

EVALUATION DES STRATÉGIES PAYSANNES D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES : CAS DE LA PRODUCTION DU MAÏS AU NORD-BÉNIN

M.A. TIDJANI et P.B.I. AKPONIKPE

Unité de Physique du Sol et d'Hydraulique Environnementale (PSHE), Faculté d'Agronomie (FA),
Université de Parakou (UP), Bénin

Auteur de correspondance: akponikpe@yahoo.com

RÉSUMÉ

Face aux variations climatiques prononcées que le Bénin connaît depuis les années 1970 les méthodes d'adaptation sont apparues comme la seule alternative de réduction de la vulnérabilité des populations rurales. Pourtant ces stratégies annoncées salvatrices ont parfois montré leurs limites du fait de leur non évaluation initiale. La présente étude a pour objectif de déterminer les méthodes paysannes d'adaptation à la variabilité et aux changements climatiques susceptibles d'être les plus efficaces et les plus efficaces pour la production du maïs dans la zone très vulnérable du Nord-Bénin. Nous avons évalué trois stratégies paysannes d'adaptation aux changements du climat (changements de variété, de date de semis, ou de densité de semis) en utilisant le modèle de simulation des cultures APSIM. La calibration et la validation du modèle sur les rendements historiques des variétés améliorées et locale de maïs de la commune de Tanguiéta ont permis de déterminer les impacts des différents scénarios constitués suivant les tendances évolutives du climat local. De ces études d'impacts on retiendra que les scénarios présentant de réels risques de mauvais rendements pour les variétés de maïs à Tanguiéta sont ceux de hausse des températures et de baisse des pluviométries. L'évaluation sous ces scénarios des méthodes paysannes d'adaptation aux changements climatiques sélectionnées permet de recommander l'adoption des variétés améliorées à cycle court de maïs et de déconseiller (1) la pratique de semis tardifs à la fois pour la variété locale et améliorée de maïs et (2) la réduction de la densité de semis tous scénarios confondus, les densités appliquées étant déjà propices pour faire face aux variations climatiques actuelles dans la commune.

Mots Clés : stratégie d'adaptation, Bénin, changements climatiques

ABSTRACT

In response to pronounced climate variations in Benin since the 1970s, adaptation strategies have emerged as the only alternative to reduce the vulnerability of rural populations. However, these announced saving strategies have been ineffective because of lack of initial assessment. The objective of this study is to determine farmers' adaptation strategies to climate variability and change that are the most effective and efficient for maize production in the highly vulnerable area of North Benin. Three farmers' adaptation strategies to climate change (change in crop variety, sowing date or seedling density) have been evaluated using the APSIM crop simulation model. Calibration and validation of the APSIM model on historical yields of improved local varieties of maize in Tanguiéta district enabled to determine impacts of different local climate scenarios. From these studies of impacts, it is found that the scenarios with real risks of low yields for all maize varieties in Tanguiéta are those of increased temperatures and decreased rainfall. The evaluation of selected adaptation farmer's methods to climate change under these scenarios enabled to recommend the adoption of improved maize short-cycle varieties; but the practice of late planting for both local and improved variety of maize and 2) the reduction of seedling density were not recommended.

Key Words: Adaptation strategy, Benin, climate change

INTRODUCTION

Le climat mondial est entré dans une évolution sans analogie au regard des données disponibles sur le climat de deux derniers millénaires (Berger, 1992). Et bien que la nature et l'ampleur des changements ne peuvent être quantifiées avec exactitude, les experts de Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) sont unanimes sur les impacts dudit phénomène qui sont désormais perceptibles dans toutes les régions du monde. Le Bénin à l'instar des autres pays de la planète subit donc les effets des changements climatiques. Des travaux antérieurs (Boko, 1988; Afouda, 1990; Houndénou, 1999; Ogouwalé, 2006), on retient que la péjoration pluviométrique, la réduction de la durée de la saison agricole, la persistance des anomalies négatives, la hausse des températures minimales et maximales, caractérisent désormais les climats du Bénin et modifient les régimes pluviométriques et les systèmes de production agricole. Dans la région septentrionale du Bénin, les données climatologiques enregistrées sur 30 ans et l'application des modèles pertinents d'analyse des changements climatiques montrent une tendance à la baisse de la pluviométrie annuelle, le raccourcissement de l'unique saison pluvieuse qui caractérise normalement la région et un retard de l'installation des événements pluvieux (Houndénou *et al.*, 1999).

L'Afrique est l'une des régions les plus vulnérables de la planète en terme de changement climatique suite à certaines de ses caractéristiques physiques et socio-économiques, notamment, la fragilité de son économie, la prédisposition à être touchée de manière disproportionnée par les effets néfastes des changements climatiques (Al Niassé *et al.*, 2004). Cette vulnérabilité prend une plus grande ampleur dans les pays d'Afrique de l'Ouest comme le Bénin où l'agriculture, de type pluvial est fortement tributaire des saisons. L'importance relative en matière de vulnérabilité de la zone d'étude s'accroît si l'on intègre les résultats des études menées par le Programme d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques du Bénin (PANA Bénin) qui classe les départements de l'Atacora et de l'Alibori

(objets de la présente étude) au rang de régions à haute sensibilité et potentiellement vulnérables aux effets des changements climatiques. A tout cela, il faut ajouter la fragilité des cultures céréalières notamment du maïs qui constitue après l'igname et le manioc la denrée alimentaire la plus produite au Bénin en général et depuis peu de façon particulière dans la zone d'étude face au stress climatique. Déjà, durant la sécheresse exceptionnelle des années 1970 où le département du Zou a été très affecté, le maïs est apparu comme la culture la plus vulnérable avant le niébé, le rendement moyen pour ce département ayant été fortement réduit (Akponikpè, 1999). Une étude récente réalisée par un groupe d'experts (Agbossou *et al.*, 2010) dans le cadre de la constitution de la matrice de sensibilité de l'agriculture béninoise place le maïs au rang de culture vivrière la plus sensible avec un coefficient d'exposition de 83% aux effets des extrêmes climatiques rencontrés dans le contexte actuel de changement du climat. Il apparaît donc évident que les changements climatiques en impactant la production du maïs au Nord Bénin pourraient conduire à une crise alimentaire qui serait désagréable au vu des conditions financières déjà médiocres des populations locales et menacerait dans le court moyen et long terme la stabilité de la localité entière. Le potentiel de croissance de l'économie béninoise se trouverait ainsi menacé car il dépend dans une large mesure du secteur agricole qui compte pour près de 39% dans la formation du Produit Intérieur Brut (PIB). L'option d'adaptation étant la meilleure pour les pays en voie de développement, comme le Bénin, qui ne figurent pas à l'annexe I de la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), les stratégies d'adaptation constituent aujourd'hui les seuls moyens actuellement appliqués en milieu paysan pour mitiger les effets de ces déviations. On ignore encore l'efficacité des mesures déjà pratiquées ou appliquées par les paysans au Bénin. Face à cette situation, cette étude s'est proposée d'évaluer les mesures ou stratégies d'adaptation pour réduire la vulnérabilité des populations face aux effets néfastes des changements climatiques.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Milieu d'étude. Le Nord-Ouest du Bénin est situé entre 8°30' et 11°30' de latitude Nord et entre 0°45' et 2°10' de longitude Est. Cette situation géographique lui confère son appartenance à la zone soudanienne d'Afrique de l'Ouest avec des nuances locales caractérisées par l'influence de l'atacorien dans les communes de l'Atacora et une tendance vers le sahélien au fur et à mesure que l'on se déplace vers le département de l'Alibori. La climatologie de la région est le résultat des actions dynamiques des centres d'action atmosphérique des Açores dans l'hémisphère Nord et de l'anticyclone de Sainte Hélène centré sur l'hémisphère Sud, donc de la migration de la zone de convergence intertropicale déterminant deux saisons : une saison sèche et une saison humide. Les sols ferrugineux tropicaux sont les principales formations pédologiques observées dans la zone. La population est essentiellement rurale et l'agriculture est la principale activité. Le maïs est la principale céréale produite ces dernières années ; viennent ensuite le sorgho, le riz et le petit mil. Cinq communes ont fait l'objet de cette étude. Il s'agit des communes de Matéri, Tanguiéta, Kérou, Banikoara et Kandi. Au total 15 villages à raison de trois villages par communes ont été étudiés. La calibration et la validation du modèle de simulation APSIM ont porté uniquement sur les données de la commune de Tanguiéta parce qu'elle représente la commune la plus exposée aux changements climatiques dans la zone d'étude au vu des résultats des études d'analyses et de vulnérabilité réalisées par le PANA au Bénin.

