

Quatrième article : Économie de l'adaptation aux variabilités et changements climatiques dans la production du maïs au Nord-Bénin

Par : H. Satoguina

Pages (pp.) 31-50.

Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) – Juin 2020 – Volume 30 - Numéro 02

Le BRAB est en ligne (on line) sur le site web <http://www.slire.net> et peut être aussi consulté sur le site web de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) <http://www.inrab.org>

ISSN imprimé (print ISSN) : 1025-2355 et ISSN électronique (on line ISSN) : 1840-7099

Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin



Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

Direction Scientifique (DS) - Service Animation Scientifique (SAS)

01 BP 884 Recette Principale, Cotonou 01 - République du Bénin

Tél. : (+229) 21 30 02 64 ; E-mail : sp.inrab@inrab.org / inrabdg1@yahoo.fr / brabpisbinrab@gmail.com

La rédaction et la publication du bulletin de la recherche agronomique du Bénin (BRAB)
de l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

01 B.P. 884 Recette Principale, Cotonou 01

Tél. : (+229) 21 30 02 64 - E-mail: brabpisbinrab@gmail.com

République du Bénin

Sommaire

Informations générales	ii
Indications aux auteurs	iii
Bulletin d'abonnement	vii
Effets et tendance des variabilités et changements climatiques au Bénin A. Alinsato, K. Kponou, Y. Soglo et C. C. Gnimadi	1
Importance des coûts de transaction dans les systèmes de production du coton conventionnel et biologique au Centre et Nord du Bénin B. Agalati et P. Degla	10
Déterminants socioéconomiques de l'insécurité alimentaire dans la commune d'Avrankou au Sud-Est du Bénin D. M. Noukpozoukou et M. Y. Affomaï	22
Économie de l'adaptation aux variabilités et changements climatiques dans la production du maïs au Nord-Bénin H. Satoguina	31
Facteurs d'affectation des terres et effets sur les services écosystémiques et la biodiversité : Synthèse bibliographique F. C. Ahononga, G. N. Gouwakinnou, S. S. H. Biaou, O. Ahouandjinou, S. Biaou et R. C. Sonounameto	51
Caractéristiques dendrométriques et production fruitière de <i>Pentadesma butyracea</i> au Mali (Afrique de l'Ouest) A. M. Kouyaté, E. A. Padonou, I. Diarra et A. M. Lykke	64

ISSN imprimé (print ISSN) : 1025-2355 et ISSN électronique (on line ISSN) : 1840-7099

Bibliothèque Nationale (BN) du Bénin

Informations générales

Le Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) édité par l'Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB) est un organe de publication créé en mai 1991 pour offrir aux chercheurs béninois et étrangers un cadre pour la diffusion des résultats de leurs travaux de recherche. Il accepte des articles originaux de recherche et de synthèse, des contributions scientifiques, des articles de revue, des notes et fiches techniques, des études de cas, des résumés de thèse, des analyses bibliographiques, des revues de livres et des rapports de conférence relatifs à tous les domaines de l'agronomie et des sciences apparentées, ainsi qu'à toutes les disciplines du développement rural. La publication du Bulletin est assurée par un comité de rédaction et de publication appuyés par un conseil scientifique qui réceptionne les articles et décide de l'opportunité de leur parution. Ce comité de rédaction et de publication est appuyé par des comités de lecture qui sont chargés d'apprécier le contenu technique des articles et de faire des suggestions aux auteurs afin d'assurer un niveau scientifique adéquat aux articles. La composition du comité de lecture dépend du sujet abordé par l'article proposé. Rédigés en français ou en anglais, les articles doivent être assez informatifs avec un résumé présenté dans les deux langues, dans un style clair et concis. Une note d'indications aux auteurs est disponible dans chaque numéro et peut être obtenue sur demande adressée au secrétariat du BRAB. Pour recevoir la version électronique pdf du BRAB, il suffit de remplir la fiche d'abonnement et de l'envoyer au comité de rédaction avec les frais d'abonnement. La fiche d'abonnement peut être obtenue à la Direction Générale de l'INRAB, dans ses Centres de Recherches Agricoles ou à la page vii de tous les numéros. Le BRAB publie par an normalement deux (02) numéros en juin et décembre mais quelquefois quatre (04) numéros en mars, juin, septembre et décembre et aussi des numéros spéciaux mis en ligne sur le site web : <http://www.slire.net>. Un thesaurus spécifique dénommé « TropicAgrif » (Tropical Agriculture and Forestry) a été développé pour caractériser les articles parus dans le BRAB et servir d'autres revues africaines du même genre. Pour les auteurs, une contribution de quarante mille (40.000) Francs CFA est demandée par article soumis et accepté pour publication. L'auteur principal reçoit la version électronique pdf du numéro du BRAB contenant son article.

Comité de Rédaction et de Publication du Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin - 01 BP 884 Recette Principale - Cotonou 01 – Tél.: (+229) 21 30 02 64 - E-mail: brabpisbinrab@gmail.com – République du Bénin

Éditeur : Institut National des Recherches Agricoles du Bénin (INRAB)

Comité de Rédaction et de Publication : -i- **Directeur de rédaction et de publication :** Directeur Général de l'INRAB ; -ii- **Rédacteur en chef :** Directeur Scientifique de l'INRAB ; -iii- **Secrétaire documentaliste :** Documentaliste archiviste de l'INRAB ; -iv- **Maquettiste :** Analyste programmeur de l'INRAB ; -v- **Opérateur de mise en ligne :** Dr Ir. Setchémè Charles Bertrand POMALEGNI, Chargé de recherche ; -vi- **Membres :** Dr Ir. Guy A. MENSAH, Directeur de Recherche, Dr Ir. Angelo C. DJIHINTO, Maître de Recherche, Dr Ir. Rachida SIKIROU, Maître de Recherche et MSc. Ir. Gbènakpon A. Y. G. AMAGNIDE.

Conseil Scientifique : Membres du Conseil Scientifique de l'INRAB, Pr. Dr Ir. Brice A. SINSIN (Ecologie, Foresterie, Faune, PFNL, Bénin), Pr. Dr Michel BOKO (Climatologie, Bénin), Pr. Dr Ir. Joseph D. HOUNHOUIGAN (Sciences et biotechnologies alimentaires, Bénin), Pr. Dr Ir. Abdourahmane BALLA (Sciences et biotechnologies alimentaires, Niger), Pr. Dr Ir. Kakai Romain GLELE (Biométrie et Statistiques, Bénin), Pr. Dr Agathe FANTODJI (Biologie de la reproduction, Elevage des espèces gibier et non gibier, Côte d'Ivoire), Pr. Dr Ir. Jean T. C. CODJIA (Zootechnie, Zoologie, Faune, Bénin), Pr. Dr Ir. Euloge K. AGBOSSOU (Hydrologie, Bénin), Pr. Dr Sylvie M. HOUNZANGBE-ADOTE (Parasitologie, Physiologie, Bénin), Pr. Dr Ir. Jean C. GANGLO (Agro-Foresterie), Dr Ir. Guy A. MENSAH (Zootechnie, Faune, Elevage des espèces gibier et non gibier, Bénin), Pr. Dr Moussa BARAGÉ (Biotechnologies végétales, Niger), Dr Jeanne ZOUNDJIHEKPON (Génétique, Bénin), Dr Ir. Gualbert GBEHOUNOU (Malherbologie, Protection des végétaux, Bénin), Dr Ir. Attanda Mouinou IGUE (Sciences du sol, Bénin), Dr DMV. Delphin O. KOUDANDE (Génétique, Sélection et Santé Animale, Bénin), Dr Ir. Aimé H. BOKONON-GANTA (Agronomie, Entomologie, Bénin), Dr Ir. Rigobert C. TOSSOU (Sociologie, Bénin), Dr Ir. Gauthier BIAOU (Economie, Bénin), Dr Ir. Roch MONGBO (Sociologie, Anthropologie, Bénin), Dr Ir. Anne FLOQUET (Economie, Allemagne), Dr Ir. André KATARY (Entomologie, Bénin), Dr Ir. Hessou Anastase AZONTONDE (Sciences du sol, Bénin), Dr Ir. Claude ADANDEDJAN (Zootechnie, Pastoralisme, Agrostologie, Bénin), Dr Ir. Paul HOUSSOU (Technologies agro-alimentaires, Bénin), Dr Ir. Adolphe ADJANOHOOUN (Agro-foresterie, Bénin), Dr Ir. Isidore T.GBEGO (Zootechnie, Bénin), Dr Ir. Françoise ASSOGBA-KOMLAN (Maraîchage, Sciences du sol, Bénin), Dr Ir. André B. BOYA (Pastoralisme, Agrostologie, Association Agriculture-Elevage), Dr Ousmane COULIBALY (Agro-économie, Mali), Dr Ir. Luc O.SINTONDJI (Hydrologie, Génie Rural, Bénin), Dr Ir. Vincent J. MAMA (Foresterie, SIG, Sénégal)

Comité de lecture : Les évaluateurs (referees) sont des scientifiques choisis selon leurs domaines et spécialités.

Indications aux auteurs

Types de contributions et aspects généraux

Le Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB) accepte des articles scientifiques, des articles de synthèse, des résumés de thèse de doctorat, des analyses bibliographiques, des notes et des fiches techniques, des revues de livres, des rapports de conférences, d'ateliers et de séminaires, des articles originaux de recherche et de synthèse, puis des études de cas sur des aspects agronomiques et des sciences apparentées produits par des scientifiques béninois ou étrangers. La responsabilité du contenu des articles incombe entièrement à l'auteur et aux co-auteurs. Le BRAB publie par an normalement deux (02) numéros en juin et décembre mais quelquefois quatre (04) numéros en mars, juin, septembre et décembre et aussi des numéros spéciaux mis en ligne sur le site web : <http://www.slire.net>. Pour les auteurs, une contribution de quarante mille (40.000) Francs CFA est demandée par article soumis et accepté pour publication. L'auteur principal reçoit la version électronique pdf du numéro du BRAB contenant son article.

Soumission de manuscrits

Les articles doivent être envoyés par voie électronique et/ou en trois (3) exemplaires en version papier par une lettre de soumission (*covering letter*) au comité de rédaction et de publication du BRAB aux adresses électroniques suivantes : E-mail : brabpisbinrab@gmail.com. Dans la lettre de soumission les auteurs doivent proposer l'auteur de correspondance ainsi que les noms et adresses (y compris e-mail) d'au moins trois (03) experts de leur discipline ou domaine scientifique pour l'évaluation du manuscrit. Certes, le choix des évaluateurs (*referees*) revient au comité éditorial du Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin.

Les manuscrits doivent être écrits en français ou en anglais, tapé/saisi sous Winword ou Word ou Word docx avec la police Arial taille 10 en interligne simple sur du papier A4 (21,0 cm x 29,7 cm). L'auteur doit fournir des fichiers électroniques des illustrations (tableaux, figures et photos) en dehors du texte. Les figures doivent être réalisées avec un logiciel pour les graphiques. Les données ayant servi à élaborer les figures seront également fournies. Les photos doivent être suffisamment contrastées. Les articles sont soumis par le comité de rédaction à des lecteurs, spécialistes du domaine. Pour qu'un article soit accepté par le comité de rédaction, il doit respecter certaines normes d'édition et règles de présentation et d'écriture. Ne pas oublier que les trois (3) **qualités fondamentales d'un article scientifique** sont la **précision** (supprimer les adjectifs et adverbes creux), la **clarté** (phrases courtes, mots simples, répétition des mots à éviter, phrases actives, ordre logique) et la **brièveté** (supprimer les expressions creuses).

Titre

On doit y retrouver l'information principale de l'article et l'objet principal de la recherche. Le titre doit contenir 6 à 10 mots (22 mots au maximum ou 100 caractères et espaces) en position forte, décrivant le contenu de l'article, assez informatifs, descriptifs, précis et concis. Il comporte les mots de l'index *Medicus* pour faciliter la recherche sur le plan mondial. Il est recommandé d'utiliser des sous-titres courts et expressifs pour subdiviser les sections longues du texte. Ils doivent être écrits en minuscules, à part la première lettre et non soulignés. Toutefois, il faut éviter de multiplier les sous-titres. Le titre doit être traduit dans la seconde langue donc écrit dans les deux langues.

