

Variabilité climatique et rendements de l'anacarde dans les zones non marginales de production au Bénin - Effet des extrêmes climatiques

Anselme Yénakpon TCHETANGNI*, Yvon-Carmen HOUNTONDI et Christine Ajokè Ifètayo
Nougbodé OUINSAVI

Laboratoire d'Etudes et de Recherches Forestières (LERF), Département Aménagement et Gestion des Ressources Naturelles, Ecole Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau, Université de Parakou, BP 123 Parakou Bénin

* Correspondance, courriel : tchyanseme@yahoo.fr

Résumé

La présente étude vise à analyser l'effet de l'extrême des variables climatiques sur la production des noix d'anacarde au Bénin. Elle a été conduite dans sept localités couvertes par trois zones agro écologiques favorables à l'anacarde. Les variables thermiques et pluviométriques sont collectées au niveau de quatre stations synoptiques sur la période 1960-2016. Les données de rendement sont collectées au niveau des producteurs sur sept campagnes agricoles. Une commande libre exécutable sous R (RClmDex) a été utilisée pour générer les indices d'extrêmes climatiques. Le test de corrélation a été réalisé entre les extrêmes climatiques pertinents et le rendement en noix d'anacarde. Les résultats montrent que la durée de la saison sèche (CDD) et les températures maximales quotidiennes (TXx) sont croissantes au niveau de toutes les stations synoptiques de 1960 à 2016 au Bénin. Les précipitations totales annuelles (PRCPTOT) sont décroissantes et varient de 1,017 (Bohicon) à 3,347 (Natitingou) mm/an. Les valeurs maximales mensuelles de la température minimale quotidienne (TNx) montrent une allure significativement croissante au niveau de toutes les stations et augmentent de 0,027 (Natitingou) à 0,038 (Savè) °C. Le rendement en noix d'anacarde varie significativement d'année en année suivant le pourcentage des nuits relativement chaudes et les zones agro écologiques. Le rendement en noix d'anacarde a une corrélation positivement significative avec le total pluviométrique annuel ($r = 0,36$, $p = 0,011$) et négativement significative avec le maximum des températures maximales ($r = -0,34$, $p = 0,017$). Il est nécessaire de développer au Bénin des stratégies d'adaptation aux événements d'extrêmes pluvieux et de température.

Mots-clés : *effet, extrême climatique, rendement, anacarde, Bénin.*

Abstract

Climate variability and cashew nuts yields in no-marginal areas in Bénin - Effect of climate extremes

This study assessed the effect of extreme of climatic variables on cashew nut production in Benin. The study was conducted in seven localities covered by three ecological zones which are favorable to cashew tree. Temperature and rainfall data collected in four meteorological stations over period from 1960 to 2016. The data yield were collected over seven agricultural campaign in cashew producers. An extension under R

(RCLimDex) was used to generate extreme climatic index according to the tolerable limits allowed by cashew tree. Pearson correlation test was used to test the significance of the relationship between extreme climate variables and nuts yield. Results showed that duration of dry season (CDD) and maximum temperature daily (TXx) were creasing at the level of meteorological stations from 1960 to 2016 in Benin. Total annual rainfall (PRCPTOT) were decreasing and varied from 1.017 (Bohicon) to 3.347 mm/an (Natitingou). Maximum monthly values of minimum temperature drily (TNx) showed a pace creasing significantly at the level of meteorological stations, from 0.027 (Natitingou) to 0.038 °C (Savè). The cashew nuts yield varied significantly over time following the percentage of hot nights and agroecological zones. There was a positive correlation between cashew nut yield and total annual rainfall ($r=0.36$, $p=0.011$) and significant negatively with the maximum of extreme temperatures ($r=-0.34$, $p=0.017$). We suggest the need of developing adaptation strategies that will favor the sustainable production of cashew nut in environments constrained by climate variability.

Keywords : *effect, extreme climate, yield, cashew tree, Benin.*

1. Introduction

La production des noix d'anacarde rapporte un intérêt pour des millions de populations et de ménages en Afrique en général et au Bénin en particulier. En dépit de la situation favorable au développement de cette spéculation au Bénin, un grand nombre de contraintes freinent le développement de la filière en amont [1]. L'une de ces contraintes est la variabilité climatique qui a un impact décisif sur le rendement de l'anacardier [2]. La variabilité climatique, objet d'inquiétude pour les agriculteurs en général et surtout pour les producteurs de noix de cajou en particulier, affecte négativement les rendements des cultures [3]. L'étude des impacts du changement climatique sur l'anacarde a été faite en Côte d'Ivoire et au Ghana afin d'anticiper sur les conséquences de cette perturbation sur la productivité des arbres [4]. Elle a été réalisée aussi au Bénin sur l'analyse des tendances climatiques et son impact sur l'anacarde [5], sur l'effet des facteurs climatiques sur la productivité de la noix de cajou [1]; au centre du pays sur la perception des producteurs de l'effet du changement climatique [6] et les contraintes climatiques pour le développement de l'anacardier [7]. Mais aucune de ces études sur l'anacardier n'a tenu compte des extrêmes climatiques qui facilitent l'explication du changement climatique et son impact sur l'anacardier. Il devient impérieux et urgent de mieux comprendre et caractériser les extrêmes climatiques pertinents et surtout d'analyser leur incidence sur le rendement en noix d'anacarde. Ce qui facilitera l'orientation des décisions sur les stratégies d'adaptation aux changements climatiques. L'un des moyens utilisés pour décrire de façon synthétique les conséquences du changement climatique est l'élaboration des indices d'extrêmes climatiques [8]. Ces indices sont de plus en plus recommandés pour des analyses d'extrêmes climatiques [9]. La présente étude s'inscrit dans cette logique. Elle a pour objectifs de caractériser les extrêmes climatiques pertinents dans les zones de production de l'anacarde au Bénin et d'analyser le niveau d'association entre le rendement en noix d'anacarde et les extrêmes climatiques pertinents. Les résultats de cette étude permettront aux acteurs de la filière de connaître l'effet des extrêmes climatiques sur le rendement en noix d'anacarde et les motiver pour identifier des stratégies d'adaptation au Bénin.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation de la zone d'étude

La présente étude a été conduite dans les zones agro écologiques favorables à la culture de l'anacardier au Bénin [10]. Il s'agit des zones agro-écologiques : 3 = zone vivrière du Sud Borgou 4 = Zone Ouest Atakora, 5 = zone cotonnière du centre (*Figure 1*).