Collecte, traitement et analyse des données. Le modèle que nous avons utilisé est le « Agricultural production systems simulator-APSIM » (Keating *et al.*, 2003). C'est un modèle mathématique de simulation de la réponse des cultures (croissance, développement et rendement) au climat, à la dynamique de l'eau et des nutriments dans le sol. La non-linéarité des paramètres utilisés par le modèle notamment des paramètres climatiques et pédologiques et le fait que le modèle n'ait pas été paramétré avec des données d'entrée propres aux sites et stations

de notre étude ont exigé la réalisation d'une phase de calibration.

Les rendements historiques des variétés améliorées et locales de 1995 à 2001 ont été retenus pour la phase de calibration et ceux de 2002 à 2007 pour la validation. Au cours de la calibration les pratiques culturales appliquées localement ont été définies dans le modèle puis simulées et comparées sous le tableur Excel aux rendements historiques. Les indices de comparaison ont été le coefficient de détermination qui indique la corrélation entre rendements observés et simulés et le carré moyen des erreurs de simulation (Root Mean Square Error, RMSE). Ce dernier indice a été calculé par la formule:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}$$

où O_i et S_i représentent respectivement les rendements observés (rendements CeRPA) et simulés (APSIM), et n le nombre d'années ou de saisons de simulation (en calibration ou validation). La calibration a été jugée satisfaisante lorsque le coefficient de détermination est élevé et que le RMSE est faible. Les paramètres du site et des pratiques culturales étant fixés, les principaux paramètres de calibration ont été les paramètres de ruissellement (CN2Bare) et d'évaporation à deux phases U et Cona; U étant le paramètre représentant la valeur cumulée maximale de l'évaporation au cours de la première phase au dessus de laquelle l'offre du sol devient inférieure à la demande évaporatoire de l'atmosphère; et Cona est le taux de réduction de l'évaporation en deuxième phase (Probert *et al.*, 2003).

Après la calibration, nous avons réalisé une phase de validation dans l'optique de vérifier et de confirmer que le modèle reproduit efficacement les rendements de maïs à Tanguiéta. Nous avons ensuite procédé à une phase de validation sur la base des paramètres de calibration obtenus et une autre période d'étude (2002 - 2007). La phase suivante du travail a été la phase de définition des scénarios climatiques. En partant des tendances réalistes possibles liées aux variations connues par le climat de Tanguiéta, nous avons

imposé des variations sur les variables climatiques pour générer des scénarios futurs: hausse générale des températures maximales et minimales, combinée ou non à des variations de hausse ou de baisse de la pluviométrie. Les données utilisées à cet effet sont relatives aux données météorologiques disponibles sur la normale 1961-2007. Le Tableau 1 présente les scénarios retenus pour les études d'impact et l'évaluation des stratégies d'adaptation.

L'analyse des résultats d'impact et d'évaluation des stratégies d'adaptation a été faite avec l'utilisation des probabilités de dépassement, calculées en rapport avec la probabilité d'obtention des rendements supérieurs aux valeurs considérées dans la zone. Les courbes d'impact et d'évaluation présentées dans l'analyse de nos résultats sont les points focaux sur lesquels nous axerons nos interprétations. Les analyses se fondent globalement sur des comparaisons de probabilités d'obtention de tels ou tels rendements. En situation d'impact, les comparaisons ont été réalisées entre les courbes de rendements obtenus en situation normale et celles de rendements suivant différents scénarios. Nous avons déterminé le comportement des productions suivant que l'on augmente ou que l'on diminue l'impact. En situation d'évaluation, les analyses se sont attachées à la comparaison des courbes de rendements en situation d'adaptations et à celles en situation d'impact.

L'analyse a ressorti notamment les points particuliers suivant les différents scénarios à savoir le comportement des rendements minimums et maximums en comparaison à la situation de référence, la tendance des rendements moyens totaux et de leurs écarts-types si possible.

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Calibration et validation du modèle de simulation

APSIM. Du fait qu'aucune de nos variétés béninoises n'avait fait l'objet de paramétrisation pour la modélisation, nous avons fait recours à des variétés africaines de maïs dont les comportements en simulation étaient similaires aux nôtres. La variété retenue pour la calibration de la variété améliorée de maïs est la NSCM 41, hybride précoce du Zimbabwe déjà paramétrée sous APSIM et dont les résultats sont satisfaisants. Pour la variété locale, nous avons calibré les rendements historiques avec une variété créée par modification de la vitesse de croissance des grains de la variété Hybride 614, variété tardive Kenyane paramétrée sous APSIM et dont les rendements avaient une bonne corrélation avec ceux observés mais présentaient des écarts considérables (RMSE élevé). La diminution de la vitesse de croissance des grains de 10,5 à 7,3 mg/grain/jour a permis de réduire cet écart et de valider le modèle. Le coefficient de détermination obtenu est égal à 0,786 et la

TABLEAU 1. Présentation des scénarios climatiques envisagés

Scenarior	Variation absolue		Variation de P (%)
	Tmax (°C)	Tmin (°C)	
1 Situation normale	0	0	0
2 Augmentation P modérée	0	0	+5
3 Augmentation P moyenne	0	0	+10
4 Diminution P modérée	0	0	-5
5 diminution P moyenne	0	0	-10
6 Augmentation T	+1	+1	0
7 Augmentation T et augmentation P modérée	+1	+1	+5
8 Augmentation T et augmentation P moyenne	+1	+1	+10
9 Augmentation T et diminution P modérée	+1	+1	-5
10 Augmentation T et diminution P moyenne	+1	+1	-10