Auteur et Co-auteurs

Les initiales des prénoms en majuscules séparées par des points et le nom avec 1^{ère} lettre écrite en majuscule de tous les auteurs (auteur & co-auteurs) sont écrits sous le titre de l'article. Immédiatement, suivent les titres académiques (Pr., Prof., Dr, MSc., MPhil. et/ou Ir.), les prénoms écrits en minuscules et le nom écrit en majuscule, puis les adresses complètes (structure, BP, Tél., e-mail, pays, etc.) de tous les auteurs. Il ne faut retenir que les noms des membres de l'équipe ayant effectivement participé au programme et à la rédaction de l'article. L'auteur principal est celui qui a assuré la direction de la recherche et le plus en mesure d'assumer la responsabilité de l'article.

Résumé

Un bref résumé dans la langue de l'article est nécessaire. Ce résumé doit être précédé d'un résumé détaillé dans la seconde langue (français ou anglais selon le cas) et le titre sera traduit dans cette seconde langue. Le résumé est : un compte rendu succinct ; une représentation précise et abrégée ; une vitrine de plusieurs mois de dur labeur ; une compression en volume plus réduit de l'ensemble des idées développées dans un document ; etc. Il doit contenir l'essentiel en un seul paragraphe de 200 à 350 mots. Un bon résumé a besoin d'une bonne structuration. La structure apporte non seulement de la force à un résumé mais aussi de l'élégance. Il faut absolument éviter d'enrober le lecteur dans un amalgame de mots juxtaposés les uns après les autres et sans ordre ni structure logique. Un résumé doit contenir essentiellement : une courte **Introduction (Contexte)**, un **Objectif**,

la **Méthodologie** de collecte et d'analyse des données (**Type d'étude, Echantillonnage, Variables et Outils statistiques**), les principaux **Résultats** obtenus en 150 mots (**Résultats importants et nouveaux pour la science**), une courte discussion et une Conclusion (**Implications de l'étude en termes de généralisation et de perspectives de recherches**). La sagesse recommande d'être efficacement économe et d'utiliser des mots justes pour dire l'essentiel.

Mots-clés

Les mots clés suivront chaque résumé et l'auteur retiendra 3 à 5 mots qu'il considère les plus descriptifs de l'article. On doit retrouver le pays (ou la région), la problématique ou l'espèce étudiée, la discipline et le domaine spécifique, la méthodologie, les résultats et les perspectives de recherche. Il est conseillé de choisir d'autres mots/groupes de mots autres que ceux contenus dans le titre.

Texte

Tous les articles originaux doivent être structurés de la manière suivante : Introduction, Matériel et Méthodes, Résultats, Discussion/Résultats et Discussion, Conclusion, Remerciements (si nécessaire) et Références bibliographiques. Le texte doit être rédigé dans un langage simple et compréhensible.

Introduction

L'introduction c'est pour persuader le lecteur de l'importance du thème et de la justification des objectifs de recherche. Elle motive et justifie la recherche en apportant le background nécessaire, en expliquant la rationalité de l'étude et en exposant clairement l'objectif et les approches. Elle fait le point des recherches antérieures sur le sujet avec des citations et références pertinentes. Elle pose clairement la problématique avec des citations scientifiques les plus récentes et les plus pertinentes, l'hypothèse de travail, l'approche générale suivie, le principe méthodologique choisi. L'introduction annonce le(s) objectif(s) du travail ou les principaux résultats. Elle doit avoir la forme d'un entonnoir (du général au spécifique).

Matériel et méthodes

Il faut présenter si possible selon la discipline le **milieu d'étude** ou **cadre de l'étude** et indiquer le lien entre le milieu physique et le thème. **La méthodologie d'étude** permet de baliser la discussion sur les résultats en renseignant sur la validité des réponses apportées par l'étude aux questions formulées en introduction. Il faut énoncer les méthodes sans grands détails et faire un extrait des principales utilisées. L'importance est de décrire les protocoles expérimentaux et le matériel utilisé, et de préciser la taille de l'échantillon, le dispositif expérimental, les logiciels utilisés et les analyses statistiques effectuées. Il faut donner toutes les informations permettant d'évaluer, voire de répéter l'essai, les calculs et les observations. Pour le matériel, seront indiquées toutes les caractéristiques scientifiques comme le genre, l'espèce, la variété, la classe des sols, etc., ainsi que la provenance, les quantités, le mode de préparation, etc. Pour les méthodes, on indiquera le nom des dispositifs expérimentaux et des analyses statistiques si elles sont bien connues. Les techniques peu répandues ou nouvelles doivent être décrites ou bien on en précisera les références bibliographiques. Toute modification par rapport aux protocoles courants sera naturellement indiquée.

Résultats

Le texte, les tableaux et les figures doivent être complémentaires et non répétitifs. Les tableaux présenteront un ensemble de valeurs numériques, les figures illustrent une tendance et le texte met en évidence les données les plus significatives, les valeurs optimales, moyennes ou négatives, les corrélations, etc. On fera mention, si nécessaire, des sources d'erreur. La règle fondamentale ou règle cardinale du témoignage scientifique suivie dans la présentation des résultats est de donner tous les faits se rapportant à la question de recherche concordant ou non avec le point de vue du scientifique et d'indiquer les relations imprévues pouvant faire de l'article un sujet plus original que l'hypothèse initiale. Il ne faut jamais entremêler des descriptions méthodologiques ou des interprétations avec les résultats. Il faut indiquer toujours le niveau de signification statistique de tout résultat. Tous les aspects de l'interprétation doivent être présents. Pour l'interprétation des résultats il faut tirer les conclusions propres après l'analyse des résultats. Les résultats négatifs sont aussi intéressants en recherche que les résultats positifs. Il faut confirmer ou infirmer ici les hypothèses de recherches.

Discussion

C'est l'établissement d'un pont entre l'interprétation des résultats et les travaux antérieurs. C'est la recherche de biais. C'est l'intégration des nouvelles connaissances tant théoriques que pratiques dans le domaine étudié et la différence de celles déjà existantes. Il faut éviter le piège de mettre trop en évidence les travaux antérieurs par rapport aux résultats propres. Les résultats obtenus doivent être interprétés en fonction des éléments indiqués en introduction (hypothèses posées, résultats des recherches antérieures, objectifs). Il faut discuter ses propres résultats et les comparer à des résultats de la littérature scientifique. En d'autres termes c'est de faire les relations avec les travaux antérieurs.

Il est nécessaire de dégager les implications théoriques et pratiques, puis d'identifier les besoins futurs de recherche. Au besoin, résultats et discussion peuvent aller de pair.

Résultats et Discussion

En optant pour **résultats et discussions** alors les deux vont de pair au fur et à mesure. Ainsi, il faut la discussion après la présentation et l'interprétation de chaque résultat. Tous les aspects de l'interprétation, du commentaire et de la discussion des résultats doivent être présents. Avec l'expérience, on y parvient assez aisément.

Conclusion

Il faut une bonne et concise conclusion. Il ne faut jamais laisser les résultats orphelins mais il faut les couvrir avec une conclusion étendant les implications de l'étude et/ou les suggestions. Une conclusion ne comporte jamais de résultats ou d'interprétations nouvelles. On doit y faire ressortir de manière précise et succincte les faits saillants et les principaux résultats de l'article sans citation bibliographique. Elle fait l'état des limites et des faiblesses de l'étude (et non celles de l'instrumentation mentionnées dans la section de méthodologie). Elle suggère d'autres avenues et études permettant d'étendre les résultats ou d'avoir des applications intéressantes ou d'obtenir de meilleurs résultats. La conclusion n'est pas l'endroit pour présenter la synthèse des conclusions partielles du texte car c'est une des fonctions du résumé. Il faut retenir que la conclusion n'est pas un résumé de l'article.

Références bibliographiques

Il existe deux normes internationales régulièrement mise à jour, la :

- **norme Harvard** : -i- West, J.M., Salm, R.V., 2003: Resistance and resilience to coral bleaching: implications for coral reef conservation and management. *Conservation Biology*, 17, 956-967. -ii- Pandolfi, J.M., R.H. Bradbury, E. Sala, T.P. Hughes, K.A. Bjorndal, R.G. Cooke, D. McArdle, L. McClenachan, M.J.H. Newman, G. Paredes, R.R. Warner, J.B.C. Jackson, 2003: Global trajectories of the long-term decline of coral reef ecosystems. *Science*, 301 (5635), 955-958.
- **norme Vancouver** : -i- WEST, J.M., SALM, R.V., (2003); Resistance and resilience to coral bleaching: implications for coral reef conservation and management. *Conservation Biology*, vol. 17, pp. 956-967. -ii- PANDOLFI, J.M., et al., (2003); Global trajectories of the long-term decline of coral reef ecosystems. *Science*, vol. 301 N° 5635, pp. 955-958.

Il ne faut pas mélanger les normes de présentation des références bibliographiques. En ce qui concerne le Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB), c'est la norme Harvard qui a été choisie. Les auteurs sont responsables de l'orthographe des noms cités dans les références bibliographiques. Il faut s'assurer que les références mentionnées dans le texte sont toutes reportées dans la liste des références et inversement. La bibliographie doit être présentée en ordre alphabétique conformément aux deux (2) exemples donnés ci-dessus comme suit : nom et initiales du prénom du 1^{er} auteur, puis initiales du prénom et nom des autres auteurs ; année de publication (ajouter les lettres a, b, c, etc., si plusieurs publications sont citées du même auteur dans la même année) ; nom complet du journal ; numéro du volume en chiffre arabe, éditeur, ville, pays, première et dernière page de l'article. Dans le texte, les publications doivent être citées avec le nom de l'auteur et l'année de publication entre parenthèses de la manière suivante : Sinsin (1995) ou Sinsin et Assogbadjo (2002). Pour les références avec plus de deux auteurs, on cite seulement le premier suivi de « *et al.* » (mis pour *et alteri*), bien que dans la bibliographie tous les auteurs doivent être mentionnés : Sinsin *et al.* (2007). Les références d'autres sources que les journaux, par exemple les livres, devront inclure le nom de l'éditeur et le nom de la publication. Somme toute selon les ouvrages ou publications, les références bibliographiques seront présentées dans le BRAB de la manière suivante :

Pour les revues :

- Adjanohoun, E., 1962 : Etude phytosociologique des savanes de la base Côte-d'Ivoire (savanes lagunaires). *Vegetatio*, 11, 1-38.
- Grönblad, R., G.A. Prowse, A.M. Scott, 1958: Sudanese Desmids. *Acta Bot. Fenn.*, 58, 1-82.
- Thomasson, K., 1965: Notes on algal vegetation of lake Kariba.. *Nova Acta R. Soc. Sc. Upsal.*, ser. 4, 19(1): 1-31.
- Poche, R.M., 1974a: Notes on the roan antelope (*Hippotragus equinus* (Desmarest)) in West Africa. *J. Applied Ecology*, 11, 963-968.
- Poche, R.M., 1974b: Ecology of the African elephant (*Loxodonta a. africana*) in Niger, West Africa. *Mammalia*, 38, 567-580.

Pour les contributions dans les livres :

- Whithon, B.A., Potts, M., 1982: Marine littoral: 515-542. In: Carr, N.G., Whitton, B.A., (eds), The biology of cyanobacteria. Oxford, Blackwell.

Annerose, D., Cornaire, B., 1994 : Approche physiologique de l'adaptation à la sécheresse des espèces cultivées pour l'amélioration de la production en zones sèches: 137-150. In: Reyniers, F.N., Netoyo L. (eds.). Bilan hydrique agricole et sécheresse en Afrique tropicale. Ed. John Libbey Eurotext. Paris.

Pour les livres :

Zryd, J.P., 1988: Cultures des cellules, tissus et organes végétaux. Fondements théoriques et utilisations pratiques. Presses Polytechniques Romandes, Lausanne, Suisse.

Stuart, S.N., R.J. Adams, M.D. Jenkins, 1990: Biodiversity in sub-Saharan Africa and its islands. IUCN–The World Conservation Union, Gland, Switzerland.

Pour les communications :

Vierada Silva, J.B., A.W. Naylor, P.J. Kramer, 1974: Some ultrastructural and enzymatic effects of water stress in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) leaves. Proceedings of Nat. Acad. Sc. USA, 3243-3247.

Lamachere, J.M., 1991 : Aptitude du ruissellement et de l'infiltration d'un sol sableux fin après sarclage. Actes de l'Atelier sur Soil water balance in the Sudano-Sahelian Zone. Niamey, Niger, IAHS n° 199, 109-119.

Pour les abstracts :

Takaiwa, F., Tnifuji, S., 1979: RNA synthesis in embryo axes of germination pea seeds. Plant Cell Physiology abstracts, 1980, 4533.

