

Sous la direction de

B. Sultan, A. Y. Bossa,
S. Salack, M. Sanon

Risques climatiques et agriculture en Afrique de l'Ouest



Risques climatiques et agriculture en Afrique de l'Ouest

Risques climatiques et agriculture en Afrique de l'Ouest

Éditeurs scientifiques

Benjamin SULTAN, Aymar Yaovi BOSSA,

Seyni SALACK, Moussa SANON

IRD Éditions

INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT

Collection Synthèses

Marseille, 2020

Coordination éditoriale, fabrication
Corinne Lavagne

Mise en page
Aline Lugand – Gris Souris

Maquette de couverture
Michelle Saint-Léger

Maquette intérieure
Pierre Lopez

Photo de couverture
Récolte du niébé, fin de saison humide, Niakhar (Sénégal).
© IRD/T. Chevallier

p. 4 de couverture
Femmes cultivant des patates douces (culture de décrue) près de Podor (Sénégal).
© IRD/J.-C. Poussin

La loi du 1^{er} juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple ou d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1^{er} de l'article L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.

© IRD, 2020

ISBN : 978-2-7099-2820-5

ISSN : 2431-7128

Remerciements

Nous tenons à remercier les institutions ayant soutenu les activités du programme Agricora (Agriculture et gestion du risque climatique : outils et recherches en Afrique) et contribué à la réalisation de cet ouvrage : le ministère de l'Europe et des Affaires étrangères (MEAE, France), l'Institut de recherche pour le développement (IRD), le département Mobilisation de la recherche et de l'innovation pour le développement (DMOB-IRD, France), le service Renforcement des capacités au Sud (SRC-IRD, France), les Éditions de l'Institut de recherche pour le développement (IRD Éditions, France), l'Agence nationale de la météorologie du Burkina Faso (Anam-BF), la Direction provinciale de l'agriculture, de l'hydraulique et des aménagements agricoles d'Ioba (DPA, Dano), la Fédération nationale des groupements Naam (FNGN, Ouahigouya), Enda-Énergie (Sénégal/Niger), l'Agence nationale de l'aviation civile et de la météorologie du Sénégal (Anacim, Sénégal), le Service départemental du développement rural (SDDR) et la mairie de Bakel (Bakel/Sénégal), le ministère de l'Alimentation et de l'Agriculture du Ghana (MoFA, Bolgatanga/Ghana), le laboratoire HydroSciences Montpellier (HSM UMR 5579, Montpellier/France), l'Institut de recherche pour le développement (IRD, France), le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad, France), l'Institut de l'environnement et de recherches agricoles (Inera, Burkina Faso), l'Institut d'économie rurale (IER, Mali), le Centre international de recherche-développement sur l'élevage en zone subhumide (Cirdes, Burkina Faso), l'université de Ouagadougou, l'université de Bobo-Dioulasso, l'Association malienne d'éveil au développement durable (Amedd, Mali), le Cadre de concertation villageois de Beguénié (CCV, Mali), le Cadre de concertation villageois de Koumbia (CCV, Burkina Faso), la Plateforme de Yilou (Burkina Faso), le laboratoire Locean (UMR 7159, France), le laboratoire Espace-Dev (UMR 228, France), Les Directions départementales de l'agriculture (DDA) des communes de Bakel (Sénégal) et de Ouahigouya (Burkina Faso), les lycéens/lycéennes des lycées d'enseignement général (LEG) et leurs parents producteurs dans les communes rurales de Bakel (Sénégal) et Ouahigouya (Burkina Faso), Enda Tiers-Monde, le Centre ouest-africain des services scientifiques sur les changements climatiques et l'utilisation adaptée des terres (WASCAL, Burkina Faso), l'Isra (Institut sénégalais de recherche agricole, Sénégal), l'UMR G-eau (UMR 183, France), la Société d'aménagement et d'exploitation des terres du delta et de la vallée du Sénégal (Saed, Sénégal), l'École des

mines de Mauritanie (EMiM, France), l'université Cheikh Anta Diop de Dakar (Sénégal), l'université Gaston-Berger de Saint-Louis (Sénégal), les centres AfricaRice de Saint-Louis (Sénégal) et Cotonou (Bénin), l'UMR Gred (UMR 220, France), la Société nationale de développement rural (Sonader), l'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal (OMVS, Sénégal, Mauritanie), la Direction des aménagements et des infrastructures (DGADI, Burkina Faso), les Organisations professionnelles agricoles (OPA, Burkina Faso).

Sommaire

Introduction générale	11
<i>B. Sultan, A. Y. Bossa, S. Salack, M. Sanon</i>	
Partie I	
L'information agroclimatique pour l'aide à la décision	15
Introduction	17
<i>S. Salack</i>	
Chapitre 1	
Vérification de la qualité d'un service climatique pour l'agriculture	19
<i>I. A. Saley, A. Ganaba, N. Z. Lawson, S. Salack</i>	
Chapitre 2	
Prévisibilité des faux-départs de saison agricole au Sahel	31
<i>S. Salack, K. Hien, N. Z. Lawson, I. A. Saley, J.-E. Paturel, M. Waongo</i>	
Chapitre 3	
Les déterminants de l'utilisation de l'information pluviométrique (nord et sud-ouest du Burkina Faso)	45
<i>S. Sanfo, S. Salack, M. Damba MBoungou, I. A. Saley</i>	
Chapitre 4	
Effets de l'engorgement du sol sur la croissance, le développement et la productivité du maïs	55
<i>E. K. Daku, N. I. P. Dossoumou, O. N. Worou, S. Salack</i>	
Chapitre 5	
Relation entre la fertilité du sol et la productivité de l'eau de pluie sur le maïs (Burkina Faso)	75
<i>K. Coulibaly, M. Traoré, A. Guiro, B. Bacýé, H. B. Nacro</i>	

Chapitre 6

Diagnostic rizicole des bas-fonds face aux risques climatiques. Les effets des aléas d'inondation (Lofing-Bankandi, Dano, Burkina Faso) 85
G. Serpantié, A. Dorée, M. Douanio, F. Somé, S. Hien, A. Y. Bossa, J.-L. Fusillier, B. Lidon, A. Sawadogo, N. Dabiré

Chapitre 7

Gestion du risque à l'échelle de la parcelle en riziculture de bas-fond (Dano, Burkina Faso) 99
G. Serpantié, A. Dorée, M. Douanio, F. Somé, A. Y. Bossa, J.-L. Fusillier, A. Sawadogo, N. Dabiré

Partie II
L'aménagement des zones inondables dans un contexte de changement climatique 115

Introduction 117
A. Y. Bossa

Chapitre 8

L'agriculture de décrue en Afrique de l'Ouest et du centre. Une certaine résilience face à la variabilité climatique et à la régulation des fleuves 121
M. Dieye, D. Dia, B. Barbier, E. H. M. Sylla, M. Sall, J.-C. Bader, A. Y. Bossa, S. Sanfo, C. S. Fall

Chapitre 9

L'agriculture de décrue a-t-elle un avenir au Sénégal ? Une analyse selon la méthode FFOM : « Forces-Faiblesses-Opportunités-Menaces » 133
A. N. Diop, E. H. M. Sylla, B. Barbier, J.-C. Bader, M. Sall, C. S. Fall, M. Dieye, A. Y. Bossa

Chapitre 10

L'agriculture de décrue au gré de la variabilité des politiques publiques sénégalaises 145
C. S. Fall, D. Dia, A. Ndiaye Diop, E. H. M. Sylla, M. Sall, B. Barbier, A. Y. Bossa, M. Dieye

Chapitre 11

« Entre deux eaux » : l'agriculture de décrue face aux politiques transfrontalières dans la vallée du fleuve Sénégal ... 153
C. S. Fall, B. Barbier, A. N. Diop, M. Sall, J.-C. Bader, E. H. M. Sylla, M. Dieye, A. Y. Bossa

Chapitre 12

Amélioration des pratiques culturales du sorgho de décrue dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal 163
M. Sall, R. Ndiaye, M. Cissé, B. Sine, M. Ndiaye, H. Ndong

Chapitre 13	
Diversité des processus de valorisation agricole des bas-fonds et durabilité des aménagements au Burkina Faso	179
<i>B. M. Torou, T. B. Yameogo, A. Y. Bossa, F. Somé, E. D. Da</i>	
Chapitre 14	
Pratiques paysannes de gestion des pesticides dans les bas-fonds rizicoles. Risques sanitaires et environnementaux (Dano, Burkina Faso)	189
<i>H. Compaore, S. Ilboudo, A. D. Bama Nati, M. M. Dama-Balima</i>	
Chapitre 15	
Fonctionnement hydrologique et hydraulique du bas-fond réaménagé de Bankandi (Province du loba, Burkina Faso)	205
<i>J. Hounkpè, A. Y. Bossa, Y. Yira, J.-L. Fusillier, A. S. Da, A. Keita</i>	
Chapitre 16	
Aménagement de bas-fonds et recompositions foncières. Le cas de Lofing (Burkina Faso)	217
<i>J. Robin, P. Lavigne Delville</i>	
Chapitre 17	
Co-construction d'innovations pour la maîtrise de la culture du riz de bas-fond en conditions contraignantes et aléatoires	227
<i>G. Serpantié, A. Sawadogo, M. Douanio, E. Dabire, F. Somé, A. Y. Bossa, J.-L. Fusillier</i>	
Chapitre 18	
Adoption des variétés améliorées de riz dans les bas-fonds. Analyse socioéconomique des déterminants	239
<i>T. B. Yameogo, B. M. Torou, F. Somé, J.-L. Fusillier, A. Y. Bossa, E. D. Da</i>	
Chapitre 19	
L'aménagement de bas-fonds en diguettes sur courbes de niveau. Défis posés à l'implantation dans la région Sud-Ouest du Burkina Faso	251
<i>Y. Yira, A. Y. Bossa, J. Hounkpè, T. Yaméogo, B. M. Torou</i>	
Chapitre 20	
Les défis de l'organisation des producteurs de bas-fonds aménagés et de l'insertion dans une filière riz. (Province du loba, Burkina Faso)	261
<i>J.-L. Fusillier, M. M. Dama Balima, S. Traoré</i>	
 Partie III	
Les pratiques agroécologiques pour lutter contre le changement climatique	
273	
Introduction	275
<i>M. Sanon</i>	
Chapitre 21	
Analyse des flux d'eau dans les systèmes de culture à base de sorgho dans un contexte de changement climatique (N'Tarla, Mali)	277
<i>F. Sissoko, A. Traore, B. Ouattara, S. Ouédraogo</i>	

Chapitre 22	
Perceptions du changement climatique et stratégies paysannes d'adaptation (zones soudaniennes du Burkina Faso et du Mali)	289
<i>T. Fayama, D. Dabiré, A. Ba</i>	
Chapitre 23	
Stratégies d'adaptation au changement climatique par l'utilisation de variétés améliorées d'arachide (zone Ouest du Burkina Faso)	297
<i>A. A. Bandaogo, A. Traore, F. Saba</i>	
Chapitre 24	
Effet de la période d'application du compost sur les rendements du sorgho et la productivité de l'eau de pluie (zone soudanienne du Burkina Faso)	305
<i>S. Ouédraogo, B. Ouattara, A. A. Bandaogo, P. Kouakou, F. Sissoko</i>	
Chapitre 25	
Pratiques agricoles et déterminants de l'adoption du sorgho dans un contexte de changement climatique (sud du Mali)	315
<i>A. Ba, B. Dembele, D. Coulibaly, A. Traore, F. Sissoko, T. Diarisso</i>	
Chapitre 26	
Utilisation des fourrages de céréales-mucuna dans l'alimentation des bœufs de trait (sud du Mali)	329
<i>A. Ba, B. Dembele, D. Coulibaly, Y. Kanadjigui</i>	
Chapitre 27	
Sélection du sorgho pour une intensification durable au Mali. Apports de la modélisation des cultures	337
<i>M. Kouressy, S. Sissoko, M. L. Tékété, S. Sanogo, S. Kamissoko, M. Doumbia, A. Sissoko, K. Théra, M. Dingkhun, A. S. Koné, M. Ouattara, M. Vaksman, N. Témé</i>	
Liste des auteurs	353

Introduction générale

Benjamin SULTAN, Aymar Y. BOSSA,
Seyni SALACK, Moussa SANON

Le futur de l’Afrique de l’Ouest, son équilibre économique, politique et social dépendent de la capacité du secteur de l’agriculture à s’adapter pour garantir la sécurité alimentaire dans un contexte de pressions multiples comme celles engendrées par le changement climatique et la croissance démographique. Pour faciliter cette adaptation, la recherche a déployé d’importants efforts ces dernières années en améliorant la connaissance sur la compréhension des changements climatiques en Afrique de l’Ouest, sur celle de leurs impacts sur les systèmes agropastoraux et sur les stratégies d’adaptation qui réduisent les risques climatiques ; une condition *sine qua non* de l’investissement et de l’innovation dans le secteur agricole. Cet effort a également été décliné à travers des partenariats scientifiques et le renforcement de larges réseaux de recherche en Afrique, soutenus par le Ministère français des Affaires étrangères et du Développement international (MAEDI). Les programmes de recherche ont accumulé des acquis, des preuves sur le risque que les aléas climatiques font peser sur la production agricole, sur la conscience aiguë qu’en ont les producteurs et sur les possibilités nouvelles d’adaptation technique. Or, ces avancées de la recherche ne sont que rarement prises en compte dans la planification et la prise de décision pour réduire ce risque.

Partant de ce constat, le MAEDI a soutenu un projet de Fonds de solidarité prioritaire « Agriculture et gestion des risques climatiques : outils et recherches en Afrique » (FSP Agricora) mené entre 2016 et 2018 et coordonné par l’Institut de recherche pour le développement (IRD).

L’objectif principal du FSP Agricora a été de contribuer à l’élaboration d’outils efficaces de gestion du risque climatique en co-construisant avec des réseaux de

chercheurs et d'acteurs directement impliqués dans l'accompagnement de l'agriculture des stratégies innovantes basées sur les résultats de la recherche. Pour ce faire : (1) il a mobilisé une recherche-action en partenariat pour produire des connaissances et des outils adaptés pour mieux documenter et si possible réduire l'incertitude dans la prise de décision ; et (2) il a renforcé les capacités de recherche et d'expertise des pays bénéficiaires.

Le FSP Agricora a été mis en œuvre à travers des projets de recherche et de valorisation des connaissances dans le monde rural sélectionnés au moyen d'un appel à propositions. Ces projets ont visé à produire des avancées importantes sur trois thématiques prioritaires : (1) les services climatiques pour l'agriculture ; (2) l'intensification écologique ; (3) les ressources en eau pour l'agriculture. Ils se sont appuyés sur les partenariats existants entre les chercheurs français et africains tout en favorisant une approche régionale qui implique les parties prenantes pour la production de connaissances finalisées. Ce sont les résultats de ces projets qui sont présentés dans cet ouvrage, avec l'ambition de permettre aux acteurs du secteur agricole (organisations paysannes, filières, secteur privé agricole, banques de développement agricole, fournisseurs d'intrants, services agricoles et de météorologie) de s'approprier de nouvelles connaissances et de nouveaux outils pour une meilleure prise en compte des risques climatiques dans la gestion des systèmes de production.

L'ouvrage s'organise selon trois axes thématiques reflétant différents enjeux interdisciplinaires de recherche qui ciblent chacun des outils différents de gestion du risque climatique pour l'agriculture familiale.

Partie I : l'information agroclimatique pour l'aide à la décision

La gestion du risque climatique est une discipline émergente qui s'appuie sur l'utilisation de l'information climatique dans la planification et la prise de décision, permettant non seulement de protéger les producteurs en cas d'aléas météorologiques défavorables, mais également de créer des opportunités en cas de conditions météorologiques favorables. Parmi les nombreux outils de gestion du risque climatique, les systèmes d'alerte précoce basés sur l'imagerie satellitaire et sur la prévision météorologique et climatique sont particulièrement adaptés au secteur agricole. Cependant, même s'il existe une littérature scientifique importante et de nombreuses études pilotes portant sur ces outils, leur plus-value n'a que rarement été démontrée et leur potentiel pour le secteur agricole est à ce jour loin d'être réalisé. Cette partie présentera des exemples de services et produits issus de la recherche météorologique, hydrologique et agronomique qui pourraient être à même de présenter une plus-value pour le développement et l'adaptation de l'agriculture et l'aide à la décision dans le domaine des systèmes agraires.

Partie II : l'aménagement des zones inondables dans un contexte de changement climatique

Tous les systèmes de production agraires cherchent à satisfaire au mieux les besoins en eau liés à l'ensemble de leurs activités (élevage ou agriculture). Face à la mauvaise répartition des ressources en eau, aux caractéristiques aléatoires des pluies et aux changements climatiques, les agriculteurs développent (ou devront développer) un ensemble de procédés techniques pour s'adapter et pour mieux valoriser cette ressource contrainte. On peut parler d'une ingénierie basée sur des savoirs acquis qui peut intervenir à différents niveaux de l'agroécosystème pour l'adapter à des ressources et conditions de milieu fluctuantes ou même extrêmes.

