendements moyens

L'examen des données du Tableau 12 révèle que les rendements des cultures vont globalement baisser à l'exception du sorgho où l'écart est positif (+89,29). Toutefois, les rendements resteront très élevés pour le niébé, le sorgho et le riz puis seront élevés pour l'arachide et le coton ; tandis qu'ils seront moyens pour le maïs, l'igname et le soja.

4. DISCUSSION

4.1. Variation de l'Indice agro climatique (IAC) par culture

Le changement climatique global se traduit localement par plusieurs évolutions qui modifient les conditions de production (Afouda, 1990 ; Brown et Crawford, 2008 ; Niang, 2009 ; Caquet, 2014 ; Chanzy *et al.*, 2015). La détermination des valeurs de l'IAC dans la zone d'étude entre les temps (1961-1990 et 2050) indique des variations (augmentation) importantes par endroits pour presque toutes les cultures. Selon FAO (1997), une augmentation des IAC est liée à une élévation de la température et entraverait le métabolisme et la croissance de bon nombre de cultures céréalières. Ainsi, un stress thermique supplémentaire risque de réduire les rendements dans la zone agropastorale de production cotonnière de la Commune de Banikoara. Les températures minimales plus importantes ainsi que les températures maximales plus élevées nuiront généralement à de nombreuses cultures.

Les températures étant déjà proches des valeurs maximales tolérées pour la plupart des cultures testées, il est évident que les rendements des cultures diminueront, même avec une hausse minime des températures associée à l'altération de l'état hydrique qui va engendrer une modification de la matière organique des sols déjà irrationnellement exploités. L'analyse des précipitations, sur la période choisie, montre une tendance à la baisse des pluies. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par certaines recherches scientifiques comme celles de Agossou *et al.* (2012), de Boko *et al.*, (2007) et de Gnanglé *et al.* (2011).

De plus, la baisse des rendements sera accentuée par la détérioration plus accrue de l'état de santé des producteurs et de l'amenuisement de leur moyen de subsistance du fait des changements climatiques. En effet, les conditions climatiques à venir permettraient le développement de certains germes. La résurgence de certaines maladies alors combattues est fort probable du fait des nouvelles conditions écologiques. Ces mêmes analyses ont été faites par Houssou (2000). Les maladies comme la méningite cérébro-spinale pourraient connaître une recrudescence dans le scénario analogue sec à cause des saisons sèches devenues très longues. L'altération de l'état de santé des producteurs pourrait les empêcher de se consacrer aux travaux champêtres. Une telle situation ne ferait qu'aggraver la baisse des productions agroalimentaires. A ces facteurs, s'ajoutera inévitablement la propagation des adventices et des ravageurs des cultures en raison de la hausse des températures (Parry, 1990) ; ce qui affaiblira

davantage le potentiel de rendement de ces cultures et contrarierait les possibilités d'espérer une amélioration des rendements dans le contexte d'un accroissement du CO₂ atmosphérique.

Sous les latitudes tropicales, les mauvaises herbes de même que les maladies cryptogamiques ou encore les ravageurs de culture risquent de se développer plus rapidement (FAO, 1997) parce qu'ils auront désormais un cycle court dans les conditions de températures élevées (Singh, 1992). En conséquence, les feuilles, les tiges et les racines des plantes seront sujettes à des attaques vigoureuses. Ce contexte leur enlèvera toute possibilité de croissance normale, la fonction respiratoire des cultures étant perturbée. Ainsi, on assistera à une augmentation du risque de pertes de récolte.

