

Juin 2015
volume n° 5 / numéro n° 1
www.agronomie.asso.fr

Agronomie

environnement & sociétés

La revue de l'association française d'agronomie

Changement climatique et agriculture
comprendre et anticiper, ici et ailleurs.



Agronomie, Environnement & Sociétés

Revue éditée par l'Association française d'agronomie (Afa)

Siège : 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05.

Secrétariat : 2 place Viala, 34060 Montpellier Cedex 2.

Contact : douhairi@supagro.inra.fr, T : (00-33)4 99 61 26 42, F : (00-33)4 99 61 29 45

Site Internet : <http://www.agronomie.asso.fr>

Objectif

AE&S est une revue en ligne à comité de lecture et en accès libre destinée à alimenter les débats sur des thèmes clefs pour l'agriculture et l'agronomie, qui publie différents types d'articles (scientifiques sur des états des connaissances, des lieux, des études de cas, etc.) mais aussi des contributions plus en prise avec un contexte immédiat (débats, entretiens, témoignages, points de vue, controverses) ainsi que des actualités sur la discipline agronomique.

ISSN 1775-4240

Contenu sous licence Creative commons



Les articles sont publiés sous la licence Creative Commons 2.0. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.

Directeur de la publication

Marc BENOÎT, président de l'Afa, Directeur de recherches, Inra

Rédacteur en chef

Olivier RÉCHAUCHÈRE, chargé d'études Direction de l'Expertise, Prospective & Etudes, Inra

Membres du bureau éditorial

Pierre-Yves LE GAL, chercheur Cirad

Hervé SAINT MACARY, directeur adjoint du département Persyst, Cirad

Philippe PRÉVOST, directeur Agreenium Université en ligne

Danielle LANQUETUIT, consultante Triog et webmaster Afa

Comité de rédaction

- Marc BENOÎT, directeur de recherches Inra

- Valentin BEAUVAL, agriculteur

- Jacques CANEILL, directeur de recherches Inra

- Joël COTTART, agriculteur

- Thierry DORÉ, professeur d'agronomie AgroParisTech

- Sarah FEUILLETTE, cheffe du Service Prévision Evaluation et Prospective Agence de l'Eau Seine-Normandie

- Yves FRANCOIS, agriculteur

- Jean-Jacques GAILLETON, inspecteur d'agronomie de l'enseignement technique agricole

- François KOCKMANN, chef du service agriculture-environnement Chambre d'agriculture 71

- Marie-Hélène JEUFFROY, directrice de recherche Inra et agricultrice

- Aude JOMIER, enseignante d'agronomie au lycée agricole de Montpellier

- Jean-Marie LARCHER, responsable du service Agronomie du groupe Axérial

- François LAURENT, chef du service Conduites et Systèmes de Culture à Arvalis-Institut du végétal

- Francis MACARY, ingénieur de recherches Irstea

- Jean-Robert MORONVAL, enseignant d'agronomie au lycée agricole de Chambray, EPLEFPA de l'Eure

- Christine LECLERCQ, professeure d'agronomie Institut Lassalle-Beauvais

- Adeline MICHEL, Ingénieure du service agronomie du Centre d'économie rurale de la Manche

- Philippe POINTEREAU, directeur du pôle agro-environnement à Solagro

- Philippe PRÉVOST, directeur Agreenium Université en Ligne

- Hervé SAINT MACARY, directeur adjoint du Département Persyst, Cirad

Secrétaire de rédaction

Philippe PREVOST

Assistantes éditoriales

Sophie DOUHAIRIE et Danielle LANQUETUIT

Conditions d'abonnement

Les numéros d'AE&S sont principalement diffusés en ligne. La diffusion papier n'est réalisée qu'en direction des adhérents de l'Afa ayant acquitté un supplément (voir conditions à <http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/>)

Périodicité

Semestrielle, numéros paraissant en juin et décembre

Archivage

Tous les numéros sont accessibles à l'adresse <http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/>

Soutien à la revue

- En adhérant à l'Afa via le site Internet de l'association (<http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/>). Les adhérents peuvent être invités pour la relecture d'articles.
- En informant votre entourage au sujet de la revue AE&S, en disséminant son URL auprès de vos collègues et étudiants.
- En contactant la bibliothèque de votre institution pour vous assurer que la revue AE&S y est connue.
- Si vous avez produit un texte intéressant traitant de l'agronomie, en le soumettant à la revue. En pensant aussi à la revue AE&S pour la publication d'un numéro spécial suite à une conférence agronomique dans laquelle vous êtes impliqué.