Les échelles auxquelles s'applique cette ingénierie d'adaptation au risque hydro-climatique sont multiples : pratiques communautaires et aménagement du territoire (bassins versants notamment), gestion du paysage à l'échelle locale, organisation de l'usage des terres, organisation et gestion de l'exploitation, aménagements permanents de parcelles, itinéraires techniques (calage des cycles, gestion du sol et des résidus de cultures) ou choix du matériel végétal. À chacun de ces niveaux, ces choix peuvent soit modifier la répartition de l'eau et par suite la ressource disponible, soit modifier l'efficacité de valorisation de cette ressource.

Cette partie traite d'exemples de gestion de l'eau dans les aménagements des zones inondables. Quels sont les nouveaux risques et les opportunités résultant de l'aménagement des terres inondables pour l'agriculture en Afrique de l'Ouest ? Comment les politiques d'aménagement des plaines et bas-fonds inondables doivent-elles être élaborées pour que l'exploitation de ces zones soit plus résiliente au réchauffement climatique ? À une échelle plus locale, comment peut-on co-construire avec les communautés rurales concernées de nouvelles options d'adaptation ?

Partie III : les pratiques agroécologiques pour lutter contre le changement climatique

Les systèmes agricoles, et notamment ceux des pays les moins avancés, font face à des enjeux nouveaux et majeurs : produire plus pour nourrir une population en forte croissance, notamment en Afrique subsaharienne, s'adapter au changement climatique et à ses variabilités, mais aussi atténuer leur contribution aux émissions de gaz à effet de serre (les trois piliers de l'« Agriculture intelligente face au climat »,). Ces enjeux mènent à une adaptation nécessaire qui doit pouvoir se réaliser pour tous les systèmes agricoles, dont la diversité est avérée. Parmi les pistes pouvant conduire à

une telle transition, une meilleure mobilisation des processus écologiques est au centre des recherches et des actions de développement. Il s'agit en premier lieu d'accroître la production et de renforcer sa stabilité malgré les effets attendus des changements climatiques, en permettant aux agriculteurs d'améliorer leur alimentation et de générer des revenus. Il convient également d'améliorer les performances des systèmes agricoles, notamment en diminuant leurs externalités environnementales négatives et en augmentant l'efficacité d'utilisation des ressources. Cette transition doit ainsi contribuer à réduire les intrants chimiques et l'artificialisation du milieu, voire à les remplacer par des techniques/pratiques qui, au contraire, valorisent la biodiversité et les processus écologiques positifs au sein des systèmes cultivés. Cette partie ambitionne de mieux caractériser, mieux prendre en considération et mieux valoriser ces diverses voies de transition (ressources utilisables, biodiversité, contextes de production, pratiques locales). La performance des systèmes doit ainsi s'évaluer par rapport à leur capacité à mieux utiliser les ressources naturelles comme l'énergie solaire, les nutriments majeurs (azote, N, phosphore, P) et l'eau. Ainsi, ils doivent favoriser les processus de facilitation entre espèces végétales pour l'accès aux nutriments (exemple le P inorganique), l'utilisation d'espèces qui ne sont pas en compétition mais qui au contraire ont accès à différents réservoirs de nutriments (par exemple fixateurs d'azote, non fixateurs, eau de surface, eau profonde) et/ou associer cultures et élevage, permettant ainsi des transferts en nutriments (résidus de récolte, fumier). De même, une telle démarche impose la prise en considération d'échelles spatiales articulées allant de la parcelle au système de culture ou à l'ensemble de l'agroécosystème, ne serait-ce que pour mieux explorer une large gamme de ressources disponibles à ces différentes échelles (e.g. flux de biomasse, ou pour mieux articuler les leviers techniques qui peuvent se mettre en place à chacun de ces niveaux). Le *continuum* parcelle/exploitation agricole/paysage est donc d'un intérêt majeur.

Partie I

L'information agroclimatique pour l'aide à la décision



© IRD/T. Chevallier

*Champ de mil et de niébé en fin de saison humide,
près de Niakhar (Sénégal).*

Introduction

Seyni SALACK

Sous l'effet des changements climatiques, la liste des aléas pédoclimatiques auxquels doit faire face l'agriculture subsaharienne ne cesse de s'allonger : les occurrences de faux-départs de saison agricole et des pauses pluviométriques intra-saisonnières, la dégradation des nutriments du sol, les pluies extrêmes, les inondations de champs provoquant l'asphyxie des cultures de bas-fond par engorgement du sol, l'apparition de nouvelles maladies ou de parasites des cultures, et les pertes en main-d'œuvre dues à l'émigration et à l'exode. La situation risque d'être encore plus préoccupante au cours du XXI^e siècle, car les projections climatiques montrent une augmentation de la fréquence et de l'intensité des pluies extrêmes¹, et une hausse des températures pouvant accroître la demande en eau des cultures dans certaines sous-régions ouest-africaines². Quelles sont les solutions possibles pour l'agriculture familiale ? Comment peut-on tirer avantage de certains de ces aléas – comme les pluies diluviennes – pour accroître les rendements et réduire leurs effets négatifs sur le système de production ? Une des solutions consiste à développer des systèmes de prévision ou d'alerte comprenant un indicateur du niveau de confiance accordée à l'information climatique, à communiquer sur le taux d'incertitudes et à accompagner son intégration dans le processus de prise de décision (chap. 1 et 2). En outre, il sera nécessaire de développer des outils novateurs qui intègrent l'information climatique, les conseils et les itinéraires techniques au sein des systèmes d'alerte précoce. Ces

1. TAYLOR C. M., BELUSIC D., GUICHARD F., PARKER D. J., VISCHER T., BOCK O., HARRIS P. P., JANICOT S., KLEIN C., PANTHOU G., 2017 – Frequency of extreme Sahelian storms tripled since 1982 in satellite observations. *Nature*, 544 : 475-478. <http://dx.doi.org/10.1038/nature22069>.

2. SALACK S., SARR B., SANGARE S. K., LY M., SANDA I. S., KUNSTMANN H., 2015 – Crop-climate ensemble scenarios to improve risk assessment and resilience in the semi-arid regions of West Africa. *Clim. Res.*, 65 : 107-121.

services climatiques pourraient engendrer des bénéfices réels pour les agriculteurs en prenant en compte leurs besoins, leurs pratiques et la façon dont ils gèrent les risques pour leur production (chap. 3). Une compréhension des pratiques actuelles est un préalable à la conception d'outils et de méthodes adaptés et à une communication efficace et ciblée en direction des acteurs du monde rural, de manière que l'information climatique puisse être utilisée pour l'aide à la décision (chap. 4 à 7).

Avec le financement du ministère français de l'Europe et des Affaires étrangères alloué au programme Agricora, le Centre-ouest-africain pour les services scientifiques sur les changements climatiques et l'utilisation adaptée de la terre (WASCAL) et ses partenaires ont mis en œuvre le projet APTE-21/FSP-Agricora³. Le projet APTE-21 a exploré et a essayé d'exploiter les événements pluviométriques extrêmes au profit des petites exploitations familiales dans les sites pilotes de sa zone d'intervention. Son objectif principal a été de traduire la forte variabilité pluviométrique intra-saisonnière en options de pratiques climato-intelligentes. Au cours de sa mise en œuvre, le projet s'est proposé d'améliorer la production, l'accès et l'utilisation de l'information météorologique locale, en fonction des besoins des exploitations familiales à Bakel (Sénégal), Ouahigouya et Dano (Burkina Faso), et Bolgatanga (nord du Ghana) ; il a proposé des itinéraires techniques adaptés aux types d'événements pluviométriques extrêmes observés et prévus. Il a mis en œuvre une approche proactive et démonstrative passant par les « champs-écoles agroclimatiques » (CEA), par la co-production communautaire de l'information climatique et du conseil pratique, par la construction de petits ouvrages dans les champs pour atténuer les impacts négatifs des pluies intenses et des pauses pluviométriques extrêmes, ainsi que par l'utilisation des nouvelles technologies mobiles (téléphones mobiles, applications et réseaux sociaux) pour la diffusion de l'information et des services agroclimatiques. Parmi les résultats du projet, on compte également le renforcement des capacités des agriculteurs, les échanges d'expériences entre acteurs, et la promotion des femmes et des jeunes à travers la recherche, la formation et la vulgarisation.

La première partie de cet ouvrage rassemble des chapitres qui traitent de l'évaluation de la qualité d'un service climatique, des facteurs limitant l'adoption de l'information et des services climatiques, et des exemples d'aléas hydroclimatiques. Ces résultats sont issus des travaux de recherche menés dans le cadre du projet de recherche-vulgarisation APTE-21.

3. APTE-21 : « Applications des prévisions climatiques et pratiques agricoles dans la traduction des événements pluviométriques extrêmes du XXI^e siècle en zones à risques » (MEAE/IRD, Agricora axe 1, convention 2016-2018).

Vérification de la qualité d'un service climatique pour l'agriculture

*Inoussa A. SALEY, Aida GANABA,
Namo Z. LAWSON, Seyni SALACK*

Introduction

Après les grandes sécheresses des années 1970 et 1980, on observe de nos jours un retour vers des conditions normales à humides marquées par des phénomènes climatiques extrêmes (MAIDMENT *et al.*, 2015 ; SALACK *et al.*, 2015). En effet, les saisons des pluies présentent un caractère mixte incluant des pauses pluviométriques extrêmes, des faux-départs et fins précoces des saisons (SANOGO *et al.*, 2015 ; SALACK *et al.*, 2016) et une intensification du cycle hydrologique marquée par une augmentation de la fréquence et de l'intensité de pluies diluviennes (TAYLOR *et al.*, 2017 ; SALACK *et al.*, 2018). Les pluies diluviennes sont à la base des inondations, qui à leur tour causent l'asphyxie des cultures de bas-fonds par engorgement du sol, l'érosion de la terre arable et des micronutriments par ruissellement. Ces aléas agroclimatiques extrêmes créent des risques énormes pour l'agriculture pluviale au Sahel.

La capacité des producteurs locaux à réagir face à ces aléas et risques pluviométriques extrêmes est limitée par le manque d'accès à une information climatique de qualité et à des conseils pratiques qui optimisent son utilisation. L'utilisation adaptée d'informations climatiques fiables permet de prendre des décisions en vue de réduire les impacts des aléas climatiques et d'offrir de bonnes bases pour la planification future allant de quelques heures à plusieurs jours ou années (WMO, 2015). L'adoption des services et informations climatiques (ISC) constitue l'un des facteurs déterminants des mesures d'adaptation et de résilience face à la variabilité et aux changements climatiques. Cette adoption devrait permettre l'augmentation de la productivité et l'amélioration de la sécurité alimentaire en milieu rural (OUEDRAOGO

et al., 2018). En outre, le développement des cadres des ISC au niveau global, régional et local va renforcer la production, la disponibilité, la fourniture et l'application des prévisions et services climatiques afin de faciliter la planification des activités agricoles (CLEMENTS *et al.*, 2013).

En Afrique de l'Ouest, la mise en œuvre des ISC est lente pour des raisons liées à leur disponibilité, leur accessibilité, leur fiabilité, leur compréhension ainsi que leur utilisation adaptée (KADI *et al.*, 2011 ; CLEMENTS *et al.*, 2013 ; VAUGHAN *et al.*, 2019). Outre la fiabilité de l'information climatique, la perception du risque (sécheresses, inondations, etc.) apparaît comme un facteur déterminant qui influence l'utilisation de l'information climatique (CASH *et al.*, 2003 ; LEMOS et MOREHOUSE, 2005 ; DAMBA *et al.*, 2018).

Plusieurs études ont évalué la valeur de l'utilisation de l'information climatique dans le domaine de l'agriculture en Afrique subsaharienne (SULTAN *et al.*, 2010 ; ROUDIER *et al.*, 2014 ; BLIEFERNICHT *et al.*, 2018 ; TARCHIANI *et al.*, 2018). Cependant, il existe encore très peu de preuves sur la capacité des ISC à tenir leurs promesses d'amélioration de l'agriculture (LUGEN *et al.*, 2018 ; VAUGHAN *et al.*, 2019). Cela est lié en partie aux méthodes d'évaluations utilisées pour quantifier la qualité et l'impact des ISC livrés aux producteurs. Ainsi, on relève la non-prise en compte d'une année de référence, la difficulté dans l'attribution des changements de pratiques et de gestions agricoles, la complexité du système économique et social au niveau local, la pluralité des voies de communication, les problèmes liés à la qualité du service ou encore la fiabilité de l'information (TALL *et al.*, 2018 ; VAUGHAN *et al.*, 2019). Alors, comment peut-on vérifier la qualité d'un service agroclimatique ? Dans ce chapitre, nous présentons deux approches de vérifications qualitative et quantitative des ISC, coproduits et fournis en 2017 et 2018 à un groupe d'une soixantaine de producteurs de neuf villages autour de Dano et Ouahigouya (Burkina Faso) et Bolgatanga (Nord-Ghana). Dans la 2^e partie de ce chapitre, nous décrivons la méthodologie de coproduction et diffusion du service agroclimatique « *AgInfo* », son cadre de mise en œuvre et les techniques de vérification utilisées. Les résultats sont présentés dans la 3^e partie, suivis de recommandations et de la conclusion dans la 4^e partie.

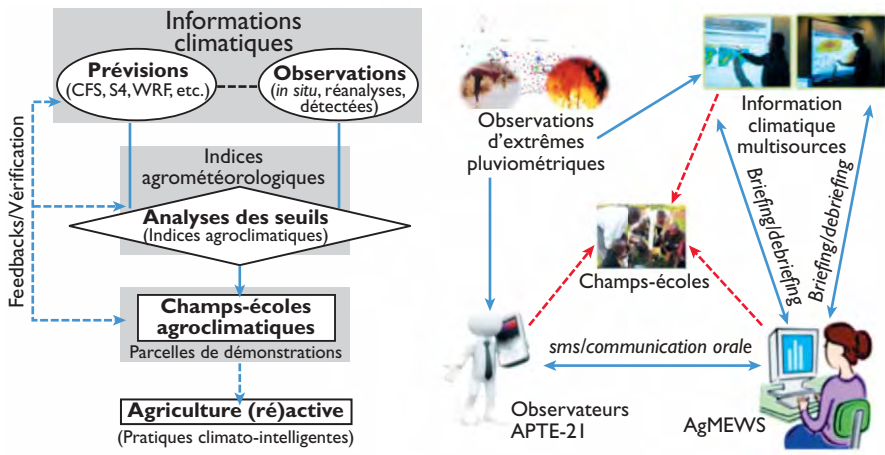
Méthodologie de vérification

Coproduction et diffusion du service agroclimatique « *AgInfo* »

Une information partielle ou mauvaise entraîne de mauvaises décisions, d'où l'importance d'améliorer les stratégies de communication et d'accroître leur rôle dans l'accès aux ISC et dans l'usage de ces derniers (VAUGHAN *et al.*, 2019). Pendant la mise en œuvre du projet APTE-21¹, l'information climatique destinée aux producteurs est

1. « Applications des prévisions climatiques et pratiques agricoles dans la traduction des événements pluviométriques extrêmes du XXI^e siècle en zones à risques » (MEAE/IRD, AGRICORA axe 1, convention 2016-2018)

produite par une équipe pluridisciplinaire constituée de météorologues, agronomes, pédologues, agents de vulgarisation et producteurs. Cette approche pluridisciplinaire de coproduction a permis le développement du service agroclimatique « *AgInfo* ». Il s'agit d'un message court, hebdomadaire, destiné à des producteurs dont les champs sont géoréférencés avec des traits physiques connus au préalable. Ce message contient les prévisions saisonnières (3 prochains mois), les prévisions subjectives de 24 h, les prévisions déterministes de 7 jours, et des consignes de pratiques agricoles (les itinéraires techniques valides uniquement dans le cadre des prévisions). Le paquet *AgInfo* estime aussi le niveau de confiance des prévisions fournies (pourcentage de fiabilité ou de réalisation d'une prévision) et se focalise sur les faux-départs des saisons, les poches de sécheresse supérieures ou égales à 10 jours et les pluies diluviennes (trois catégories de pluie intense définies par SALACK *et al.*, 2018). Les prévisions sont générées en un seul jour et sont valides sur une semaine, et les consignes de pratiques agricoles et itinéraires techniques tiennent compte de la culture (maïs, mil, sorgho et/ou niébé) et de son stade de développement. Le paquet *AgInfo* est transmis, de manière vocale, aux producteurs à travers leurs téléphones mobiles en langues locales (mooré, dagara, fara-fara, wolof), en français et en anglais.