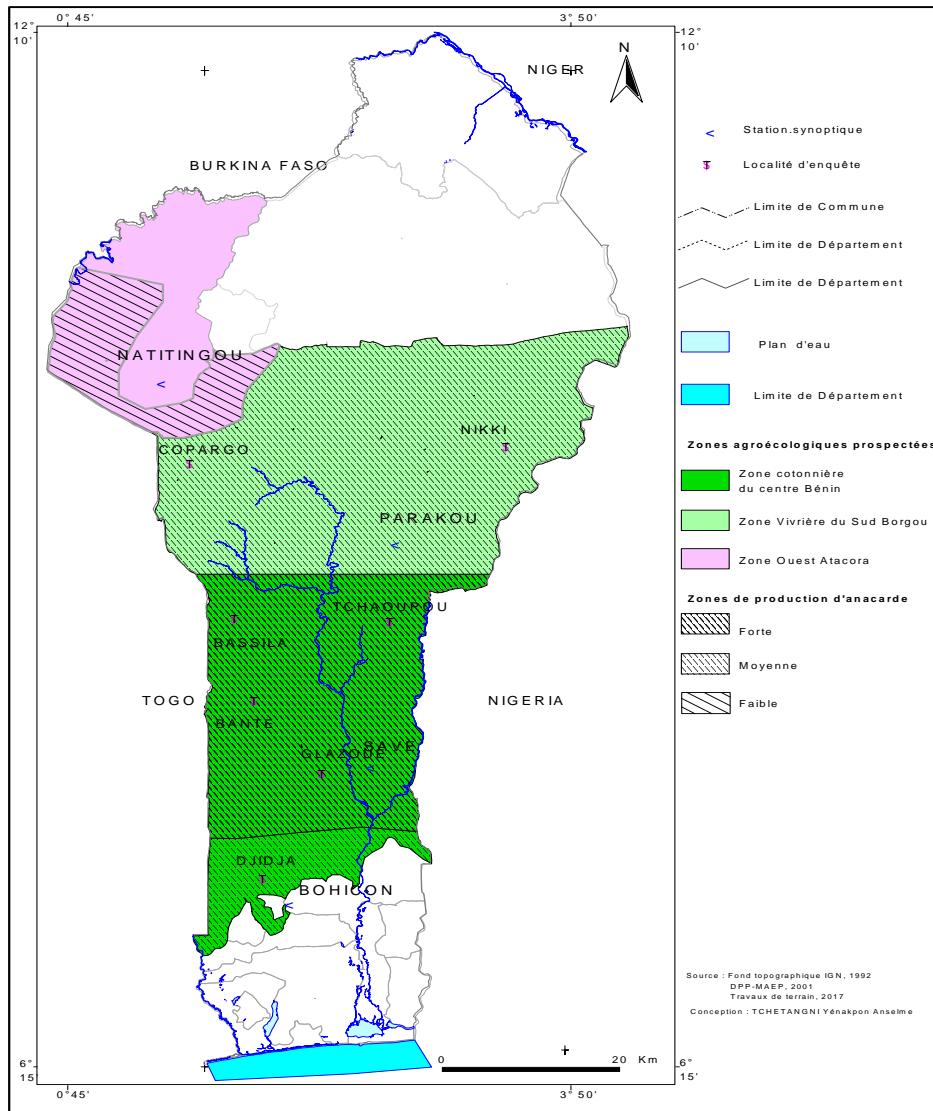


Figure 1 : Localisation des zones agro écologiques et des zones de production d'anacarde prospectées

2-2. Méthode de collecte des données

Les variables climatiques (température maximale et température minimale (°C), pluviométrie (mm) sont collectées au niveau des stations météorologiques de l'ASECNA (Agence pour la Sécurité et la Navigation Aérienne en Afrique et au Madagascar) de Cotonou sur la période 1960-2016 pour les stations synoptiques de Bohicon, Parakou, Savè et de Natitingou suivant la méthode de [11]. Après la récolte, les producteurs stockent les noix d'anacarde dans des sacs de jute, soit dans leur magasin ou dans leur chambre. Ils connaissent le nombre total de sacs de noix récoltées par an. La quantité moyenne de noix par sac de jute varie entre 80 et 90kg selon le modèle du sac. A partir des stocks de noix, des données de rendement sont obtenues au niveau des producteurs dans sept localités suivant les zones agro écologiques [12] et les zones de production favorables de l'anacardier au Bénin (*Figure 1*). Les données collectées au niveau de 560 producteurs et à l'aide d'un questionnaire ont permis de recueillir des informations quantitatives [13]. Les informations quantitatives relatives au rendement en noix d'anacardier sont obtenues à partir des noix stockées par les producteurs dans leur magasin ou dans leur chambre au cas par cas suivant le modèle du sac utilisé. Les informations ont été recueillies sur sept campagnes agricoles de 2010 à 2016.