Instructions aux auteurs

Si vous êtes intéressé(e) par la soumission d'un manuscrit à la revue AE&S, les recommandations aux auteurs sont disponibles à l'adresse suivante :

<http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/pour-les-auteurs/>

À propos de l'Afa

L'Afa a été créée pour faire en sorte que se constitue en France une véritable communauté scientifique et technique autour de cette discipline, par-delà la diversité des métiers et appartenances professionnelles des agronomes ou personnes s'intéressant à l'agronomie. Pour l'Afa, le terme agronomie désigne une discipline scientifique et technologique dont le champ est bien délimité, comme l'illustre cette définition courante : « *Etude scientifique des relations entre les plantes cultivées, le milieu [envisagé sous ses aspects physiques, chimiques et biologiques] et les techniques agricoles* ». Ainsi considérée, l'agronomie est l'une des disciplines concourant à l'étude des questions en rapport avec l'agriculture (dont l'ensemble correspond à l'agronomie au sens large). Plus qu'une société savante, l'Afa veut être avant tout un carrefour interprofessionnel, lieu d'échanges et de débats. Elle se donne deux finalités principales : (i) développer le recours aux concepts, méthodes et techniques de l'agronomie pour appréhender et résoudre les problèmes d'alimentation, d'environnement et de développement durable, aux différentes échelles où ils se posent, de la parcelle à la planète ; (ii) contribuer à ce que l'agronomie évolue en prenant en compte les nouveaux enjeux sociétaux, en intégrant les acquis scientifiques et technologiques, et en s'adaptant à l'évolution des métiers d'agronomes.

Lisez et faites lire AE&S !

Sommaire

Avant-propos

P7- O. RÉCHAUCHÈRE (Rédacteur en chef) et M. BENOÎT (Président de l'Afa)

Éditorial

P9- M. BENOÎT et E. TORQUEBIAU (coordonnateurs du numéro)

Le Changement climatique et son impact sur l'agriculture : état des lieux, prévision et prospective

P13- Vers une prospective des impacts du changement climatique sur la sécurité alimentaire : les enseignements du 5ème rapport du GIEC

T. BRUNELLE (CIRAD)

P23- Evolutions constatées et prévisibles des principales composantes du climat impactant l'agriculture

F. HABETS (CNRS) et P. VIENNOT (Mines-ParisTech)

P33- Prospective Agriculture Forêt Climat (AFClm) du Centre d'étude et de prospective du MAAF

N. SCHALLER

S'adapter au changement climatique : outils, moyens et acteurs

P41- S'adapter au changement climatique

Agriculture, écosystèmes et territoires (Jean-François Soussana Coord.)

E. TORQUEBIAU (Cirad)

P43- L'observation des effets agricoles du changement climatique en France : combat d'arrière-garde, ou aide à l'adaptation ?

F. LEVRAULT (CRA POITOU-CHARENTES)

P55- Impacts du changement climatique sur les pratiques agricoles : évolution des calendriers culturels en région de polyculture-élevage

M. BENOÎT (Inra), T. FOURNIER, C. DE LA TORRE

P67- Adaptation au changement climatique en agronomie viticole : le programme Icare

G. BARBEAU, E. NEETHLING, N. OLLAT, H. QUENOL, J.M. TOUZARD

P77- Prospective participative sur l'agriculture du Roussillon face au changement climatique

P. GARIN, D. ROLLIN, L. MATON, J.D. RINAUDO, A. RICHARD-FERROUDJI, Y. CABALLERO

P87- Retour sur le colloque final du projet ADAPT'EAU

N. SCHALLER

P89 - Stratégies d'adaptation aux changements climatiques d'agriculteurs du Nicaragua : actions d'AVSF

L. DIETSCH (AVSF)

P93- Adaptations paysannes aux changements et aléas climatiques dans trois régions du monde

M.J. DUGUE

S'adapter au changement climatique et en atténuer les effets

P99- Changement climatique et Agricultures du Monde (Editions Quae, Torquebiau, E. (Ed)).

M. BENOÎT (Inra)

P101- Le fonio : une culture climato intelligente ?

N. ANDRIEU, E.VALL, M. BLANCHARD, F. BEAVOGUI, D. SOGODOGO

P107- Reconsidérer les rôles agronomiques de l'élevage dans la contribution à l'adaptation et l'atténuation du changement climatique

V. BLANFORT, M. VIGNE, J. VAYSSIERES, P. LECOMTE, J.LASSEUR, A. ICKOWICZ (Cirad)

P117- Agribalyse : résultats et enseignements

A. COLSAET, V. COLOMB et J. MOUSSET (ADEME)

P133- Stratégies d'atténuation mises en œuvre sur les territoires : l'outil et la démarche ClimAgri®

S. MARTIN (ADEME)

P139- Agriculture et gaz à effet de serre (Sylvain Pellerin et al.)

M. BENOÎT (Inra)

Annexe

P141 Appel à contribution du numéro



Le fonio : une culture climato intelligente ?

Fonio : a climate smart crop?