Site	Pays	Prévisions saisonnières	Âge des cultures (jours après-semis)	Prévision pour les prochaines 24-h	Prévision pour les 7 prochains jours	Pauses pluviométriques	Consignes
Dano	Burkina Faso						
Bolgatanga	Ghana						
Ouahigouya	Burkina Faso						
Bakel	Sénégal						

Figure 1. Processus de production et d'interaction des acteurs dans la production, l'accès et l'utilisation de l'information agroclimatique (AgInfo).

Lorsqu'il est transmis aux bénéficiaires, le paquet *AgInfo* est suivi et évalué au travers d'un champ-école agroclimatique (CEA). Le CEA comporte aussi une séance d'entretien personnalisé (téléphonique ou face-à-face) avec le producteur sur le contenu d'*AgInfo* et d'autres aspects non inclus dans le paquet, notamment les changements et variabilités historiques et les projections futures portant sur la localité, les maladies/parasites des cultures, etc. Les séances de CEA sont organisées un mois avant le semis, deux mois après les semis et un mois après les récoltes. Par ailleurs, les producteurs participent à la vérification de la qualité du paquet *AgInfo* séance tenante (après sa réception) et/ou pendant les rencontres CEA (fig. 1). Cette interaction permanente entre l'équipe de production du service *AgInfo* et les bénéficiaires permet de vérifier et d'améliorer les cas d'échec, et de documenter les cas de succès.

Le cadre de mise en œuvre

Selon le *Climate Services Partnership* (CSP)², la notion de services climatiques implique à la fois la production, la traduction, le transfert et l'utilisation des connaissances et informations climatiques dans le cadre de la planification et de la prise de décision tenant compte de ces informations. Ainsi, la connaissance et la prise en compte des types d'informations climatiques dont les producteurs ont besoin pourraient favoriser leur utilisation et faciliter l'évaluation de leur impact (HANSEN *et al.*, 2011 ; SULTAN, 2017). Dans le contexte du service *AgInfo*, la démonstration et la vérification ont été effectuées dans trois sites pilotes dont Dano et Ouahigouya au Burkina Faso et Bolgatanga à l'extrême-nord du Ghana pendant les saisons culturales 2017 et 2018. Les champs de démonstration sont au nombre de trente, répartis dans 9 villages (3 villages dans chaque site pilote).

Dans chaque site pilote, deux groupes de producteurs ont été choisis, dont dix producteurs « modèles » et dix producteurs « témoins ». Les producteurs « modèles » sont dotés de téléphones portables prépayés leur permettant d'être en contact avec les producteurs des ISC, d'outils aratoires, de semences, d'engrais organiques et minéraux pour mener leurs activités. Ils ont également reçu des pluviomètres et une formation sur leur utilisation pour faire des relevés pluviométriques quotidiens. Chacun des producteurs modèles : 1) a un proche parent (enfant ou enfant d'un proche) inscrit dans un collège/lycée local pouvant, au besoin, l'aider dans la collecte et la transmission des données du pluviomètre manuel ; 2) est aussi propriétaire d'un champ présentant une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- a. un fort potentiel d'érosion due aux ruissellements (forte pente) ;
- b. un fort potentiel d'inondation (champ en bas de pente avec faible drainage) ;
- c. une forte dégradation de la terre arable (dégradation avancée des nutriments) ;
- d. un champ normal ne présentant pas les trois anomalies précédemment citées.

2. <http://www.climate-services.org/>

Encadré I – Terminologies

1. Producteurs « **modèles** » : le groupe de producteurs qui reçoivent l'information : tout le paquet *AgInfo* (information climatique personnalisée, consignes de pratiques agricoles et itinéraires techniques et agro-technologiques adaptés à l'information fournie).
2. Producteurs « **témoins** » : le groupe de producteurs qui ne reçoivent rien (ni l'information, ni la technologie, ni la pratique).

Dans chaque catégorie de champ, nous avons délimité une parcelle de 0,25 ha pour servir de « champ de démonstration ». Avant l'application du paquet *AgInfo* dans les champs de démonstration, de petits ouvrages hydro-agricoles ont été construits (techniques du Zaï, de la demi-lune ou du cordon pierreux), selon les besoins spécifiques du champ pour la conservation de l'eau et des nutriments du sol. Ces champs de démonstration sont à proximité de sentiers et autres voies publiques et servent de vitrines, visibles et accessibles à tous les passants. Par ailleurs, un agent de vulgarisation joue le rôle de « point focal » pour chaque site pilote afin de soutenir la mise en application rigoureuse du paquet *AgInfo* ; il intervient aussi dans la formation des producteurs modèles.

Vérification numérique des prévisions

Hormis l'évaluation du paquet *AgInfo* à travers le retour ou « feedback » des producteurs (fig. 1), des indices de vérifications numériques sont également utilisés pour quantifier la fiabilité de l'information climatique fournie dans *AgInfo*. Il s'agit d'un ensemble de techniques permettant d'évaluer la performance des prévisions en les comparant aux observations réelles pour rendre compte de leur niveau de réussite et de leur qualité (JOLLIFFE et STEPHENSON, 2003 ; ROEBBER, 2009). La vérification numérique permet d'améliorer les prévisions en identifiant et corrigeant les cas d'échec sur la base d'indices statistiques dont certains sont calculés à partir d'un tableau de contingence à deux ou plusieurs entrées (MURPHY, 1993). Ainsi, nous avons utilisé le diagramme de performance (ROEBBER, 2009) pour vérifier la fiabilité de nos prévisions de 24 heures et de 7 jours. Ce diagramme est établi sur la base de : la probabilité de détection (POD) qui donne la proportion d'événements correctement prévus (POD varie de 0 à 1. POD = 1 signifie que l'événement prévu est observé) ; le taux de succès (SR) qui donne la probabilité d'un événement observé étant donné qu'il a été prévu (SR varie entre 0 et 1. Une prévision est parfaite lorsque SR = 1.) ; le biais fréquentiel (BIAS), qui est le rapport du nombre total d'événements prévus par le nombre d'événements observés (BIAS > 1 signifie une surestimation, BIAS < 1 veut dire une sous-estimation et BIAS égal à 1 signifie prévision parfaite) ; l'indice critique de succès (CSI) qui mesure la fraction d'événements observés et/ou prévus et qui ont été correctement prédits (CSI va de 0 pour mauvaise prévision à 1 pour bonne prévision).

Résultats

Évaluation de la qualité des prévisions AgInfo

La connaissance de la date de début de la saison culturale et de la qualité de la saison des pluies (sèche, humide ou normale) est cruciale et constitue la première information servant à la planification des activités agricoles au Sahel. Cette information guide en partie le choix des variétés (semences), encourage l'application de tel ou tel autre itinéraire technique et surtout permet d'éviter des re-semis. La prévision des dates probables de début des semis ou de début de la saison culturale est basée sur une approche diagnostique qui combine les résultats de la prévision saisonnière et le risque lié à un « faux-départ » de saison, permettant ainsi de déterminer une date optimale à partir de laquelle les semis pourront débuter sur chaque site pilote (cf. chap. 2, cet ouvrage). À l'exception de Bolgatanga pour l'année 2017, les cumuls saisonniers des pluies attendues (normale à tendances excédentaires) et ceux réellement observés pour les deux années expérimentales (2017 et 2018) ont été équivalents ou légèrement supérieurs aux normales (1981-2010) des sites pilotes (tabl. 1). Cette concordance entre les prévisions saisonnières des cumuls de pluies et ceux observés a déjà été rapportée par des travaux antérieurs (SULTAN *et al.*, 2010 ; BLIEFERNICHT *et al.*, 2018) et confirme la fiabilité des prévisions saisonnières au Sahel. En outre, l'année 2018 a été légèrement plus humide que 2017, avec des cumuls et jours pluvieux plus importants, sauf pour Ouahigouya. Comparées à l'année de référence 2016, les deux années expérimentales sont déficitaires et présentent plus d'occurrences de phénomènes pluviométriques extrêmes (tabl. 1) susceptibles d'affecter les cultures.

Tableau 1.

Récapitulatif du cumul saisonnier (mm), des jours pluvieux (RR1, en jour), des pauses pluviométriques extrêmes (ExDS) et des occurrences des pluies extrêmes (ERE) selon la catégorie des saisons des pluies 2018, 2017, 2016 et la normale 1981-2010.

		Bolgatanga	Dano	Ouahigouya
2016	Cumul (mm)	877,71	1092,46	920,8
	RR1	94	117	50
	ExDS (#)	1	1	3
	ERE (#)	1 (cat 3)	2 (cat 1)	8 (cat 1)
2017	Cumul (mm)	671,71	869,18	891,1
	RR1	61	72	49
	ExDS (#)	3	2	1
	ERE (#)	2 (cat 1)	2 (cat 1)	4 (cat 1)
2018	Cumul (mm)	811,3	986,5	572,8
	RR1	78	100	54
	ExDS (#)	3	2	2
	ERE (#)	4 (cat 1)	2 (cat 1)	3 (cat 1)
Clim 1981-2010	Cumul (mm)	961,67	868,83	637,62
	RR1	72	59	57

La figure 2 présente une évaluation de la qualité des prévisions des pluies de 24 h et des pauses pluviométriques extrêmes (ExDS, supérieure ou égale à 10 jours) à travers les indices de performance pour les trois sites pilotes. La meilleure performance est obtenue lorsque tous les indices indiquent la valeur (1). Il apparaît, globalement, une probabilité de détection (POD) relativement bonne ($> 0,4$) des événements pluvieux et des ExDS. Le taux de succès (SR), donnant la fraction des événements « oui » prévus et correctement observés, est assez important surtout pour les cas des événements pluvieux ($> 0,6$). Les biais fréquentiels (< 1) montrent une sous-estimation des événements prévus relativement à ceux observés. Ouahigouya, qui est situé dans une zone sahélienne, présente les meilleurs indices de performance comparativement à Dano et Bolgatanga, qui sont dans une zone soudanienne. SALACK *et al.* (chap. 2, cet ouvrage) ont aussi montré une meilleure prévision des faux-départs de saison sur Ouahigouya par rapport aux autres sites pilotes. Cependant, ils ont conclu que cette performance pourrait être liée au hasard. De manière générale, ces prévisions à courtes échéances (24 h et ExDS) combinées aux prévisions saisonnières devraient être très bénéfiques aux producteurs. Selon ROUDIER *et al.* (2016) dans une étude menée au Niger, les prévisions de 10 jours seules ou combinées aux prévisions saisonnières pourraient être très bénéfiques pour toutes les catégories de producteurs.

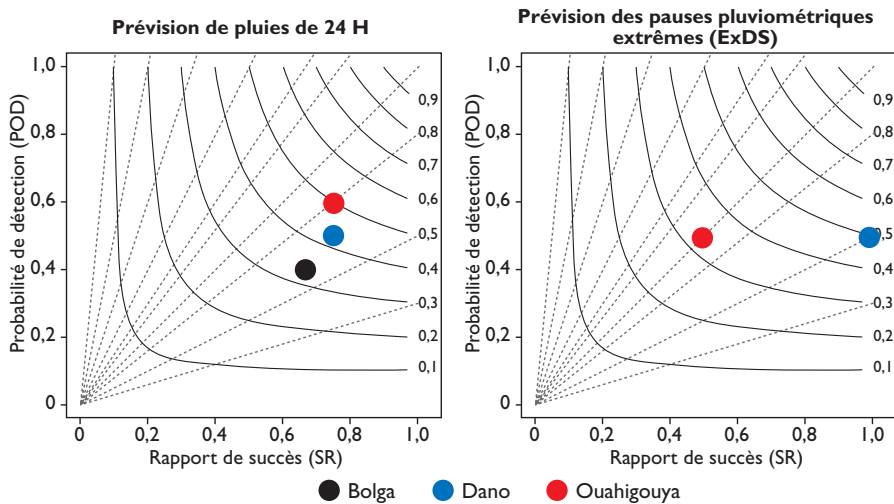


Figure 2. Diagramme de performance des événements pluvieux et des pauses pluviométriques extrêmes (ExDS) pour les sites pilotes.

Impacts observés dans les champs de démonstration et sur les rendements

La qualité d'une prévision ne saurait témoigner de sa valeur que lorsque cette information est utilisée et appliquée dans les champs pour contribuer à l'amélioration des rendements agricoles, à la diminution des pertes économiques et du temps de travail

des producteurs. Plusieurs études ont montré la valeur de l'utilisation des prévisions dans les systèmes de production (SULTAN *et al.*, 2010 ; ROUDIER *et al.*, 2016 ; BLIEFERNICHT *et al.*, 2018), mais très peu se sont intéressées à la valeur d'un service agroclimatique au Sahel (TARCHIANI *et al.*, 2018). Dans le but de montrer aux agriculteurs des sites pilotes la valeur ajoutée de l'utilisation d'un service climatique pour l'agriculture tel que *AgInfo*, nous avons adopté une approche qui utilise des champs de démonstration, qui sont des champs dégradés, à risques ou abandonnés, et situés près des voies de passage. Dans ces champs, nous avons appliqué rigoureusement les consignes du paquet *AgInfo* et la photo 1 illustre bien les impacts de l'application de ces consignes. En effet, il apparaît que les cultures entretenues suivant les consignes *AgInfo* présentent une meilleure croissance végétative, ce qui constitue de bons signes d'une campagne agricole réussie et laisse présager de bonnes récoltes. Précédemment, TARCHIANI *et al.* (2018) ont aussi rapporté une meilleure croissance végétative tout au long de la saison des cultures des producteurs modèles comparés aux producteurs témoins.

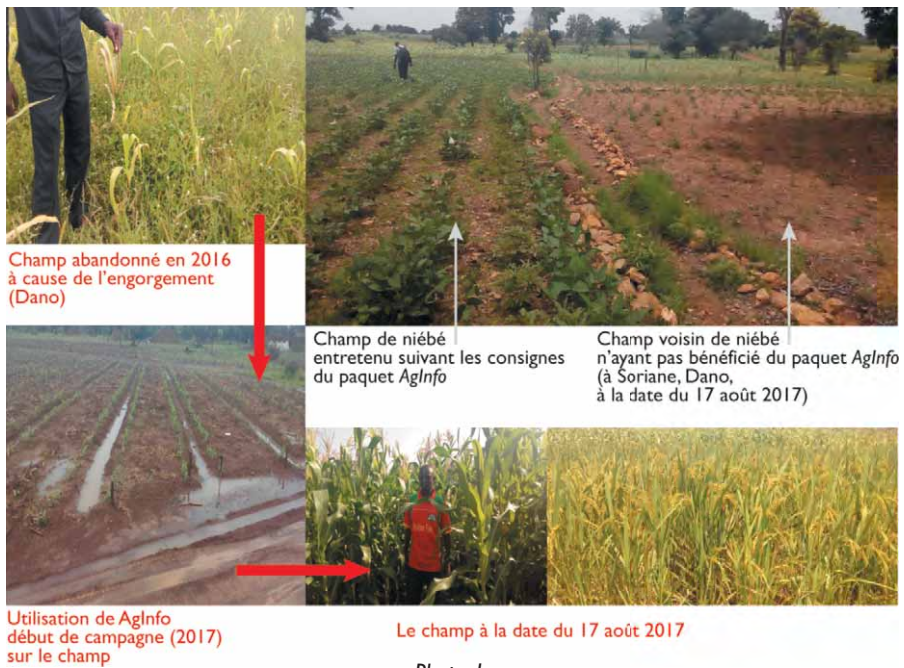


Photo 1.

Impacts de l'utilisation du paquet *AgInfo* dans les champs-écoles agroclimatiques.