2-3. Méthode d'analyse des données

2-3-1. Indices des extrêmes climatiques

L'option choisie dans le cadre de cette étude est le calcul des indices d'extrêmes climatiques car ils peuvent être appliqués à différents paramètres du climat tels que les températures minimales, les températures maximales et les précipitations au pas de temps journalier. Ils permettent aussi une comparaison facile des tendances entre diverses régions appartenant à différentes zones. De plus, les indices des extrêmes climatiques sont facilement compréhensibles et maniables pour des études d'impacts climatiques [14]. De nombreux indices climatiques ont été définis par la communauté des climatologues. Un total de 27 indices a été suggéré par l'Equipe d'experts sur la détection d'indices du changement climatique. Dans le cadre de cette étude, RClimDex a été utilisé pour générer les indices d'extrêmes climatiques suivant les recommandations de l'équipe d'experts pour la détection des changements climatiques [8, 11, 15]. Ces indices ont été générés en tenant également compte du seuil de température et de pluviométrie favorable à l'anacardier au Bénin qui sont respectivement 22 à 35°C et 800 à 1800 mm par an en une seule saison qui dure de 5 à 7 mois [15 - 17].

Tableau 1 : Indices pertinents utilisés pour la caractérisation des événements pluvieux extrêmes

Précipitations			
Indices	Noms de l'indice	Définition	Unité
PRCPTOT	Total pluviométrique annuel	Précipitations totales annuelles des jours pluvieux (RR ≥ 1,0 mm)	mm
CDD	Jours secs consécutifs	Nombre maximal de jours consécutifs avec précipitations journalières < 1 mm	Jour
CWD	Jours pluvieux consécutifs	Nombre maximal de jours consécutifs avec des précipitations journalières ≥ 1 mm	Jour
SDII	Indice d'intensité journalière simple	Total annuel des précipitations sur le nombre des jours pluvieux (PRCP ≥ 1,0 mm)	mm/jour

Tableau 2 : Indices pertinents utilisés pour la caractérisation des températures extrêmes

Températures			
Indices	Noms de l'indice	Définition	Unité
SU35	Jour plus chaud	Nombre de jours dans l'année de Tx (maximum journalière) > 35°C	Jour
TXn	Minimum des Tmax	Valeur minimale mensuelle de la température maximale quotidienne	°C
TNx	Maximum des Tmin	Valeur maximale mensuelle de la température minimale quotidienne	°C
TXx	Maximum des Tmax	Valeur maximale mensuelle de la température maximale quotidienne	°C
TX90p	Jours relativement chauds	Pourcentage des jours avec Tmax > 90eme Percentile	%jours
TN90p	Nuits relativement chaudes	Pourcentage des jours avec Tmin > 90eme Percentile	%jours

2-3-2. Méthode d'association entre indices d'extrêmes climatiques et entre le rendement en noix d'anacarde

Pour tester la corrélation linéaire entre les extrêmes climatiques d'une part et entre les extrêmes climatiques et le rendement d'autre part, la bibliothèque Hmisc [18] a été utilisée. La distribution de toutes les variables ne suivait pas une distribution normale même après une log-transformation. Ainsi, les corrélations de rang de Spearman ont été utilisées [19]. Pour tester l'effet des extrêmes climatiques sur le rendement en noix, une régression linéaire à effet mixte a été utilisée avec la bibliothèque LME4 [20]. Le total pluviométrique annuel, le pourcentage de nuits relativement chaudes, le maximum des températures maximales, l'année, la zone agro écologique ont été considérées comme facteurs fixes. Les localités emboîtées dans les zones agro écologiques ont été considérés comme facteurs aléatoires. Neuf modèles ont été proposés (**Tableau 6**). Le modèle ayant un AIC (*Akaike Information Criterion*) le plus petit a été choisi comme le meilleur [21]. Toutes les analyses ont été réalisées sous R version 3.4.1 [22]. Le graphe (**Figure 2**) a été construit en utilisant la bibliothèque ggplot2 [23].

3. Résultats

3-1. Tendance des indices pertinents utilisés pour la caractérisation des événements pluvieux extrêmes

Le nombre maximal de jours consécutifs avec précipitation journalière inférieure à 1mm (CDD) qui exprime la durée de la saison sèche est croissant au niveau de toutes les stations synoptiques et sur toute la période de l'étude (**Tableau 3**). Le nombre maximal de jours consécutifs avec des précipitations journalières ≥ 1 mm (CWD) qui exprime la durée des saisons pluvieuses est décroissant sur toute la période de l'étude et au niveau de toutes les stations synoptiques (**Tableau 3**). Ces tendances décroissent avec un taux qui varie de 0,012 (Parakou) à 0,054 (Natitingou) mm/jour. Au niveau des stations synoptiques de Bohicon et de Natitingou, elle est significativement décroissante. Les tendances des indices extrêmes de précipitations totales annuelles (PRCPTOT) sont décroissantes au niveau de toutes les stations synoptiques. Ces tendances indiquent une diminution progressive des pluviométries de 1960 à 2016. Cette diminution varie de 1,017 (Bohicon) à 3,347 (Natitingou) mm/an et est significative au niveau de la station de Natitingou (p-value = 0,046) (**Tableau 3**). La tendance des intensités de pluies journalières (SDII) est décroissante au niveau des stations synoptiques de Parakou, Natitingou et à Savè mais croissante au niveau de la station synoptique de Bohicon (**Tableau 3**). L'intensité de pluies journalières a une tendance en baisse significative au niveau de la station synoptique de Parakou (p-value = 0,023).