ANDRIEU N.^{1,2} - VALL E.³ - BLANCHARD M.^{3,4}
BÉAVOGUI F.⁵ - SOGODOGO D.⁶

¹Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement) UMR Innovation - TA C-85 / 15 - 73, avenue Jean-François Breton - 34398 Montpellier Cedex 5 - France

²CIAT (Centre International pour l'Agriculture Tropicale), DAPA, km 18 recta Cali-Palmira - Colombia

³ Cirad UMR Selmel, Campus international de Baillarguet 34398 - Montpellier cedex 5 - France

⁴Cirdes 01 BP 454 Bobo-Dioulasso Burkina Faso

⁵Irag (Institut de recherche agronomique de Guinée) - BP 1523 Boulevard du Commerce Conakry - République de Guinée

⁶IER (Institut d'Economie Rurale) Station de recherche agronomique de Cinzana - BP 214 Ségou - Mali

Contact auteurs : andrieu@cirad.fr

Résumé

En Afrique de l'Ouest, faire face au défi du changement climatique implique de définir des solutions nouvelles mais aussi de mettre en lumière des pratiques traditionnelles potentiellement performantes. L'objectif de cet article est d'analyser les performances du fonio pour assurer la transition vers des systèmes durables adaptés au changement climatique. Il se base sur des enquêtes menées dans les principaux bassins de production du fonio au Burkina Faso, Mali et Guinée situés en zones semi-aride et subhumide. Les performances du fonio en termes de productivité, adaptation et atténuation des émissions de gaz à effet de serre y ont été comparées à celles du maïs et/ou du sorgho. Cette étude montre que le fonio présente un potentiel pour faire face aux enjeux du changement climatique malgré une plus faible productivité que le sorgho en zone semi-aride et que le maïs en zone subhumide.

Mots-clés

Changement climatique, Afrique de l'Ouest, fonio, adaptation, atténuation.

Abstract

In West Africa, addressing the challenges of climate change involves both new solutions and highlighting potential successful traditional practices. The aim of this paper is to assess the performances of fonio to permit the transition to sustainable farming systems adapted to climate change. It is based on on-farm investigations conducted into the main production areas of fonio in Burkina Faso, Mali, and Guinea located in semi-arid and sub-humid zones. The performances of fonio in terms of productivity, adaptation, and mitigation of green gas emissions were compared to those of maize and/or sorghum. This study shows that fonio has a good potential to address the challenges of climate change despite a lower productivity than sorghum in the semi-arid zone,

and than maize in the sub-humid zone.

Key-words

Climate change, West Africa, fonio, adaptation, mitigation.

Introduction

En Afrique de l'Ouest les scénarios de changement climatique divergent de façon substantielle quant à la probable augmentation ou diminution des précipitations mais s'accordent tous sur une augmentation de la variabilité des phénomènes climatiques extrêmes à savoir l'augmentation de l'occurrence des épisodes de sécheresse et des pluies torrentielles (Cooper *et al.*, 2008, Niang *et al.*, 2014 ; Torquebiau, 2015).

Les agriculteurs africains ont toujours été exposés à une forte variabilité de leur environnement de production (Thomas *et al.*, 2007; Twomlow *et al.*, 2008), en partie en raison des caractéristiques du climat des zones tropicales subhumides (Cooper *et al.*, 2008), de filières peu développées et du manque de systèmes d'assurance (Adesina et Ouattara, 2000). En conséquence, les agriculteurs utilisent un large éventail de stratégies d'adaptation, y compris la sélection de variétés ou cultures tolérantes à la sécheresse, la diversification des sources de revenu via l'intégration agriculture-élevage ou les activités extra-agricoles (Abdulai et Croleress 2001; Dostie *et al.*, 2002; Stringer *et al.*, 2009; Thomas *et al.*, 2007 ; Thornton *et al.*, 2007). Evaluer le potentiel des stratégies existantes constitue la première étape dans la transition vers des systèmes adaptés au changement climatique (Andrieu *et al.*, 2015).

Le concept d'agriculture climato-intelligente (FAO, 2010) a pour objectif de favoriser la réflexion sur la transition vers des systèmes agricoles durables, à la fois plus productifs, adaptés au changement climatique et atténuant les émissions de gaz à effet de serre. Les travaux sur l'agriculture climato-intelligente visent à explorer des changements institutionnels (nouveaux services d'appui, nouveaux arrangements entre acteurs...), des pratiques innovantes (usage de l'information agro-climatique, irrigation de précision,...), tout en les évaluant selon des critères de productivité, d'adaptation et d'atténuation des émissions de gaz à effet de serre (GES).

Le fonio, *Digitaria exilis*, est une céréale traditionnelle endémique d'Afrique de l'Ouest ayant fait l'objet de relativement peu de travaux de recherche mais persistant au sein des systèmes de production (Cruz *et al.*, 2011). Vall *et al.*, (2011) ont émis l'hypothèse que sa persistance était liée à son rôle central dans la sécurité alimentaire saisonnière des ménages. Nous analysons dans cet article son potentiel pour faire face aux défis posés par le changement climatique en le comparant à deux autres céréales, qui occupent des places plus importantes en volume de production dans les assolements des exploitations agricoles de la région, mieux valorisées par la recherche développement à savoir le maïs et le sorgho.