4.2. Analyse des patrons de rendement par culture et par scénarios climatiques

Les rendements des différentes spéculations ont été très fluctuants entre 1996-1997 et 2011-2012. Ces rendements ont été pour la plupart au-dessus de la limite du rendement très élevé et ceux pour l'arachide, le sorgho et le riz. Les autres spéculations : le niébé, le maïs, le coton et l'igname présentent des rendements moyens à élevés. Le manioc est la culture qui a enregistré les plus faibles rendements. Par ailleurs, les scénarios indiquent des conditions agroclimatiques très favorables pour le sorgho ('diminution de 10 % de la DuSC avec une augmentation thermique de 1 °C pour les sols de types 1, 2 et 3' ; 'diminution de 10 % de la DuSC avec une augmentation thermique de 1,5 °C pour les sols de types 2 et 3'). La culture de l'igname sera, par contre, moins affectée car les pires scénarii indiquent qu'elle sera en conditions limites. Quant au manioc, il se trouvera en conditions très défavorables aussi lorsque la décroissance de la DuSC atteindra 20% et que la température augmentera de 1,5 °C. Les scénarii 'réduction de 25% de la DuSC et une augmentation thermique de 2 °C quel que soit le type de sol, sont également les plus pessimistes pour la plupart des cultures. Ces mêmes scénarii ont fait l'objet des travaux de recherche qui sous-tendent le rapport de International Food Policy Research Institute (IFPRI) et donnent des estimations détaillées des impacts du changement climatique sur la production agricole, la consommation, les prix, le commerce, et sur les coûts de l'adaptation. Ils reposent sur le modèle IMPACT 2009 qui fournit des projections de l'offre et de la demande agricoles mondiales, et sur le modèle biophysique DSSAT utilisé dans cette étude qui permet de simuler l'impact du changement climatique sur les cultures clés suivantes : riz, blé, maïs, soja et arachide et autres. Des auteurs ont apporté des résultats similaires dans la région. En effet, selon Parry

(1990), FAO (1997) et Ogouwalé (2006), les changements climatiques auront de nombreuses répercussions sur les rendements des cultures. L'ampleur des dégâts sera fortement tributaire des espèces et variétés cultivées, des caractéristiques agroclimatiques, de l'ampleur de l'action des ravageurs, des effets directs du dioxyde de carbone (CO₂) sur les plantes, du stress hydrique, de la nutrition minérale, des réactions adaptatives, etc. (GIEC, 2001 et 2007).

Le taux de diminution des rendements aura des ampleurs variables suivant les plantes cultivées : le manioc (-26,7 %), le maïs (-15,6 %) et le coton (-13,7 %) et tout ceci corrobore les résultats de FIDA (2008) ; Gbetibouo (2009) ; Mertz *et al.* (2009) ; Niang (2009) ; Smit (2002) qui constatent également que les difficultés liées aux fluctuations climatiques sont à la base d'une dynamique de la production agricole et par conséquent de la sécurité alimentaire.

En d'autres termes, si le contexte actuel de mise en valeur des terres se maintient, les productions des principales cultures alimentaires vont baisser considérablement. En effet, selon ONASA (1996) et les observations de terrain, les denrées comme l'igname, le maïs, le manioc, le sorgho et le niébé constituent les aliments de base des populations de la zone agropastorale de production cotonnière de la commune de Banikoara. Ces observations présagent, de toute évidence, une précarité alimentaire dans le contexte de changements climatique. Le rendement du coton va décroître significativement induisant soit un changement dans la politique de diversification des produits d'exportation soit un surdosage en intrants chimiques qui pourrait par ricochet engendrer des dommages environnementaux. Les ressources agropastorales de la Commune de Banikoara seront certainement fragilisées. En effet, Nelson *et al.*, (2009) ont obtenu des résultats similaires dans leur étude sur « Changement climatique Impact sur l'agriculture et coûts de l'adaptation » où la modélisation détaillée de la croissance de cultures soumises au changement climatique est associée aux résultats d'un modèle agricole mondial extrêmement détaillé. Elle montre que l'agriculture et le bien-être humain seront défavorablement affectés par le changement climatique. Le rendement des cultures diminuera, la production sera affectée, les prix des productions animales et végétales augmenteront, et la consommation de céréales baissera, avec pour résultat une diminution de l'absorption de calories et une augmentation de la malnutrition infantile.