Thèse ou mémoire :

Valero, M., 1987: Système de reproduction et fonctionnement des populations chez deux espèces de légumineuses du genre *Lathyrus*. PhD. Université des Sciences et Techniques, Lille, France, 310 p.

Pour les sites web :

<http://www.iucnredlist.org>, consulté le 06/07/2007 à 18 h. - <http://www.cites.org>, consulté le 12/07/2008 à 09 h.

Equations et formules

Les équations sont centrées, sur une seule ligne si possible. Si on s'y réfère dans le texte, un numéro d'identification est placé, entre crochets, à la fin de la ligne. Les fractions seront présentées sous la forme « 7/25 » ou « (a+b)/c ».

Unités et conversion

Seules les unités de mesure, les symboles et équations usuels du système international (SI) comme expliqués au chapitre 23 du Mémento de l'Agronome, seront acceptés.

Abréviations

Les abréviations internationales sont acceptées (OMS, DDT, etc.). Le développé des sigles des organisations devra être complet à la première citation avec le sigle en majuscule et entre parenthèses (FAO, RFA, IITA). Eviter les sigles reconnus localement et inconnus de la communauté scientifique. Citer complètement les organismes locaux.

Nomenclature de pesticides, des noms d'espèces végétales et animales

Les noms commerciaux seront écrits en lettres capitales, mais la première fois, ils doivent être suivis par le(s) nom (s) communs(s) des matières actives, tel que acceptés par « International Organization for Standardization (ISO) ». En l'absence du nom ISO, le nom chimique complet devra être donné. Dans la page de la première mention, la société d'origine peut être indiquée par une note en bas de la page, p.e. PALUDRINE (Proguanil). Les noms d'espèces animales et végétales seront indiqués en latin (genre, espèce) en italique, complètement à la première occurrence, puis en abrégé (exemple : *Oryza sativa* = *O. sativa*). Les auteurs des noms scientifiques seront cités seulement la première fois que l'on écrira ce nom scientifique dans le texte.

Tableaux, figures et illustrations

Chaque tableau (avec les colonnes rendus invisibles mais seules la première ligne et la dernière ligne sont visibles) ou figure doit avoir un titre. Les titres des tableaux seront écrits en haut de chaque tableau et ceux des figures/photographies seront écrits en bas des illustrations. Les légendes seront écrites directement sous les tableaux et autres illustrations. En ce qui concerne les illustrations (tableaux, figures et photos) seules les versions électroniques bien lisibles et claires, puis mises en extension jpeg avec haute résolution seront acceptées. Seules les illustrations dessinées à l'ordinateur et/ou scannées, puis les photographies en extension jpeg et de bonne qualité donc de haute résolution sont acceptées. Les places des tableaux et figures dans le texte seront indiquées dans un cadre sur la marge. Les tableaux sont numérotés, appelés et commentés dans un ordre chronologique dans le texte. Ils présentent des données synthétiques. Les tableaux de données de base ne conviennent pas. Les figures doivent montrer à la lecture visuelle suffisamment d'informations compréhensibles sans recours au texte. Les figures sont en Excell, Havard, Lotus ou autre logiciel pour graphique sans grisés et sans relief. Il faudra fournir les données correspondant aux figures afin de pouvoir les reconstruire si c'est nécessaire.

Economiede l'adaptation auxvariabiliés et changements climatiques dans la production du maïs au Nord-Bénin

H. Satoguina¹

¹Dr (MC) Honorat SATOQUINA, Faculté des Sciences Economiques et de Gestion, Université d'Abomey-Calavi, 04BP 1560 Cadjèhoun Cotonou, E-mail: hsatoguina@hotmail.com, Tél. : (+229)97659014, République du Bénin.

JEL Classification : N57, Q40, Q52, Q54Q180, Q540.

Résumé

L'étude porte sur la modélisation des effets du changement climatique sur la production de maïs et d'une stratégie d'adaptation au Bénin. Etant donné que les effets du changement climatique se manifestent au Bénin par une forte variabilité des paramètres climatiques, on assiste souvent à des bouleversements du calendrier culturel (déplacements de dates de début et de fin des saisons des pluies). Si cette tendance se maintient, alors les paysans doivent s'adapter en changeant leurs dates habituelles de semis. Ceci justifie les simulations de revenus avec déplacement des dates de semis. La méthodologie utilisée a été le DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer/ Système d'aide à la décision pour le transfert des technologies Agricoles) pour les zones agroécologiques retenues. L'année de référence fixée pour les projections des variations futures des rendements du maïs à l'horizon 2050 a été 2011. L'étude est partie des pratiques culturales actuelles pour montrer que les baisses de rendements dans le temps ont été plus accentuées dans un contexte de changement climatique comparé à un environnement sans changement climatique. Ainsi, le changement climatique a eu un effet négatif sur le rendement du maïs. Une stratégie d'adaptation est l'apport systématique d'engrais et le changement d'itinéraire technique. Ce qui engendre des coûts et améliore les revenus nets de la production du maïs.

Mots Clés : changements climatiques, adaptation, agriculture, maïs, Bénin

Economics of adaptation to climate variabilities and changes in maize production in Northern Bénin

Abstract

The study relies on the modeling of the effects of climate change on maize production and adaptation strategy in northern Bénin. As climate change effects appear in Bénin through a strong variability of the climatic parameters, displacements of start and end dates of the rain seasons are frequent. If this trend is maintained, then the farmers must adapt by changing their usual dates of sowing. This justifies simulations of incomes with displacement of the dates of sowing. The methodology used in this research was the DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer/systeme d'aide à la décision pour le transfert des technologies Agricoles) for the agroecological zones selected. The projection year was 2050 and the base year was 2011. The study used the current cultivation practices to show that the falls of outputs in time were accentuated in a context of climate change compared to an environment without climate change. To measure the effects of the climate change on the maize production and the income, all the agronomic variables of the model were maintained constant from one period to another. Only the climatic variables were fluctuating. Thus, the climate change had a negative effect on the corn yield and revenues. An adaptation strategy is the systematic contribution of manure and the technical route change. This leads to higher costs. An improvement of the net incomes occurs when an adaptation strategy is applied.

Keywords : climate change, adaptation, agriculture, maize, Bénin

Introduction

Dans un contexte où le phénomène des changements climatiques devient de plus en plus perceptible et attire une attention particulière (MCVDD, 2016), l'une des préoccupations actuelles pour les décideurs et les scientifiques demeure l'évaluation du coût économique des impacts de ce changement dans les domaines de développement hautement sensibles : l'agriculture et la sécurité alimentaire entre autres (Climate Analytics, 2018). Au regard de leurs impacts négatifs sur la sécurité alimentaire et l'activité économique (NAS, 2017), les changements climatiques constituent une préoccupation majeure pour les populations et particulièrement une priorité pour les décideurs (Djohy, 2016). Ainsi, il s'en suit que sans une bonne estimation des effets de ce phénomène, notamment les implications économiques, les efforts de développement entrepris par les États peuvent se trouver anéantis par les changements climatiques (CEA, 2019).

Les travaux menés au Bénin ont montré la vulnérabilité de son économie fragilisée par la pauvreté (MEF, 2012). Les travaux de Agbossou *et al.* (2012) ont montré que si le rythme des variations persiste, la production nationale de maïs sera hypothéquée. Des conclusions des dernières simulations de Boko *et al.* (2012), il ressort que dans le contexte d'un climat modifié à l'horizon 2050 (MEHU, 2000 ; MEHU, 2011), la sécurité alimentaire se trouverait compromise, car les soldes alimentaires seraient négatifs pour l'essentiel des cultures.

Les études portant sur l'impact des changements climatiques sur l'agriculture utilisent plusieurs approches pour évaluer l'impact des changements climatiques sur la productivité agricole. Elles se différencient principalement par leur méthodologie qui s'oriente d'un côté vers l'agronomie et de l'autre vers l'économie. L'approche fonction de production est une approche qui mesure les impacts directs des changements climatiques sur les différentes cultures et leurs besoins en intrants. Ainsi, elle fait des hypothèses sur le comportement éventuel des agriculteurs face aux changements climatiques (Adams, 1989 ; Adams *et al.*, 1999). À travers cette approche, les agriculteurs ont tendance à surestimer les dommages causés par les changements climatiques (Mendelsohn *et al.*, 1994 ; Mendelsohn *et al.*, 1999).

L'approche Ricardienne, développée par Mendelsohn *et al.* (1994) dans leur étude sur les implications économiques des changements climatiques pour l'agriculture Américaine, tente de fournir une réponse à la lacune de l'approche fonction de production. La méthode Ricardienne a été appliquée pour évaluer la contribution des conditions environnementales dans le revenu agricole car la valeur des terres agricoles reflète la valeur actualisée des revenus issus de l'exploitation la plus productive de la terre et tient compte implicitement des adaptations efficaces opérées par les cultivateurs face aux changements climatiques (Mendelsohn *et al.*, 2001) dans la mesure où l'utilisation des revenus nets agricoles reflète les avantages et les coûts de stratégie d'adaptation implicite. Toutefois, cette approche sous-estime les contraintes liées aux stratégies d'adaptation, et se base sur une réalité climatique actuelle qui n'est pas forcément représentative des conditions climatologiques dans le futur (Reinsborough, 2003).

L'objectif général de l'étude a été d'évaluer les coûts futurs du changement climatique et les revenus dans la production du maïs et de déterminer le rôle des mesures d'adaptation afin d'en réduire l'ampleur. De façon spécifique, il s'agit de -i- identifier les implications économiques du changement climatique sur la production de maïs au Nord du Bénin dans les zones agroécologiques I, II, III et IV (figure 1) et -ii- évaluer les effets économiques des stratégies d'adaptation au changement climatique dans la production de maïs.

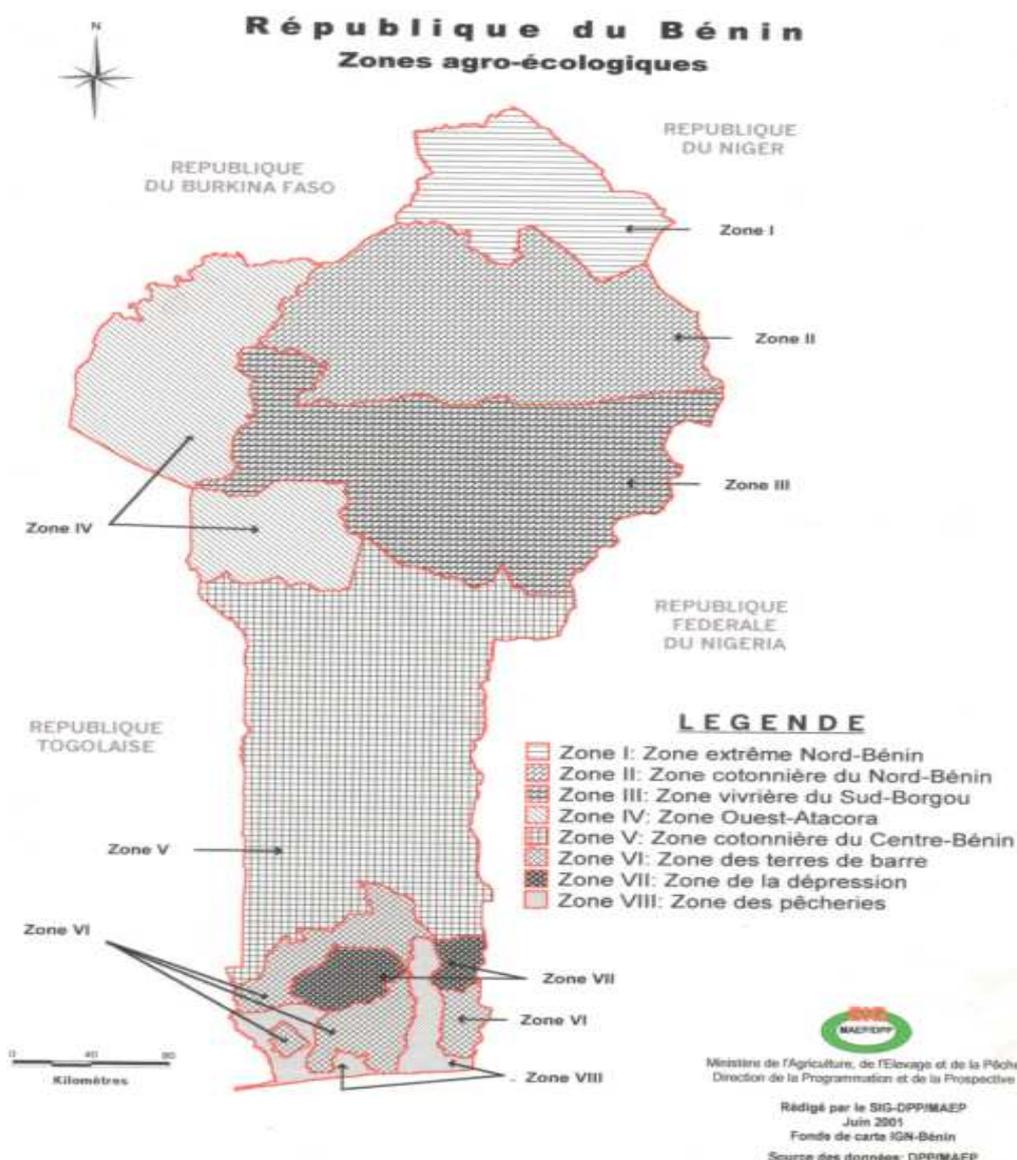


Figure 1. Carte des Zones Agroécologiques (ZAE) du Bénin

Matériels et méthodes

L'analyse de l'impact des changements climatiques sur la production de maïs au Bénin s'est basée sur le modèle DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer/système d'aide à la décision pour le transfert des technologies Agricoles). En effet, la production des spéculations a été favorable sous certaines conditions climatiques données. Lorsque le niveau des précipitations a été insuffisant pour assurer la croissance des cultures, alors la conséquence pouvait aboutir à une mauvaise récolte. De même si le niveau des précipitations dépassait un certain seuil, cela était préjudiciable au développement des cultures. Ainsi, pour s'assurer d'une bonne campagne agricole, le niveau des précipitations ne devait ni être trop bas ni trop élevé. Ces réalités ont été suffisamment bien prises en compte par ce modèle. Le prix de vente du maïs considéré a été le prix bord champ en franc constant de 2011 au moment de la récolte. Toutefois, pour les projections des revenus, des prix projetés ont été utilisés.