Matériels et méthodes

Zones d'étude

L'étude se base sur des données d'enquêtes réalisées entre 2006 et 2008 dans les principaux bassins de production du fonio au Mali, au Burkina Faso, et en Guinée (projet INCO Fonio n°015403, Amélioration de la qualité et de la compétitivité de la filière fonio en Afrique de l'Ouest - 2006-2008).

Ces bassins de production s'étendent sur deux zones agro-écologiques :

- La zone semi-aride (pluviométrie moyenne de 500 mm sur trois mois, ratio précipitation sur évapotranspiration compris entre 0,2 et 0,5) couvrant les régions de Tominian au Mali et de Kossi au Burkina Faso ;

- La zone subhumide (pluviométrie moyenne de 1000 mm sur quatre mois, ratio précipitation sur évapotranspiration compris entre 0,5 et 0,65) allant du KénéDougou au Burkina Faso à la région de Kankan en Guinée en passant par celle de Bougouni au Mali (figure 1).

En zone semi-aride, le fonio s'intègre dans un système mixte céréales traditionnelles (sorgho, mil, fonio) et élevage de ruminants occupant un peu plus de 13 % de l'assolement. Les unités de production comptent en moyenne 10 actifs (à raison de 1 actif pour 1,5 personne à charge), occupent une surface de 12 hectares, et possèdent un cheptel de 11 unités de bétail tropical (UBT) (1 UBT = 1 bovin de 250 kg). L'insécurité alimentaire est plus forte, ce qui conduit à des achats de céréales importants (437 kg/an/ménage contre 177 kg en zone subhumide) (Vall *et al.*, 2011).

Dans la zone subhumide, le fonio s'intègre dans des systèmes mixtes très diversifiés composés de céréales (sorgho, maïs, riz), tubercules (igname, manioc, taro), arboriculture (agrumes, manguiers, anacardiés...), occupant environ 20% de l'assolement. Les unités de production sont de taille plus réduite en termes d'actifs (7), de surface cultivée (8 hectares) et de cheptel 8 UBT) (Vall *et al.*, 2011).

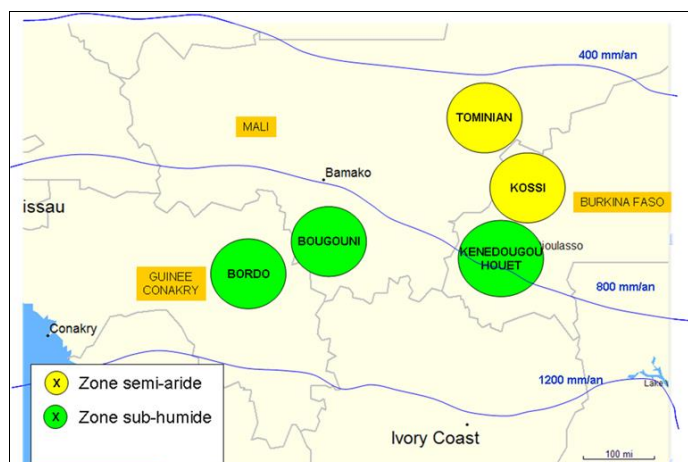


Figure 1 : Zone d'étude, les cercles représentant les cercles/départements où les enquêtes exploitation ont été réalisées pour le Fonio (Source Vall *et al.*, 2011)

Les enquêtes ont été réalisées en 2007 auprès de 250 exploitations (50 par bassin de production) sur les surfaces allouées aux céréales, leurs rendements, la conduite et la vente de la culture du fonio.

Pour la zone subhumide, le fonio a été comparé au maïs et au sorgho. Pour la zone semi-aride), le fonio a seulement été comparé au sorgho, la culture du maïs étant plus marginale.

Indicateurs d'évaluation de l'agriculture climato-intelligente et mode de calcul

Les indicateurs utilisés pour comparer les cultures s'inspirent des travaux en cours de Corner-Dolloff *et al.*, (2015) visant à définir des indicateurs pertinents pour mesurer les piliers de l'agriculture climato-intelligente (productivité, adaptation, atténuation).

Pour ces auteurs, la productivité peut se mesurer à travers des indicateurs tels que le rendement ou le revenu, l'adaptation peut se mesurer à travers des critères tels que la sécurité alimentaire, la résilience ou l'éco-efficience traduits ensuite en indicateurs, et l'atténuation par le taux de séquestration du carbone ou encore le niveau d'émission de gaz à effet de serre (GES).

Pour chaque zone et pour chacun des piliers de l'agriculture climato-intelligente, nous avons défini un à deux critères d'évaluation traduits ensuite en indicateurs simplifiés (tableau 1).