Tableau 3 : Caractéristique des événements pluvieux extrêmes pertinents

Extrêmes climatiques	Stations synoptiques	R ²	p-value	Slope estimate	Slope error
CDD	Bohicon	6,4	0,066	0,427	0,244
	Natitingou	1,5	0,357	0,197	0,213
	Parakou	2,6	0,236	0,296	0,247
	Savè	0,6	0,592	0,11	0,203
CWD	Bohicon	19	0,002	-0,036	0,011
	Natitingou	11,3	0,01	-0,054	0,02
	Parakou	1,7	0,343	-0,012	0,013
	Savè	2,7	0,252	-0,017	0,015
PRCPTOT	Bohicon	0,5	0,639	-1,017	2,154
	Natitingou	7	0,046	-3,347	1,639
	Parakou	2,3	0,266	-2,067	1,84
	Savè	5,4	0,103	-3,297	1,986
SDII	Bohicon	9,9	0,031	0,034	0,015
	Natitingou	2,9	0,204	-0,016	0,012
	Parakou	9,2	0,023	-0,045	0,019
	Savè	0	0,97	-0,001	0,014

R² = coefficient de détermination, p-value = la probabilité, Slope estimate = la pente d'estimation, Slope error = Erreur de la pente

3-2. Tendance des indices pertinents utilisés pour la caractérisation des températures extrêmes

Les tendances du nombre de jours de l'année quand le maximum de la température journalière (Tx) est supérieure à 35°C (SU35); jours plus chauds sont significativement croissants au niveau de toutes les stations synoptiques étudiées. Ces tendances augmentent respectivement de 0,962 à 1,545°C/jour de Bohicon à Savè et suivent un gradient nord-sud entre Natitingou, Parakou et Savè (*Tableau 4*). Les tendances de l'indice du minimum mensuel des températures maximales quotidiennes (TXn) de 1960 à 2016 sont croissantes au niveau de toutes les stations synoptiques étudiées. Ces tendances augmentent de 0.006 (Bohicon) à 0.032 (Savè) °C/jour. A l'exception de la station synoptique de Bohicon, l'accroissement est significatif au niveau de toutes les autres stations (*Tableau 4*). Les valeurs maximales mensuelles de la température minimale quotidienne (TNx) de 1960 à 2016 au Bénin montrent une allure significativement croissante au niveau de toutes les stations synoptiques étudiées. Ces tendances augmentent respectivement de 0,027 à 0,038 °C de Natitingou à Savè (*Tableau 4*). La tendance de l'indice des maximums des températures maximales quotidiennes (TXx) de 1960 à 2016 au Bénin est croissante au niveau de toutes les stations synoptiques. A l'exception de la station synoptique de Bohicon, ces tendances sont significatives au niveau des autres stations étudiées (*Tableau 4*). L'indice du pourcentage de jours relativement chauds (TX90P) de 1960 à 2016 augmente d'année en année au Bénin et de façon significative sur toutes les stations étudiées (*Tableau 4*). Au fur et à mesure que les journées chaudes augmentent, la transpiration des plantes en générales et en particulier d'anacardier pouvait augmenter. La plante perd de l'eau plus qu'il en faut et le rendement s'en trouve perturbé. L'indice du pourcentage des nuits chaudes (TN90P) de 1960 à 2016 au Bénin est significatif avec une allure croissante (*Tableau 4*). Cette augmentation du pourcentage des nuits chaudes peut influencer négativement la croissance et le rendement des plantes.

Tableau 4 : Caractéristique des températures extrêmes pertinentes

Extrêmes climatiques	Stations synoptiques	R ²	p-value	Slope estimate	Slope error
SU35	Bohicon	46,9	0	0,962	0,138
	Natitingou	55,5	0	1,269	0,155
	Parakou	44,5	0	1,402	0,217
	Savè	64,6	0	1,545	0,154
TXN	Bohicon	1,4	0,386	0,006	0,007
	Natitingou	10,3	0,016	0,018	0,007
	Parakou	5,7	0,082	0,013	0,008
	Savè	40,5	0	0,032	0,005
TNX	Bohicon	41	0	0,035	0,006
	Natitingou	13,3	0,005	0,027	0,009
	Parakou	37,9	0	0,03	0,005
	Savè	40,8	0	0,038	0,006
TXX	Bohicon	6	0,066	0,012	0,007
	Natitingou	25,4	0	0,045	0,01
	Parakou	32,4	0	0,033	0,007
	Savè	31,1	0	0,03	0,006
TX90P	Bohicon	26,8	0	0,247	0,055
	Natitingou	48,8	0	0,375	0,052
	Parakou	32,9	0	0,494	0,098
	Savè	56,9	0	0,617	0,072
TN90P	Bohicon	60,9	0	0,944	0,103
	Natitingou	31,2	0	0,563	0,113
	Parakou	71,8	0	0,683	0,059
	Savè	60,7	0	0,932	0,101