L'impact de l'utilisation des ISC (exemple *AgInfo*) sur les rendements des producteurs modèles et témoins est présenté sur la figure 3. Pour les sites pilotes de Dano et Bolgatanga, deux variétés de cultures (maïs et niébé) ont été utilisées, et trois variétés (sorgho, maïs et niébé) pour le site de Ouahigouya. Au cours des saisons expérimentales 2017 et 2018, les producteurs modèles ont enregistré une forte augmentation

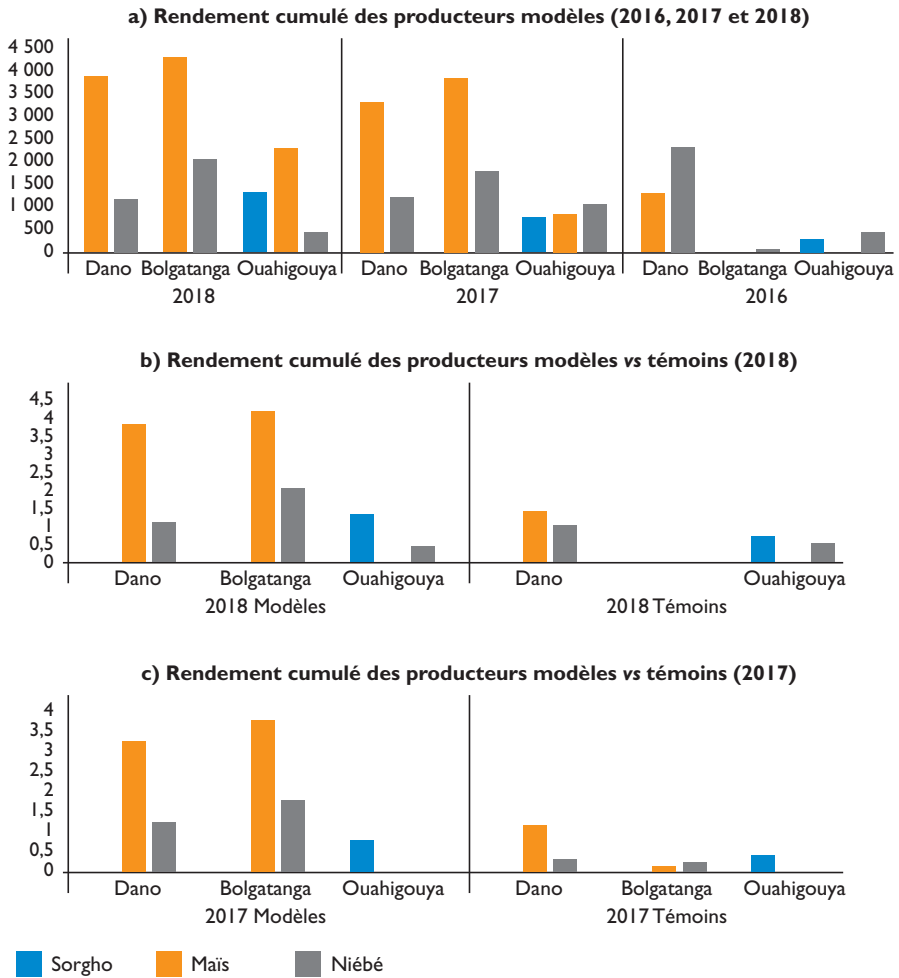


Figure 3.
Rendements des cultures des producteurs modèles et témoins au cours des saisons 2017 et 2018.

des rendements des cultures comparativement à l'année de référence 2016 sur quasiment tous les sites. La production de l'année 2018 a été légèrement supérieure à celle de 2017 sur tous les sites (fig. 3 a), en partie grâce à des conditions climatiques légèrement plus favorables (tabl. 1), mais aussi grâce à une meilleure application du paquet *AgInfo* par les producteurs. Cependant, des cas d'attaque de chenilles légionnaires, des maladies fongiques (par exemple sur le niébé à Dano) et l'occurrence de certains événements pluviométriques extrêmes ont eu des impacts négatifs sur les rendements. Néanmoins, les rendements des producteurs modèles ayant utilisé le service *AgInfo* sont nettement supérieurs à ceux des producteurs témoins au niveau de tous les sites et pour les deux années (fig. 3 b et 3 c). TARCHIANI *et al.* (2018)

ont montré qu'en Mauritanie, les rendements de sorgho ont augmenté de 64 % grâce à l'utilisation des ISC. Il ressort aussi que les impacts sur les rendements sont liés au choix de pratiques adaptées aux prévisions saisonnières des cumuls pluviométriques et de la date de début de saison. Ces auteurs ont également fait mention des pertes économiques plus importantes liées aux activités culturelles des producteurs témoins comparées à celles des producteurs modèles.

Les changements observés dans les champs de démonstration et l'amélioration des rendements des cultures ont eu des conséquences positives pour les producteurs et ont suscité l'intérêt d'autres agriculteurs des mêmes villages pour intégrer le projet. Cet intérêt est basé sur les observations d'amélioration des rendements des cultures dans les champs des producteurs modèles. Cela pourrait éventuellement déclencher un système de partage des connaissances entre tous les agriculteurs au niveau des villages.

Conclusion

Cette étude présente une méthode objective et une méthode subjective d'évaluation de la satisfaction des bénéficiaires d'un service agroclimatique à travers la mise en œuvre du paquet *AgInfo*. La méthode objective consiste à utiliser la vérification numérique pour évaluer la performance de l'information climatique contenue dans l'ISC. L'approche subjective requiert des critères solides d'évaluation de la qualité des ISC dont : (1) le choix des champs de démonstration ; (2) un canal de diffusion personnalisé ; (3) la coproduction, les échanges interactifs et participatifs ; (4) la formation des producteurs sur les pratiques adaptées à l'information fournie ; (5) le choix d'une année de référence relativement récente de comparaison de résultats. Ainsi, la qualité de l'ISC se mesure par la satisfaction des producteurs, qui s'exprime souvent par leur motivation à continuer à l'utiliser, ainsi que par l'augmentation de rendements à la fin de chaque saison culturale. L'étude a été menée sur deux années (2017 et 2018) et doit être poursuivie afin d'améliorer la robustesse de ses résultats. Il est à noter qu'en deux saisons, elle ne pourra être concluante sur la valeur économétrique de l'application de *AgInfo* dans les champs de démonstration, en particulier pour évaluer l'impact sur le revenu des producteurs pouvant améliorer leur bien-être et favoriser le développement local.

Références

- BLIEFERNICHT J., WAONGO M., SALACK S., SEIDEL J., LAUX P., KUNSTMANN H., 2018**
Quality and Value of Seasonal Precipitation Forecasts Issued by the West African Regional Climate Outlook Forum. American Meteorological Society.
 DOI: 10.1175/JAMC-D-18-0066.1
- CASH D. W., CLARK W. C., ALCOCK F., DICKSON N. M., ECKLEY N., GUSTON D. H., MITCHELL R. B., 2003**
 Knowledge systems for sustainable development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100 (14) : 8086-8091.
- CLEMENTS J., RAY A., ANDERSON G., 2013**
The value of climate services across economic and public sectors A Review of Relevant Literature. Washington DC, USAID, 54 p.
- DAMBA M. M., SANFO S., SALACK S., WOROU O. N., THIOMBIANO N., TONDOH E. J., SAVADOGO K., 2018**
 Information pluviométrique et choix des stratégies d'adaptation aux changements climatiques au Nord du Burkina Faso, Afrique de l'Ouest. *Science et technique*, Revue semestrielle de la recherche du Centre national de la recherche scientifique et technologique (CNRST) Série Sciences naturelles et appliquées, hors-série n° 4, janvier 2018.
- HANSEN J. W., MASON S. J., SUN L., TALL A., 2011**
 Review of seasonal climate forecasting for agriculture in sub-Saharan Africa. *Experimental Agriculture*, 47 (2) : 205-240.
- JOLLIFFE I. T., STEPHENSON D. B., 2003**
Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science. Chichester, John Wiley and Sons.
- KADI M., NJAU L. N., MWIKYA J., KAMGA A., 2011**
The state of climate information services for agriculture and food security in West African countries. CCAFS Working Paper 4, Copenhagen, Denmark, CCAFS, 108 p.
- LAWSON K. N., 2018**
Thresholds for operational agro-climatic monitoring and early warning against high impact rainfall events in the Sudan-Sahel region, West Africa. Univ. Lomé, 72 p.
- LEMO S. M., MOREHOUSE B. J., 2005**
 The co-production of science and policy in integrated climate assessments. *Global Environmental Change*, 15 : 57-68. DOI : 10.1016.
- LUGEN M., DIAZ J., SANFO S., SALACK S., 2018**
Using climate information and services to strengthen resilience in agriculture: The APTE-21 project in Burkina Faso. KLIMOS Working Paper n° 15, KLIMOS-ACROPOLIS, Brussels, Belgium.
- LY M., TRAORE S. B., ALHASSANE A., SARR B., 2013**
 Evolution of some observed climate extremes in the West African Sahel. *Weather and Climate Extremes*, 1 : 19-25.
- MAIDMENT R. I., ALLAN R. P., BLACK E., 2015**
 Recent observed and simulated changes in precipitation over Africa. *Geophysical Research Letters*, 42 : 1-10.
- MOÏSE D. M., 2018**
Utilisation de l'information climatique et choix des stratégies d'adaptation aux changements climatiques au nord du Burkina Faso. Rapport, 55 p.
- MURPHY A. H., 1993**
 What is a good forecast? An essay in the nature of goodness in weather forecasting. *Weather and Forecasting*, 8 : 281-293.
- OUÉDRAOGO M., BARRY S., ZOUGMORÉ R. B., SAMUEL T. P., LEOPOLD S., GREGOIRE B., 2018**
 Farmers' Willingness to Pay for Climate Information Services: Evidence from Cowpea and Sesame Producers in Northern Burkina Faso. *Sustainability*, 10, 611.
 DOI : 10.3390/su10030611.

ROEBBER P. J., 2009

Visualizing Multiple Measures of Forecast Quality. *Weather and Forecasting*, 24 (2) : 601-608.

ROUDIER P., MULLER B., D'AQUINO P., RONCOLI C., SOUMARÉ M. A., BATTÉ L., SULTAN B., 2014

The role of climate forecasts in smallholder agriculture: Lessons from participatory research in two communities in Senegal. *Climate Risk Management*, 2 : 42-55.

ROUDIER P., ALHASSANE A., BARON C., LOUVET S., SULTAN B., 2016

Assessing the benefits of weather and seasonal forecasts to millet growers in Niger. *Agricultural and Forest Meteorology*, 223 : 168-180.

SALACK S., SARR B., SANGARE S. K., LY M., SANDA I. S., KUNSTMANN H., 2015

Crop-climate ensemble scenarios to improve risk assessment and resilience in the semi-arid regions of West Africa. *Climate Research*, 65 : 107-121.

SALACK S., CORNELIA K., GIANNINI A., SARR B., OMONLOLA N. W., NOUHOUN B., BLIEFERNICHT J., KUNSTMANN H., 2016

Global warming induced hybrid rainy seasons in the Sahel. *Environmental Research Letters*, 11 (10), 12 p.

SALACK S., SALEY A. I., ZABRE I., ZANKLI L. N., DAAKU E. K., 2018

SCALES for rating heavy rainfall events in the Sudan-Sahel of West Africa. *Weather and Climate Extremes*, 21 : 36-42.

SANOGO S., FINK A. H., OMOTOSHO J. A., BA A., REDL R., ERMERT V., 2015

Spatio-temporal characteristics of the recent rainfall recovery in West Africa. *International Journal of Climatology*, 35 : 4589-4605.

SULTAN B., 2017

Les bénéfiques des services climatiques pour l'agriculture au Niger. IRD.

SULTAN B., BARBIER B., FORTILUS J., MBAYE S. M., LECLERC G., 2010

Estimating the potential economic value of the seasonal forecasts in West Africa: a long-term ex-ante assessment in Senegal. *Weather, Climate and Society*, 2 : 69-87.

TALL A., COULIBALY J. Y., DIOP M., 2018

Do climate services make a difference? A review of evaluation methodologies and practices to assess the value of climate information services for farmers: Implications for Africa. *Climate Services*, 11 : 1-12.

TARCHIANI V., CAMACHO J., COULIBALY H., ROSSI F., STEFANSKI R., 2018

Agrometeorological services for smallholder farmers in West Africa. *Advances in Science and Research*, 15 : 15-20.

TAYLOR C. M., BELUSIC D., GUICHARD F., PARKER D. J., VISCHEL T., BOCK O., HARRIS P. P., JANICOT S., KLEIN C., PANTHOU G., 2017

Frequency of extreme sahelian storms tripled since 1982 in satellite observations. *Nature*, 544 (7651) : 475-478. DOI: 10.1038/nature22069.

VAUGHAN C., HANSEN J., ROUDIER P., WATKISS P., CARR E., 2019

Evaluating agricultural weather and climate services in Africa: Evidence, methods, and a learning agenda. *WIREs Clim. Change*, 2019, e586. <https://doi.org/10.1002/wcc.586>

World Meteorological Organization (WMO), 2015

Valuing Weather and Climate: Economic Assessment of Meteorological and Hydrological Services. WMO, 308 p.

Prévisibilité des faux-départs de saison agricole au Sahel

Seyni SALACK, Koufanou HIEN, Namo K. Z. LAWSON,
Inoussa A. SALEY, Jean-Emmanuel PATUREL, Moussa WAONGO

Introduction

L'analyse de la pluviométrie en zone sahélienne montre qu'à partir des années 1990, les saisons pluvieuses présentent un caractère mixte d'évènements extrêmes pluviométriques (SALACK *et al.*, 2016). Outre des pluies intenses, la distribution des évènements pluvieux est jalonnée de longues poches de sécheresse en début ou en fin de saison. Ces évènements erratiques, associés à la distribution de la pluviométrie intra-saisonnière, peuvent avoir des impacts très sévères sur les systèmes de production agricole. Considérés comme des « extrêmes pluviométriques », ils peuvent également créer des conditions extrêmement contraignantes pour les producteurs dans la gestion et la planification de leurs travaux agricoles. Les extrêmes pluviométriques les plus récurrents au Sahel sont les « faux-départs de saison agricole », les pauses pluviométriques extrêmes, les pluies diluviennes et les fins précoces de saison des pluies. L'occurrence d'un de ces facteurs ou la combinaison de plusieurs d'entre eux au cours d'une saison culturale complique la planification et la gestion de l'agriculture de subsistance des petites exploitations familiales. De tous les extrêmes pluviométriques, les faux-départs (FD) des saisons font l'objet d'une attention particulière en raison de leur rôle dans la qualité de la saison agricole.

En effet, au Sahel, le début de la saison des pluies est généralement caractérisé par une succession d'évènements isolés de précipitations, suivis parfois de poches de sécheresse plus ou moins longues. Parfois, les producteurs observent des pauses pluviométriques à la suite d'une pluie suffisamment importante pour qu'ils aient décidé

de semer. Si cette pause pluviométrique est trop longue, cela constitue un « faux-départ » de la saison agricole (ATI *et al.*, 2002 ; SULTAN *et al.*, 2005 ; SALACK *et al.*, 2014). Un FD entraîne un stress hydrique pouvant provoquer l'assèchement de la terre arable, empêchant la germination ou l'émergence de plantules (ATI *et al.*, 2002), ou causant l'avortement des semis. Les agriculteurs sont alors obligés de replanter ou de repiquer une partie des plantes perdues (MARTEAU *et al.*, 2010 ; SÖNNERT, 2014). Par conséquent, l'identification d'un évènement de FD est capitale pour les producteurs et il implique deux évènements liés à la pluie : en début de saison, une première pluie efficace (FER), et une pause pluviométrique extrême (xDS). La FER est la première pluie dont le cumul journalier est supérieur à l'évapotranspiration journalière locale. Dans le Sahel ouest-africain, LAWSON (2018) définit la FER comme étant le premier évènement pluvieux survenant avant la fin du mois de juillet avec un cumul journalier supérieur ou égal au 20^e percentile des évènements pluvieux d'une saison. Selon cette définition, une analyse des données historiques de précipitations (1960-2016) pour l'ensemble du Sahel a permis d'identifier une valeur-seuil minimale de FER à 9,75 mm. Cette valeur peut être plus importante en fonction des précipitations et de la qualité humide/sèche de chaque saison des pluies. Avec la recrudescence d'évènements pluviométriques extrêmes due au réchauffement climatique régional (LY *et al.*, 2013 ; SALACK *et al.*, 2016), la prévision des FD de saison culturale permettrait de connaître les dates optimales de semis en milieu paysan. Mais les évènements de FD sont-ils prévisibles ? Pour répondre à cette question, il est nécessaire d'identifier les facteurs dynamiques et thermodynamiques de l'atmosphère qui expliquent leur occurrence.

Relations entre les températures de surface des bassins océaniques et l'occurrence des faux-départs

À l'intérieur de la sous-région ouest-africaine, la variabilité intra-saisonnière de la pluviométrie est affectée par le forçage local des masses d'air sèches sahariennes (SMITH *et al.*, 2012), par les aérosols polluants (KNIPPERTZ *et al.*, 2015) et par des caractéristiques de la circulation à l'échelle régionale, à savoir la position latitudinale de la zone de convergence intertropicale (ZCIT) (LÉLÉ et LAMB, 2010), la dépression thermique saharienne (LAVAYSSE *et al.*, 2010), la variabilité des caractéristiques de la circulation des basses couches atmosphériques, et les jets est-africains et est-tropicaux (NICHOLSON, 2009). Tous ces facteurs de forçage, internes au climat du continent, interagissent avec les états de couverture du sol et les températures de surface des océans globaux (SST) pour jouer un rôle majeur dans l'installation et l'intensité de la mousson ouest-africaine aux échelles intra-saisonnières, interannuelles et inter-décennales (GIANNINI *et al.*, 2013). Selon les travaux de SALACK *et al.* (2016), à l'échelle saisonnière, les bassins océaniques les plus influents pour le

début de la saison des pluies, l'intensification de la mousson, la répartition des pluies et la fin de la saison des pluies au Sahel sont l'Atlantique nord subtropical (sub_NATL, 10-40° N, 15-75° O), l'Atlantique extratropical nord de l'hémisphère Nord (NH_NATL, 30-75° N, 15-75° O), la mer Méditerranée (MEDIT, 0-35° E, 30-44° N), l'Atlantique équatorial (Eq_ATL, 5° S-5° N, 40 W-15° E), l'Atlantique sud (SH_ATL, 10° S-0° N, 20° O-10° E), l'océan Indien équatorial oriental (Eq_IND, 15° S-15° N, 50-90° E) et le Pacifique équatorial (NiNo3.4, 5° S-5° N, 170° O-120° O). L'influence des SST de ces bassins océaniques varie selon les régions considérées. En effet, une analyse réalisée sur quatre sites pilotes (fig. 1) du projet APTE-21/FSP-Agricora (« Applications des prévisions climatiques et pratiques agricoles dans la traduction des événements pluviométriques extrêmes du XXI^e siècle en zones à risques ») montre des coefficients de corrélations entre le cumul pluviométrique de la première pluie efficace et les anomalies de SST des bassins océaniques qui varient selon les sites (tabl. 1). Si, à la station de Bakel, les corrélations sont faibles et non significatives, au niveau de Bolgatanga, Dano et Ouahigouya, le cumul de la FER est corrélé aux anomalies des SST d'un ou plusieurs bassins. Ainsi, l'influence des bassins océaniques sur les quantités de pluie observées en début de saison est inégale et dépend d'autres paramètres liés à la dynamique atmosphérique.