Tmax, Tmin, P: températures maximale, minimale et pluviométrie respectivement

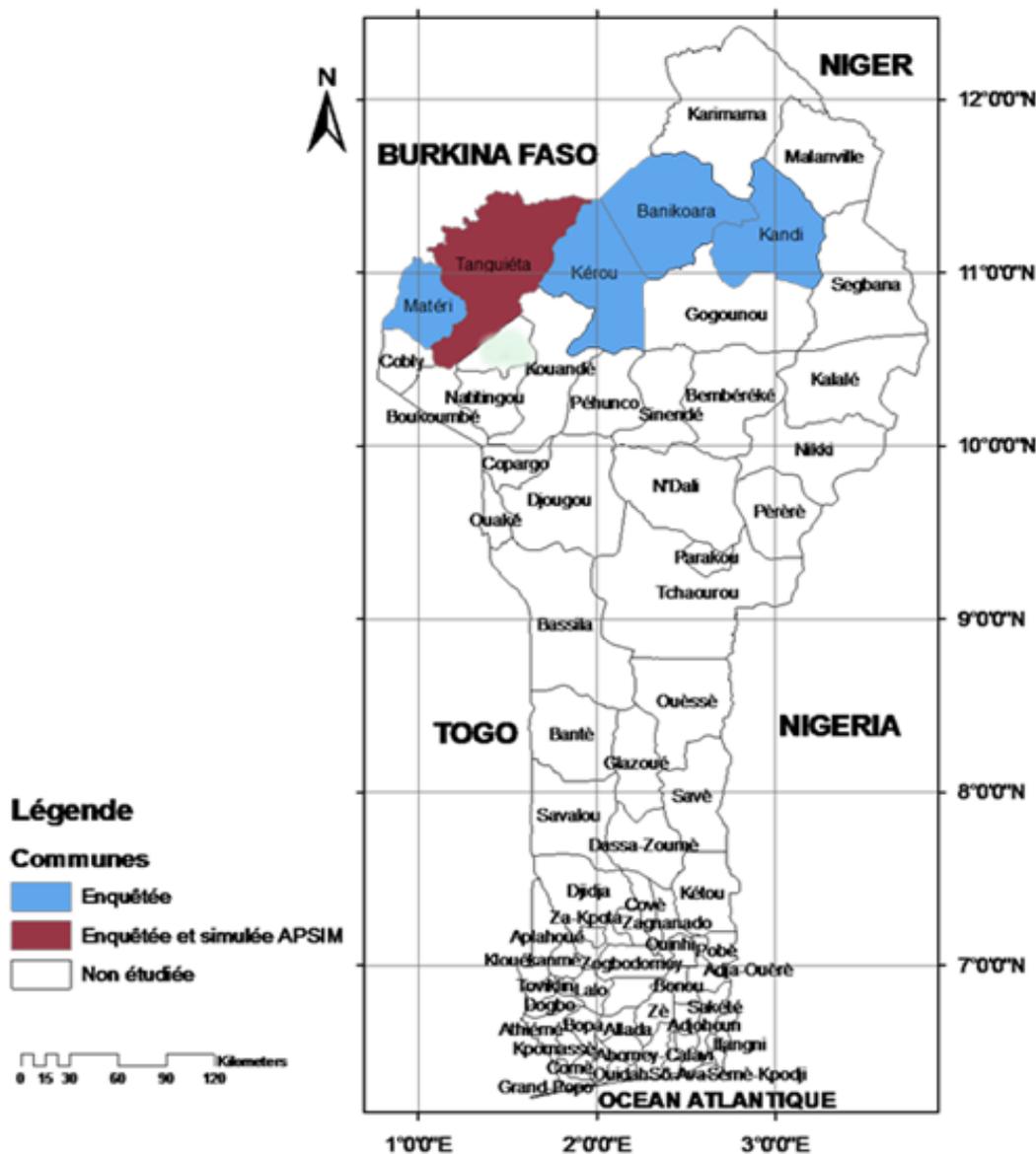


Figure 1. Présentation de la zone d'étude.

distribution du nuage de points autour de la droite d'équation $X=Y$ est acceptable (Fig. 2). De plus le RMSE est faible (de l'ordre de 50 kg ha^{-1}). On conclut donc que le modèle simule bien en phase de calibration les rendements de la variété tardive de maïs à Tanguiéta.

En phase de validation (Fig. 3), le coefficient de détermination passe à 0.629. Il est toujours élevé bien qu'il connaisse une diminution en comparaison de la valeur qu'il avait en phase de

calibration. Le RMSE connaît parallèlement une légère hausse. Mais on retiendra globalement que le modèle simule bien les rendements de la variété tardive de maïs à Tanguiéta d'autant plus que les coefficients obtenus sont satisfaisants et que les écarts entre rendements observés et simulés ne sont pas trop considérables.

Pour la variété améliorée, la distribution des rendements simulés a suivi la même tendance que celle des rendements observés en phase de

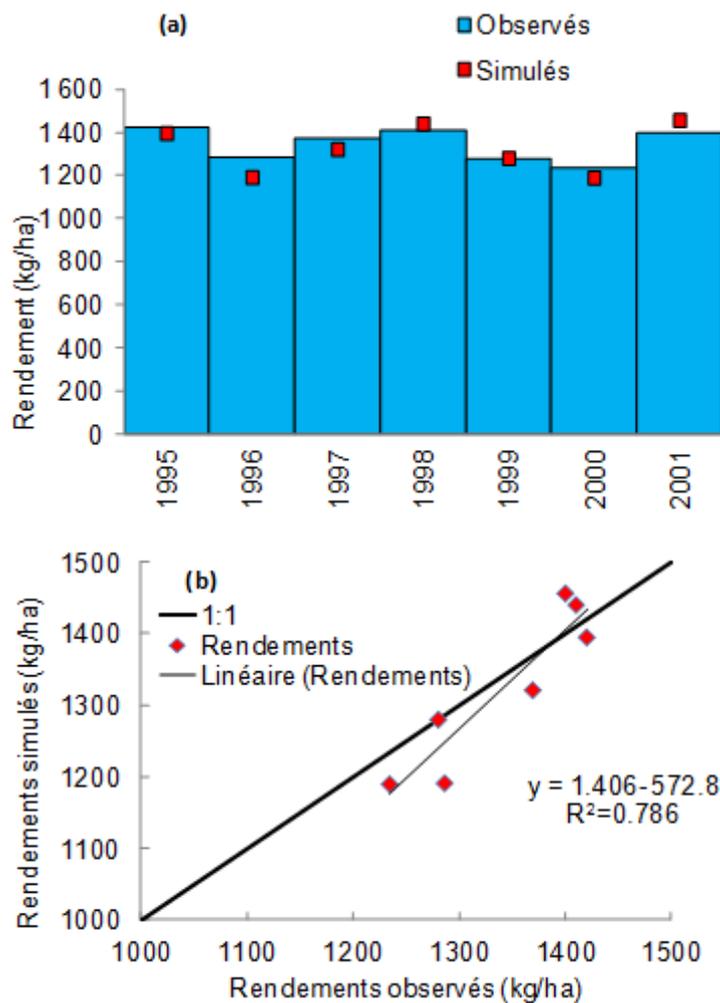


Figure 2 (a). Comparaison des rendements observés et simulés de maïs local à Tanguiéta en phase de calibration (b) Distribution autour de la droite d'équation $X=Y$ du nuage de points de la série des rendements observés et simulés de maïs local à Tanguiéta en phase de calibration.

calibration. Cette distribution a formé un nuage de points groupés autour de la droite d'équation $Y=X$. Le fort coefficient de détermination obtenu après comparaison des séries de rendements observés et simulés ($R^2=0.87$) et la faiblesse des écarts entre ces deux séries ($RMSE = 70,23 \text{ kg ha}^{-1}$) nous ont permis de conclure que le modèle simule bien en calibration les rendements historiques sur la période 1995-2001. Pour la phase de validation des rendements de maïs amélioré à Tanguiéta, le coefficient de détermination entre la série de rendements observés et celle de rendements était de 0,879. L'écart moyen entre les rendements était de $25,47 \text{ kg ha}^{-1}$. Le nuage de

points s'est plus harmonisé plus autour de la droite d'équation $X=Y$. La phase de validation a amélioré les tendances observées en calibration et confirmé que le modèle APSIM était à même de simuler les rendements annuels de maïs amélioré dans la commune de Tanguiéta.

Analyses d'impact : Analyse des rendements agricoles de maïs dans un contexte de changement du climat

Impact sur le maïs local. De façon globale la diminution de 5% de la pluviométrie n'a pas impacté négativement de façon significative la

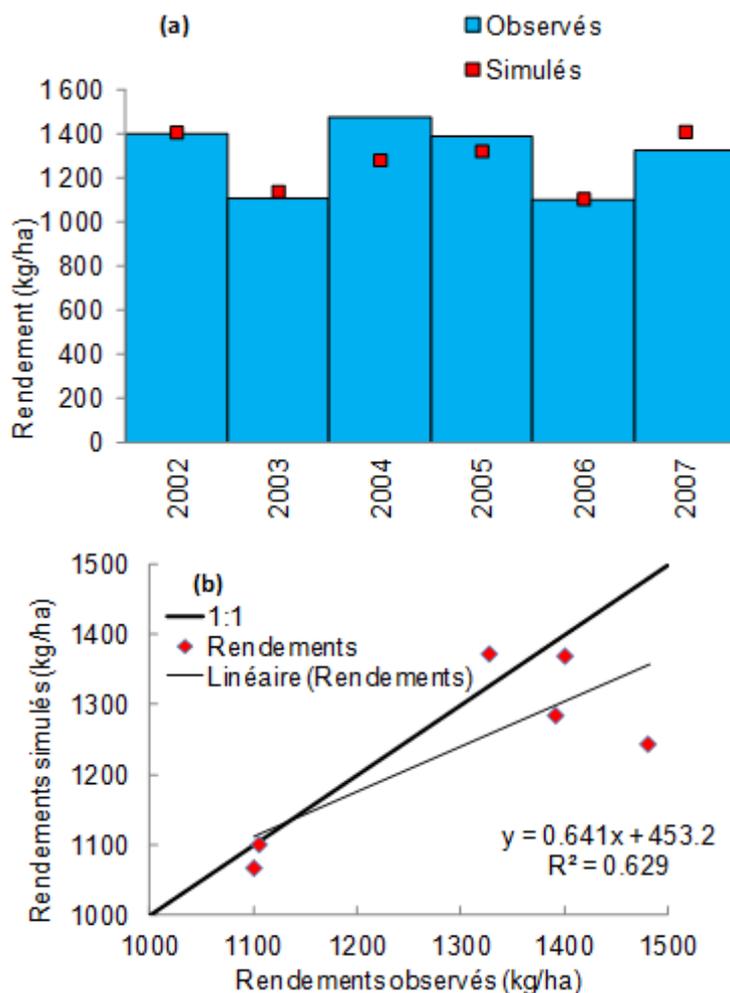


Figure 3 (a). Comparaison des rendements observés et simulés de maïs local à Tanguiéta en phase de validation (b) Distribution autour de la droite d'équation $X=Y$ du nuage de points de la série des rendements observés et simulés de maïs local à Tanguiéta en phase de validation.