3-3. Association entre extrêmes climatiques et le rendement en noix d'anacarde

Le nombre de jours secs consécutifs (CDD) est positivement corrélé avec le nombre de jours plus chauds (SU35) ($r = 0,74, p < 0,0001$), le minimum des températures maximales (Tmax) ($r = 0,51, p = 0,006$), le maximum des Tmax ($r = 0,5, p = 0,007$) et le pourcentage des jours relativement chauds ($r = 0,63, p < 0,0001$). Le nombre de jours pluvieux consécutifs (CWD) est positivement corrélé avec le total pluviométrique annuel ($r = 0,41, p = 0,032$), mais négativement avec le maximum des Tmin ($r = -0,5, p = 0,007$) et le pourcentage des nuits relativement chaudes ($r = -0,53, p = 0,004$). Le total pluviométrique annuel est positivement corrélé avec l'indice d'intensité journalière simple ($r = 0,65, p < 0,0001$). Le nombre de jour plus chaud est négativement corrélé avec l'indice d'intensité journalière simple ($r = -0,38, p = 0,049$) mais positivement avec le minimum des Tmax ($r = 0,74, p < 0,0001$), le maximum des Tmax ($r = 0,77, p < 0,0001$) et le pourcentage des jours relativement chauds ($r = 0,84, p < 0,0001$). L'indice d'intensité journalière simple est positivement corrélé avec le maximum des Tmin ($r = 0,45, p = 0,016$). Le minimum des Tmax est positivement corrélé avec le maximum des Tmax ($r = 0,83, p < 0,0001$) et le pourcentage des jours relativement chauds ($r = 0,78$). Le maximum des Tmin est positivement corrélé avec le pourcentage des nuits relativement chaudes ($r = 0,81, p < 0,0001$). Le maximum des Tmax est positivement corrélé avec le pourcentage des jours relativement chauds ($r = 0,66, p < 0,0001$). Le pourcentage des nuits relativement chaudes est positivement corrélé avec le pourcentage des jours relativement chauds ($r = 0,49, p = 0,008$). Les autres extrêmes des variables climatiques ne sont pas corrélés entre eux (*Tableau 5*). Le rendement en noix d'anacarde n'est pas significativement corrélé avec: le nombre de jours secs consécutifs ($r = -0,21, p = 0,152$), le nombre de jours pluvieux consécutifs ($r = 0,16, p = 0,286$), le nombre de jours plus chauds ($r = -0,24, p = 0,103$), le minimum des températures maximales ($r = -0,15, p = 0,29$), et le maximum des température minimales ($r = -0,05, p = 0,737$) mais il est positivement et significativement corrélé avec le total pluviométrique annuel ($r = 0,36, p = 0,011$) et l'intensité journalière de précipitation ($r = 0,36; p = 0,011$). Le rendement en noix d'anacardier est aussi significativement et négativement corrélé avec le maximum des températures maximales ($r = -0,34, p = 0,017$) et le nombre de nuits relativement chaudes ($r = -0,34, p = 0,017$).

Tableau 5 : Coefficient de corrélation de Spearman entre les extrêmes climatiques et entre le rendement en noix de cajou

Variables	CDD	CWD	PRCPTOT	SU35	SDII	TXn	TNx	TXx	TN90P	TX90P
CDD	1									
CWD	-0,01 ^{ns}	1,00								
PRCPTOT	-0,14 ^{ns}	0,41*	1,00 ^{ns}							
SU35	0,74***	0,15 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	1,00						
SDII	-0,2 ^{ns}	-0,23 ^{ns}	0,65***	-0,38*	1,00					
TXn	0,51**	-0,20 ^{ns}	-0,1 ^{ns}	0,74***	-0,03 ^{ns}	1,00				
TNx	0,04 ^{ns}	-0,5**	0,01 ^{ns}	-0,13 ^{ns}	0,45*	0,36 ^{ns}	1,00			
TXx	0,5**	0,06 ^{ns}	-0,17 ^{ns}	0,77***	-0,34 ^{ns}	0,83***	0,08 ^{ns}	1,00		
TN90P	0,16 ^{ns}	-0,53**	-0,17 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,81***	0,05 ^{ns}	1,00	
TX90P	0,63***	-0,2 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,84***	-0,12 ^{ns}	0,78***	0,31 ^{ns}	0,66***	0,49**	1,00
Rend	-0,21 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,36*	-0,24 ^{ns}	0,36*	-0,15 ^{ns}	-0,05 ^{ns}	-0,34*	-0,34*	-0,25 ^{ns}

***P < 0,001; **P < 0,01; *P < 0,05 et ns = non significatif au seuil 5 %.

CDD = nombre de jours secs consécutifs, CWD = nombre de jours pluvieux consécutifs, PRCPTOT = total pluviométrique annuel, SU35 = nombre de jours plus chauds, SDII = indice d'intensité journalière simple, TXn = minimum des températures maximales, TNx = Maximum des températures minimales, TXx = maximum des températures maximales, TN90P = pourcentage des nuits relativement chaudes, TX90P = pourcentage des jours relativement chauds et Rend = rendement en noix de cajou.

3-4. Effet des extrêmes climatiques pertinents sur le rendement suivant les zones agro écologiques

La proportion de variation de rendement en noix d'anacarde due à l'effet aléatoire des localités emboîtées dans les zones agro écologiques est de 61,83 %. Le rendement en noix d'anacarde varie significativement d'année en année suivant l'extrême des variables climatiques tels que les précipitations totales annuelles, le pourcentage des nuits relativement chaudes et les zones agro écologiques (*Figure 2*). L'augmentation des précipitations totales annuelles entraîne une augmentation des rendements en noix d'anacarde au Bénin mais, dans les zones agro écologiques 4 et 5, cette augmentation conduirait à une diminution de rendement comparé à la zone 3. L'effet du pourcentage de nuits relativement chaudes dépend de l'année. Les rendements en noix d'anacarde ont diminué de 2014 à 2016 comparé au rendement de 2010. Mais les rendements de 2011 à 2013 ne sont pas significativement différent de celui de 2010.

Tableau 6 : Modèles candidats pour tester l'effet des extrêmes climatiques sur le rendement en noix d'anacardier dans 3 zones agro-écologiques favorables à la production de l'espèce

Modèles	ddl	Δ_i
PRCPTOT+TXx+TN90P+annee:PRCPTOT+annee:TXx+annee:TN90P + annee + ZAE:PRCPTOT+ZAE:TXx+ ZAE:TN90P	34	7,0508197
PRCPTOT+TXx+TN90P+annee:TXx+annee:TN90P + annee + ZAE:PRCPTOT+ZAE:TXx+ ZAE:TN90P	31	7,2982819
PRCPTOT+TXx+TN90P+annee:TXx+annee:TN90P + annee + ZAE:PRCPTOT+ ZAE:TN90P	29	5,3539496
PRCPTOT+TXx+TN90P+annee:TN90P + annee + ZAE: PRCPTOT+ ZAE:TN90P	23	0,0000000
PRCPTOT+TXx+TN90P+annee:TN90P + annee + ZAE:PRCPTOT	21	0,8711532
PRCPTOT+TXx+TN90P+annee:TXx+annee:TN90P + annee + ZAE:PRCPTOT+ZAE:TXx+ ZAE:TN90P	31	7,2982819
PRCPTOT+TXx+TN90P+annee:TXx+annee + ZAE:PRCPTOT+ ZAE:TXx+ ZAE:TN90P	25	8,5846502
PRCPTOT+TXx+TN90P+annee:TXx + annee + ZAE:PRCPTOT+ ZAE:TXx+ ZAE:TN90P	25	8,5846502
-1 + PRCPTOT+TXx+TN90P+annee:TXx + annee + ZAE:PRCPTOT+ ZAE:TXx+ ZAE:TN90P	25	8,5846502

Δ_i ($\Delta_i = AIC_i - AIC_{min}$ [21]). Le modèle dont $\Delta_i = 0$ est le meilleur. Les modèles à $\Delta_i < 2$ (en gras) sont supposés bon.