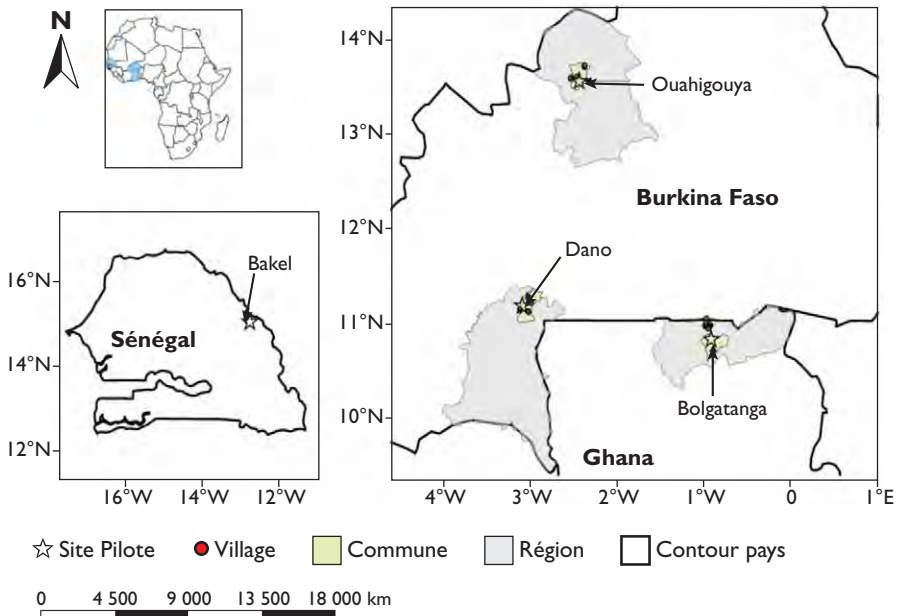


Figure 1.

Figure 1 – Localisation des sites de mise en œuvre du projet APTE-21. Les sites pilotes sont Bakel (Sénégal), Dano et Ouahigouya (Burkina Faso) et Bolgatanga (Nord-Ghana). Les champs de démonstration (ou champs-écoles agroclimatiques) sont répartis dans 9 villages autour des communes de Dano, Bolgatanga et Ouahigouya respectivement.

Tableau 1.
Corrélation entre anomalies des températures de surface des bassins océaniques
et cumul de la première pluie efficace (> 9,75 mm).

Station	Sub-Atlan	NH-Atlan	Nin01.2	Nin03.4	Méditerranée	Éq.Atlan	Éq.Indien	SH-Atlan
Dano	-0,27	-0,38*	0,11	0,38*	-0,24	-0,26	0,14	-0,35
Ouahigouya	0,21	-0,03	0,25	0,34	0,32	-0,08	0,52*	-0,07
Bakel	-0,14	-0,13	-0,09	0,03	0,16	0,00	0,07	0,01
Bolgatanga	0,21	0,10	0,42*	0,08	0,43*	0,44*	0,34	0,35

*Significatif au seuil de 5 % selon un test t de Student apparié

Les autres prédicteurs potentiels

La saison des pluies commence lorsque le contraste d'énergie de surface entre l'océan et le continent transforme les flux des vents tropicaux d'est et de nord-est (au sud de l'équateur) en flux de sud-ouest, favorisant l'incursion de l'humidité de l'océan à l'intérieur des terres. Ainsi, le début des saisons des pluies est lié au déplacement latitudinal de la zone de convergence intertropicale (ZCIT) qui passe d'une position quasi stationnaire à 5° N en mai-juin à une position quasi stationnaire à 10° N en juillet-août (SULTAN et JANICOT, 2003 ; LÉLÉ et LAMB, 2010). Au Sahel, cette étape correspond à des modifications majeures de la circulation atmosphérique dans les basses couches en lien avec le développement de la mousson. Dans la période de mai-juin, la mousson se déclenche et la saison des pluies se trouve entre les phases « Pre-onset » et « Onset » (JANICOT *et al.*, 2008). Entre ces deux périodes, il y a une fluctuation du taux d'humidité dans les basses couches atmosphériques (COUVREUX *et al.*, 2010). L'amplitude maximale de cette fluctuation se produit pendant la période précédant l'installation de la mousson (Onset) et aussi, dans une moindre mesure, pendant le retrait de la mousson (Cessation) correspondant à la fin de la saison (JANICOT *et al.*, 2008). Cette forte variabilité résulte d'une interaction des phénomènes de convection humide, des ondes d'est, de l'intrusion d'air sec et des flux d'humidité provoquant parfois une succession d'événements isolés de fortes pluies suivis de longues poches de sécheresse, ou pauses pluviométriques (COUVREUX *et al.*, 2010 ; SALACK *et al.*, 2014).

Pour suivre les intrusions d'humidité et la dynamique atmosphérique dans les périodes pouvant causer des FD en début de saison, nous identifions des variables telles que l'eau précipitable, les températures du point de rosée et les composantes zonales et méridiennes du vent. L'eau précipitable (Pw) est la quantité d'eau qui pourrait

être obtenue si toute la vapeur d'eau contenue dans une colonne d'air était condensée et précipitée sous forme de pluie. Au sol, les traces de la ZCIT sont délimitées à l'aide de l'isotherme 15 °C de la température du point de rosée (LÉLÉ *et al.*, 2010), combiné au zéro de la composante méridienne du vent de surface.

Modèle statistique de prévision des faux-départs

Pour définir un FD, nous employons sur les séries de pluies journalières un algorithme d'extraction combinant les critères suivants : 1) entre le 15 mars et le 15 juillet, extraire la date du 1^{er} jour où la quantité de pluie journalière efficace (FER) est supérieure ou égale à 9,75 mm ; 2) à partir de la date du FER, extraire la date de début (STDATE) et la longueur de la pause pluviométrique supérieure ou égale à 10 jours (xDS). Si la longueur de la xDS \geq 10 jours et sa STDATE se trouvent dans la même semaine que la date de FER, une semaine après ou deux semaines suivantes, alors la date de la 1^{re} pluie qui correspond au FER est un FD. Lorsqu'une saison ne respecte pas ce critère, elle est considérée comme une année sans FD. Le tableau 2 résume les périodes et les années ayant enregistré des FD selon le critère d'extraction de FD appliqué aux séries de pluies journalières de 1970-2010.

Tableau 2.
Périodes d'occurrence probable des faux-départs dans les sites du Burkina Faso, du Sénégal et du Nord-Ghana.

Station	Semaine (#)	Intervalle (# Semaine)	Année à faux-départ (1970-2010)
Bakel	24	[21 ; 27]	1970 ; 1974 ; 1976 ; 1979 ; 1980 ; 1983 ; 1986 ; 1990 ; 1991 ; 1992 ; 1996 ; 1998 ; 2001 ; 2004 ; 2005 ; 2006 ; 2007 ; 2008 ; 2010
Bolgatanga	16	[15 ; 18]	1977 ; 1978 ; 1980 ; 1983 ; 1984 ; 1985 ; 1986 ; 1988 ; 1989 ; 1990 ; 1991 ; 1996 ; 1997 ; 1998 ; 2001 ; 2003 ; 2005 ; 2007 ; 2009
Dano	16	[13 ; 19]	1971 ; 1973 ; 1974 ; 1975 ; 1976 ; 1979 ; 1980 ; 1982 ; 1983 ; 1986 ; 1988 ; 1989 ; 1990 ; 1993 ; 1996 ; 2000 ; 2001 ; 2002 ; 2003 ; 2005 ; 2006 ; 2007
Ouahigouya	20	[16 ; 24]	1971 ; 1973 ; 1974 ; 1981 ; 1982 ; 1984 ; 1989 ; 1992 ; 1994 ; 1995 ; 1996 ; 2001 ; 2005 ; 2006 ; 2007 ; 2008 ; 2010

Nous faisons l'hypothèse que l'occurrence (non-occurrence) d'un FD est une variable catégorique non ordonnée et dépendante des conditions océaniques et atmosphériques. Elle peut prendre les valeurs dichotomiques 1 (occurrence d'un FD) et 0 (non-occurrence d'un FD). Ainsi, pour prévoir les FD, nous utilisons une régression logistique ou modèle binomial bien adaptée à la modélisation d'une variable dichotomique. Selon SHAFER et FUELBERG (2008) et LAWSON (2018), les régressions logistiques sont ajustées aux prédicteurs binaires selon une équation qui peut être résolue à l'aide d'une fonction monotone *logit* définie par :

$$\text{logit}(P_i) = \ln\left(\frac{P_i}{1-P_i}\right) = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_kx_k \quad (1)$$

$$\text{avec } P_i = \frac{\exp(b_0 + b_1x_1 + \dots + b_kx_k)}{1 + \exp(b_0 + b_1x_1 + \dots + b_kx_k)} \quad (2)$$

P_i est la probabilité résultant de l'ensemble des prédicteurs (x_1, x_2, \dots, x_k). L'application de la transformation *logit* relie le log du rapport de cotes ($P/(1-P)$) à la combinaison linéaire des prédicteurs (SHAFER et FUELBERG, 2008 ; RAJEEVAN *et al.*, 2012) pour générer une variable de réponse latente et non observable. Les paramètres b_k (b_0, b_1, \dots, b_k) forment un vecteur de paramètres, associés aux prédicteurs, qui sont estimés en maximisant une fonction de log-vraisemblance à l'aide de méthodes itératives (WILKS, 2006). L'équation (1) garantit que les probabilités demeurent dans l'intervalle $[0, 1]$ et que la relation entre les prédicteurs et le prédicteur suit une fonction de distribution de Bernoulli.

Le prédicteur (équation 1) est la probabilité d'une occurrence (non-occurrence) d'un évènement de FD par saison grâce à l'intervention des prédicteurs, avec effet aléatoire. Les prédicteurs sont les températures des bassins océaniques (SST), l'eau précipitable (P_w), la température du point de rosée (T_d) à 1 000 hPa, les composantes zonales et méridiennes du vent. Pour prévoir un évènement de FD, chaque site (Bakel, Bolgatanga, Dano, Ouahigouya) est traité individuellement afin de capter l'effet de chaque prédicteur sur la variabilité locale des FD. Ainsi, chaque variable explicative est considérée comme un prédicteur candidat jusqu'à ce qu'un test ANOVA détermine son importance à contribuer au signal du prédicteur. En raison de l'influence variable des différents bassins océaniques identifiés sur les localités étudiées, seul le bassin océanique dont la contribution à la régression logistique est significative au seuil de 5 % selon le test Chi2 sera gardé dans la suite de la construction du modèle de prévision d'un FD. Les données d'entrée de SST proviennent du Centre national des données climatiques (NOAA-NCDC-OISST, REYNOLDS *et al.*, 2007), tandis que les variables P_w , T_d et les composantes du vent sont extraites des analyses ERA-Intérim (DEE *et al.*, 2011) du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (ECMWF).

On compare la prévision P_i aux observations binaires de FD en plafonnant ses valeurs supérieures à 0,5 en 1 et celles inférieures ou égales à 0,5 en 0 pour recons-

tituer un vecteur dichotomique et calculer les indices de vérification suivant une table de contingence à deux entrées (FD observés *versus* FD simulés). Ainsi, la réussite de la prévision est évaluée à l'aide d'un diagramme de performance (ROEBBER, 2009) et des paramètres d'une courbe ROC (*Receiver Operating Characteristic*) construite sur la base des taux de réussite et de fausses alertes. La diagonale de la courbe ROC indique qu'une prévision ne produit aucune information. L'aire sous la courbe ROC est normalisée par rapport à la surface totale de la figure, de sorte qu'une prévision parfaite a une surface égale à 1 et une courbe située le long de la diagonale a une surface de 0,5. Lorsque la courbe ROC est située en dessous de la diagonale, la prévision est mauvaise. Par ailleurs, les scores du diagramme de performance de ROEBBER (2009) sont basés sur les indices de vérification suivants : 1) la probabilité de détection (POD) qui est la proportion d'évènements correctement prévus (POD varie de 0 à 1 ; POD = 1 signifie que l'évènement prévu est observé) ; 2) le rapport de succès (SR) qui est 1 moins le taux de fausses alertes (SR varie entre 0 et 1 ; une prévision est parfaite lorsque SR = 1) ; 3) le biais de fréquences ou BIAS qui est le rapport du nombre total d'évènements prévus et le nombre d'évènements observés (BIAS > 1 signifie une surestimation et BIAS < 1 caractérise une sous-estimation) ; 4) l'indice de succès critique (CSI) qui est le nombre d'évènements prévus par hasard (CSI va de 0 pour une mauvaise prévision à 1 pour une bonne prévision).

Résultats et discussion

Quoique l'occurrence d'une xDS soit négativement (positivement) corrélée à la qualité excédentaire (déficitaire) d'une saison (SALACK *et al.*, 2014), il n'y a pas de lien avéré entre l'occurrence d'un FD et le fait qu'une saison météorologique soit relativement sèche ou humide (HIEN, 2019). Néanmoins, les résultats d'enquêtes en milieu paysan (MARTEAU *et al.*, 2014) et des simulations à l'aide d'un modèle de cultures (LAWSON, 2018 ; HIEN, 2019) montrent que les besoins en eau des cultures ne sont pas satisfaits. Ainsi, on peut observer une déficience de moins de 30 % de satisfaction en eau pour le mil et le maïs dans les périodes suivant l'occurrence des FD. Cette déficience en eau explique les cas d'avortement de re-semis ou de dessiccation des plantules qui poussent les producteurs aux semis ou repiquages des plants à partir des poquets ayant survécu. La figure 2 présente un exemple du comportement de l'indice de satisfaction en eau provenant de simulations faites pour une variété de maïs (Obatampa) sur les quatre sites pilotes du projet APTE-21. Ainsi, la prévision d'un événement de FD offre l'avantage pour le producteur d'éviter les périodes à risque et d'anticiper les périodes optimales de semis pour les champs en haut de pente et permet d'effectuer des semis précoces dans les bas-fonds potentiellement inondables. Ce qui permettrait de réduire les dégâts et les pertes liés à l'engorgement sur la culture du maïs ou sur d'autres cultures similaires au maïs mises en place dans ces zones (DOUSSOUMOU *et al.*, 2018).

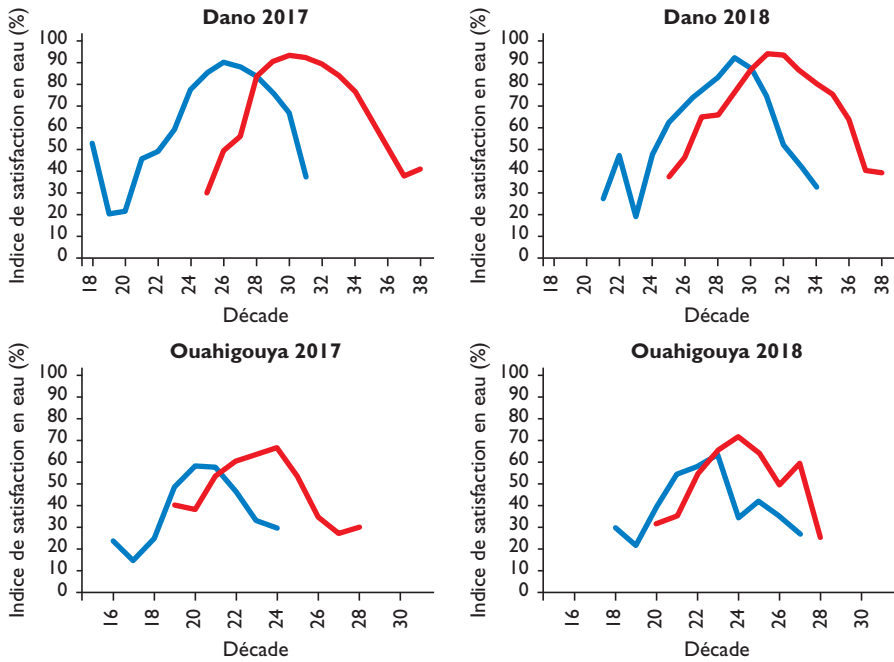


Figure 2.