5. CONCLUSION

Le changement climatique est une réalité au Bénin. Les principales zones de production agricole notamment la zone agropastorale de production cotonnière au Nord du Bénin souffrent du glissement des saisons avec des pluies tardives et de courte durée. Cette situation affecte négativement la production agricole et va s'accroître encore plus. L'approche utilisée dans cette étude a permis de mettre en évidence les liens entre la variation des indices agroclimatiques de la commune de Banikoara à l'horizon 2050 et le rendement des cultures. A ce titre, il existe des variations importantes entre ces deux facteurs. Il ressort de cette étude que les températures sont proches des valeurs maximales tolérées pour la plupart des cultures testées ; les rendements des cultures vont globalement baisser à l'exception du sorgho où l'écart est positif (+89,29). Les travaux de recherche visant l'amélioration de la performance des indices agroclimatiques constitueraient un aspect très important en vue d'assurer la sécurité nutritionnelle et alimentaire des populations.

Références

- Afouda F., 1990. L'eau et les cultures dans le Bénin central et septentrional : Etude de la variabilité des bilans de l'eau dans leurs relations avec le milieu rural de la savane africaine. Thèse de Doctorat nouveau régime : Univ. Paris IV (Sorbonne), Institut de Géographie, 428 p.
- Agossou D.S.M., Tossou C.R., Vissoh V.P. & Agbossou K.E., 2012. Perception des perturbations climatiques, savoirs locaux et Stratégies d'adaptation des producteurs agricoles béninois. *African Crop Science Journal*, 20, 565 -588.
- Berding F. et Van Diepen C. A., 1982 : *Notice explicative des cartes d'aptitude culturale de la République Populaire du Bénin*. Etude n°251, Projet FAO d'Agropédologie, 77 p.
- Boko M., 1988. *Climatologie et communautés rurales du Bénin ; Rythmes climatiques et rythmes de développement*. Thèse de doctorat d'Etat ès-lettres à l'Université de Bourgogne Dijon, 608 p.
- Boko M., Kosmowski F. & Vissin W.E., 2012. *Les Enjeux du Changement Climatique au Bénin: Programme pour le Dialogue Politique en Afrique de l'Ouest*. Konrad-Adenauer-Stiftung, Cotonou, 65 p.
- Boko M., Niang I., Nyong A., Vogel C., Githeko A., Medany M., Osman-Elasha B., Tabo R. & Yanda P., 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", in Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Van Der Linden, P.J. and Hanson C.E. (eds.), *Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press., Cambridge UK, 433 – 467.
- Brown O. & Crawford A., 2008. *Évaluation des conséquences des changements climatiques sur la sécurité en Afrique de l'Ouest : Étude de cas nationale du Ghana et du Burkina Faso*. IIDD, Canada.
- Caquet T., 2014. *Des systèmes innovants face au changement climatique*. INRA Dept EFPA/MP ACCAF, Science & Impact. APCA-ADEME, Paris, France, 16 p.
- Chanzy A., Martin G., Colbach N., Gosme M., Launay M., Loyce C., Metay A. & Novak S., 2015. *Adaptation des cultures et des systèmes de culture au changement climatique et aux nouveaux usages*. Institut National de la Recherche Agronomique, Centre de Recherche Val de Loire, Orléans, France, www.ea.inra.fr, 5 p.
- Delille H., 2011. *Perceptions et stratégies d'adaptation paysannes face aux changements climatiques à Madagascar : Cas des régions Sud-ouest, Sud-est et des zones périurbaines des grandes agglomérations*. <http://www.avsf.org/public/posts/704>, Consulté en septembre 2013, 108 p.
- Enete A.A. & Onyekuru A.N., 2011. Challenges of Agricultural Adaptation to Climate Change: Empirical Evidence from Southeast Nigeria. *Tropicultura*, 29, 243-249.
- FAO, 1978. *Crop yield simulation model and report on the Agro-ecological zones project*; Vol. 1: Methodology and results for Africa. World Soil Resources Report, FAO, Rome, Italy. 48 p.
- FAO, 1997. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture. Collection FAQ: Agriculture. Roma, 17 p.
- FONDS INTERNATIONAL DE DEVELOPPEMENT AGRICOLE (FIDA), 2008. *Le FIDA et le changement climatique*. Consultation sur la huitième reconstitution des ressources du FIDA, Rome, Italie, 27 p.
- Gbetibouo G.A., 2009. Understanding farmer's perceptions and Adaptations to Climate Change and variability. The case of the Limpopo Basin, South Africa. *IFPRI Discussion Paper* 00849, 41 p.
- GIEC, 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.J. GIEC. Genève, 103 p.