production de maïs local à Tanguiéta (Fig. 4). Tout au contraire cette faible péjoration améliore l'obtention des rendements minimums de près de 100 kg ha^{-1} et les rendements moyens de 10 kg ha^{-1} les faisant passer de 1350 à 1360 kg ha^{-1} . Cette situation pourrait être due à une certaine accoutumance de la variété aux variations empiriques du climat local. Les plantes développent des stratégies autonomes d'adaptation en réponse aux variations du climat caractérisées dans le cas du maïs par un évitement de la sécheresse qui l'aide à maintenir à des niveaux élevés le potentiel hydrique de ces tissus durant des périodes sans pluies significatives.

Cette forme d'adaptation est possible grâce aux mécanismes internes de croissance racinaire, d'absorption hydrique et de réduction des pertes en eau (fermeture hydro-active des stomates en période de carence hydrique). Une autre hypothèse pourrait être liée à la distribution locale des hauteurs d'eau en situation de récession pluviométrique. Dans cet ordre d'idée une réduction de 5 % de la pluviométrie ponctuée d'un déplacement de la saison des pluies, d'un déplacement du mois le plus pluvieux passant d'août à septembre et caractérisée par une augmentation de la fréquence des fortes pluies comme observé à Tanguiéta au cours de ces 20

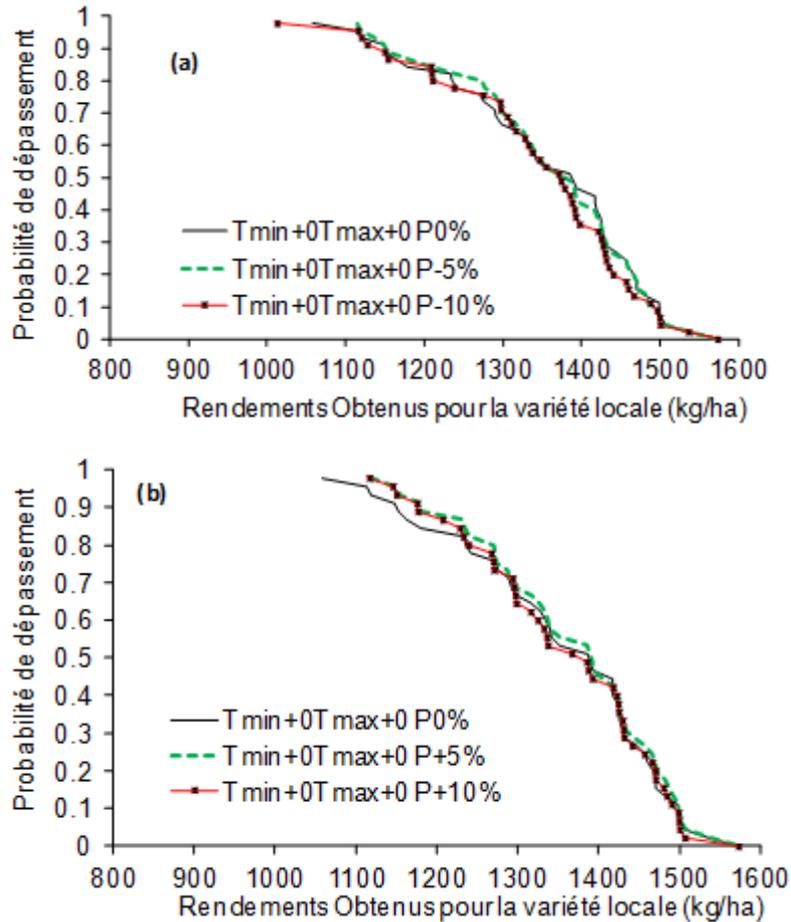


Figure 4 (a). Impacts de la baisse de la pluviométrie sur les rendements moyens de maïs local à Tanguiéta (b) Impacts de la hausse de la pluviométrie sur les rendements observés de maïs local à Tanguiéta.

dernières années justifierait les résultats observés. La variété locale de maïs semée généralement en fin Mai et au début de Juin dans la commune connaîtrait alors un développement satisfaisant lié au fait que les pluies bien qu'ayant connu une récession arrivent à leur maximum au moment même où les besoins de la plante le sont également. La baisse de la pluviométrie de 10% a entraîné quant à elle une réduction de 0,6% des rendements. On pourrait toujours se dire que suivant le même schéma, la baisse de la pluviométrie de 10% devrait améliorer les rendements obtenus. A cette pensée il faudrait opposer ici le fait qu'une baisse de l'ordre de 10% n'est pas négligeable en région tropicale où se déroule notre étude et que même bien réparties au cours du cycle de culture du maïs local, les

pluies ainsi réduites ne pourraient satisfaire les besoins optimaux de la céréale, qui sont de l'ordre de 800 à 1100 mm/an, ceux de la commune étant en moyenne de 1060 mm/an.

En situation d'augmentation de 10% des hauteurs d'eau, les tendances mitigées des rendements obtenus ont révélé que le maïs local, calqué sur le schéma zonal moyen de la région ne supporte que de faibles variations qui quand elles deviennent trop élevées (que ce soit en augmentation ou en diminution) réduisent les chances d'obtenir des rendements satisfaisants. Il faudra tout de même noter que sous ces différents scénarios l'augmentation de hauteurs d'eau a réduit légèrement le cycle cultural du maïs local et que la diminution des pluies a allongé légèrement ce cycle (Fig. 5). L'augmentation des

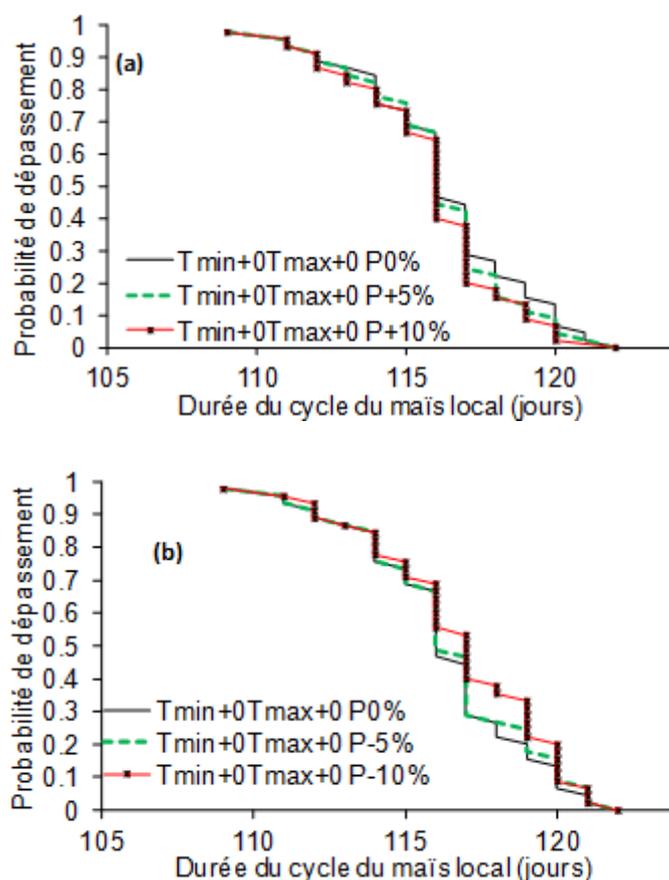


Figure 5 (a). Impacts de la hausse de la pluviométrie sur la durée du cycle de culture du maïs local à Tanguiéta (b) Impacts de la baisse de la pluviométrie sur les durées de cycle de culture du maïs local à Tanguiéta.