Variation décadaire de l'indice de satisfaction en eau du maïs (variété Obatampa). La courbe bleue représente l'indice de satisfaction en eau (ISE) du maïs Obatampa semé à partir de la première pluie efficace et la courbe rouge représente celui d'un maïs Obatampa semé à la moyenne des dates de semis sans faux-départ choisies par 20 producteurs dans 6 villages répartis autour des communes de Dano et Ouahigouya (Burkina Faso).

La figure 3 montre la performance de la prévision de l'occurrence d'un FD, réalisée à l'aide du modèle de régression logistique (équation 1) à une semaine d'échéance. La qualité de cette prévision est meilleure à Bakel et à Ouahigouya, avec un biais de fréquence égal à 1 et une probabilité de détection POD de 0,93 et 0,68 respectivement (fig. 3 a). Ces deux stations sont situées dans la zone sahélienne dont les cumuls moyens annuels peinent à dépasser les 600 mm (SALACK *et al.*, 2014 ; HIEN, 2019). Une analyse des paramètres de la courbe ROC (fig. 4) suggère que le modèle de prévision proposé discrimine les événements de FD à Bakel, tandis qu'à Ouahigouya sa performance est plus le fruit du hasard. Les stations de Dano et Bolgatanga sont situées en zone soudanienne, où le cumul moyen annuel dépasse très souvent 800 mm (HIEN, 2019). La POD est presque de 0,6, avec un biais de fréquence inférieur à 1. Bien que les résultats de la prévision soient sous-estimés, le modèle discrimine l'occurrence des événements de FD observés à ces deux stations.

La méthode de prévision utilisant la régression logistique a été employée par SHAFER et FUELBERG (2008), ainsi que par RAJEEVAN *et al.* (2012) pour prévoir des événements d'éclairs aux USA et en Inde respectivement. Cependant, pour assurer la stabilité du modèle et la cohérence de leurs prévisions, ces auteurs ont procédé à

une vérification indépendante. Dans le cadre de notre étude, la sensibilité du modèle est testée par rapport aux composantes du vent à différentes altitudes (surface, 850 hPa, 700 hPa, 200 hPa). Prises individuellement, les composantes du vent aux niveaux de la surface, de 850 hPa, 700 hPa et 200 hPa octroient plus ou moins le même « skill » qu'ont les prévisions combinant P_w , T_d et les composantes du vent de surface observés sur la figure 3 a. Cependant, la combinaison de P_w , T_d avec des composantes de vents à tous ces niveaux conduit à un comportement quasi parfait du modèle (fig. 3 d). Les figures 3 b et 3 c montrent la sensibilité des prévisions utilisant comme prédicteurs la variable P_w , T_d et les combinaisons des vents de surface et 850 hPa, surface, 850 hPa et 700 hPa, et surface, 850 hPa, 700 hPa et 200 hPa,

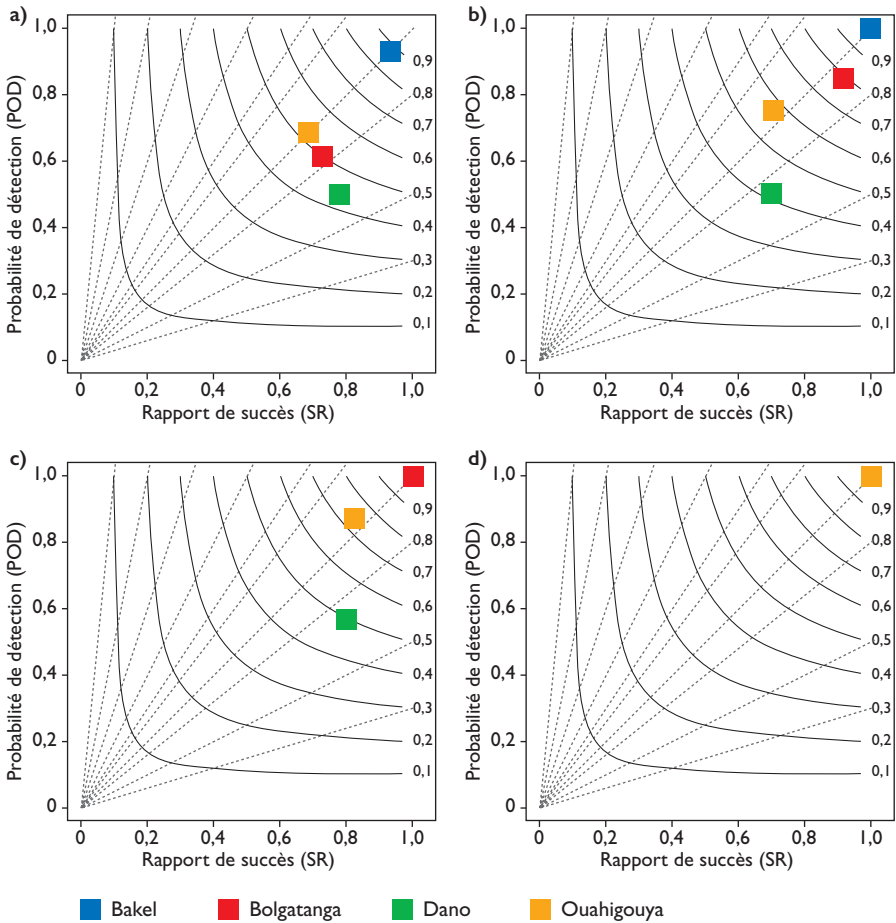


Figure 3.

Diagramme de performance de la prévision des faux-départs (FD) par régression logistique. La sensibilité du modèle est testée vis-à-vis des prédicteurs P_w, T_d , et vents de surface (a) ; P_w, T_d , vents de surface et 850 hPa (b) ; P_w, T_d , vents de surface, 850 hPa et 700 hPa (c) ; P_w, T_d , vents de surface, vents à 850 hPa, 700 hPa et 200 hPa (d).

respectivement. Lorsque l'on fait intervenir tous les prédicteurs, on réalise une prévision quasi parfaite avec des ROC scores unitaires (tabl. 3). Par conséquent il est impératif de procéder à une vérification indépendante du modèle de prévision. Cette dernière méthode consistera à forcer le même modèle, construit à partir de la régression logistique, avec des données venant d'un autre modèle de prévision numérique de temps ou un modèle dynamique à aire limitée, comme le recommande la technique dite « de pronostic parfait » (KLEIN, 1971). Ainsi, la performance inégale de notre modèle de prévision selon les sites peut être liée au nombre limité de prédicteurs candidats. Par conséquent, une évaluation indépendante approfondie de la sensibilité du modèle doit être effectuée sur un plus large spectre de prédicteurs candidats.

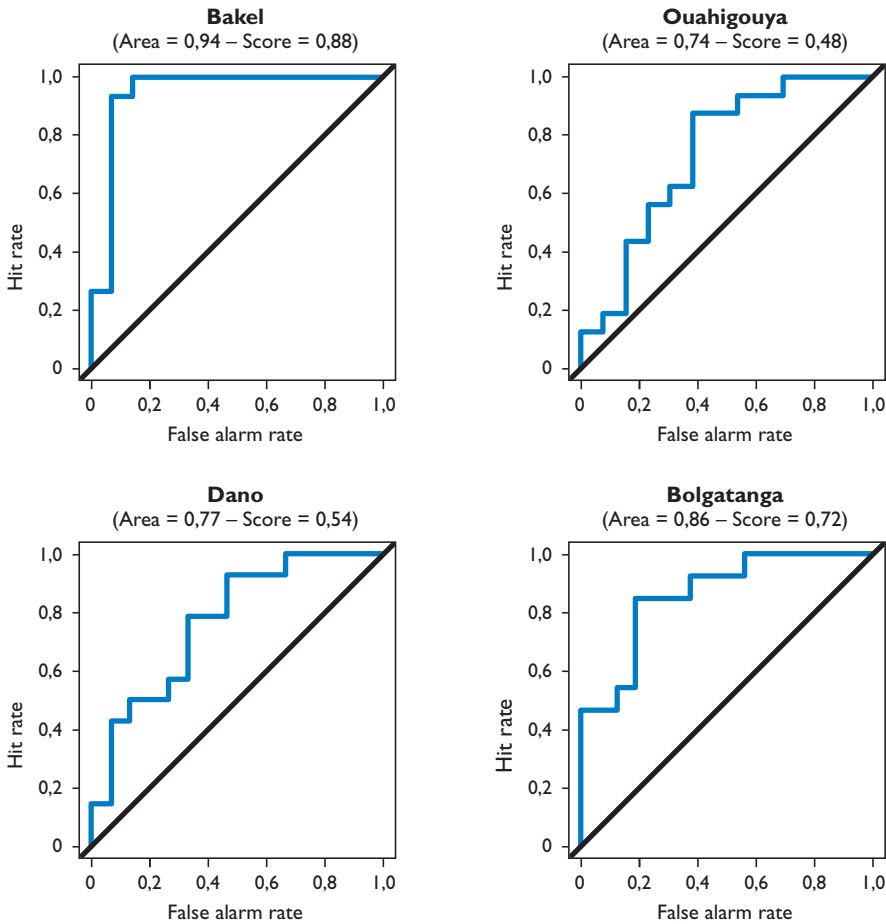


Figure 4.

Courbe ROC et ses paramètres (ROC area, ROC score) générés par la prévision des FD sur la base d'un modèle de régression logistique utilisant comme prédicteurs les variables eau précipitable (Pw), température du point de rosée (Td), et les composantes zonale et méridienne du vent de surface.

Tableau 3.

Le ROC score des tests de sensibilité selon les prédicteurs suivants :
 A = P_w, T_d , et vents de surface, B = P_w, T_d , vents de surface et 850 hPa,
 C = P_w, T_d , vents de surface, 850 hPa et 700 hPa,
 D = P_w, T_d , vents de surface, vents à 850 hPa, 700 hPa et 200 hPa.

Station	A	B	C	D
Bakel	0,88	1	1	1
Bolgatanga	0,72	0,4	1	1
Dano	0,54	0,6	0,78	1
Ouahigouya	0,48	0,62	0,84	1

Conclusion

Au regard des changements climatiques, l'exposition des communautés rurales et des systèmes de production aux extrêmes agroclimatiques tels que les faux-départs de saison culturale, les pluies diluviennes et les longues pauses pluviométriques augmentent les risques d'insécurité alimentaire et de catastrophe. La date de début de la saison des pluies est la variable climatique la mieux étudiée pour la sous-région. Cependant, un début de saison ne veut pas forcément dire le début des saisons culturales. Le faux-départ (FD), défini ici comme la 1^{re} pluie efficace suivie d'une pause pluviométrique supérieure ou égale à 10 jours, est une variable agroclimatique responsable de re-semis et d'autres pertes en milieu paysan. La prévision de l'occurrence d'un FD a l'avantage d'éviter les risques de semis trop précoces, d'identifier les périodes optimales de semis, et également de pouvoir procéder à des semis précoces dans les bas-fonds pour anticiper l'engorgement du sol. Dans cette étude, il ressort que les FD sont prévisibles à une semaine d'échéance sur la base d'un modèle de régression logistique. La performance du modèle n'est pas uniforme sur tous les sites étudiés. De plus, ce modèle de prévision nécessite une vérification indépendante avant son utilisation opérationnelle.

Références

- ATI O. F., STIGTER C. J., OLADIPO E. O., 2002
 A comparison of methods to determine the onset of the growing season in Northern Nigeria. *International Journal of Climatology*, 22 (6): 731-742.
- COUVREUX F., GUICHARD F., BLOCK O., CAMPISTRON B., LAFORE J. P., REDELSPERGER J. L., 2010
 Synoptic variability of the monsoon flux over West Africa prior the onset, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 136 (s1) : 159-173.

- DEE D. et al., 2011**
The ERA - Interim reanalysis:
Configuration and performance of the data
assimilation system.
*Quarterly Journal of the Royal Meteorological
Society*, 137 (656) : 553-597.
- DOUSSOUMOU I. P. N.,
DAKU K. E., WOROU O. N., SALACK S.,
TONDOH E. J., 2018**
*Effets induits par les risques d'engorgement
du sol en maïsiculture au Nord-Ghana.*
Conference Paper at [https://www.chaire-
management-risques-
agriculture.org/conference/](https://www.chaire-
management-risques-
agriculture.org/conference/)
- GIANNINI A., SALACK S.,
LODOUN T., ALI A., GAYE A. T.,
NDIAYE O., 2013**
Unifying view of climate change
in the Sahel linking intra seasonal,
interannual and longer time scales.
Environmental Research Letter, 8 024010.
- JANICOT S., THORNCROFT C. D.,
ALI A., ASENCIO N., BERRY G., BOCK O.,
BOURLES B., CANIAUX G., CHAUVIN F.,
DEME A., KERGOAT L., LAFORE J-P.,
LAVAYSSE C., LEBEL T., MARTICORENA B.,
MOUNIER F., NEDELEC P.,
REDELSPERGER J.-L., RAVEGNANI F.,
REEVES C. E., ROCA R., DE ROSNAY P.,
SCHLAGER H., SULTAN B.,
TOMASINI M., ULANOVSKY A.
and ACMAD forecasters team, 2008**
Large-scale overview of the summer monsoon
over West Africa during the AMMA field
experiment in 2006.
Annals of Geophysics, 26 : 2569-2595.
- HIEN K., 2019**
Attribution et prévisibilité des faux départs
de saisons agricoles au Burkina Faso.
*Mémoire de fin de cycle d'Ingénieur
en Agrométéorologie.*
Centre Régional Agrhymet. 47p
- KLEIN W. H., 1971**
Computer Prediction of Precipitation
Probability in the United States.
Journal of Applied Meteorology, 10 (5) :
903-915.
- KNIPPERTZ P. et al., 2015**
The possible role of local air pollution
in climate change in West Africa.
Nature Climate Change, 5 : 815-822.
- LAVAYSSE C., FLAMANT C., JANICOT S.,
KNIPPERTZ P., 2010**
Links between African easterly waves,
midlatitude circulation and intraseasonal
pulsations of the West African heat low.
*Quarterly Journal of the Royal
Meteorological Society*, 136 : 141-158.
- LAWSON K. N., 2018**
*Thresholds for operational agro-climatic
monitoring and early warning against high
impact rainfall events in the Sudan-Sahel
region, West Africa.* Univ. Lomé, 72 p.
- LELE I. M., LAMB P. J., 2010**
Variability of the intertropical front
(ITF) and rainfall over the West African
Sudan-Sahel zone.
Journal of Climate, 23 : 3984-4004.
- LELE I. M., LESLIE L. M., LAMB P. J., 2015**
Analysis of Low-Level Atmospheric
Moisture Transport Associated
with the West African Monsoon.
Journal of Climate, 28 : 4414-4430.
- LY M., TRAORE S. B., AGALI A.,
SARR B., 2013**
Evolution of some observed climate extremes
in the West African Sahel.
Weather and Climate Extremes, 1 : 19-25.
- MARTEAU R., SULTAN B., MORON V., BARON
C., TRAORÉ B. S., Agali A., 2010**
*Démarrage de la saison des pluies et date
de semis du mil dans le sud-ouest du Niger.*
7 p.
- NICHOLSON S., 2009**
On the factors modulating the intensity
of the tropical rainbelt over West Africa.
International Journal of Climatology, 29 :
673-689.
- RAJEEVAN M. et al., 2012**
Development of a perfect prognosis
probabilistic model for prediction of lightning
over south-east India.
Journal of Earth System Science, 121 (2) :
355-371.
- REYNOLDS R. W., SMITH T. M.,
LIU C., CHELTON D. B., CASEY K. S.,
SCHLAX M. G., 2007**
Daily High-Resolution-Blended Analyses
for Sea Surface Temperature.
Journal of Climate, 2007,
DOI: 10.1175/2007JCLI1824.1

- ROEBBER P. J., 2009**
 Visualizing Multiple Measures of Forecast Quality.
Weather and Forecasting, 24 (2) : 601-608.
- SALACK S. et al., 2014**
 Oceanic influence on the sub-seasonal to interannual timing and frequency of extreme dry spells over the West African Sahel.
Climate Dynamics, 42 (1-2) : 189-201.
- SALACK S. et al., 2016**
 Global warming induced hybrid rainy seasons in the Sahel.
Environmental Research Letters, 11 (10), 12 p.
- SHAFFER P. E., FUELBERG H. E., 2008**
 A Perfect Prognosis Scheme for Forecasting Warm-Season Lightning over Florida.
Monthly Weather Review, 136 (6) : 1817-1846.
- SMITH J. W. et al., 2012**
 Observations of an 11 September Sahelian Squall Line and Saharan Air Layer Outbreak during NAMMA-06.
International Journal of Geophysics, Volume 2012 : 1-14. doi:10.1155/2012/153256.
- SÖNNERT E., 2014**
 « Prediction of the Start of the Rainy Season in West Africa ». In : *Examensarbete vid Institutionen för geovetenskap*, 282, 59 p.
- SULTAN B., JANICOT S., 2003**
 The West African Monsoon Dynamics, Part II: The “Preonset” and “Onset” of the Summer Monsoon.
Journal of Climate, 16 : 3407-3427.
- SULTAN B., BARON C., DINGKHUN M., SARR B., JANICOT S., 2005**
 Agricultural Impacts of Large-scale Variability of the West African Monsoon.
Agricultural and Forest Meteorology, 128 : 93-110.
- WILKS D. S., 2006**
Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Department of E. and ASCU, Meteorological Applications, 627 p.