Piliers	Critères & Indicateurs	Unité	Source
Productivité	Rendement 2007	kg.ha ⁻¹	Enquêtes fonio 2007 ¹
	Marge-brute 2007	FCFA.ha ⁻¹	Enquêtes fonio et CountryStat pour les données de prix de vente des cultures
Adaptation	Résilience : Coefficient de variation de la production annuelle de chaque culture de 1984 à 2011	-	Country Stat
	Efficience azotée	Rapport entre les sorties azotées sur les entrées azotées	Enquêtes fonio 2007
Atténuation	Emissions totales GES	kg eq CO ₂ par ha	Enquêtes fonio et GIEC, 2006

¹Enquêtes menées dans le cadre d'un projet européen INCO Fonio (2006-2008)

Tableau 1 : Critères et indicateurs utilisés pour estimer les piliers de l'agriculture climato-intelligente

Le calcul de la marge brute se base sur des données recueillies en 2007 auprès des 250 producteurs complétées de la littérature régionale. Il considère les coûts d'achat des intrants (principalement engrais chimiques ; tableau 2) et ne considère pas le coût de la main d'œuvre compte tenu du manque de références bibliographiques pour le maïs et le sorgho dans les différentes zones d'études.

Le calcul de l'efficience azotée est réalisé à l'échelle d'une parcelle de 1 ha pour chaque culture en tenant compte des pratiques moyennes rencontrées dans les exploitations agropastorales des deux zones agro-écologiques.

L'efficience est le rapport entre les sorties azotées sur les entrées azotées. Il représente le lien entre la production agricole et l'usage des ressources associées ou comment l'agriculture convertit des intrants en extrants (Sutton, Bleeker *et al.*, 2013). Les pertes azotées dues aux émissions, et les différentes formes d'azote dans le sol, n'ont pas été prises en compte dans le calcul.

Les entrées azotées sur la parcelle se font à travers les semences, l'application de fumure organique et le dépôt des déjections animales lors de la vaine pâture et l'épandage des engrais minéraux. Les entrées azotées sont calculées en multipliant les quantités de biomasse par leur teneur en azote totale. De la même manière, les sorties azotées des parcelles sont calculées en prenant en compte les grains récoltés, les pailles stockées (fourrage et fumure organique), les pailles brûlées et les pailles consommées en vaine pâture.

Les émissions de GES ont également été évaluées pour des parcelles de 1ha de chaque culture en prenant en compte, les pratiques de gestion de la fertilisation (organique et minérale), le devenir des résidus de culture (brûlés, abandonnés, récoltés) et le climat (tropical humide, tropical sec ; tableau 2). Les inventaires des émissions suivent la méthode

Tiers 2 et mobilisent des facteurs d'émission proposés par le panel intergouvernemental sur le changement climatique (GIEC, 2006). Les données disponibles sur les pratiques permettent de définir les émissions de CO₂ liées à la fabrication des engrais, au travail du sol au labour et à l'épandage d'urée ; les émissions de CH₄ liées au brûlis des résidus et les émissions directes et indirecte de N₂O liées à l'épandage des engrais, de fumure organique et au devenir des résidus laissés au sol. Les émissions totales sont ensuite calculées en sommant ces différents postes d'émissions traduits en équivalent CO₂.

Notation des indicateurs

Afin d'établir pour chaque culture une note synthétique par pilier représentant le potentiel de la culture à assurer la transition vers une agriculture climato-intelligente, nous avons converti les valeurs de chaque indicateur en valeur relative par rapport à la valeur calculée pour le fonio :

$$\text{Note Indicateur} = (\text{Valeur Indicateur Culture} - \text{Valeur Indicateur fonio}) / \text{Valeur Indicateur fonio} \quad \text{eq.1.}$$

Puis pour le maïs et le sorgho, nous avons sommé les notes calculées pour les indicateurs correspondant à chaque pilier de l'agriculture climato-intelligente en faisant l'hypothèse qu'il y a compensation entre indicateurs et que chaque indicateur a le même poids. Les notes finales obtenues pour le maïs ou le sorgho et pour chaque pilier sont supérieures ou inférieures à 0 en fonction des performances estimées de ces cultures comparées à celles du fonio. Nous avons ensuite réalisé un diagramme permettant de visualiser les résultats obtenus par culture pour les trois piliers.

	Semi-aride		Subhumide		Source	
	Fonio	Sorgho	Fonio	Sorgho		
Travail du sol tracteur (% de la surface cultivée)	0	0	0	0	5	Enquêtes Fonio et Schaller, 2008 pour maïs et sorgho
Apports de fumure organique (kg.ha ⁻¹)	0	0	150	0	151	Enquêtes Fonio et Schaller, 2008 pour maïs et sorgho
Apports d'engrais minéraux (kg.ha ⁻¹)	0	50	4	50	146	Enquêtes Fonio et Schaller, 2008 pour maïs et sorgho
Apports urée (kg.ha ⁻¹) ²	0	0	0	0	50	Enquêtes Fonio et Schaller, 2008 pour maïs et sorgho
Paille récoltée pour la production de fourrage (%)	65	40	8	30	50	Enquêtes Fonio et Schaller, 2008 pour maïs et sorgho
Paille brûlée (%)	8	2	17	5	0	Enquêtes Fonio et Schaller, 2008 pour maïs et sorgho
Paille récoltée pour d'autres usages (%)	10	15	15	15	10	Enquêtes Fonio et Schaller, 2008 pour maïs et sorgho
Prix des produits (FCFA.kg ⁻¹)	150	165	133	76	69	Countrystat année 2007

¹ Teneur en N de l'engrais minéral : 0,15 kg N par kg de matière sèche

² Teneur en N de l'urée : 0,46 kg N par kg de matière sèche

Tableau 1 : Principaux paramètres utilisés pour le calcul des indicateurs

Résultats

Zone semi-aride

Hormis pour le rendement et la marge brute qui sont inférieurs à ceux du sorgho, le fonio présente des résultats supérieurs au sorgho pour l'ensemble des indicateurs considérés (tableau 3). En effet, il présente une production plus constante au cours du temps, une efficacité azotée supérieure et des émissions de GES inférieures à celles du sorgho.