températures sans variation des pluies a engendré une forte baisse des rendements de maïs local de l'ordre de 7% (Fig. 6). Le maïs local est donc très sensible aux variations de la température. L'augmentation des pluies de l'ordre de 10% initialement limitant en situation de non variation des températures est devenue salutaire et a donné de meilleurs rendements en cas d'augmentation générale des températures de 1°C. La baisse des pluies dans une situation de hausse des températures a présenté des scénarios catastrophes de majoration des chances d'obtention de faibles rendements. En situation de référence, situation schématisant la condition normale où le climat ne connaîtrait pas de modifications perceptibles de ses variables, le producteur a 50% de chances d'obtenir un rendement supérieur à 1400 kg ha⁻¹. Cette

probabilité se réduit à 10% de chances en scénario combiné de hausse des températures et de baisse des pluies.

Impact sur le maïs amélioré. L'augmentation de 5 à 10% de la pluviométrie améliore les rendements maximums obtenus pour la variété améliorée à Tanguiéta qui passent de 1800 kg ha⁻¹ à 1900 kg ha⁻¹. Les probabilités d'obtention des différents rendements sont supérieures à celles obtenues en situation de référence. La probabilité d'obtention de rendements supérieurs à 1600 kg ha⁻¹ est de 0,6 en situation normale et de 0,7 en situation de hausse de la pluviométrie. Sous maintien de variation nulle des températures, les rendements moyens connaissent un accroissement de 1,48 % sur toute la période étudiée. Il est également à noter que l'amélioration

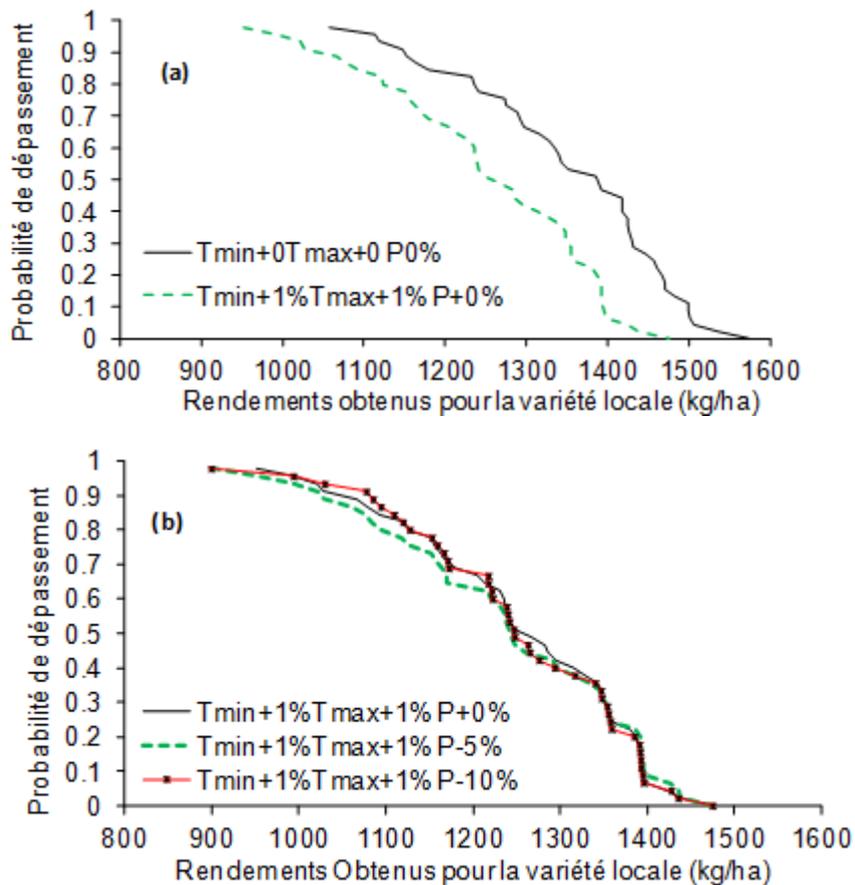


Figure 6 (a). Impacts de la hausse des températures sur les rendements observés de maïs local à Tanguiéta (b) Impacts de la hausse des températures combinée à une baisse de la pluviométrie sur les rendements observés de maïs local à Tanguiéta.

obtenue en période d'augmentation des pluies de 10% est sensiblement égale à celle obtenue avec un accroissement de 5% des hauteurs d'eau. Parallèlement à la tendance observée initialement, on note que la réduction de la pluviométrie sans variation des températures entraîne une détérioration des rendements minimums observés sur la série sans variation des maximums. La détérioration est d'autant plus marquée que la baisse de pluviométrie est forte. Les plus faibles rendements passent notamment de 1400 kg ha⁻¹ en situation normale à 1250 kg ha⁻¹ pour une baisse de 5% de la pluviométrie puis à 1150 kg ha⁻¹ lorsque cette baisse atteint les 10%. Les probabilités d'obtention de bons rendements sont faibles comparées à celles de la situation de référence et les rendements moyens sur toute la série connaissent une réduction globale de 1,5%.

Ces tendances sont sensiblement maintenues comme telles en scénarios de hausse des températures où l'on constate toujours une augmentation des rendements en situation de hausse des pluies et une diminution en cas de réduction de la pluviométrie avec pour seule différence les marges prises par les rendements qui passent de 1800 à 1700 pour les maximums et de 1400 à 950 pour les minimums (situation de baisse de la pluviométrie et de hausse des températures).

L'analyse des durées de cycle pour les mêmes scénarios révèle que la variété améliorée de maïs met plus de temps à boucler son cycle cultural en situation de baisse des hauteurs d'eau. La baisse de la pluviométrie impacte donc négativement la production du maïs amélioré à Tanguiéta en réduisant les rendements moyens et en allongeant

le cycle de la culture. Ce phénomène s'explique biologiquement par le fait qu'en absence d'une quantité suffisante d'eau pour son développement, le maïs croît lentement, l'eau étant indispensable pour son développement à tous les stades de croissance.

L'augmentation de 1°Celsius des températures maximales et minimales sans variation aucune de la pluviométrie diminue légèrement les rendements observés par rapport à la situation de référence (variation de pluviométrie et des températures maxi et mini = 0). Les taux de réduction avoisinent les 7%, les rendements moyens passant de 1625 à 1530 kg ha⁻¹.

Elle réduit également de façon considérable la durée du cycle de la culture qui connaît un raccourcissement perceptible pouvant atteindre 07 jours dans certains cas.

De ces études d'impacts on retiendra que les scénarios présentant de réelles possibilités de mauvais rendements pour la variété améliorée de maïs à Tanguiéta sont ceux de hausse des températures et de baisse des pluviométries. En situation de hausse des températures maximales et minimales et de baisse de 10% de la pluviométrie, les rendements moyens connaissent des réductions de 8% comparés à ceux observés en situation normale. La suite de nos analyses qui déterminera la pertinence des stratégies d'adaptation paysanne dans l'un ou l'autre des contextes climatiques propres à Tanguiéta se fera donc suivant ces différents scénarios à risque pour la commune.

Evaluation des stratégies d'adaptation. En situation normale, la probabilité d'avoir de forts rendements est supérieure si l'on produit la variété améliorée de maïs. L'écart de rendements observé est de 270 kg ha⁻¹. Ce constat nous sert de référence pour l'analyse de pertinence des stratégies d'adaptation et nous permet d'en évaluer quelques-unes. Pour la suite du travail nous définissons ici trois variables qui nous permettront de mieux cerner les analyses à venir. Il s'agit notamment des courbes de référence, des courbes d'impacts et des courbes d'adaptations. La stratégie de référence peut être l'une ou l'autre des courbes des variétés locales ou améliorées. La courbe d'impact représente l'évolution des rendements suivant un type de scénario

déterminé et la courbe d'adaptation représente le comportement des rendements en fonction des stratégies appliquées en vue de réduire l'impact ; une stratégie est jugée satisfaisante dès lors qu'elle permet tout au moins de corriger les effets négatifs de l'impact. Lorsque la stratégie améliore aussi bien la situation d'impact que celle de référence elle est intéressante.