Les déterminants de l'utilisation de l'information pluviométrique (nord et sud-ouest du Burkina Faso)

*Safiétou SANFO, Seyni SALACK,
Moïse DAMBA MBOUNGOU,
Inoussa A. SALEY*

L'information pluviométrique en Afrique de l'Ouest

L'information pluviométrique est définie comme la diffusion d'informations liées aux caractéristiques d'une saison (pluie, inondation, sécheresse) dans des localités de choix en direction des producteurs. Elle représente une innovation et joue un rôle très important dans la gestion des risques en agriculture (MEZA *et al.*, 2008), puisqu'elle permet non seulement d'anticiper les effets néfastes des extrêmes pluviométriques, mais aussi de prendre des décisions sur le choix de pratiques agricoles optimales (GUNDA *et al.*, 2017). L'intérêt de l'information pluviométrique en Afrique subsaharienne n'est plus à démontrer. De nombreuses études ont prouvé que son utilisation peut réduire la vulnérabilité des agriculteurs, tout en leur permettant de maximiser les opportunités lorsque les conditions sont favorables (INGRAM *et al.*, 2002 ; HANSEN, 2002 ; RONCOLI *et al.*, 2009 ; SULTAN *et al.*, 2008 ; CRANE *et al.*, 2011 ; ROUDIER *et al.*, 2014). Bien que l'utilisation de l'information pluviométrique constitue un moyen d'adaptation et de résilience, son usage au Burkina Faso est encore embryonnaire, en raison de problèmes d'accessibilité, de qualité (fiabilité, compréhension, fréquence et « timing » dans la diffusion) et de reconnaissance de son utilité (PAGANO *et al.*, 2001 ; HANSEN *et al.*, 2011). Les agriculteurs continuent d'utiliser les connaissances locales et les techniques traditionnelles de prévisions saisonnières (chants et déplacements de certains oiseaux, apparition ou disparition de certains insectes, apparition ou disparition des feuilles de certains arbres, disponibilité

de certains fruits sauvage, etc.), de nos jours peu fiables en raison des changements climatiques décrits par plusieurs auteurs (SULTAN *et al.*, 2008 ; ZONGO *et al.*, 2014 ; SALACK *et al.*, 2016).

Au Burkina Faso, pourquoi les agriculteurs n'utilisent-ils pas l'information pluviométrique fournie par les services météorologiques ? Malgré l'importance de cette question, peu d'études se sont préoccupées des déterminants de l'utilisation de cette information. Au sud-ouest du Burkina Faso, ZONGO *et al.* (2014) ont travaillé sur l'évaluation économique de l'information pluviométrique, RONCOLI *et al.* (2009) ont étudié l'accès à l'information pluviométrique au nord, dans le Plateau central et au sud du Burkina Faso. Ces études ne se sont pas intéressées aux facteurs socio-économiques qui favorisent ou limitent l'adoption de l'information pluviométrique dans les pratiques quotidiennes des producteurs en milieu rural.

L'objectif principal de cette étude est d'analyser les facteurs socioéconomiques qui expliquent l'utilisation (ou non-utilisation) de l'information pluviométrique. Elle est fondée sur une analyse statistique (utilisation d'un modèle *probit*) d'un échantillon de 240 ménages situés au nord et au sud-ouest du Burkina Faso. Après avoir décrit les deux zones d'étude et exposé la méthode d'analyse, nous discutons les résultats. La dernière partie présente la conclusion et les recommandations en termes d'implication des politiques économiques.

Méthodologie

Description de la zone d'étude

L'étude concerne deux villages autour des communes de Dano et Ouahigouya (fig. 1). Ouahigouya se trouve entre les isohyètes de 600 - 700 mm. La pluviométrie est très variable (fig. 2 a) et les extrêmes pluviométriques (faux-départs, pluies diluviennes, longues pauses pluviométriques, fin précoce de saison) sont récurrents. La forte croissance de la population entraîne une pression démographique qui facilite aussi la dégradation des sols. Selon les projections 2017 de l'Institut national de la statistique démographique (INSD, 2017), la population de Ouahigouya est estimée à 169 893 habitants. Les céréales comme le sorgho et le mil constituent les aliments de base. Ce sont des céréales produites pour l'autoconsommation et peu commercialisées. Les cultures de rente sont constituées essentiellement par le sésame et l'arachide. La zone est très vulnérable, la sécheresse représentant la source de vulnérabilité principale de la population, à majorité agricole et très pauvre. Les nouvelles variétés, les techniques de conservation des eaux et des sols (CES) (dignes, diguettes, cordons pierreux, zaï, demi-lunes, paillage), la fumure organique, la modification des dates de semis, les bas-fonds, l'irrigation, surtout pour les cultures maraîchères, sont les principales stratégies d'adaptation utilisées au nord du Burkina Faso (BARBIER *et al.*, 2009 ; OUEDRAOGO *et al.*, 2018).

Dano est située dans la province du Ioba et compte environ 11 153 habitants (INSD, 2017). L'agriculture est la principale activité de la région, mais de nombreux jeunes, et récemment des femmes et des jeunes filles, participent également aux activités d'orpaillage. La saison des pluies s'étend de mai à octobre avec une pluviométrie annuelle moyenne de 850 mm. La pluviométrie est très variable (fig. 2b) avec des poches de sécheresse récurrentes et des pluies diluviennes. Ces poches de sécheresse peuvent causer des dommages faibles, modestes ou graves selon le moment et leur durée (BARRON *et al.*, 2003). Le système agricole de Dano est axé sur la subsistance, dominé par le travail manuel, et la traction animale est rarement utilisée. Les principales cultures pluviales sont le maïs, le sorgho, le mil, le coton, le niébé, l'arachide et le sésame. Le coton et le maïs sont cultivés dans les meilleurs sols, mais le maïs est également cultivé dans les jardins potagers ; le mil et le sorgho sont cultivés sur des sols moins profonds. Le niébé est généralement cultivé en association avec une céréale. Le riz est cultivé dans les bas-fonds. L'élevage est peu développé dans la région et l'utilisation d'engrais organiques est encore très faible. La mise en jachère devient rare et les cordons pierreux demeurent les techniques de CES les plus utilisées. Les autres techniques de CES telles que les demi-lunes, le mulching, le zaï sont peu connues, et l'irrigation de complément en est à la phase expérimentale (SANFO *et al.*, 2017).

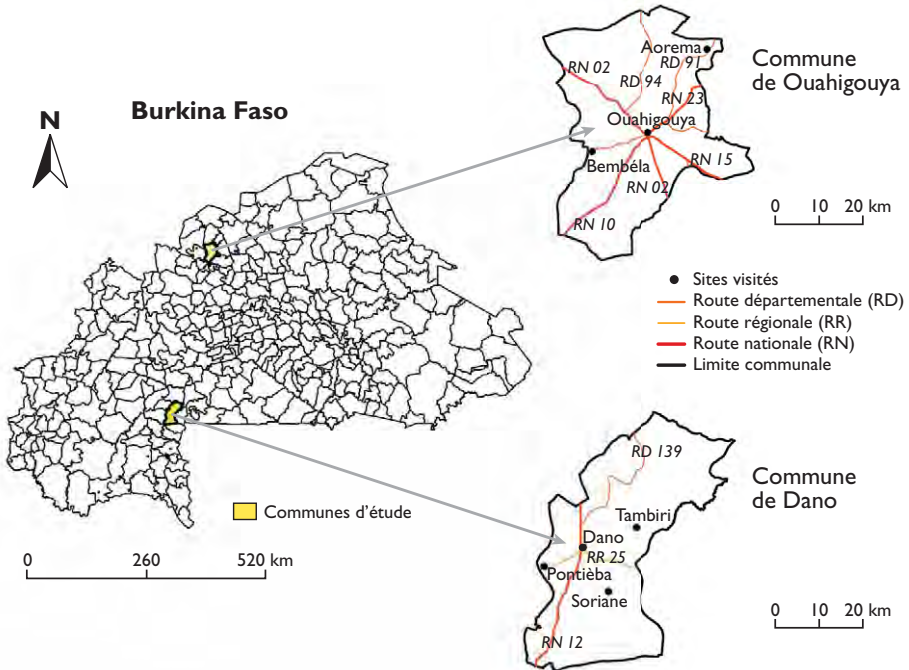


Figure 1.
Localisation des villages enquêtés
autour des communes de Dano et de Ouahigouya
(Burkina Faso).

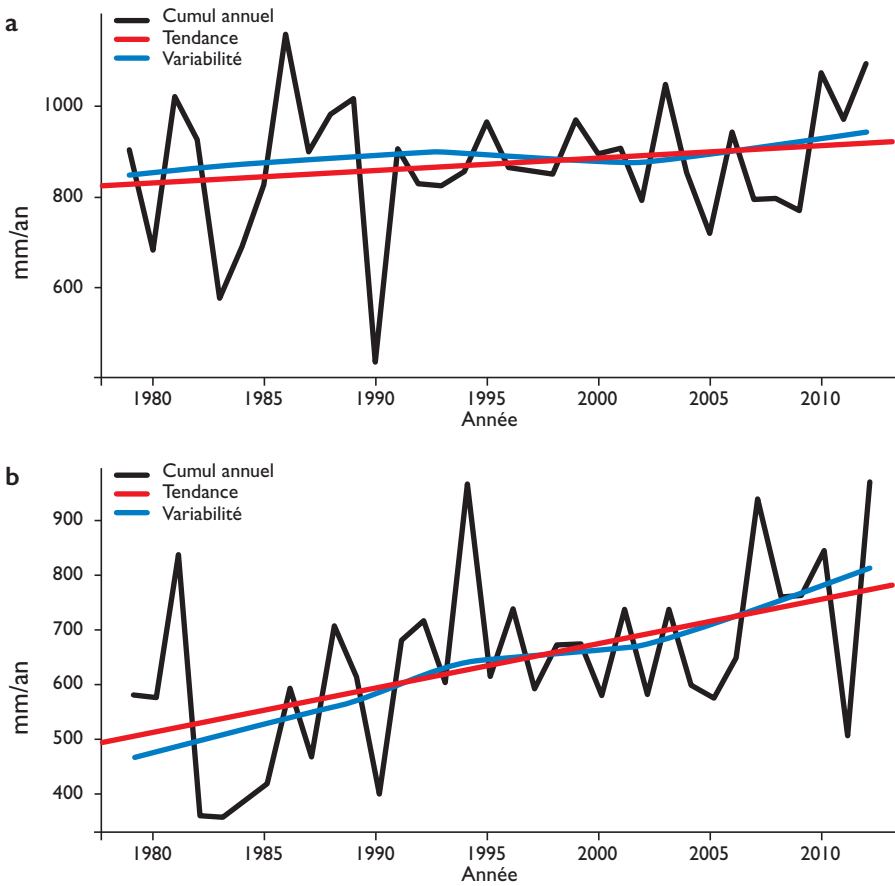


Figure 2.
Variabilité et tendance des cumuls pluviométriques annuels
dans les communes de Dano (a) et de Ouahigouya (b).

Échantillonnage et collecte des données

L'échantillon est composé de 240 ménages répartis sur les deux sites d'études (120 ménages par site). À Dano comme à Ouahigouya, les 120 ménages sont répartis dans trois villages différents (soit 40 exploitations par village). Le choix des sites est basé sur un échantillonnage stratifié et raisonné en fonction de la répartition spatiale des zones agroécologiques au Burkina Faso. La commune de Dano est située en zone soudanienne et la commune de Ouahigouya en zone sahélienne. L'unité d'étude est le ménage agricole, car c'est le ménage qui prend les décisions techniques et de gestion relatives à l'utilisation de l'information pluviométrique.

Un questionnaire structuré, comportant des questions ouvertes et fermées, a facilité la collecte des données. Les questions ouvertes concernent l'utilisation de l'information pluviométrique, les stratégies d'adaptation aux changements climatiques et la

perception par les producteurs du risque climatique. Les questions sur les perceptions du risque portent sur l'expérience passée des exploitants face aux aléas dont ils ont été victimes. Les questions fermées concernent les caractéristiques de l'exploitation et l'environnement socioéconomique du ménage agricole. Les données ont été numérisées à l'aide du logiciel CSPPro et les analyses statistiques par des logiciels SPSS et STATA. Il y a eu deux niveaux d'analyse : des statistiques descriptives (maximum, minimum, moyenne, écart-type, etc.) pour Dano, et une analyse statistique accompagnée de modélisation économétrique pour Ouahigouya. Nous avons utilisé des statistiques descriptives à Dano car peu de ménages utilisent l'information pluviométrique (10 %). Les analyses statistiques et économétriques considèrent une variable dépendante : l'utilisation de l'information pluviométrique. L'information pluviométrique est ici représentée par trois types d'information (pluies, poches de sécheresse et fortes pluies pouvant entraîner des inondations) (DAMBA *et al.*, 2018). Nous définissons l'utilisation de l'information pluviométrique comme le fait qu'un agriculteur utilise les trois types d'information. Cette variable dépendante est dichotomique et prend la valeur 1 si le producteur utilise l'information pluviométrique, et 0 s'il ne l'utilise pas. À côté de cette variable dépendante, l'étude définit trois grandes catégories de variables explicatives : les variables socioéconomiques comme le sexe, le niveau d'instruction, l'expérience dans l'activité, la taille du ménage ; les variables institutionnelles telles que l'accès au crédit, l'accès aux services de vulgarisation ; et les variables de perception qui incluent la perception des risques de poches de sécheresse, d'inondations et de retards de pluie.

Formulation du modèle économétrique

Pour analyser les facteurs qui expliquent l'utilisation de l'information pluviométrique, nous utilisons un modèle *probit*. La variable dépendante est une variable dichotomique dont les modalités ne peuvent excéder deux alternatives (0 ou 1). On suppose que le ménage fait un calcul économique en comparant le coût et le bénéfice qui dépendent de l'utilité qu'il retire de l'utilisation de l'information pluviométrique et de celle liée au fait de ne pas l'utiliser. Soit d_i la variable dichotomique prenant la valeur 1 si le producteur utilise l'information pluviométrique et 0 sinon. La différence entre le bénéfice et le coût est considérée comme une variable non observée d_i^* telle que :

$$d_i^* = w_i\alpha + \varepsilon_i \quad (1)$$

Où d_i^* représente la décision d'utiliser l'information pluviométrique, w_i est un vecteur des variables explicatives pouvant influencer la décision, α est un vecteur des paramètres associés aux variables explicatives et ε_i le terme d'erreur indépendamment et identiquement distribué suivant une loi normale de moyenne 0 et de variance 1, et d_i^* est une variable latente non observable (DAMBA *et al.*, 2017). De ce fait, nous nous intéressons à son résultat d_i qui est une variable observable.

$$d_i = \begin{cases} 1 & \text{si } d_i^* > 0 \\ 0 & \text{si } d_i^* < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Avec $d_i = 1$ si le ménage utilise l'information pluviométrique et 0 sinon.

Résultats et discussion

Les résultats des analyses statistiques et du modèle sont résumés dans le tableau 1. La taille du ménage, l'accès au crédit et la perception des risques pluviométriques influencent significativement et positivement l'utilisation de l'information pluviométrique à Dano comme à Ouahigouya. Le niveau d'instruction et l'expérience dans l'agriculture influencent significativement et négativement l'utilisation de l'information pluviométrique. Alors que la variable sexe n'a aucune influence sur l'utilisation de l'information pluviométrique à Dano, elle joue un rôle important à Ouahigouya.