ZAE = zone agro écologique, PRCPTOT = total pluviométrique annuel, TN90P = pourcentage des nuits relativement chauds, TXx = maximum des températures maximal.

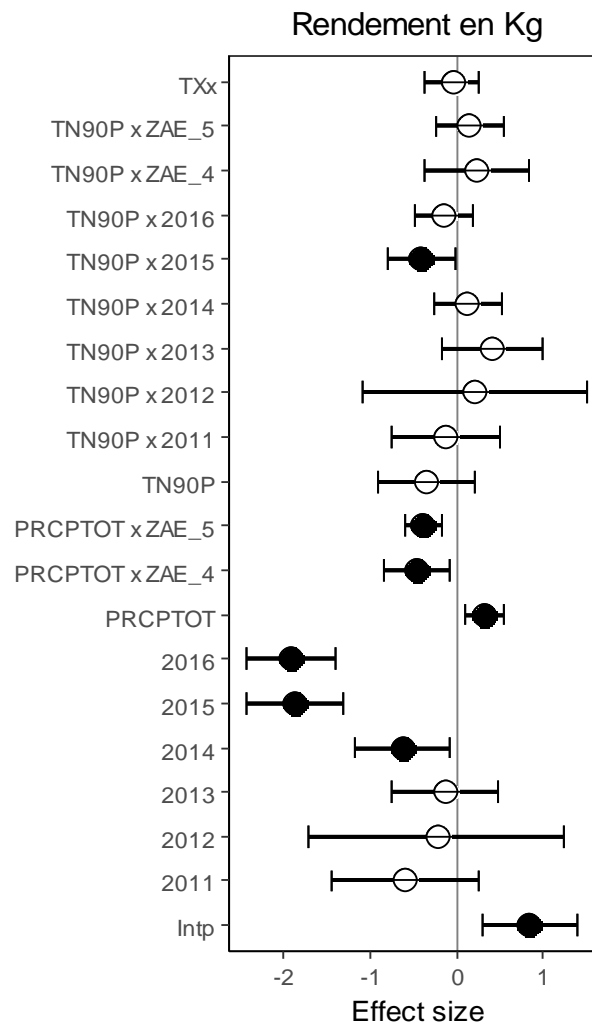


Figure 2 : Effet des extrêmes climatiques sur le rendement en noix de cajou dans trois zones agro-écologiques du Bénin de 2010 à 2016. Les intervalles de confiance contenant zéro, donc en blanc ne sont pas significatifs au seuil de 5 %

ZAE5 = zone agro écologique5, ZAE4 = zone agro écologique 4, PRCPTOT = total pluviométrique annuel, TN90P = pourcentage des nuits relativement chaudes, TXx = maximum des températures maximales, Intp = intercepte.

4. Discussion

Le rendement en noix d'anacarde varie d'année en année selon que les extrêmes des variables climatiques sont croissants ou décroissants. Un résultat similaire a été obtenu par [6] et montre que selon la perception paysanne, la cause de l'instabilité des rendements en noix est la variabilité climatique. Cette instabilité du rendement en noix d'anacarde et de la production agricole due à l'effet de la variabilité climatique a été respectivement observée par [15, 24].

4-1. Effet des évènements pluvieux extrêmes

Le nombre de jour sec consécutif (CDD) est croissant et a une corrélation négative avec le rendement en noix. La durée de la saison sèche augmente et celle de la saison pluvieuse (CWD) diminue. Un résultat similaire a

été obtenu par [13] qui montre que la réduction de la durée de la saison agricole est l'une des causes de baisse de la production enregistrée ces dernières années sur l'anacardier. Selon [13], le niveau moyen des précipitations entre 1981 et 2010 pour les stations de Savè et de Natitingou a montré une tendance croissante. Mais les résultats de nos travaux, qui tiennent compte des extrêmes climatiques, montrent que la précipitation annuelle au niveau des mêmes stations synoptiques de 1960 à 2016 a une tendance décroissante. Cette tendance décroissante a été obtenue par [5] et montre que les projections établies par différents modèles de circulation globale font état d'une diminution de la pluviométrie. Des résultats similaires ont été également obtenus par [25, 26] au Bénin et font connaître que la plupart des études sur les tendances climatiques s'accordent sur une diminution perceptible de la pluviométrie et du nombre moyen annuel de jours de pluie. Les résultats de nos travaux montrent globalement que le rendement en noix d'anacarde varie significativement et positivement suivant les précipitations totales annuelles (PRCPTOT). L'augmentation de la précipitation totale annuelle entraîne une augmentation des rendements en noix d'anacarde au Bénin. Ce qui implique qu'une diminution de la pluviométrie totale annuelle entraînerait une baisse du rendement en noix de cajou. Mais selon [2] même si la quantité de la pluie est élevée, une saison pluvieuse très irrégulière sera défavorable à la productivité des arbres. Donc une bonne pluviométrie bien répartie dans le temps et dans l'espace est favorable pour l'anacardier. Selon [16], l'arbre préfère une pluviométrie comprise entre 800 et 1800 mm par an en une seule saison qui dure 5 à 7 mois par an [16]. L'importance d'une bonne pluviométrie a été observée aussi au Burkina Faso. La pluviométrie est le facteur climatique le plus important puisqu'elle influence fortement la production agricole au Burkina Faso [27] et la production des noix d'anacarde au centre Bénin [6]. [28] ont relevé les indicateurs tels que la baisse des pluies, le dérèglement de la saison et l'irrégularité des pluies comme des facteurs qui influencent négativement le rendement des cultures au Burkina Faso. Ce qui a été aussi observé dans le cadre de cette étude. La pluviométrie est le facteur qui influence plus le rendement en noix d'anacarde au Bénin. Il faut alors identifier et développer des stratégies durables de gestion de l'eau dans les plantations d'anacardier au Bénin.