Evaluation du changement de variété comme stratégie d'adaptation. Pour évaluer la pertinence du changement de variété comme stratégie d'adaptation, nous comparons les variétés locale et améliorée de maïs sous différents scénarios climatiques (Fig. 7). Pour ce faire, face à la baisse des rendements constatée au niveau de la production de maïs local, certains producteurs adoptent la variété améliorée. Cette pratique largement répandue à Tanguiéta semble être adéquate comme stratégie d'adaptation parce que les rendements obtenus en situation d'adaptation sont supérieurs aux rendements de situation normale et d'impact. L'adoption de variété améliorée est judicieuse pour faire face à une péjoration pluviométrique de l'ordre des 5%.

Lorsque la péjoration avoisine les 10% du cumul pluviométrique l'adoption de la variété améliorée de maïs apparaît encore comme solution pour répondre à la baisse des rendements (Fig. 8). On note toujours une amélioration de la situation d'adaptation par rapport à la situation d'impact et même par rapport à la situation de référence.

Dans tous les cas des figures analysées, la variété améliorée corrige les impacts négatifs dus à l'utilisation de la variété locale (Figs. 9 et 10). Notre conclusion concernant ce volet se doit donc de recommander son utilisation comme stratégie d'adaptation aux changements climatiques à Tanguiéta.

Evaluation des semis tardifs. Le semis tardif ne corrige aucun des impacts négatifs observés (Figs. 11 et 12). Il ne constitue donc pas une stratégie d'adaptation recommandable. A Tanguiéta, les dates optimums de semis se situent entre le 1 Mai et le 30 Juin. Dans la région, il a été constaté que le début de la saison est très variable alors que la fin se passe approximativement à la même date (Sivakumar, 1988). Le décalage des

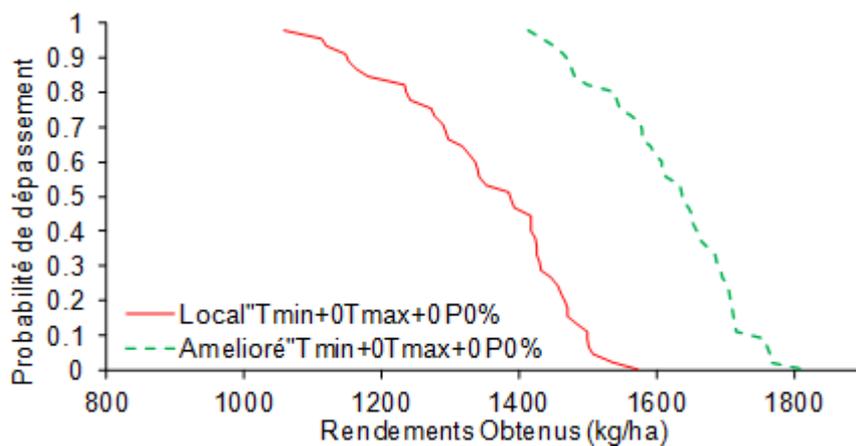


Figure 7. Comparaison en situation sans changement des variétés locales et améliorées de maïs à Tanguéta.

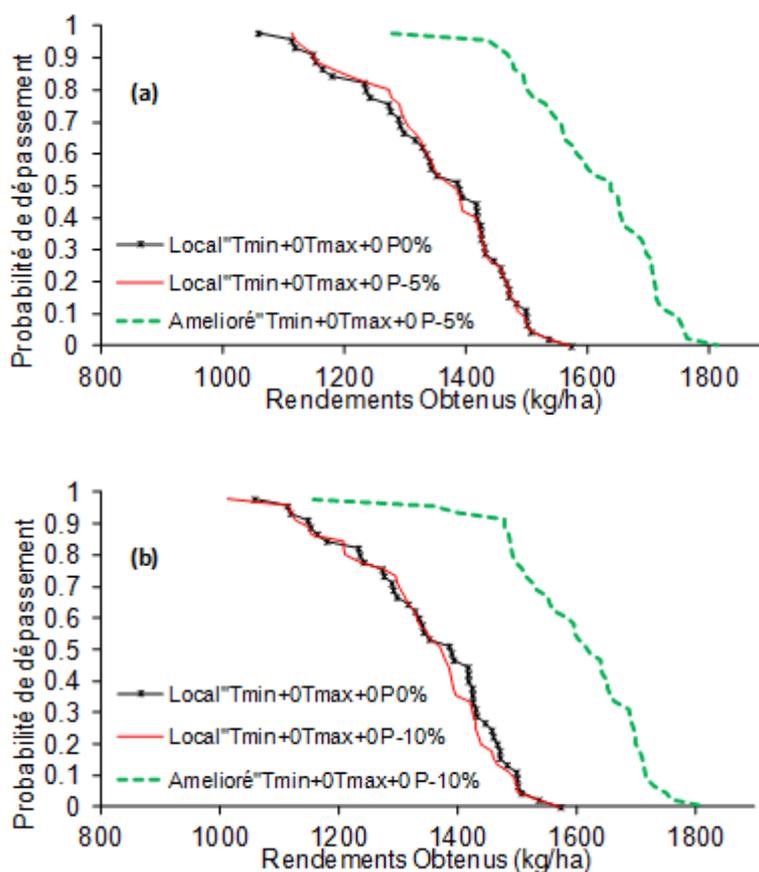


Figure 8. Evaluation de l'adoption de la variété améliorée comme stratégie d'adaptation sous scénario de baisse de 5% (a) et de 10% (b) de la pluviométrie.

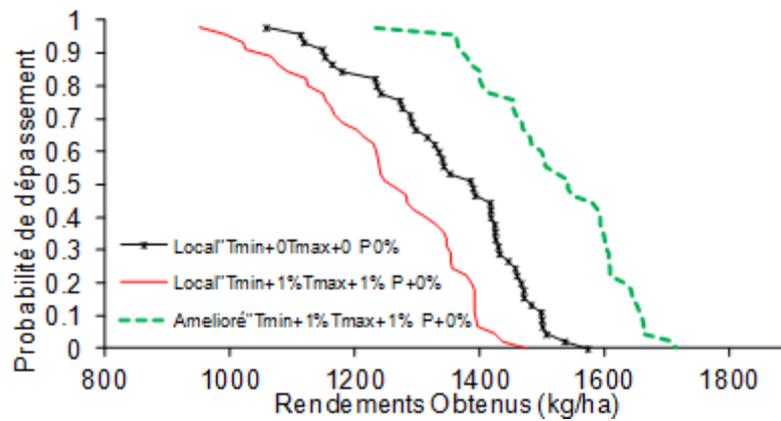


Figure 9. Evaluation de l'adoption de la variété améliorée comme stratégie d'adaptation sous scénario de hausse de 1% des températures.