Piliers	Critères & Indicateurs	Fonio	Sorgho
Productivité	Rendement 2007 (kg.ha ⁻¹)	646	800
	Marge-brute 2007 (FCFA.ha ⁻¹)	96 874	118 800
Adaptation	Résilience Coefficient de variation de la production annuelle de chaque culture de 1984 à 2011	0,28	0,32
	Efficacité azotée	8,52	1,47
Atténuation	Emissions GES totales (kg eq CO ₂)	112	160

Tableau 2 : Tableau de synthèse pour la zone agro-écologique semi-aride

Cela se traduit par une meilleure performance du fonio en termes d'adaptation et d'atténuation comparé au sorgho (figure 2, eq. 1).

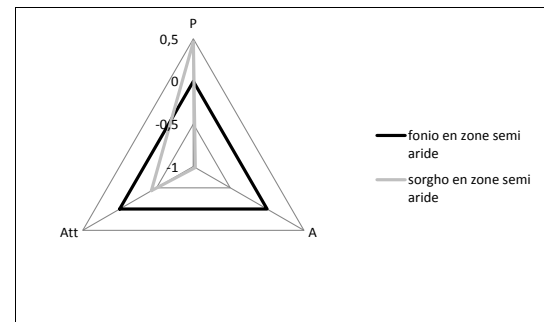


Figure 2 : Contribution du fonio et du sorgho à la transition vers des systèmes climato-intelligents en zone semi-aride avec A : Adaptation - P : Productivité - Att : Atténuation

Zone subhumide

En zone subhumide, le fonio présente de meilleurs résultats que le sorgho pour l'ensemble des indicateurs considérés hormis pour ce qui est des émissions de GES (tableau 4). Il présente de meilleurs résultats que le maïs pour l'ensemble des indicateurs hormis pour le rendement.

Piliers	Critères & Indicateurs	Fonio	Sorgho	Maïs
Productivité	Rendement 2007 (kg.ha ⁻¹)	550	420	1500
	Marge-brute 2007 (FCFA.ha ⁻¹)	72094	18720	64956
Adaptation	Coefficient de variation de la production annuelle de chaque culture de 1984 à 2011	0,40	0,50	0,64
	Efficacité azotée	2,19	1,80	1,10
Atténuation	Emissions GES totales (kg eq CO ₂)	367	274	637

Tableau 3 : Tableau de synthèse pour la zone agro-écologique subhumide

Cela se traduit par une meilleure performance du fonio en termes d'adaptation et d'atténuation comparé au maïs et en termes de productivité et d'adaptation comparé au sorgho (figure 3).

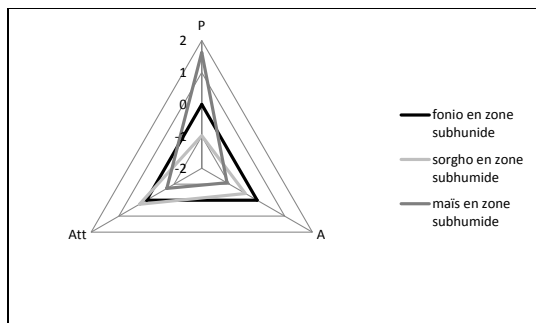


Figure 3 : Contribution du fonio, sorgho, et maïs à la transition vers des systèmes climato-intelligents en zone subhumide, avec A : Adaptation - P : Productivité - Att : Atténuation.

Discussion - Conclusion

Cette étude montre que la culture de fonio longtemps délaissée par la recherche-développement au profit d'autres cultures céréalières présente un potentiel pour faire face aux enjeux du changement climatique malgré une plus faible productivité que le sorgho en zone semi-aride et que le maïs en zone subhumide.

L'évaluation des systèmes de production céréalières sur la seule base de leur productivité (Akintoye *et al.*, 1999 ; Azeez *et al.*, 2006 ; Badu-Apraku *et al.*, 2013 ; Ouédraogo *et al.*, 2007 ; Sanon *et al.*, 2014) peut conduire à sous-estimer le rôle du fonio en Afrique de l'Ouest. Déjà, Vall *et al.* (2011) montraient la nécessité de considérer le rôle du fonio dans la sécurité alimentaire des ménages pour comprendre son maintien au sein des systèmes de production malgré les contraintes importantes liées au temps de réalisation des activités de post-récolte. Ces auteurs montraient en outre que les paysans ont sélectionné de nombreux cultivars de fonio qui leur permettent de faire face à la variabilité climatique (on peut décider de semer des fonio à cycle court quand les greniers sont vides en juin-juillet). Il en est de même pour le sorgho dans ces zones (Sanon *et al.*, 2014) ce qui donne un avantage supplémentaire à ces deux cultures en termes de résilience par rapport au maïs qui ne présente pas une aussi grande diversité de cultivars locaux.