Gnangle C.P., Glele-Kakaï R., Assogbadjo A.E., Vodounnon S., Yabi J.A. & Sokpon N., 2011. Tendances climatiques passées, modélisation, perceptions et adaptations locales au Bénin. *Climatologie*, Vol. 8, 16 p. DOI : [10.4267/climatologie.259](https://doi.org/10.4267/climatologie.259)

Guibert H., Alle U. C., Dimon R.O., Dedehouanou H., Vissoh P. V., Vodouhe S.D., Tossou R.C. & Agbossou E.K., 2010. *Correspondances entre savoirs locaux et scientifiques : perceptions des changements climatiques et adaptations*. ISDA, Montpellier, France. Cirad-Inra-SupAgro, 12 p.

Houndenou C., 1999 : Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide: l'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation. Thèse de doctorat en Climatologie, Université de Bourgogne, Dijon, 390 p.

INSAE, 2003. *Rapport des statistiques agricoles du département de l'Atacora*. Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique. 76 p.

Issa, 1995. Impacts potentiels d'un changement climatique dû au doublement du CO₂ atmosphérique sur l'agriculture en République du Bénin. Mémoire de DESS. Université Senghor d'Alexandrie, 113 p.

Komolafe M. F, Adegbola A. A, Are L. H. and Ashaye T. I., 1980. *Agricultural Science for West African schools and colleges*. 2nd edition Oxford University Press Ibadan. 191-196.

MAEP, 2016. *Compendiums des statistiques agricoles*. Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche. 146 p.

Mertz O., Mbow C., Reenberg A., Diouf A., 2009, "Farmers' perceptions of climate change and agricultural adaptation strategies in rural Sahel", *Environmental Management*, No.43, 8-16. DOI : [10.1007/s00267-008-9197-0](https://doi.org/10.1007/s00267-008-9197-0)

Nelson G. C., Rosegrant M.W., Koo J., Robertson R., Sulser T., Zhu T., Ringler C., Msangi S., Palazzo A., Batka M., Magalhaes M., Valmonte-Santos R., Ewing M. & Lee D., 2009. *Climate change: Impact on agriculture and costs of adaptation*. Food Policy Report 21. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute (IFPRI). <http://www.ifpri.org/publication/climate-change-1>

Niang I., 2009. Le changement climatique et ses impacts : les prévisions au niveau mondial, in : IEPF (eds.). *Adaptation au changement climatique. Liaison Énergie-Francophonie*, 85, 13-19.

ONASA, 2015. *Compendiums des statistiques agricoles des principales cultures du Bénin*. Office National d'Appui à la Sécurité Alimentaire.

Parry, M. 1990: Climate change and world agriculture. London: Earthscan Publications Ltd in association with The International Institute for Applied Systems Analysis and United Nations Environment Programme. DOI : [10.1177/030913339101500410](https://doi.org/10.1177/030913339101500410).

Singh, P., Boote, K.J. and Kumar, U. 2012. Evaluation of genetic traits for improving: Productivity and adaptation of groundnut to climate change in India. *Journal of Agronomy and Crop Science* 198, 399-413.

Smit B. & Skinner M.W., 2002. Adaptations options in agriculture to climate change: A typology. Mitigation and Adaptation", *Strategies for Global Change*, 7, 85–114.

UICN, 2011. *Rapport synthèse des études de capitalisation des connaissances, pratiques, stratégies et technologies locales d'adaptation au changement climatique au Burkina Faso, Mali et Sénégal. Version finale*. Projet « Intégration de l'adaptation au changement climatique dans les stratégies de réduction de la pauvreté en Afrique de l'Ouest », 22 p.

Wethe J., 2009. *Systèmes énergétiques : Vulnérabilité - Adaptation - Résilience (VAR), Région étudiée : Afrique sub-saharienne, Burkina Faso*. HELIO International, MAAIONG-GTZ, 48 p. www.iisd.org/pdf/2008/security_implications_west_africa_fr.pdf, Consulté en mars 2019, 74 p.