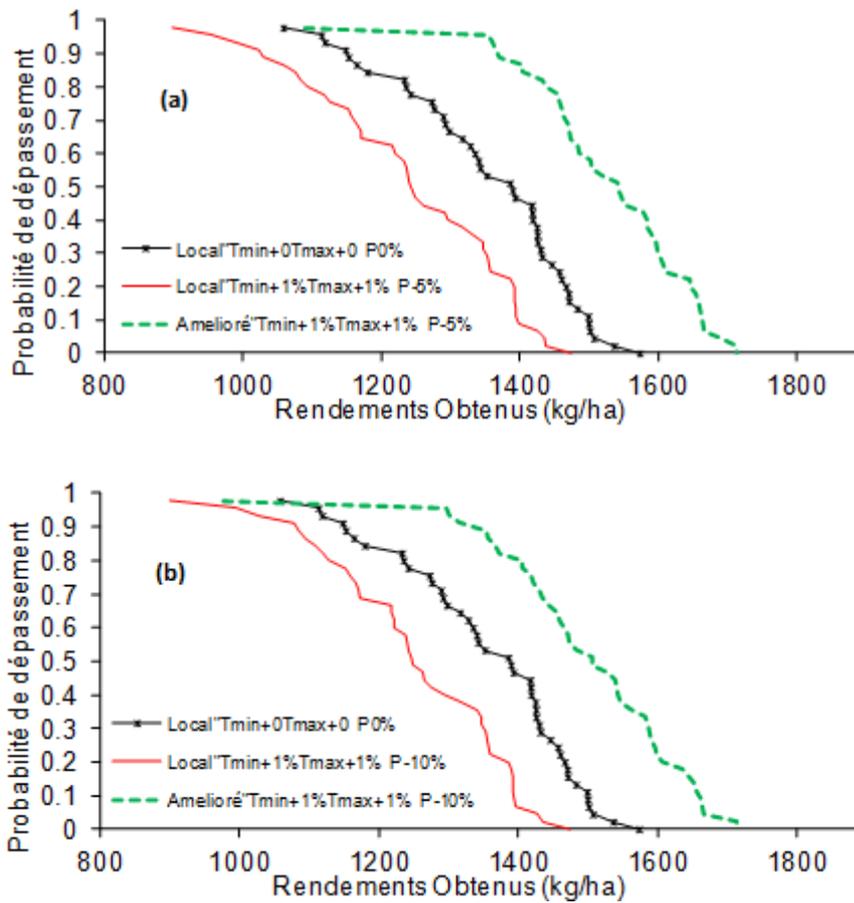


Figure 10 (a). Evaluation de l'adoption de la variété améliorée comme stratégie d'adaptation sous scénario de hausse de 1% des températures et de baisse de 5% de la pluviométrie (b) Evaluation de l'adoption de la variété améliorée comme stratégie d'adaptation sous scénario de hausse de 1% des températures et de baisse de 10% de la pluviométrie.

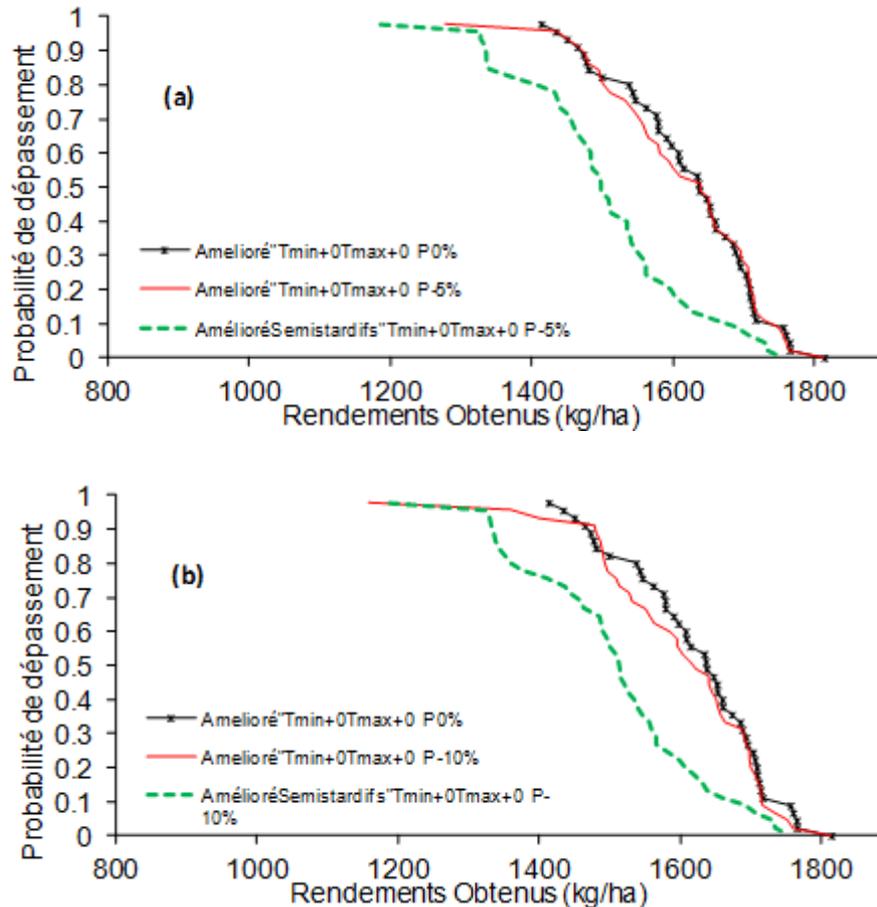


Figure 11 (a). Evaluation de l'adoption des semis tardifs de maïs amélioré comme stratégie d'adaptation sous scénario de baisse de 5% de la pluviométrie (b) Evaluation de l'adoption des semis tardifs de maïs amélioré comme stratégie d'adaptation sous scénario de baisse de 10% de la pluviométrie.

dates de semis (tardif) réduit ainsi la période d'exposition aux pluies de la culture dont les stades sensibles comme la floraison ou la formation des graines tombent souvent après la fin des pluies.

Evaluation de la réduction des densités de semis comme stratégie d'adaptation. Dans tous les cas observés les rendements baissent avec la réduction des densités de semis sans correction des impacts négatifs (Figs. 13 et 14). Que ce soit pour les variétés améliorées et / ou locales de maïs, cette pratique actuellement appliquée en milieu rural doit être évitée. La réduction des densités de semis a pour effet de réduire la compétition pour l'eau des plantes et de réduire

ainsi leur stress hydrique en situation de réduction de la pluviométrie, ce qui favoriserait la production des plants résiduels. Dans le même temps la réduction des densités de semis joue directement et négativement sur le nombre de plants contribuant au rendement total. Les sols de la région étant très pauvre, l'effet de la réduction du stress hydrique n'arrive pas à compenser celle de la contribution individuelle des plants au rendement.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La présente évaluation des stratégies d'adaptation aux changements climatiques nous amène à recommander l'adoption de variété

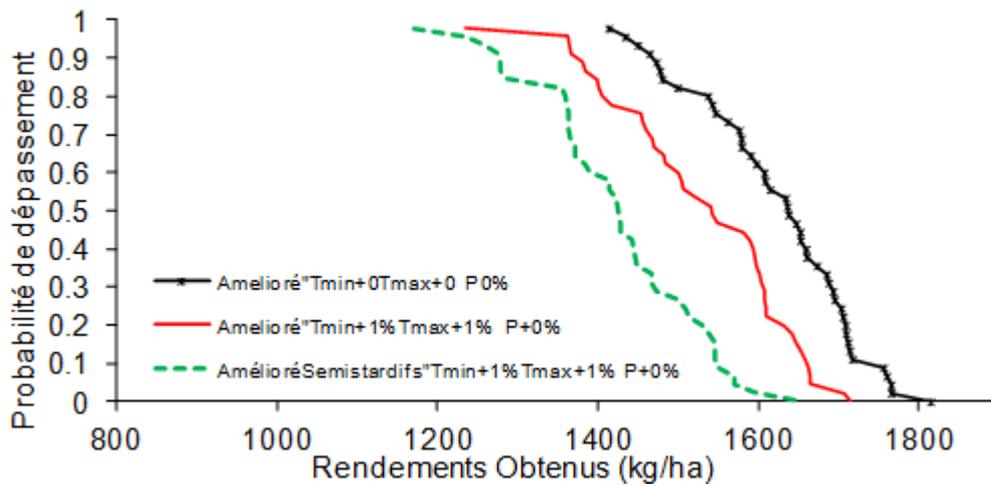


Figure 12. Evaluation de l'adoption des semis tardifs de maïs amélioré comme stratégie d'adaptation sous scénario de hausse de 1% des températures.