Le modèle DSSAT est un ensemble de programmes de gestion de base de données climatiques, édaphique et des informations sur les pratiques culturales, ainsi que des modèles de simulation végétale de plusieurs cultures et des programmes de la stratégie saisonnière et d'analyse des risques (Tsujiet *al.*, 1994 ; Thornton et *al.*, 1994). Sa finalité est de développer une technologie de simulation numérisée pour générer un champ large d'informations qui traitent les problèmes agronomiques, environnementaux et économiques (Uehara et Tsuji, 1993).

Démarche suivie

Le modèle de simulation de la croissance et du développement des céréales utilisé a été le programme DSSAT v4.5. Les données d'entrées utilisées ont été les données spécifiques à la plante (génétique), les données climatiques, les données pédologiques, celles relatives aux pratiques culturales et celles liées aux coûts de production et prix du maïs.

Modules de DSSAT utilisés

Le module CERES-Maïs appelé programme de simulation végétale (CSM) du maïs du modèle DSSAT a été utilisé pour la simulation dans le cadre de la présente étude. Ce module permet une simulation quantitative de la croissance végétale et du développement de la plante (Jones et Kiniry, 1986 ; Ritchie et al., 1986). Ainsi, la croissance végétale a été simulée, par des pas de temps journaliers, depuis le semis jusqu'à la maturité, sur la base des processus physiologiques qui ont été des réponses aux conditions environnementales et édaphiques. Le programme weatherman de DSSAT a été utilisé pour la conversion des données climatiques journalières (la température maximum, la température minimum, la précipitation et l'insolation) de 1960 à 2011 collectées auprès de l'ASECNA en variables climatiques utilisables par le modèle. Pour le calibrage des trois cultivars dans le modèle DSSAT, le module GLUE a été utilisé pour la détermination des coefficients génétiques (He *et al.*, 2010). Afin de prendre en compte l'effet de la variabilité climatique dans le long terme, le programme d'analyse saisonnière du modèle DSSAT et plus précisément le sous module analyse biophysique a été utilisé pour les simulations étendues à 40 années (2011 à 2050).

Données d'entrée du modèle et Calibrage du cultivar

Le modèle a requis un minimum de données d'entrée qui pouvaient se regrouper en les trois catégories suivantes : les données climatiques journalières ; les informations sur le site (la latitude, la longitude, l'altitude, les propriétés physico-chimiques du sol et les précédents culturaux) ; les informations relatives à la gestion des cultures telles que le type de labour (manuel et charrue au nord du Bénin), la densité de semis (65.000 plants/ha considéré pour le maïs avec un écartement de 80 cm x 40 cm à 2 plants par poquet), le type de semis (semis en ligne), le nombre de plants au carré, la profondeur de semis (5 cm environ), l'application d'engrais et les coefficients génétiques des cultivars déterminés à partir de leurs paramètres physiologiques et les rendements grains. Dans le cadre de l'étude, trois variétés améliorées de maïs ont été prises en compte. Les caractéristiques de ces trois variétés ont été consignées dans le Tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques des trois variétés de maïs utilisées

Variétés	Cycle	Rendement potentiel en station	Rendement moyen milieu paysan
2000 SYN EE W	75 jours	3,5 tonnes/ha	2 à 3 tonnes/ha
DMR	90 jours	6 tonnes/ha	3,5 tonnes/ha
EVDT 97 STRW	90 jours	6 tonnes/ha	3 à 4 tonnes/ha

Source : INRAB

Différentes options utilisées et sources des données

Les différentes options utilisées pour la simulation ont été présentées dans le Tableau 2. La période optimale de semis obtenues pour le maïs dans le Nord du Bénin a été le mois de juin.

Tableau 2. Différentes options utilisées pour la simulation

Zones	Situation de départ	Technologie 1	Technologie 2	Technologie 3
Nord	Semis en juin sans engrais	Semis en juin avec engrais (150 kg/ha de NPKSB et 50 kg d'urée)	Semis en mai avec engrais (150 kg/ha de NPKSB et 50 kg d'urée)	Semis en juillet avec engrais (150 kg/ha de NPKSB et 50 kg d'urée)

Source : Résultat présente étude

Les données spécifiques sur le développement de la plante, ont été obtenues à la Faculté des Sciences Agronomiques de l'Université d'Abomey-Calavi et au Ministère de l'Agriculture, de l'Élevage et de la Pêche. Les données climatiques ont été obtenues à Météo Bénin et les données socio-économiques au ministère des Finances et de l'Economie et sur le site de la Banque Mondiale.

Hypothèses sur l'évolution des superficies et des prix bord champ du maïs, prix des intrants agricoles et le coût des variables de production

Superficies emblavées

Concernant l'évolution des superficies emblavées les hypothèses (H) suivantes ont été faites :

- hypothèse H1 : *La superficie emblavée du maïs évolue sur la période 1960 à 2011 au taux de croissance moyenne de 4% dans la partie septentrionale (MAEP, 2010).*
- hypothèse H2 : *L'évolution des superficies emblavées va être très lente afin de tenir compte de la rareté des terres cultivables, de l'évolution de l'exode rurale (plus de personnes quittent les milieux ruraux où existent de terres cultivables qu'elles abandonnent en quête d'activités supposées plus rentables en ville, notamment, « taxi-moto ») et l'évolution du taux de scolarisation (qui détourne les parents de la conception traditionnelle de la procréation qui consiste à faire des enfants une main d'œuvre agricole) Ainsi, les taux moyens observés jusque-là sont réparties uniformément sur toute la période allant de 2011 à 2050.*

De plus, si les paysans s'ajustent à la baisse de rendement en augmentant les superficies emblavées, alors, un niveau élevé de la production peut cacher les effets de la baisse de rendement. Ainsi, afin de minimiser les effets de l'augmentation des superficies sur la production, le taux d'accroissement des superficies est maintenu suffisamment bas. Sous ces hypothèses, les superficies dans la partie septentrionale vont croître à un taux annuel moyen de 1,02% par an sur toute la période jusqu'en 2050.

Prix bord champ du maïs et des intrants agricoles

Suivant les statistiques du Ministère en charge de l'Agriculture et de la FAO, les prix en Franc CFA bord champ du maïs ont connu une augmentation moyenne de 12% de 2000 à 2011 (Gerald *et al.*, 2009 ; FAO, 2004 ; 2007 ; 2009 ; 2020). Le Franc CFA est le Franc de la communauté française d'Afrique et ici F désigne le Franc CFA. Le prix est passé de 83 F/kg en 2000 à 155 F/kg en 2011. Toutefois cette tendance ne pouvait se maintenir dans le long terme pour plusieurs raisons . Afin d'éviter des prix explosifs à l'horizon 2050, le prix du maïs a été plafonné par le prix coton qui était à 250 F/kg en 2011. En effet, l'hypothèse est que *lorsque le prix bord champ du maïs devient intéressant et voisin du prix coton, un nombre plus important de producteurs va s'adonner à sa culture.* Les offres supplémentaires de maïs vont alors ramener les prix à la baisse, rendant à nouveau le coton plus intéressant aux yeux des producteurs. Dans ces conditions, il a été procédé par itération pour trouver le taux de croissance du prix du maïs qui va le contenir dans la limite du plafond à l'horizon 2050. Ainsi, l'hypothèse est que *le prix bord champ du maïs va croître de 1,2% en moyenne sur la période.*

Concernant le prix des intrants agricoles, l'hypothèse posée est que *l'Etat va poursuivre sa politique de soutien au secteur et on continuera à avoir des prix administrés.*

Coûts variables de production

Les variables de coût prises en considération étaient le prix des intrants (semence et engrais), les prix des opérations culturales telles que le défrichage, le labour, le semis, l'épandage d'engrais, le sarclage et la récolte. Suivant les pratiques culturales des différentes zones agroécologiques, il a été retenu le coût moyen de 123.688 F/ha pour les emblavures sans engrais et 189.188 F/ha pour les emblavures avec engrais.

Présentation et analyse des résultats

Effets de la variabilité climatique sur le rendement de maïs et ampleur de la variation future des précipitations

Sur les figures 2, 3 et 4 ont été illustrés les rendements de maïs sans engrais en fonction des années respectivement pour les variétés 1000 SYN (SYN), variété DMR (DMR) et variété EVDT (EVDT). Une variabilité des rendements obtenus a existé d'une année à une autre. En général, quelles qu'aient été l'année et la variété, les rendements les plus faibles ont été obtenus dans la zone 4. Par contre sur les figures 5, 6 et 7 ont été illustrées les quantités de pluie nécessaires pour obtenir les rendements de maïs en fonction des années et des zones agroécologiques pour les variétés SYN, DMR et EVDT. Une variabilité de la quantité de pluie a existé d'une année à une autre durant la saison de production (du mois de semis à la récolte selon le cycle de la variété).

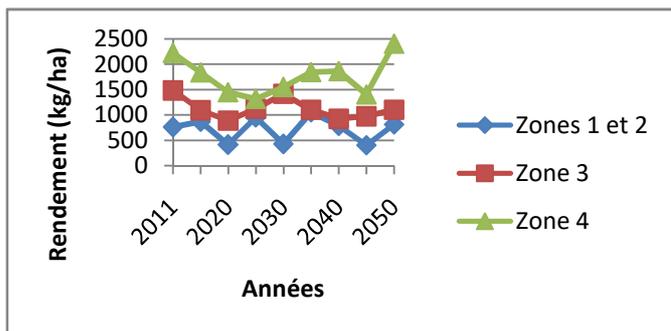


Figure 2. Rendements de maïs sans engrais (variété 1000 SYN) en fonction des années