4-2. Effet des évènements de températures extrêmes

Les extrêmes de températures présentent une tendance croissante au niveau de toutes les stations étudiées. La plupart des études sur les tendances climatiques s'accordent sur une augmentation significative de la température moyenne [25]. Les résultats de nos travaux montrent une tendance croissante des extrêmes de températures au fur et à mesure que la durée de la saison sèche augmente. Ce phénomène fait augmenter le besoin en eau de l'anacardier. Cette tendance évolutive de la température a été aussi observée par [13] sans avoir exploité les extrêmes thermiques. Cette tendance est aussi croissante selon [5] dans toutes les zones de production de l'anacardier au Bénin. Ce résultat est similaire à celui de, [29] selon lequel la température joue sur la détermination des besoins en eau de la plante. Chaque plante présente une sensibilité particulière aux températures extrêmes auxquelles il faut trouver une stratégie d'adaptation. Les résultats de cette étude montrent également qu'il y a une corrélation négative entre le rendement en noix d'anacarde et l'extrême de température maximale (TXx). Au-delà d'un seuil de température, la plante peut subir des dommages, des changements brusques dans son activité métabolique, un vieillissement précoce et une perte productive [30]. La température affecte à court et à long terme la photosynthèse [31] ainsi le rendement des cultures. Selon le même auteur, à une température élevée, il y a une diminution de la photosynthèse. Après l'eau, la température est l'un des facteurs qui limite la productivité des plantes [31]. Puisqu'au Bénin la température est croissante de 1960 à 2016 au niveau de toutes les stations étudiées ayant une corrélation négative avec le rendement en noix de cajou, elle est alors l'un des facteurs de baisse de rendement. Il faut aussi identifier et développer des stratégies durables d'adaptation aux extrêmes de températures.

5. Conclusion

La durée de la saison sèche (CDD) augmente d'année en année au Bénin. Celle de la saison pluvieuse (CWD) et la pluviométrie totale annuelle (PRCPTOT) ont une tendance décroissante. Les extrêmes des événements de température (SU35, TXx, TXn, TNx, TN90P et TX90P) sont tous croissants au niveau de toutes les stations étudiées et montrent une augmentation globale de la température. Le rendement en noix d'anacarde varie significativement suivant les précipitations totales annuelles, le pourcentage des nuits relativement chaudes et les zones agro écologiques. Il est noté des corrélations entre certains indices d'extrême climatique et le rendement du cajou. Les extrêmes de température maximale influencent négativement le rendement en noix d'anacarde. Il urge de développer au Bénin des stratégies d'adaptation des plantations d'anacardier pour faire face à la vulnérabilité des événements extrêmes pluvieux et de températures.

Références

- [1] - I. BALOGOUN, E. L. AHOTON, A. SAÏDOU, D. O. BELLO, L.G. AMADJI, C. B. AHOHUENDO, S. BABATOUNDE, C. D. CHOUGOUROU, A. AHANCHÉDÉ, Effect of climatic factors on cashew (*Anacardium occidentale L.*) productivity in Benin (West Africa). *Earth Science and Climatic Change*, 7 (1) (2016) 329 - 338
- [2] - P. RICAU, Connaitre et comprendre le marché international de l'anacarde (2013) 48p. www.rongead.org, (page consultée en juin 2017)
- [3] - G. B. ADESIJI, B. M. MATANMI, M. P. ONIKOYI and M. A. SAKA, Farmers perception of climate change in Kwara State, Nigeria. *World Rural Observations*, 4 (2) (2012) 46 - 54
- [4] - R. WEIDINGER, A. TANDJIEKPON, Changement climatique et ses impacts sur la production du cajou (2014). Communication à ITAACC/ACI-GIZ, Grants for Innovation Transfer into Agriculture Adaptation to Climate Change, Cotonou 19-20 Mars 2014
- [5] - O. D. BELLO, P. B. I. AKPONIKPÈ, E. L. AHOTON, A. SAÏDOU, A.V. EZIN, G. E. KPADONOU, I. BALOGOUN, N. AHO, Trend analysis of climate change and its impacts on cashew nut production (*Anacardium occidentale L.*) in Benin *Octa Journal of Environmental*, 4 (3) (2016) 181 - 197
- [6] - Y. A. TCHETANGNI, A. E. ASSOGBADJO, T. HOUEHANOU, Perception Paysanne Des Effets Du Changement Climatique Sur La Production Des Noix D'anacardier (*Anacardium Occidentale L.*) Dans La Commune De Savalou Au Bénin. *European Scientific Journal*, 12 (14) (2016) 220 - 239
- [7] - I. YABI, "Etude de l'agroforesterie à base de l'anacardier et des contraintes climatiques à son développement dans le Centre du Bénin" Thèse de Doctorat Unique. Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines de l'Université d'Abomey-Calavi, (2008) 235 p.
- [8] - F. DE LONGUEVILLE, Y. C. HOUNTONDI, I. KINDO, F. GEMENNE, P. OZER, Long-term analysis of rainfall and temperature data in Burkina Faso (1950–2013). *Int. J. Climatol.*, 36 (13) (2016) 4393 - 4405
- [9] - ETCCDI, Rapport sur les résultats préliminaires des tendances dans les indices de changements climatiques pour la région de la Commission de l'Océan Indien. Atelier ETCCDI, Vacoas-Île Maurice, (2009) 12 p. www.commissionoceanindien.org/fileadmin/.../ACClimate%20documentation/Rapport (page consultée le 1^{er} septembre, 2017)
- [10] - A. M. TANDJIEKPON, Analyse de la chaîne de valeur du secteur anacarde du Bénin. Rapport d'étude, Initiative du Cajou Africain (ICA/GIZ), Bénin, (2010) 62 p. http://www.africancashewinitiative.org/imglib/downloads/ACI_Benin_frz_high%20resolution.pdf (page consultée en Novembre, 2017)
- [11] - Y. C. HOUNTONDI, F. DE LONGUEVILLE, P. OZER, Trends in extreme rainfall events in Benin (West Africa), 1960-2000. 1st International Conference on Energy, Environment and Climate Changes: Implications for Africa in International Affairs, (2011). <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1029.735&rep=rep1&type=pdf> (page consultée en août, 2017)