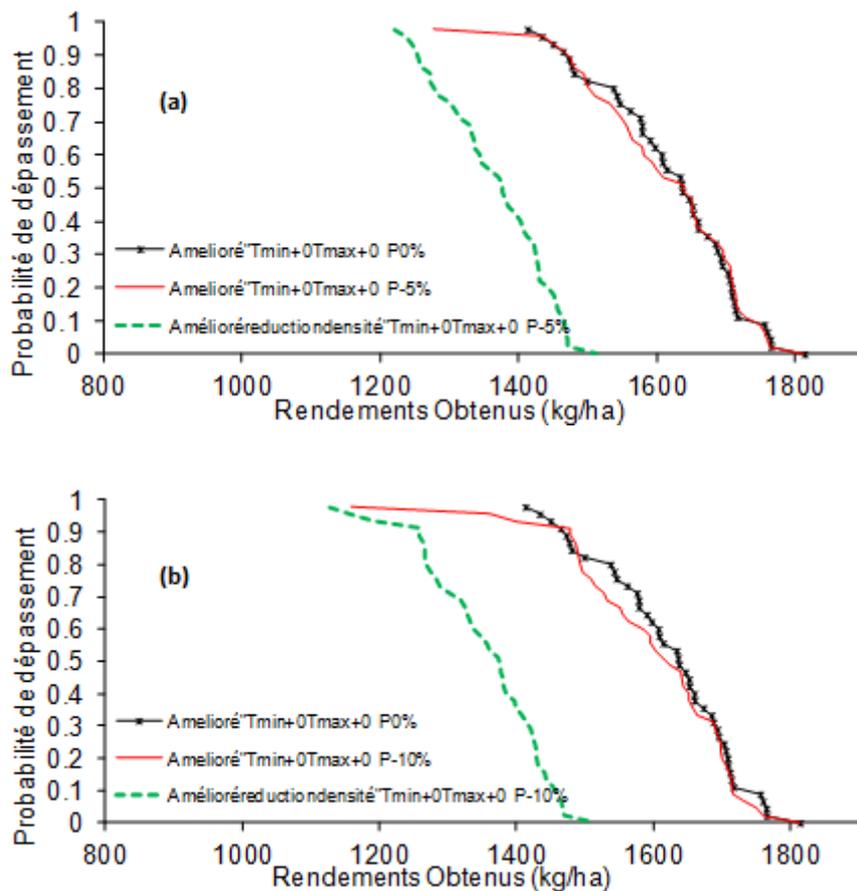


Figure 13 (a). Evaluation de la réduction des densités de semis de maïs amélioré comme stratégie d'adaptation sous scénario de baisse de 5% de la pluviométrie (b) Evaluation de la réduction des densités de semis de maïs amélioré comme stratégie d'adaptation sous scénario baisse de 10% de la pluviométrie.

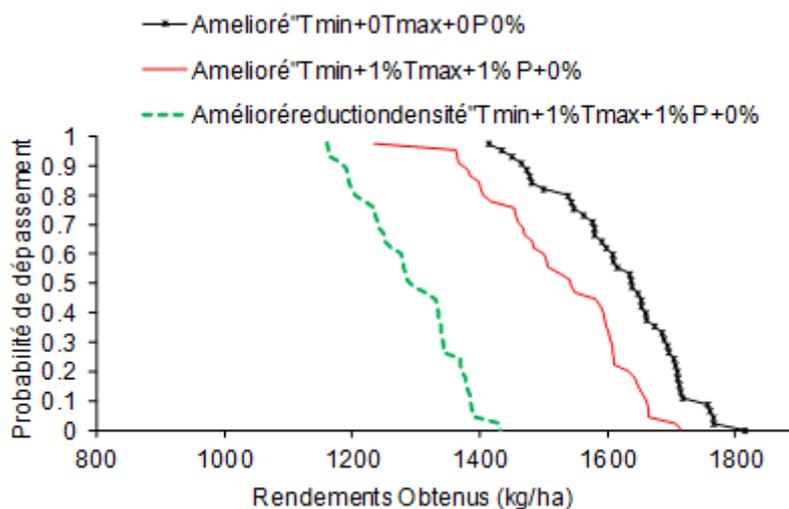


Figure 14. Evaluation de la réduction des densités de semis de maïs amélioré comme stratégie d'adaptation sous scénario de hausse de 1% des températures.

précoce de maïs comme stratégie efficace dans le contexte climatique changeant actuel à Tanguiéta. Cependant, la prise en ligne de compte des incertitudes liées aux déviations climatiques nous pousse à présenter une vision beaucoup plus large du concept d'adaptation abordé ici. L'adoption de la variété précoce de maïs ne saurait à elle seule comme stratégie d'adaptation, faire face aux difficultés actuelles rencontrées par les producteurs. En dehors du fait que l'application d'une telle recommandation pourrait contribuer dans le long terme à la perte de valeur des variétés tardives (locales) de maïs et à une certaine perte de la biodiversité, il faut avoir un certain réalisme et dire que la meilleure stratégie pour les pays comme le nôtre réside entièrement dans une parfaite maîtrise des ressources en eau qui réduirait les risques de sécheresse et d'élévation des températures des sols. Nous recommandons donc à cet effet que l'adoption de la variété précoce de maïs soit associée aux techniques parcelles de conservations des sols et des eaux.

BIBLIOGRAPHIE

Afouda, A. 1990. L'eau et les cultures dans le Bénin central et septentrional : étude de la variabilité des bilans de l'eau dans leurs relations avec le milieu rural de la savane africaine. Thèse de Doctorat nouveau régime,

Université de Paris IV (Sorbonne), Institut de géographie. 428pp

Agbossou, K. E. 2010. Rapport provisoire d'étude de vulnérabilité, impacts et adaptations de l'agriculture béninoise aux Changements Climatiques.

Akponikpè, P.B. I. 1999. Changements climatiques et impacts sur la production de maïs (*Zea mays*) au Sud-Bénin, Thèse d'Ingénieur Agronome, Faculté des Sciences Agronomiques/Université Nationale du Bénin.

Akponikpè, P.B.I. 2008. Millet response to water and soil fertility management in the Sahelian Niger: experiments and modelling. Ph.D. dissertation, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium. 168pp.

Akponikpè, P. B. I., Minet, J., Gérard, B., Defourny, P. and Biielders C. L. 2011. Spatial fields' dispersion as a farmer strategy to reduce agro-climatic risk at the household level in pearl millet based systems in the Sahel: A modeling perspective. *Agricultural and Forest Meteorology* 151:215-227.

Al Niassé *et al.*, 2004. Réduire la Vulnérabilité de l'Afrique de l'Ouest aux impacts du climat sur les ressources en eau, les zones humides et la désertification. Eléments de stratégie régionale de préparation. UICN, Gland (Switzerland) & Cambridge (UK).

- Berger, A. 1992. Les climats de la terre : Un passé pour quel avenir? De Boeck Wesmael, Bruxelles. 479pp.
- Boko, M. 1988. Climats et communautés rurales du Bénin : Rythmes climatiques et rythmes de développement. Thèse de doctorat d'Etat ès Lettres et Sciences Humaines. CRC, URA 909 du CNRS, Université de Bourgogne, Dijon, 2 volumes. 601pp.
- Houndénou, C. 1999. Variabilité climatique et maïsiculture en milieu tropical humide : l'exemple du Bénin, diagnostic et modélisation. Thèse de Doctorat de géographie, UMR 5080, CNRS « climatologie de l'Espace Tropical », Université de Bourgogne, Centre de Recherche de Climatologie, Dijon. 341p.
- IPCC/GIEC. 2007. Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse. Contribution du Groupe de travail II au Quatrième Rapport d'évaluation.
- Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., Hargreaves, J.N.G., Meinke, H., Hochman, Z., Mclean, G., Verburg, K., Snow, V., Dimes, J.P., Silburn, M., Wang, E., Brown, S., Bristow, K.L., Asseng, S., Chapman, S., Mccown, R.L., Freebairn, D.M. and Smith, C.J. 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *Eur. J. Agron.* 18:267-288.
- Ogouwalé, E. 2006. Changements climatiques dans le Bénin méridional et central : Indicateurs, scénarios et prospective de la sécurité alimentaire. Thèse de Doctorat unique, LECREDE/FLASH/EDP/UAC, 302p.
- PANA, 2008. Programme d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques du Bénin (Pana-Bénin) Cotonou, Janvier 2008.
- Sivakumar, M.V.K. 1988. Predicting rainy season potential from the onset of rains in southern sahelian and sudanian climatic zones of West Africa. *Agricultural and Forest Meteorology* 42:295-305.