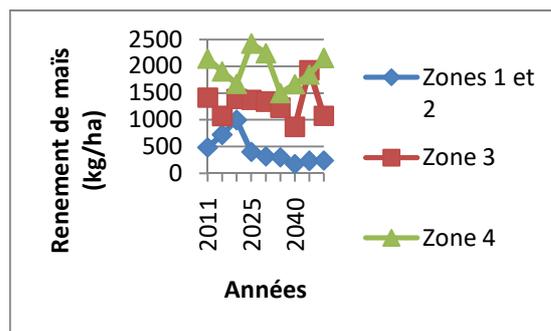


Figure 3. Rendements de maïs sans engrais (variété DMR) en fonction des années

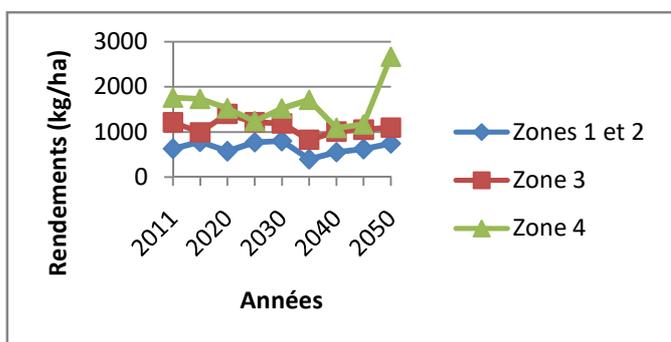


Figure 4. Rendements de maïs sans engrais (variété EVDT) en fonction des années

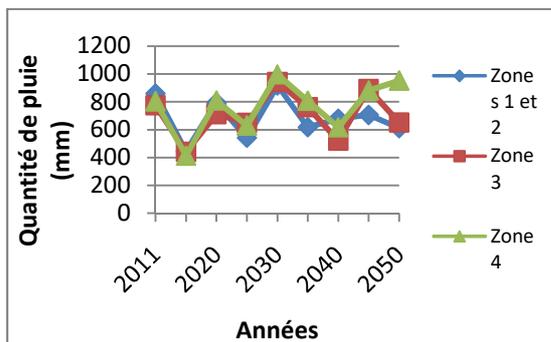


Figure 5. Précipitation totale de la saison de production de maïs (variété SYN) en fonction des zones et des années

Source des Figures 2 à 5 : Résultat présente étude

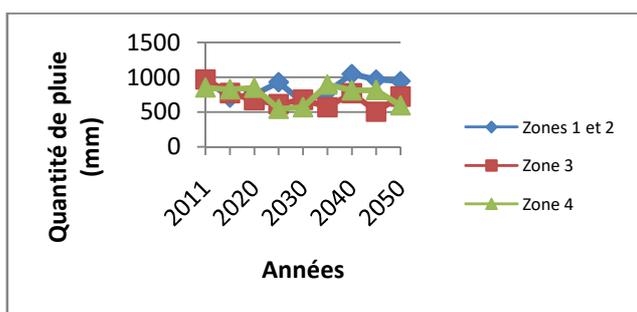


Figure 6. Précipitation totale de la saison de production de maïs (variété DMR) en fonction des zones et des années

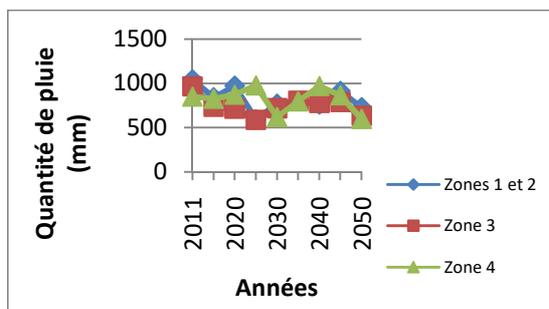
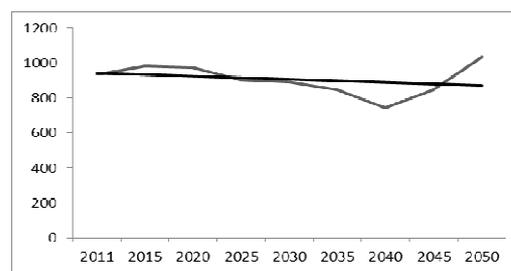
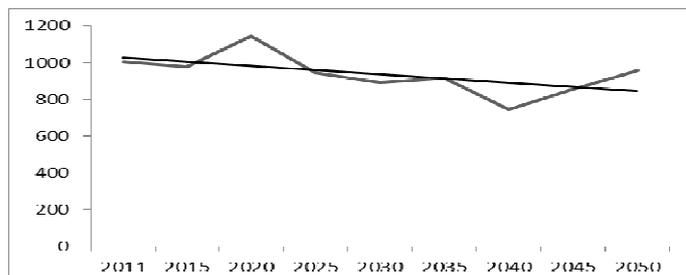
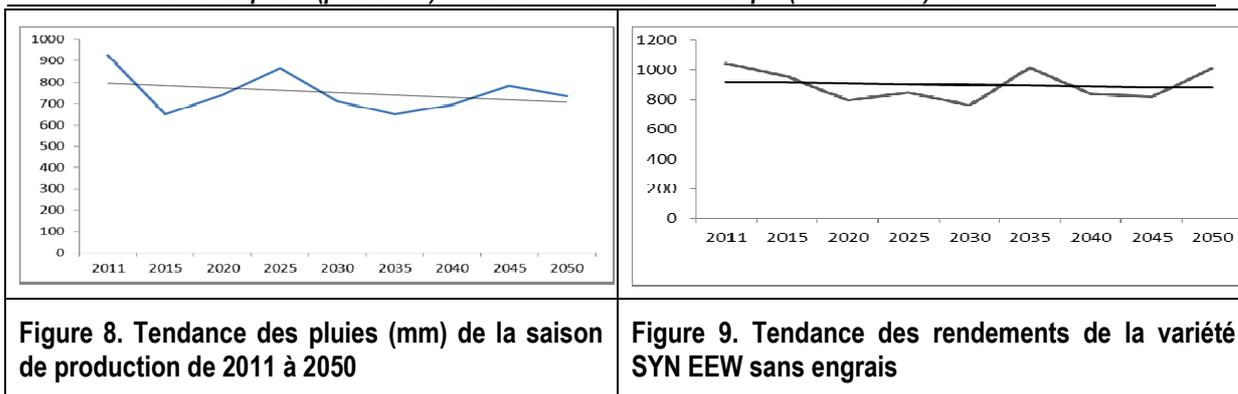


Figure 7. Précipitation totale de la saison de production de maïs (variété EVDT) en fonction des zones et des années

Source des Figures 6 et 7 : Résultat présente étude

Effet potentiel des changements sur le rendement du maïs

Les écarts obtenus entre la quantité de pluie de la saison de production de l'année 2011 et des années futures ont été présentés sur la figure 8. La quantité de pluie obtenue lors de la période de production a globalement chuté entre 2011 et 2050 au niveau de toutes les zones agroécologiques quelle qu'ait été la variété de maïs. L'impact potentiel des changements de la pluie sur le rendement du maïs a été présenté sur les figures 9, 10 et 11. Ces résultats montrent des tendances baissières des rendements du maïs sans apport d'engrais sur la même période.



Source des Figures 8 à 11 : Résultat présente étude

Ces résultats révèlent de plus l'existence d'une variabilité dans le temps des rendements de maïs obtenus quelles que soient la variété dans les quatre zones agroécologiques. De manière générale, les faibles rendements obtenus de 2011 à 2050 sont liés à une réduction de la quantité de pluie tombée sur la période de production de la plante, c'est-à-dire du mois de semis jusqu'au mois de récolte. Ces résultats sont conformes à ceux de Lawin *et al.* (2011) et ceux du Ministère de l'économie et des finances (MEF, 1012) qui ont étudié les impacts économiques du changement climatique sur l'agriculture et l'économie nationale. Par conséquent, la baisse des volumes de pluie au cours des périodes de production influence négativement les rendements. Ainsi, on peut dire que le changement climatique a un effet négatif sur le rendement du maïs.

Prévision des rendements futurs avec adaptation

Dans l'étude, trois cas de technologies d'adaptation ont été distingués. Dans les tableaux 3, 4 et 5 ont été indiquées les variations obtenues dans les rendements du maïs pour les différentes variétés dans les quatre zones d'étude.

1^{er} cas : Période optimale de semis avec fertilisation : Après analyse, des écarts ont été obtenus entre les rendements à la bonne période pratiquée à ce jour combinée à la fertilisation par zone et par variété. L'analyse de ce tableau révèle que l'apport d'engrais a permis une augmentation remarquable du rendement en 2050 par rapport à 2011 pour la variété EVDT dans les zones 1 et 2 (53%), les variétés SYN et EVDT dans la zone 4 (respectivement 8% et 17%).

2^{ème} cas : Déplacement de la période de semis à un mois avant la date habituelle combiné à la fertilisation : Après analyse, des écarts ont été obtenus entre les rendements obtenus à la période de semis réduite d'un mois, combinée avec la fertilisation. Il ressort que le changement de la date de semis du maïs à un mois avant la période habituelle a induit une augmentation importante du rendement en 2050 par rapport à 2011 avec la variété DMR dans les zones 1 et 2 (39%).

3^{ème} cas : Déplacement de la période de semis à un mois après la date habituelle combiné à la fertilisation : Après analyse, des écarts ont été observés entre les rendements obtenus à la période habituelle de semis augmentée d'un mois combinée avec la fertilisation. Une augmentation importante du rendement en 2050 par rapport à 2011 a été notée pour la variété DMR dans les zones 1 et 2 (30%), les variétés DMR et EVDT dans la zone 3 (respectivement 25 et 13%), la variété SYN dans la zone 4 (14%).

Tableau 3. Rendements obtenus à la période optimale de semis combinée avec la fertilisation suivant les zones et les variétés du maïs

Zones agroécologiques	Années	Variétés de maïs 2000 SYN EE W		Variétés de maïs DMR		Variétés de maïs EVDT 97 STRW	
		Rendement (kg/ha)	Ecart par rapport à 2011 (%)	Rendement (kg/ha)	Ecart par rapport à 2011 (%)	Rendement (kg/ha)	Ecart par rapport à 2011 (%)
Extrême Nord_Bénin (Z1) et Zone cotonnière du Nord (Z2)	2011	1.905	-	1.865	-	1.362	-
	2015	1.250	-34	933	-50	981	-28
	2020	1.142	-40	1.711	-8	1.055	-23
	2025	1.463	-23	1.086	-42	1.180	-13
	2030	1.447	-24	1.616	-13	1.237	-9
	2035	1.592	-16	1.018	-45	1.040	-24
	2040	1.499	-21	2.545	36	867	-36
	2045	927	-51	1.601	-14	988	-27
Zone vivrière du Sud_Borgou (Zone 3)	2011	2.389		2.453		2.155	
	2015	1.616	-32	2.024	-17	1.340	-38
	2020	1.431	-40	2.587	5	2.492	16
	2025	1.593	-33	2.377	-3	2.078	-4
	2030	1.588	-34	2.463	0	1.817	-16
	2035	1.814	-24	2.305	-6	1.189	-45
	2040	1.582	-34	1.583	-35	1.502	-30
	2045	1.056	-56	2.348	-4	1.754	-19
Zone Ouest_Atacora (Zone 4)	2011	2.677	-	3.672	-	2.595	-
	2015	3.133	17	2.844	-23	2.473	-5
	2020	2.306	-14	2.843	-23	2.127	-18
	2025	1.883	-30	4.201	14	2.022	-22
	2030	2.164	-19	3.727	1	2.297	-11
	2035	2.526	-6	2.893	-21	2.504	-4
	2040	2.040	-24	2.953	-20	1.498	-42
	2045	2.018	-25	2.950	-20	1.737	-33
2050	2.887	8	3.632	-1	3.031	17	

Tableau 4. Rendements obtenus avec déplacement de la période de semis à un mois avant la date habituelle combiné à la fertilisation

Zones agroécologiques	Années	Variétés de maïs 2000 SYN EE W		Variétés de maïs DMR		Variétés de maïs EVDT 97 STRW	
		Rendement (kg/ha)	Ecart par rapport à 2011 (%)	Rendement (kg/ha)	Ecart par rapport à 2011 (%)	Rendement (kg/ha)	Ecart par rapport à 2011 (%)
Extrême Nord_Bénin (Z1) et Zone cotonnière du Nord (Z2)	2011	1873	-	1916	-	1413	-
	2015	2297	23	1943	1	1746	0
	2020	1798	-4	1085	-43	1471	-16
	2025	2280	22	2019	5	1636	-6
	2030	1437	-23	2022	6	1408	-19
	2035	1443	-23	2354	23	1685	-3
	2040	2351	26	2561	34	1571	-10
	2045	1394	-26	2443	28	2405	38
Zone vivrière du Sud_Borgou (Zone 3)	2011	2676		2982		2558	
	2015	2351	-12	4275	43	3526	38
	2020	2128	-20	2288	-23	2391	-7
	2025	2231	-17	3073	3	2428	-5
	2030	1829	-32	4064	36	2579	1
	2035	2131	-20	3575	20	3198	25
	2040	2577	-4	2965	-1	2404	-6
	2045	2200	-18	2715	-9	2344	-8
Zone Ouest_Atacora (Zone 4)	2011	2841		3998		2816	
	2015	2496	-12	5353	34	3231	15
	2020	2904	2	4128	3	4553	62
	2025	3116	10	3848	-4	2681	-5
	2030	2152	-24	3665	-8	2928	4
	2035	1727	-39	4061	2	2915	4
	2040	2690	-5	4228	6	2396	-15
	2045	1750	-38	3850	-4	2809	0
2050	2332	-18	3347	-16	2565	-9	