Le concept d'agriculture climato-intelligente permet ainsi d'élargir la gamme des critères et indicateurs généralement utilisés pour évaluer les systèmes de culture et de production et d'analyser les synergies et tensions entre productivité, adaptation et atténuation.

Assurer la transition vers une agriculture durable et adaptée au changement climatique en Afrique de l'Ouest nécessite de réévaluer les pratiques locales et celles proposées par la recherche-développement sur la base de critères élargis. Une piste pour assurer une telle transition est de substituer les surfaces des cultures présentant les plus faibles performances au regard des piliers de l'agriculture climato-intelligente par des cultures telles que le fonio mais cela implique d'avoir recours à de la main d'œuvre supplémentaire pour conduire les activités de post-récolte (battage en particulier) qui représentent le goulot d'étranglement de cette culture ou de faciliter l'accès des producteurs à des équipements innovants (Cruz *et al.*, 2011 ; Marouze *et al.*, 2008) ainsi que d'améliorer sa productivité à travers des apports accrus de fumure organique et le désherbage précoce (Vall *et al.*, 2011). Mais une seconde piste, s'inspirant des pratiques actuelles, est de faire coexister au sein des systèmes de production des cultures aux fonctions variées,

chacune occupant une surface optimale lui permettant de contribuer aux piliers de l'agriculture climato-intelligente en tenant compte des enjeux spécifiques du producteur. La recherche doit co-construire des outils d'aide à la décision tels que des modèles de simulation ou des démarches comme celle utilisée dans cette étude (Andrieu *et al.*, 2015) pour permettre aux producteurs de déterminer quelles seraient les surfaces optimales pour ces cultures et de piloter les tensions entre adaptation, atténuation et productivité à l'échelle de l'exploitation.

Plusieurs des calculs réalisés se basent sur des données de 2007, année où les enquêtes ont été réalisées auprès des producteurs. L'analyse de la base de données de CountryStat montre que les données de prix ou les rendements sont très variables d'une année à l'autre, en particulier pour le maïs, en témoigne l'indicateur d'adaptation utilisé dans cette étude. Nous aurions pu calculer les indicateurs de productivité et d'atténuation sur des données moyennes calculés sur de longues séries d'années, mais nous ne disposons pas de données relatives aux apports d'engrais ni à la gestion des résidus de culture sur de telles séries. Une telle analyse pourrait alors être envisagée comme outil de pilotage saisonnier tenant compte des fluctuations de prix et de rendement.

Comme dans toute analyse multicritère, l'exercice peut conduire au risque de multiplier les hypothèses pour estimer les indicateurs. Dans cette étude, nous avons fait le choix de retenir un nombre limité d'indicateurs pour éviter un tel biais. Nous avons également considéré que des compensations pouvaient avoir lieu entre indicateurs, compensations pouvant masquer l'effet prépondérant d'un facteur sur les autres. Corner-Dolloff *et al.* (2015) proposent de renseigner et de pondérer les indicateurs de l'agriculture climato-intelligente avec les acteurs de terrain afin à la fois de légitimer leur choix et de tenir compte des attentes spécifiques des populations locales. Cette étude exploratoire pourrait être améliorée dans ce sens en impliquant les producteurs dans la démarche d'évaluation des céréales.

La méthode ici utilisée pour évaluer le fonio pourrait aussi être appliquée à d'autres pratiques locales et cultures orphelines tels que le taro par exemple.

Remerciements

Les auteurs remercient l'Union européenne pour son soutien financier au projet INCO Fonio n°015403, Amélioration de la qualité et de la compétitivité de la filière fonio en Afrique de l'Ouest (2006-2008) qui a permis de réaliser des enquêtes au Burkina Faso, au Mali et en Guinée et dont certains résultats sont utilisés dans cet article.

Bibliographie

Akintoye, H.A, Kling, J.G, Lucas, E.O., 1999. N-use efficiency of single, double and synthetic maize lines grown at four N levels in three ecological zones of West Africa. Field Crops Research, 60, 1189-199.

Abdulai, A., Crole-Ress, A., 2001. Determinants of income diversification amongst rural households in Southern Mali. Food policy, 437-452.