- [12] - MAEP, Zones agro-écologiques de la république du Bénin (2001). [https://www.changementsclimatiques.bj/zones-agro-ecologiques-de-la-republique-du-benin/\(page consultée en septembre 2017\)](https://www.changementsclimatiques.bj/zones-agro-ecologiques-de-la-republique-du-benin/(page_consultée_en_septembre_2017))
- [13] - I. BALOGOUN, "Caractérisation des facteurs édaphiques et climatiques pour l'amélioration de la productivité de l'anacardier au Bénin". Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, (2016) 157 p.
- [14] - J. CHRISTENSEN, T. CARTERAND, F. GIORGI, PRUDENCE employs new methods to assess European climate change. *EOS*, 83 (13)(2002) 147 - 146
- [15] - P. GOUJON, A. LEFEBVRE, P. H. LETURCQ, A. P. MARCELLESI, J. C. PRALORAN, Etudes sur l'anacardier. Régions écologiques favorables à la culture de l'anacardier en Afrique francophone de l'ouest. *Fruits*, 28 (3)(1973) 217 - 225
- [16] - E. LACROIX, Les anacardiens, les noix de cajou et la filière anacarde à Bassila et au Bénin. *Terra Systems*, 83 (6)(2003) 1141 - 1154
- [17] - B. HOUEYOU, "Evaluation des conditions de mise en œuvre des normes issues des directives CEE/ONU dans la production des noix brutes de Cajou à Kouandé, Atacora, Bénin". Diplôme d'ingénieur agronome, option économie-socio-anthropologie et communication pour le développement rural à la faculté des sciences agronomiques, Université d'Abomey-Calavi, (2008) 105 p.
- [18] - F. E. HARRELL, with contributions from Charles Dupont and many others, (2017). Hmisc: Harrell Miscellaneous. R package version 4.0-3. <https://CRAN.R-project.org/package=Hmisc> (page consultée le 15 novembre 2017)
- [19] - S. FILAHI, L. MOUHIR, M. TANARHTE, Y. TRAMBLAY, Tendances et variabilité des événements extrêmes au maroc (2015). XXVIII Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Liège
- [20] - D. BATES, M. MAECHLER, B. BOLKER, S. WALKER, Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67 (1)(2015) 1 - 48
- [21] - K. P. BURNHAM, D. R. ANDERSON, Multimodel Inference : understanding AIC and BIC in model selection. *Sociological Methods Research*, 33 (2004) 261 - 304
- [22] - R CORE TEAM, A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, (2017). URL <https://www.R-project.org/> (page consultée en novembre 2017)
- [23] - H. WICKHAM, ggplot2 : Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, (2009)
- [24] - O. BROWN, A. HAMMILL, R. MCLEMAN, Climate change as the 'new' security threat: implications for Africa, *International Affairs*, 83 (6) (2007) 1141 - 1154
- [25] - P. C. GNANGLE, R. GLELE KAKAÏ, A. E. ASSOGBADJO, S. VODOUNON, J. YABI, N. SOKPON, Tendances climatiques: Modélisation, perceptions locales et adaptations locales au Bénin. *Climatologie*, 8 (2011) 26 - 40
- [26] - P. OZER, Y. C. HOUNTONDJI, M. A. AHOMADEGBE, B. DJABY, F. DE LONGUEVILLE, Evolution climatique, perception et adaptation des Communautés rurales du plateau d'Abomey (Bénin). XXVIème colloque de l'Association Internationale de Climatologie, (2013) 440 - 445
- [27] - J. F. C. RASLODIMBY, "L'homme, le climat et les ressources alimentaires végétales en périodes de crises de subsistance au cours du 20^{ème} siècle au Burkina faso". Thèse de doctorat à l'Université de Ouagadougou (UFR/ Science de la vie et de la terre), (2001) 248 p.
- [28] - M. OUEDRAOGO, Y. DEMBELE, L. SOME, Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso. *Sécheresse*, 21 (2) (2010) 87 - 96
- [29] - F. MARAUX, Le climat et la production végétale. Mémento de l'agronome, Ministère des Affaires étrangères, CIRAD, GRET, Paris, France, (2002) 433 - 447
- [30] - S. MALGRANGE, "L'agriculture paysanne face à l'instabilité climatique dans les Andes centrales : des mutations nouvelles ? Dynamiques d'adaptation dans la région de Huancavelica, Pérou". Mémoire de Master en climatologie, ISTOM, (2011) 97 p.
- [31] - C. GABRIEL, Effet de la température sur la photosynthèse, (2007) 53 p. http://www.es.eupsud.fr/IMG/pdf/Effet_de_la_temperature_sur_la_photosynthese-3.pdf (page consultée en novembre 2017)