Tableau 5. Rendements obtenus avec déplacement de la période de semis à un mois après la date habituelle combiné à la fertilisation

Zones agroécologiques	Années	Variétés de maïs 2000 SYN EE W		Variétés de maïs DMR		Variétés de maïs EVDT 97 STRW	
		Rendement (kg/ha)	Ecart par rapport à 2011 (%)	Rendement (kg/ha)	Ecart par rapport à 2011 (%)	Rendement (kg/ha)	Ecart par rapport à 2011 (%)
Extrême Nord_Bénin (Z1) et Zone cotonnière du Nord (Z2)	2011	1834	-	1537	-	1245	-
	2015	1158	-37	2142	39	1792	44
	2020	1575	-14	1812	18	1243	0
	2025	1037	-43	1100	-28	925	-26
	2030	1561	-15	818	-47	627	-50
	2035	1511	-18	1014	-34	1177	-5
	2040	1188	-35	828	-46	1291	4
	2045	1396	-24	1354	-12	1377	11
	2050	1228	-33	1406	-9	1617	30
Zone vivrière du Sud_Borgou (Zone 3)	2011	1796		2337		2210	
	2015	1179	-34	2054	-12	1737	-21
	2020	1970	10	2309	-1	2250	2
	2025	1931	8	4348	86	2031	-8
	2030	2300	28	3459	48	2589	17
	2035	1359	-24	2603	11	1940	-12
	2040	1797	0	1861	-20	1566	-29
	2045	1723	-4	2131	-9	1831	-17
	2050	784	-56	2923	25	2488	13
Zone Ouest_Atacora (Zone 4)	2011	2113		3053		2480	
	2015	1946	-8	3590	18	2273	-8
	2020	2315	10	2300	-25	1920	-23
	2025	2151	2	3154	3	1959	-21
	2030	1909	-10	2482	-19	2072	-16
	2035	2459	16	2769	-9	2069	-17
	2040	2006	-5	2696	-12	2062	-17
	2045	2074	-2	2348	-23	1881	-24
	2050	2403	14	2824	-8	2029	-18

Les meilleures options obtenues ont été présentées dans le tableau 6. De l'analyse de ces trois scénarios d'adaptation, il ressort que, l'utilisation de fertilisant et le déplacement des périodes de lancement des cultures sont déterminants pour le maintien et l'accroissement des rendements de maïs dans les quatre zones d'étude.

Tableau 6. Meilleures options obtenues dans les quatre zones agroécologiques

Zones	Variétés	Périodes de semis	Fertilisation
Extrême Nord Bénin (Z1) et Zone cotonnière du Nord (Z2)	EVDT DMR	Mois de juin Mois de mai	150 kg/ha de NPKSB et 50 kg d'urée
Zone vivrière du Sud_Borgou (Zone 3)	DMR et EVDT	Mois de juillet	150 kg/ha de NPKSB et 50 kg d'urée
Zone Ouest_Atacora (Zone 4)	SYN et EVDT	Mois de juin	150 kg/ha de NPKSB et 50 kg d'urée

Source : Résultat présente étude

Effets potentiels du climat en termes de pertes ou gains de production technique dans les quatre zones agroécologiques

L'impact potentiel du climat sur la production du maïs sans techniques d'adaptation a été présenté dans le Tableau 7. Une variabilité dans le temps de la production de maïs a été obtenue quelles qu'aient été la variété et les zones agroécologiques (Tableau 7). De manière générale, de faibles productions ont été obtenues de 2011 à 2050. Ces résultats sont conformes avec ceux obtenus par Nelson (2009) qui a analysé les effets du Changement climatique sur l'agriculture.

Tableau 7. Production obtenue pour les trois variétés à la situation de départ (semis période habituelle et sans engrais) dans les quatre zones agroécologiques retenues

Zones agroécologiques	Années	S (ha)	Variétés de maïs					
			SYN		DMR		EVDT	
			P (t)	E (%)	P (t)	E (%)	P (t)	E (%)
Extrême Nord- Bénin (Z1) et Zone cotonnière du Nord (Z2)	2011	107150	196513	-	164690	-	133402	-
	2015	108010	125075	14	231357	49	193554	24
	2020	109094	171823	-45	197679	106	135604	-9
	2025	110190	114267	25	121208	-17	101925	23
	2030	111296	173733	-44	91040	-34	69782	27
	2035	112413	169856	38	113987	-38	132310	-37
	2040	113542	134888	3	94013	-65	146583	-12
	2045	114682	160096	-47	155279	-53	157917	-1
	2050	115833	142243	7	162862	-50	187302	19
Zone vivrière du Sud-Borgou (Zone 3)	2011	88428	158817	-	206656	-	195426	-
	2015	88782	104674	-26	182359	-24	154215	-18
	2020	89227	175777	-40	206025	-2	200761	15
	2025	89674	173161	-24	389903	-3	182128	0
	2030	90123	207284	-4	311737	-5	233329	-2
	2035	90575	123091	-25	235766	-13	175715	-32
	2040	91029	163578	-38	169404	-39	142551	-17
	2045	91485	157628	-34	194954	36	167508	-13
	2050	91943	72083	-26	268749	-24	228754	-9
Zone Ouest-Atacora (Zone 4)	2011	30070	63538		91804		74574	
	2015	30432	59222	-17	109253	-11	69173	0
	2020	30892	71514	-35	71051	-22	59312	-12
	2025	31358	67451	-41	98903	13	61430	-29

Zones agroécologiques	Années	S (ha)	Variétés de maïs					
			SYN		DMR		EVDT	
			P (t)	E (%)	P (t)	E (%)	P (t)	E (%)
	2030	31831	60766	-30	79005	5	65954	-12
	2035	32311	79454	-17	89470	-30	66852	-1
	2040	32799	65795	-16	88426	-22	67632	-37
	2045	33294	69052	-37	78174	-14	62626	-33
	2050	33796	81213	8	95441	0	68573	54

S = Superficie ; P = Production en tonnes (t) ; E = Ecart par rapport à 2011.

Les résultats des simulations de la production obtenue avec apport de fertilisant seulement ont été présentés dans le tableau 8. Une tendance générale négative comparée à la situation de départ en 2011 est observée.

Tableau 8 Productions obtenues à la période de semis habituelle combinée avec la fertilisation suivant les zones et les variétés du maïs

Zones agroécologiques	Années	S (ha)	Variétés de maïs					
			SYN		DMR		EVDT	
			P (t)	E (%)	P (t)	E (%)	P (t)	E (%)
Extrême Nord_Bénin (Z1) et Zone cotonnière du Nord (Z2)	2011	107150	204121	-	199835	-	145938	-
	2015	108010	135012	-34	100773	-50	105958	-27
	2020	109094	124586	-39	186660	-7	115094	-21
	2025	110190	161207	-21	119666	-40	130024	-11
	2030	111296	161045	-21	179854	-10	137673	-6
	2035	112413	178962	-12	114437	-43	116910	-20
	2040	113542	170199	-17	288964	45	98441	-33
	2045	114682	106310	-48	183606	-8	113306	-22
	2050	115833	189503	-7	137610	-31	241165	65
Zone vivrière du Sud_Borgou (Zone 3)	2011	88428	211254		216914		190562	
	2015	88782	143472	-32	179695	-17	118968	-38
	2020	89227	127684	-40	230830	6	222354	17
	2025	89674	142851	-32	213155	-2	186343	-2
	2030	90123	143116	-32	221974	2	163754	-14
	2035	90575	164303	-22	208775	-4	107694	-43
	2040	91029	144007	-32	144098	-34	136725	-28
	2045	91485	96608	-54	214806	-1	160464	-16
	2050	91943	136903	-35	143799	-34	178829	-6
Zone Ouest_Atacora (Zone 4)	2011	30070	80497		110417		78032	
	2015	30432	95345	18	86550	-22	75259	-4
	2020	30892	71236	-12	87825	-20	65707	-16
	2025	31358	59047	-27	131734	19	63406	-19
	2030	31831	68882	-14	118634	7	73116	-6
	2035	32311	81619	1	93477	-15	80908	4
	2040	32799	66910	-17	96855	-12	49133	-37
	2045	33294	67187	-17	98217	-11	57832	-26
	2050	33796	97570	21	122748	11	102437	31

S = Superficie ; P = Production en tonnes (t) ; E = Ecart par rapport à 2011.

Les écarts entre les productions (tonnes) obtenues des différentes variétés de maïs avec et sans engrais à la période de semis habituelle suivant les zones ont été présentés dans le tableau 9. Ces écarts étant positifs alors ceci justifie la pertinence de fertilisant dans les stratégies d'adaptation pour cette culture.

Tableau 9. Ecarts entre les productions (tonnes) obtenues sans et avec engrais à la période de semis habituelle suivant les zones et les variétés du maïs

Zones agroécologiques	Années	Variétés de maïs								
		SYN			DMR			EVDT		
		Sans engrais	Avec engrais	E (%)	Sans engrais	Avec engrais	E (%)	Sans engrais	Avec engrais	E (%)
Extrême Nord_Bénin (Z1) et Zone cotonnière du Nord (Z2)	2011	81541	204121	150	51646	199835	287	67290	145938	117
	2015	93752	135012	44	77551	100773	30	83924	105958	26
	2020	45274	124586	175	108221	186660	72	62184	115094	85
	2025	104790	161207	54	43966	119666	172	85287	130024	52
	2030	47523	161045	239	35169	179854	411	88703	137673	55
	2035	118146	178962	51	33387	114437	243	44403	116910	163
	2040	89130	170199	91	19302	288964	1397	62789	98441	57
	2045	46331	106310	129	26147	183606	602	71103	113306	59
	2050	94520	189503	100	27684	137610	397	86296	241165	179
Zone vivrière du Sud-Borgou (Zone 3)	2011	131139	211254	61	124949	216914	74	107263	190562	78
	2015	97039	143472	48	94908	179695	89	87806	118968	35
	2020	79412	127684	61	124026	230830	86	125007	222354	78
	2025	100704	142851	42	122764	213155	74	108954	186343	71
	2030	127885	143116	12	120495	221974	84	107157	163754	53
	2035	100085	164303	64	110864	208775	88	74996	107694	44
	2040	84201	144007	71	78831	144098	83	91848	136725	49
	2045	89106	96608	8	175925	214806	22	96242	160464	67
	2050	101413	136903	35	98747	143799	46	101045	178829	77
Zone Ouest_Atacora (Zone 4)	2011	66725	80497	21	64410	110417	71	52893	78032	48
	2015	55965	95345	70	57822	86550	50	52709	75259	43
	2020	44793	71236	59	51589	87825	70	46863	65707	40
	2025	41298	59047	43	75792	131734	74	38696	63406	64
	2030	49211	68882	40	71365	118634	66	48447	73116	51
	2035	59615	81619	37	48306	93477	94	55285	80908	46
	2040	61170	66910	9	54479	96855	78	35620	49133	38
	2045	46745	67187	44	61261	98217	60	38854	57832	49
	2050	81246	97570	20	72662	122748	69	90169	102437	14

E = Écart induit par l'apport d'engrais.

Déplacement de la période de semis à un mois avant la date habituelle combinée à la fertilisation

Les productions obtenues à la période habituelle de semis réduite d'un mois combinée avec la fertilisation suivant les zones et les variétés du maïs ont été présentées dans le tableau 10. Le déplacement de la date de semis du maïs à un mois avant la période habituelle influence diversement la production. En effet, il a induit une augmentation importante du rendement en 2050 par rapport à 2011 pour la variété DMR dans les zones 1 et 2 (50%). Par ailleurs, le déplacement de la date de semis du maïs à un mois avant la période habituelle n'est pas adapté à toutes les variétés dans

certaines zones, c'est ce qui justifie les pertes de production obtenues pour certaines projections comparativement à l'année de référence qu'est 2011.