- Adesina, A.A.A., Ouattara, A.D., 2000. Risk and agricultural systems in northern Côte d'Ivoire. *Agric. Syst* 66, 17-32.
- Andrieu N., Pedelahore P., Howland F., Descheemaeker K., Vall E., Bonilla-Findji O., Corner C., Loboguerrero A.M., Chia E., 2015. In : Torquebiau Emmanuel (ed.). *Changement climatique et agricultures du monde*. Versailles : Ed. Quae, p. 136-146. (Agricultures et défis du monde).
- Azeez, J.O., Adetunji, M.T., Lagoke, S.T.O., 2006. Response of low-nitrogen tolerant maize genotypes to nitrogen application in a tropical Alfisol in northern Nigeria. *Soil and Tillage Research*, 91, 181-185.
- Badu-Apraku, B. Yallou, C.G., Oyekunle M., 2013. Genetic gains from selection for high grain yield and Striga resistance in early maturing maize cultivars of three breeding periods under Striga-infested and Striga-free environments. *Field Crops Research*, 147, 54-67.
- Cooper, P.J.M., Dimes, J., Rao, K.P.C., Shapiro, B., Shiferaw, B., Twomlow, S.J., 2008. Coping better with current climatic variability in the rain-fed farming systems of sub-Saharan Africa: An essential first step in adapting to future climate change? *Agr. Ecosyst. Environ.* 126, 24-35.
- Corner-Dolloff C., Jarvis .A., Loboguerrero AM, Lizarazo M., Nowak A., Andrieu N., Howland F., Smith C., Maldonado J., Gomez J., Rosenstock T., Girvetz E., 2015. Towards a scalable framework for evaluating and prioritizing climate-smart agriculture practices and programs. *Climate Smart Conference*. March 2015, Montpellier.
- Cruz, J.F., Béavogui, F., Drame, D. 2011. Le fonio, une céréale africaine. Ed. Quae-CTA, 175 p.
- Marouzé C., Thauay P., Fliedel G., Cruz J.F., 2008. Designing a fonio mill; Screening an operating principle and its validation. *Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 39 (3) : 9-15.
- Dostie, B, Haggblade, S, Randriamamonjy, J., 2002. Seasonal poverty in Madagascar: magnitude and solutions. *Food Policy* 27, 493-518.
- FAO, 2010. *Climate-Smart Agriculture: Policies, Practices and Financing for Food Security, Adaptation and Mitigation*, Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- GIEC (2006). Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre, préparé par le Programme pour les inventaires nationaux des gaz à effet de serre H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe. Japon, IGES.
- Niang, I., O.C. Ruppel, M.A. Abdrabo, A. Essel, C. Lennard, J. Padgham, and P. Urquhart, 2014: Africa. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1199-1265.
- Ouédraogo, E., Mando, A., Brussaard, L., Stroosnijder, L., 2007. Tillage and fertility management effects on soil organic matter and sorghum yield in semi-arid West Africa. *Soil and Tillage Research*, 94, 64-74.
- Sanon, M., Hoogenboom, G., Traoré, S.B. Sarr, B., Garcia y Garcia, A., Somé, L., Roncoli, C., 2014. Photoperiod sensitivity of local millet and sorghum varieties in West Africa. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 29-39.
- Schaller**, N., 2008. Analyse et modélisation des relations agriculture - Élevage au sein d'exploitations cotonnières dans l'Ouest du Burkina-Faso. Mémoire de fin d'études cursus ingénieur agronome, AgroParisTech, 58p.
- Stringer, L.C., Dyer, J.C., Reed, M.S., Dougill, A.J., Twyman, C., Mkwambisi, D., 2009. Adaptations to climate change, drought and desertification: local insights to enhance policy in southern Africa. *Environ. Sci. Policy* 12, 748-765.
- Sutton, M. A., A. Bleeker, et al. (2013). *Our Nutrient World: The challenge to produce more food and energy with less pollution*, Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh on behalf of the Global Partnership on Nutrient Management and the International Nitrogen Initiative.
- Thomas, D.S.G., Twyman, C., Osbahr, H., Hewitson, B., 2007. Adaptation to climate change and variability: farmer responses to intra-seasonal precipitation trends in South Africa. *Clim. Change* 83, 301-322.
- Thornton, P.K., Boone, R.B., Galvin, K.A., BurnSilver, S.B., Waithaka, M.M., Kuyiah, J., Karanja, S., Gonzalez-Estrada, E., Herrero M., 2007. Coping strategies in livestock-dependent households in east and Southern Africa: a synthesis of four case studies. *Hum. Ecol.* 35, 461-476.
- Torquebiau, E. 2015. *Changement climatique et agricultures du monde*. Versailles. Ed. Quae, 327 p.
- Twomlow, S., Mugabe, F.T., Mwale, M., Delve, R., Nanja, D., Carberry, P., Howden, M., 2008. Building adaptive capacity to cope with increasing vulnerability due to climatic change in Africa – A new approach. *Phys.Chem. Earth* 33, 780-787.
- Vall, E., Andrieu, N., Béavogui, F., Sogodogo, D. 2011. Les cultures de soudure comme stratégie de lutte contre l'insécurité alimentaire saisonnière en Afrique de l'Ouest : le cas du fonio (*Digitaria exilis* Stapf). *Cahiers agricultures*, 20: 294-300.