Tableau 10. Productions obtenues à la période de semis habituelle réduite d'un mois combinée avec la fertilisation suivant les zones et les variétés du maïs

Zones agroécologiques	Années	S (ha)	Variétés de maïs					
			SYN		DMR		EVDT	
			P (t)	E (%)	P (t)	E (%)	P (t)	E (%)
Extrême Nord_Bénin (Z1) et Zone cotonnière du Nord (Z2)	2011	107150	200692	-	205299	-	151403	-
	2015	108010	248098	24	209863	2	188585	25
	2020	109094	196151	-2	118367	-42	160478	6
	2025	110190	251232	25	222473	8	180270	19
	2030	111296	159932	-20	225040	10	156705	4
	2035	112413	162212	-19	264621	29	189416	25
	2040	113542	266937	33	290781	42	178374	18
	2045	114682	159867	-20	280168	36	275810	82
	2050	115833	175951	-12	308464	50	159387	5
Zone vivrière du Sud_Borgou (Zone 3)	2011	88428	236633		263692		226199	
	2015	88782	208727	-12	379544	44	313046	38
	2020	89227	189875	-20	204151	-23	213342	-6
	2025	89674	200063	-15	275568	5	217729	-4
	2030	90123	164836	-30	366261	39	232428	3
	2035	90575	193015	-18	323805	23	289658	28
	2040	91029	234581	-1	269900	2	218833	-3
	2045	91485	201266	-15	248381	-6	214440	-5
	2050	91943	234179	-1	246223	-7	197494	-13
Zone Ouest_Atacora (Zone 4)	2011	30070	85429		120220		84677	
	2015	30432	75959	-11	162905	36	98327	16
	2020	30892	89710	5	127521	6	140650	66
	2025	31358	97711	14	120665	0	84070	-1
	2030	31831	68500	-20	116661	-3	93201	10
	2035	32311	55802	-35	131217	9	94188	11
	2040	32799	88229	3	138674	15	78586	-7
	2045	33294	58264	-32	128182	7	93523	10
	2050	33796	78813	-8	113116	-6	86688	2

S = Superficie ; P = Production en tonnes (t) ; E = Ecart par rapport à 2011.

Source: Résultat présente étude

Déplacement de la période de semis à un mois après la date habituelle combinée à la fertilisation

Dans le tableau 11 ont été présentées les productions obtenues à la période habituelle augmentée d'un mois combinée avec la fertilisation suivant les zones et les variétés du maïs. Le déplacement de la date de semis du maïs à un mois après la période habituelle influence diversement la production. Il est favorable pour certaines zones et ne l'est pas pour d'autres. En effet, une augmentation importante du rendement en 2050 par rapport à 2011 a été induite pour la variété EVDT dans les zones 1 et 2 (40%), les variétés DMR et EVDT dans la zone 3 (respectivement 30 et 17%), la variété SYN dans la zone 4 (28%). Cependant, les pertes de production obtenues pour certaines projections dans le futur comparativement à l'année de référence peut s'expliquer par l'inadéquation de cette technique à toutes les variétés dans certaines zones. Il convient alors de l'appliquer seulement dans

les régions où les résultats obtenus sont pertinents. Ces résultats sont compatibles avec ceux obtenus par Oloukoi *et al.* (2019), qui ont travaillé sur les perceptions et stratégies paysannes d'adaptation à la variabilité pluviométrique au Centre du Bénin. De même, ils sont conformes avec ceux obtenus par Sultan (2017) et Sultan *et al.* (2015) qui ont montré que les sociétés rurales en Afrique de l'Ouest sont conscientes des effets négatifs des changements climatiques sur leurs modes de subsistance, notamment l'agriculture et mettent en œuvre des méthodes endogènes pour s'adapter.

Tableau 11. Productions obtenues à la période de semis habituelle augmentée d'un mois, combinée avec la fertilisation suivant les zones et les variétés du maïs

Zones agroécologiques	Années	S (ha)	Variétés de maïs					
			SYN		DMR		EVDT	
			P (t)	E (%)	P (t)	E (%)	P (t)	E (%)
Extrême Nord_Bénin (Z1) et Zone Cotonnière du Nord (Z2)	2011	107150	196513		164690		133402	
	2015	108010	125075	-36	231357	40	193554	45
	2020	109094	171823	-13	197679	20	135604	2
	2025	110190	114267	-42	121208	-26	101925	-24
	2030	111296	173733	-12	91040	-45	69782	-48
	2035	112413	169856	-14	113987	-31	132310	-1
	2040	113542	134888	-31	94013	-43	146583	10
	2045	114682	160096	-19	155279	-6	157917	18
Zone vivrière du Sud-Borgou (Zone 3)	2011	88428	158817		206656		195426	
	2015	88782	104674	-34	182359	-12	154215	-21
	2020	89227	175777	11	206025	0	200761	3
	2025	89674	173161	9	389903	89	182128	-7
	2030	90123	207284	31	311737	51	233329	19
	2035	90575	123091	-22	235766	14	175715	-10
	2040	91029	163578	3	169404	-18	142551	-27
	2045	91485	157628	-1	194954	-6	167508	-14
Zone Ouest-Atacora (Zone 4)	2011	30070	63538		91804		74574	
	2015	30432	59222	-7	109253	19	69173	-7
	2020	30892	71514	13	71051	-23	59312	-20
	2025	31358	67451	6	98903	8	61430	-18
	2030	31831	60766	-4	79005	-14	65954	-12
	2035	32311	79454	25	89470	-3	66852	-10
	2040	32799	65795	4	88426	-4	67632	-9
	2045	33294	69052	9	78174	-15	62626	-16
2050	33796	81213	28	95441	4	68573	-8	

S = Superficie ; P = Production en tonnes (t) ; E = Ecart par rapport à 2011.

Source: Résultat présente étude

Impact potentiel du climat en termes de pertes ou gains de production économique dans les différentes zones agro écologiques

Revenus obtenus sous l'effet du décalage de la date de semis sans fertilisation

Déplacement de la période de semis à un mois avant la date habituelle et sans fertilisation

Revenus obtenus sous l'effet du décalage de la date de semis sans fertilisation

L'analyse des revenus nets obtenus de la production de maïs sans engrais à la période habituelle réduite d'un mois suivant les zones et les variétés du maïs a révélé que le déplacement de la date de semis du maïs à un mois avant la période habituelle sans engrais a permis une augmentation importante du revenu net en 2050 pour les variétés SYN, DMR et EVDT dans la zone 3 (respectivement 30, 30 et 17 Milliards de FCFA). Par contre, dans les zones 1 et 2, la production du maïs est uniquement rentable pour la variété SYN en 2050, soit 48 Milliards de FCFA sous ces conditions. Ces résultats vont dans le même sens que ceux trouvés par Ouédraogo (2012) qui a étudié l'Impact des changements climatiques sur les revenus agricoles au Burkina Faso et ceux de Nefzi Bouzidi (2009) et Nefzi-Bouzidi (2012) qui ont montré qu'avec une stratégie d'adaptation rigoureuse, les effets négatifs des changements climatiques sur l'agriculture peuvent être réduits au Maghreb et accroître la rentabilité de la production agricole.

Déplacement de la période de semis à un mois après la date habituelle et sans fertilisation

L'analyse des revenus nets obtenus de la production de maïs sans engrais à la période habituelle augmentée d'un mois suivant les zones et les variétés du maïs révèle un important revenu net en 2050 pour les variétés SYN, DMR et EVDT dans la zone 3 (respectivement 5, 21 et 20 Milliards de FCFA), dans la zone 4 (respectivement 10, 12 et 8 Milliards de FCFA). Ces résultats vont dans le même sens que ceux du MEF (1012) et ceux de Blanc (2011). Ces résultats montrent qu'il est possible sous certaines conditions de rentabiliser la production du maïs dans la zone d'étude. Ces résultats confirment ceux de Tokoudagba (2014) qui a travaillé sur l'économie de la production du maïs au Nord-Bénin. De plus, ces résultats vont dans le même sens que ceux de la CEA (2019) qui montrent que le développement durable des systèmes de production agricoles nécessitent d'importants financements que les Etats doivent rendre disponibles afin de financer leurs stratégies d'adaptation aux changements climatiques.

Revenus nets obtenus à la période de semis habituelle combinée avec la fertilisation suivant les zones et les variétés du maïs

Dans le tableau 12 ont été présentés les revenus nets obtenus de la production de maïs avec engrais pour les trois variétés suivant les différentes zones agro écologiques. En général, la production de maïs avec engrais est rentable dans presque toutes les zones de production

Tableau 12. Revenus nets obtenus à la période de semis habituelle combinée avec la fertilisation suivant les zones et les variétés du maïs

Zones agroécologiques	Années	PV/kg (F)	CTP (10 ⁹ F)	Variétés de maïs					
				SYN		DMR		EVDT	
				PVT (10 ⁹ F)	RN (10 ⁹ F)	PVT (10 ⁹ F)	RN (10 ⁹ F)	PVT (10 ⁹ F)	RN (10 ⁹ F)
Extrême Nord_Bénin (Z1) et Zone cotonnière du Nord (Z2)	2011	155	20	32	12	31	11	23	2
	2015	229	20	31	11	23	3	24	4
	2020	259	21	32	11	48	27	30	9
	2025	264	21	43	22	32	11	34	13
	2030	268	21	43	22	48	27	37	16
	2035	273	21	49	28	31	10	32	11
	2040	277	21	47	26	80	59	27	6
	2045	282	22	30	8	52	30	32	10
	2050	286	22	54	32	39	17	69	47

Zones agroécologiques	Années	PV/kg (F)	CTP (10 ⁹ F)	Variétés de maïs					
				SYN		DMR		EVDT	
				PVT (10 ⁹ F)	RN (10 ⁹ F)	PVT (10 ⁹ F)	RN (10 ⁹ F)	PVT (10 ⁹ F)	RN (10 ⁹ F)
Zone vivrière du Sud-Borgou (Zone 3)	2011	155	17	33	16	34	17	30	13
	2015	229	17	33	16	41	24	27	10
	2020	259	17	33	16	60	43	58	41
	2025	264	17	38	21	56	39	49	32
	2030	268	17	38	21	59	42	44	27
	2035	273	17	45	28	57	40	29	12
	2040	277	17	40	23	40	23	38	21
	2045	282	17	27	10	61	43	45	28
2050	286	17	39	22	41	24	51	34	
Zone Ouest-Atacora (Zone 4)	2011	155	6	12	7	17	11	12	6
	2015	229	6	22	16	20	14	17	11
	2020	259	6	18	13	23	17	17	11
	2025	264	6	16	10	35	29	17	11
	2030	268	6	18	12	32	26	20	14
	2035	273	6	22	16	26	19	22	16
	2040	277	6	19	12	27	21	14	7
	2045	282	6	19	13	28	21	16	10
2050	286	6	28	22	35	29	29	23	

PV= Prix de vente ; CTP= Coût total de production ; PVT= Prix de vente total ; RN= Revenu net ; F= FCFA.

Source: Résultat présente étude

Impact économique des différentes stratégies d'adaptation

Dans le tableau 13 ont été présentés les revenus nets obtenus avec une période de semis habituelle réduite d'un mois combinée avec la fertilisation suivant les zones et les variétés du maïs. Le changement de la date de semis du maïs à un mois avant la période habituelle a induit une amélioration importante du revenu net pour les trois variétés dans les quatre zones 1, 2, 3 et 4. Ces résultats confirment ceux de ClimateAnalytics (2019) qui montrent que les pratiques d'adaptation au changement climatique bien choisies et mises en œuvre convenablement permettent d'éviter les pertes pour les producteurs et améliorent leur revenu.

Tableau 13. Revenus nets obtenus à la période de semis habituelle réduite d'un mois combinée avec la fertilisation suivant les zones et les variétés du maïs

Zones agroécologiques	Années	PV/kg (F)	CTP (10 ⁹ F)	Variétés de maïs					
				SYN		DMR		EVDT	
				PVT (10 ⁹ F)	RN (10 ⁹ F)	PVT (10 ⁹ F)	RN (10 ⁹ F)	PVT (10 ⁹ F)	RN (10 ⁹ F)
Extrême Nord_Bénin (Z1) et Zone cotonnière du Nord (Z2)	2011	155	20	31	11	32	12	23	3
	2015	229	20	57	36	48	28	43	23
	2020	259	21	51	30	31	10	42	21
	2025	264	21	66	45	59	38	48	27
	2030	268	21	43	22	60	39	42	21
	2035	273	21	44	23	72	51	52	30
	2040	277	21	74	52	81	59	49	28
	2045	282	22	45	23	79	57	78	56
	2050	286	22	50	28	88	66	46	24

Zones agroécologiques	Années	PV/kg (F)	CTP (10 ⁹ F)	Variétés de maïs					
				SYN		DMR		EVDT	
				PVT (10 ⁹ F)	RN (10 ⁹ F)	PVT (10 ⁹ F)	RN (10 ⁹ F)	PVT (10 ⁹ F)	RN (10 ⁹ F)
Zone vivrière du Sud-Borgou (Zone 3)	2011	155	17	37	20	41	24	35	18
	2015	229	17	48	31	87	70	72	55
	2020	259	17	49	32	53	36	55	38
	2025	264	17	53	36	73	56	57	41
	2030	268	17	44	27	98	81	62	45
	2035	273	17	53	36	88	71	79	62
	2040	277	17	65	48	75	58	61	43
	2045	282	17	57	39	70	53	60	43
	2050	286	17	67	50	70	53	56	39
Zone Ouest-Atacora (Zone 4)	2011	155	6	13	8	19	13	13	7
	2015	229	6	17	12	37	32	23	17
	2020	259	6	23	17	33	27	36	31
	2025	264	6	26	20	32	26	22	16
	2030	268	6	18	12	31	25	25	19
	2035	273	6	15	9	36	30	26	20
	2040	277	6	24	18	38	32	22	16
	2045	282	6	16	10	36	30	26	20
	2050	286	6	23	16	32	26	25	18

PV= Prix de vente ; CTP= Coût total de production ; PVT= Prix de vente total ; RN= Revenu net ; F= FCFA.

Source: Résultat présente étude

Limites de l'étude

L'utilisation du modèle DSSAT nécessite des données climatiques par commune. En l'absence de ces données, les données de l'ASECNA ont été utilisées. Pourtant, les stations synoptiques de l'ASECNA ne sont pas représentatives de toutes les zones. Toutefois, l'hypothèse faite est que ces valeurs sont valables dans toutes les zones agroécologiques où sont implantées les stations synoptiques et ce en lieu et place des valeurs par commune.

Recommandations

L'impact négatif attendu du changement climatique sur la production agricole justifie la nécessité de prise de décisions politiques d'adaptations au changement climatique. Un ensemble de politiques va soutenir la viabilité et la résilience du secteur agricole béninois dans un contexte de changement climatique. Les recommandations faites ici concernent les mesures de politiques essentielles pour réussir l'adaptation au changement climatique. Parmi les mesures susceptibles d'être mises en œuvre, certaines paraissent n'être possibles qu'à long terme alors que d'autres peuvent être envisagées à court et moyen terme.

A court et moyen terme

Pour mieux s'adapter, les agriculteurs ont besoin d'être informés en temps réel de toutes les perturbations climatiques à venir qui vont sûrement affecter leurs moyens de subsistance. Les autorités gouvernementales doivent mettre en place des dispositions d'informations efficaces pour permettre aux agriculteurs de continuer à travailler en connaissance de cause. Parmi ces mécanismes d'informations nous suggérons que les services météorologiques soient mis au service des groupements villageois afin de les informations soient données à temps sur l'évolution du climat. La diffusion sur les radios rurales des informations relatives à l'évolution du climat local est une option importante. Comme le démontre l'étude, la combinaison de l'utilisation optimale d'engrais avec des dates de semi soigneusement choisies en fonction des changements futurs du climat est une option

d'adaptation qui mérite une attention toute particulière. Ces connaissances doivent être portées à la connaissance des producteurs.

Conclusion

L'étude montre que les effets néfastes du changement climatique vont accentuer l'incapacité du secteur à offrir suffisamment de maïs. L'évaluation de l'impact des changements climatiques sur la production du maïs au Nord-Bénin révèle que les effets des changements climatiques sont remarquables. La variabilité des températures et des précipitations au cours des périodes de croissance des productions végétales ainsi que les désorganisations du calendrier des cultures, si elles persistent, risquent de nuire gravement à la productivité agricole et au rendement du maïs. Ces effets sont très variables en fonction des productions végétales et de leurs lieux de productions.

L'étude part de pratiques culturales actuelles pour montrer que les baisses de rendements dans le temps sont plus accentuées dans un contexte de changement climatique comparé à un environnement sans changement climatique. En effet, le constat général est que quelles que soient l'année et la variété de maïs, que les rendements subissent une forte baisse. Dans ce contexte, les analyses montrent que l'apport d'engrais minéraux permet une augmentation remarquable du rendement en 2050 par rapport à 2011 pour les différentes variétés de maïs étudiées. Ainsi, la production de maïs va exiger plus d'engrais minéraux. De plus, le déplacement de la période de semis à un mois avant la date habituelle combiné à la fertilisation induit une augmentation importante du rendement mais différenciée pour chaque variété à l'horizon 2050 par rapport à 2011.

Dans le cas du déplacement de la période de semis à un mois après la date habituelle combiné à la fertilisation, le constat est une augmentation substantielle du rendement en 2050 par rapport à 2011 pour les différentes variétés. Les meilleures options obtenues à partir de la combinaison des différentes possibilités offrent des pistes pour l'adaptation au changement climatique dans le secteur agricole, notamment un bon dosage de fertilisant combiné avec le déplacement des dates de semis. En conséquence, les revenus des producteurs vont s'améliorer si les stratégies d'adaptation sont bien définies et mises en œuvre comme le démontre l'étude.

Références bibliographiques

- Adams, R.M., 1989: Global Climate Change and Agriculture: An Economic Perspective. *American Journal of Agricultural Economics*, 71, pp 1272-1279. www.jstor.org/stable/1243120.
- Adams, R. M., B. McCarl, K. Segerson, C. Rosenzweig, K. Bryant, B. Dixon, R. Conner, R. Evenson, D. Ojima, 1999: The Economic Effects of Climate Change on U.S. Agriculture, *The Impact of Climate Change on the Economy of the United States*, pp 18–54, ed. Mendelsohn R., Neumann J.E., Cambridge University Press, 330 p.
- Agbossou, E.K., C. Toukon, P.B. Akponikpè, A. Afouda, 2012 : Climate variability and implications for maize production in benin : stochastic rainfall analysis, *African Crop Science Journal* 20, Issue Supplement s2, pp. 493-503.
- Blanc, E., 2011: The impact of Climate on Crop Production in Sub-Saharan Africa, Thèse, University of Otago. Dunedin, New Zealand, 363 p.
- Boko, M., F. Kosmowski, E. Vissin, 2012 : Les Enjeux du changement climatique au Bénin : Quelles implications politiques? Programme pour le Dialogue Politique en Afrique de l'Ouest, Konrad-Adenauer-Stiftung, Germany, 71 p.
- Climate Analytics, 2018 : PAS-PNA-État des lieux des connaissances scientifiques sur les changements climatiques pour les secteurs des ressources en eau, de l'agriculture et de la zone côtière, [Climate Analytics], Dakar, 34 p.
- Climate Analytics, 2019: Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation [PAS-PNA] - vulnérabilité aux changements climatiques & options d'adaptation au Bénin, (Climate Analytics), Cotonou, 34 p.
- Commission Economique pour l'Afrique [CEA], 2019 : Rapport économique sur l'Afrique, La Politique budgétaire au service du financement du développement durable, (NU. CEA), Addis-Abeba, 232p.
- Djohy G. L., 2016 : Vulnérabilité des ressources en eau au changement climatique et stratégies d'adaptation des maraichers des zones urbaines et peri-urbaines du Nord-Benin, Rapport de recherche, African Climate Change Fellowship Program, Parakou, 59 p.
- FAO [Fond des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture], 2004 : La situation des marchés des produits agricoles. (FAO), Rome, 56 p
- FAO [Fond des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture], 2007: Climate Change and Food Security: a Framework for Action, (FAO), Rome, 107 p.
- FAO, [Fond des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture], 2009 : La situation des marchés des produits agricoles- Flambée des prix et crise alimentaire-experiences et enseignements, (FAO), Rome, 66 p.

FAO [Fond des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture], 2020 : Évaluation des ressources forestières mondiales – Rapport national Bénin (FAO), Rome, 55 p.

Gerald C., R. Robertson, M.W. Rosegrant, J. Koo, T. Sulser, 2009) : Changement climatique, impact sur l'agriculture et coûts de l'adaptation. Washington, D.C., International Food Policy Research Institute, (IFPRI), Food policy report, 30 p.

He, J., C. Porter, P. Wilkens, F. Marin, H. Hu, J.W. Jones, 2010: Guidelines for installing and Running GLUE Program.

Jones, C.A., Kiniry, J. R., 1986 : CERES-maize: A simulation model of maize growth and development Texas A&M Univ Press, College Station, 194 p.

Lawin, A. E., A. Afouda, T. Lebel, 2011 : Analyse de la Variabilité du Régime Pluviométrique dans la Région Agricole d'Ina au Bénin, European Journal of Scientific Research ,50,(3) : 425-439.

MAEP [Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche], 2011 : Plan stratégie de relance du secteur agricole, Cotonou, Bénin, (PSRSA) 115 p.

MEF [Ministère de l'Economie et des Finances], 2012 : Implications économiques des changements climatiques dans le secteur agricole, Cotonou, Bénin, BiPEN (Bilan et Perspectives à Court et à Moyen termes de l'Economie Nationale), 110 p.

MCVDD [Ministère du Cadre de Vie et du Développement Durable], 2016 : Troisième Communication Nationale du Bénin sur les changements climatiques, Cotonou, Bénin, (TCN), 272 p.

MEHU [Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme], 2000 : Communication Nationale Initiale du Bénin sur les changements climatiques, Cotonou, Bénin, (ICN), 94 p.

MEHU [Ministère de l'Environnement, de l'Habitat et de l'Urbanisme], 2011 : Deuxième Communication Nationale du Bénin, Cotonou, Bénin, (DCN), 168 p.

Mendelsohn, R., Nordhaus, W. 1999: The Impact of global warming on agriculture : A ricardian analysis, The economics reviews, 89(4).

Mendelsohn, R., A. Dinar, A. Sanghi, 2001: The effect of development on the climate sensitivity of agriculture. Environment and Development Economics, 6, 85-101.

Mendelsohn, R., W. Nordhaus, D. Shaw, 1994: The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis, American Economic Review, 84(4):753-71.

NAS [National Academy of Sciences], 2017: Valuing Climate Damages: Updating Estimation of the Social Cost of Carbon Dioxide, National Academies Press, Washington, DC, 280 p.

Nefzi, A., Bouzidi, F., (2009) : Evaluation de l'impact économique du changement climatique sur l'agriculture au Maghreb. Cinquième Colloque International « Énergie, Changements climatiques Et développement durable ». Hammamet, Tunisie, 15-16 et 17 juin 2009.

Nefzi-Bouzidi A., 2012 : Évaluation économique de l'impact du changement climatique sur l'agriculture : étude théorique et application au cas de la Tunisie, Écologie, Environnement, Thèse, (AgroParisTech), 287 p.

Nelson G. C., M. W. Rosegrant, J. Koo, R. Robertson, T. Sulser, T. Zhu, C. Ringler, S. Msangi, A. Palazzo, M. Batka, M. Magalhaes, R. Valmonte-Santos, M. Ewing, D. Lee, 2009 : Changement climatique et agriculture, International food policy research institute, Washington, D.C., 30 p.

Oloukoi J., I. Yabi, C. Houssou, 2019 : Perceptions et stratégies paysannes d'adaptation à la variabilité pluviométrique au Centre du Bénin, Int. J. Biol. Chem. Sci. 13(3): 1366-1387.

Ouédraogo, M., 2012 : Impact des changements climatiques sur les revenus agricoles au Burkina Faso. Journal of Agriculture and Environment for International Development, 106(1), 3-21.

Reinsborough, M.J., 2003: A Ricardian model of climate change, Revue canadienne d'Economie, 36 (1), pp 21-40.

Ritchie, B. B., F. Furbush, J. J. Woods, 1986 : Fatigue of intermittent submaximal voluntary contractions: central and peripheral factors, Journal of Appl Physiol, 61(2):421-9.

Sultan, B., R. Lalou, M. A. Sanni, A. Oumarou, M. A. Soumaré, 2015 : Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest, Marseille, (IRD), 464 p.

Sultan, B., 2017 : Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest, Rapport, (IRD), 6p.

Thornton, P.K., G. Hoogenboom, P. W. Wilkens, J. W. Jones, 1994: Seasonal analysis. In: Tsuji, G., Uehara, G., Balas, S. (eds), DSSAT version 3, University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, 1-65.

Tokoudagba, S. F., 2014 : Economie de la production du maïs au Nord-Bénin : une analyse du compte de résultat des exploitations agricoles, Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin, 3, 20-28.

Tsuji G. Y., G. Uehara, S. Balas, 1994: DSSAT v3, Vol 1, 2, 3, (eds.), University of Hawaii, Honolulu, HI.

Uehara G., Tsuji G.Y., 1993 : The IBSNAT project. In: de Vries F.P., Teng P., Metselaar K. (eds) Systems approaches for agricultural development. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-2842-1_31.