À Dano comme à Ouahigouya, ce sont les ménages de petite taille qui utilisent l'information pluviométrique. Les ménages de petite taille (inférieure à la moyenne nationale) sont plus exposés et vulnérables aux extrêmes pluviométriques que les ménages de grande taille (supérieure ou égale à la moyenne nationale), car ces derniers pratiquent la diversification des activités agricoles. Le crédit lève les barrières financières, augmente le pouvoir d'achat (achat d'un poste radio ou téléviseur) du producteur et par conséquent faciliterait l'accès et l'utilisation de l'information pluviométrique. Avec plus de capital, les agriculteurs peuvent mobiliser et utiliser toutes les informations disponibles pour modifier leurs pratiques de gestion des risques pluviométriques (HASSAN *et al.*, 2008). La perception du risque d'inondation affecte l'utilisation de l'information pluviométrique. En effet, les producteurs qui ont été victimes d'inondations ont tendance à utiliser cette information (PAGANO *et al.*, 2001 ; RICE *et al.*, 2009). Par contre, les résultats montrent un effet inverse dans le cas des individus qui ont été victimes de la sécheresse. Ces deux résultats s'expliquent de la même manière, que l'on observe les impacts des inondations et des sécheresses sur la production agricole. En effet, en cas d'inondation, la probabilité de récolte est très faible, les pertes sont considérables et la probabilité de prise en compte de l'information pluviométrique dans les décisions et les pratiques agricoles est très élevée. Tandis qu'en cas de poche de sécheresse, les agriculteurs peuvent encore récupérer une partie très importante des produits agricoles et limiter ainsi les pertes. Ils sont de ce fait moins incités à utiliser l'information pluviométrique.

Le niveau d'instruction du producteur influence négativement l'utilisation de l'information pluviométrique, avec un effet marginal de 0,1629 (tabl. 1). Ce résultat contredit les résultats présentés dans la littérature. En effet, selon plusieurs auteurs, le niveau d'instruction détermine et favorise l'utilisation, car il augmenterait la capacité du producteur à comprendre l'information pluviométrique (LYBBERT *et al.*, 2007 ; ZONGO *et al.*, 2014). Cependant, dans notre zone d'étude, nous pensons que plus le niveau d'instruction du producteur est élevé, plus il est réticent à utiliser l'information pluviométrique, car il est conscient qu'elle est basée sur des probabilités et contient des incertitudes. Ainsi, avec beaucoup d'expériences de cas d'échec multiples de l'information pluviométrique reçue, les producteurs plus avertis et plus cultivés (académiquement) deviennent peu confiants et réticents quant à l'utilisation de cette information. L'impact négatif de l'expérience dans l'activité sur l'utilisation de l'information pluviométrique peut également s'expliquer par le fait que les agriculteurs

les plus expérimentés sont averses au risque, ce qui diminue leur probabilité d'utiliser l'information pluviométrique. Cette attitude des producteurs confirme le fait qu'en général, les informations sur le climat sont susceptibles d'être utilisées lorsqu'elles sont jugées accessibles, précises et fiables (PAGANO *et al.*, 2001 ; HANSEN *et al.*, 2011 ; CASH *et al.*, 2003).

À Dano, le sexe n'influence pas l'utilisation de l'information pluviométrique. Le système « matriarcat » y domine et les femmes prennent des décisions dans la gestion de l'exploitation familiale. Comme les hommes, elles sont informées et ont accès à la radio et aux lieux publics et de loisirs comme les cabarets, les foires, etc. En revanche, à Ouahigouya, le sexe influence positivement l'utilisation de l'infor-

Tableau 1.
Résultats d'estimation du modèle.

Variables	Utilisation de l'information pluviométrique		
	Coefficients	Z-statistiques	Effets marginaux
Sexe	0,7546**	1,97	0,1398
Niveau d'instruction	-0,8796**	-2,7	-0,1629
Taille du ménage	0,0562*	1,78	0,0104
Expérience	-0,0333*	-2,32	-0,0061
Accès au crédit	0,8475*	2,01	0,157
Perception risque sécheresse	-5,485***	-6,87	-0,554
Perception risque inondation	2,8316***	6,07	0,6731

***, **, * = seuils de significativité à 1 %, 5 %, 10 %

Tableau 2.
Résultats des statistiques descriptives.

Variables	Minimum		Maximum		Moyenne		Écart-type	
	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui
Utilisation de l'information pluviométrique								
Taille	3	4	34	11	10,03	7,00	5,201	1,897
Niveau d'instruction	1	1	4	2	1,58	1,27	0,85	0,46
Montant crédit (en FCFA)	0	50 000	200 000	200 000	8 733,94	108 636,36	27 920,072	50 994,652
Perception inondation	0	0	1	1	0,53	0,78	0,50	0,44
Perception sécheresse	1	0	1	1	1	0,99	0,00	0,11
Expérience	3	5	75	60	33,73	29,91	15,846	14,867

Non = N'utilise pas l'information pluviométrique ; Oui = Utilise l'information pluviométrique

mation pluviométrique. Les hommes sont plus aptes à utiliser l'information pluviométrique que les femmes. Dans les milieux ruraux, surtout mossi, l'homme a plus de pouvoir de décision dans la gestion de l'exploitation que la femme. Pour utiliser l'information pluviométrique, il faut d'abord y avoir accès. Or, des études ont montré que les femmes dans les plateaux mossi ont peu accès à l'information pluviométrique (RONCOLI *et al.*, 2009). Les femmes utilisent peu la radio et encore moins la télévision, qui est très rare en milieu rural et reste en général un objet de luxe réservé à certains producteurs. Trop occupées par les travaux domestiques, à élever les enfants ou encore à ramener le bois de chauffe et l'eau, souvent à plusieurs kilomètres du foyer, ces femmes ont peu de temps pour écouter la radio ou regarder la télévision.

Conclusion

L'objectif de cette étude était de comprendre les facteurs qui expliquent l'utilisation de l'information pluviométrique dans deux régions au Burkina Faso. Des analyses statistiques basées sur un modèle *probit* ont été utilisées sur un échantillon de 240 ménages agricoles répartis dans six villages autour des communes de Dano et de Ouahigouya. Les résultats indiquent que la taille du ménage, l'accès au crédit et la perception du risque inondation favorisent l'utilisation de l'information pluviométrique. La perception du risque sécheresse et l'expérience dans l'agriculture limitent son utilisation. Si le sexe explique l'utilisation de l'information pluviométrique à Ouahigouya, l'étude a révélé qu'il est sans effet à Dano, où les femmes ont le même accès à l'information que les hommes. Parmi les interventions publiques possibles, l'étude suggère de faciliter l'accès des petits producteurs au crédit agricole et de subventionner les services météorologiques et les centres de recherches travaillant sur les aléas climatiques, dans l'objectif de fournir aux producteurs des informations pluviométriques de qualité.

Références

BARBIER B., YACOUBA H., KARAMBIRI H., ZOROMÉ M., SOMÉ B., 2009
Human vulnerability to climate variability in the sahel: Farmers' adaptation strategies in Northern Burkina Faso.
Environmental Management, 43 (5) : 790-803.
<http://doi.org/10.1007/s00267-008-9237-9>

BARRON J., ROCKSTRÖM J., GICHUKI F., HATIBU N., 2003
Dry spell analysis and maize yields for two semi-arid locations in east Africa.
Agricultural and Forest Meteorology, 117 (1-2) : 23-37.
[http://doi.org/10.1016/S0168-1923\(03\)00037-6](http://doi.org/10.1016/S0168-1923(03)00037-6)

CASH D. W., CLARK W. C., ALCOCK F., DICKSON N. M., ECKLEY N., GUSTON D. H., MITCHELL R. B., 2003

Knowledge systems for sustainable development. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100 (14) : 8086-8091.
<http://doi.org/10.1073/pnas.1231332100>

CRANE T. A., RONCOLI C., HOOGENBOOM G., 2011

Adaptation to climate change and climate variability: The importance of understanding agriculture as performance. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 57 (3-4) : 179-185.
<http://doi.org/10.1016/j.njas.2010.11.002>

DAMBA M. M., SANFO S., SALACK S., WOROU O. N., THIOMBIANO N., TONDOH E. J., SAVADOGO K., 2018

Information pluviométrique et choix des stratégies d'adaptation aux changements climatiques au nord du Burkina Faso, Afrique de l'Ouest. *Science et Technique, Sciences Naturelles et Appliquées* : 363-379.

GUNDA T., BAZUIN J. T., NAY J., YEUNG K. L., 2017

Impact of seasonal forecast use on agricultural income in a system with varying crop costs and returns: An empirically-grounded simulation. *Environmental Research Letters*, 12 (3).
<http://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5ef7>

HANSEN J. W., 2002

Realizing the potential benefits of climate prediction to agriculture: issues, approaches, challenges* 1. *Agricultural Systems*, 74 (3) : 309-330.

HANSEN J. W., MASON S. J., SUN L., TALL A., 2011

Review of seasonal climate forecasting for agriculture in sub-Saharan Africa. *Experimental Agriculture*, Vol. 47.
<http://doi.org/10.1017/S0014479710000876>

HASSAN R., NHEMACHENA C., HASSAN R., NHEMACHENA C., RASHID H., 2008

Determinants of African farmers' strategies for adapting to climate change: Multinomial choice analysis. *AfJARE*, 2 (1) : 83-104.
<http://doi.org/10.1007/s00267-008-9197-0>

INGRAM K. T., RONCOLI M. C., KIRSHEN P. H., 2002

Opportunities and constraints for farmers of west Africa to use seasonal precipitation forecasts with Burkina Faso as a case study. *Agricultural Systems*, 74 (3) : 331-349.
[http://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00044-6](http://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00044-6)

LYBBERT T. J., BARRETT C. B., McPEAK J. G., LUSENO W. K., 2007

Bayesian Herders: Updating of Rainfall Beliefs in Response to External Forecasts. *World Development*, 35 (3) : 480-497.
<http://doi.org/10.1016/j.worlddev.2006.04.004>

MEZA F. J., HANSEN J. W., OSGOOD D., 2008

Economic value of seasonal climate forecasts for agriculture: Review of ex-ante assessments and recommendations for future research. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47 (5) : 1269-1286.
<http://doi.org/10.1175/2007JAMC1540.1>

OUÉDRAOGO M., BARRY S., ZOUGMORÉ R. B., PARTEY S. T., SOMÉ L., BAKI G., 2018

Farmers' willingness to pay for climate information services: Evidence from Cowpea and Sesame producers in Northern Burkina Faso. *Sustainability (Switzerland)*, 10 (3).
<http://doi.org/10.3390/su10030611>

PAGANO T. C., HARTMANN H. C., SOROOSHIAN S., 2001

Using Climate Forecasts for Water Management: Arizona and the 1997-1998 El Nino. *Journal of the American Water Resources Association*, 37 (5) : 1139-1153.
<http://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2001.tb03628.x>

RICE J. L., WOODHOUSE C. A., LUKAS J. J., 2009

Science and decision making: Water management and tree-ring data in the western United States. *Journal of the American Water Resources Association*, 45 (5) : 1248-1259.
<http://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2009.00358.x>

RONCOLI C., JOST C., KIRSHEN P., SANON M., INGRAM K. T., WOODIN M., HOOGENBOOM G., 2009

From accessing to assessing forecasts: An end-to-end study of participatory climate forecast dissemination in Burkina Faso (West Africa). *Climatic Change*, 92 (3-4) : 433-460. <http://doi.org/10.1007/s10584-008-9445-6>

ROUDIER P., MULLER B., D'AQUINO P., RONCOLI C., SOUMARÉ M. A., BATTÉ L., SULTAN B., 2014

The role of climate forecasts in smallholder agriculture: Lessons from participatory research in two communities in Senegal. *Climate Risk Management*, 2 : 42-55. <http://doi.org/10.1016/j.crm.2014.02.001>

SALACK S., KLEIN C., GIANNINI A., SARR B., WOROU O. N., BELKO N., KUNSTMAN H., 2016

Global warming induced hybrid rainy seasons in the Sahel. *Environmental Research Letters*, 11 (10) : 1-11. <http://doi.org/10.1088/1748-9326/11/10/104008>

SANFO S., BARBIER B., DABIRÉ I. W. P., VLEK P. L. G., FONTA W. M., IBRAHIM B., BARRY B., 2017

Rainfall variability adaptation strategies: An ex-ante assessment of supplemental irrigation from farm ponds in southern Burkina Faso. *Agricultural Systems*, 152 : 80-89. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.12.011>

SULTAN B., JANICOT S., BARON C., DINGKUHN M., MULLER B., TRAORÉ S., SARR B., 2008 –

Les impacts agronomiques du climat en Afrique de l'Ouest : une illustration des problèmes majeurs. *Sécheresse*, 19 (1) : 29-37. <http://doi.org/10.1684/sec.2008.0122>

ZONGO B., DIARRA A., BARBIER B., ZOROM M., YACOUBA H., DOGOT T., 2014

« Economic evaluation of climate information in Sahel: case of farm households in Burkina Faso ». *In : Fifth International Scientific Agricultural Symposium, Agrosym 2014*, Vol. 25 : 68-77.

Effets de l'engorgement du sol sur la croissance, le développement et la productivité du maïs

Elidaa K. DAKU,
Nadège I. P. DOSSOUMOU,
Omonlola N. WOROU,
Seyni SALACK

Introduction

L'agriculture en Afrique subsaharienne, caractérisée par une production agricole à 90 % pluviale, est tributaire des conditions météorologiques et reste fortement exposée à la variabilité croissante des précipitations (HANSEN, 2002). En effet, mise à part l'irrégulière distribution intra-saisonnière des précipitations, l'amplitude des fortes pluies a considérablement augmenté dans cette région (TAYLOR *et al.*, 2017 ; SALACK *et al.*, 2018 ; BICHET et DIEDHIOU, 2018). La fréquence et la durée de ces pluies diluviennes ainsi que celles des périodes humides pendant la saison culturale peuvent affecter significativement la croissance et le rendement des cultures, par un engorgement ou un lessivage des nutriments des sols (GORNALL *et al.*, 2010 ; SALACK *et al.*, 2015). De plus, représentant 2 % à 5 % des terres de l'Afrique de l'Ouest (11 à 16 millions d'hectares) (BLEIN *et al.*, 2008), les terres situées en basse altitude ou les bas-fonds sont des zones exposées à une humidité excessive ou à un engorgement des sols. Pourtant, en raison de leur fertilité et de leur capacité à conserver l'humidité, elles sont considérées dans de nombreux projets comme une réponse à la fois à la pression croissante exercée sur les terres non localisées dans les zones de basses altitudes et aux risques de sécheresse en Afrique de l'Ouest (LAVIGNE-DELVILLE *et al.*, 1996), sans toutefois que l'on tienne compte des risques liés à l'excès d'eau. Par exemple, dans le nord du Ghana, où les principales cultures sont le maïs, le mil, le sorgho et le riz, près de 60 % des terres sont exposées à un engorgement fréquent (CAIRNS *et al.*, 2012).

En Afrique de l'Ouest, de 2007 à 2017, le maïs a couvert en moyenne 10,4 millions d'hectares, pour une production moyenne de 17,2 millions de tonnes contre 14,3 millions d'hectares de mil et 13,2 millions d'hectares de sorgho, produisant respectivement 10,5 et 12,2 millions de tonnes (FAOSTAT, 2019). Cependant, la culture est assujettie à des contraintes abiotiques dont les plus signalées dans la région sont la faible fertilité des sols et la sécheresse (BADU-APRAKU et FAKOREDE, 2017). Face à ces contraintes, les bas-fonds semblent constituer une alternative pertinente pour assurer une meilleure production agricole. Malheureusement, la production du maïs sur ces terres est contrainte par l'absence de réserves naturelles d'air dans ses racines. Par conséquent, suite à une diminution progressive de l'oxygène disponible dans le sol, le maïs souffre d'hypoxie (insuffisance en oxygène), suivi d'anoxie (absence d'oxygène) en cas d'une humidité excessive et prolongée du sol (de plus de 3 ou 4 jours). L'hypoxie ou l'anoxie s'accompagnent d'un déséquilibre nutritif pouvant éventuellement causer des dommages irréversibles et des pertes de rendement (DENNIS *et al.*, 2000 ; ZAIDI *et al.*, 2003 ; ZAIDI *et al.*, 2016). Pour certains auteurs, la sensibilité à l'engorgement semble diminuer du semis au stade de l'apparition de la fleur mâle (LIU *et al.*, 2010 ; REN *et al.*, 2014 ; REN *et al.*, 2016 ; TIAN *et al.*, 2019). Le rendement grain peut diminuer de plus de 40 % avec plus de 3 jours d'engorgement (LI *et al.*, 2011). Inondés durant 6 et 9 jours au stade de trois feuilles (v3), les rendements en grain du maïs peuvent respectivement diminuer de 32 % à 35 % et de 64 % à 80 %. L'ampleur de l'effet dû à l'engorgement en eau semble s'accroître avec l'augmentation de la durée de l'engorgement aux stades végétatifs (REN *et al.*, 2014 ; REN *et al.*, 2016 ; TIAN *et al.*, 2019).

Cependant, pour d'autres auteurs, lorsque l'engorgement se produit autour de la période de floraison (avant ou après), le rendement en grain peut être annulé en raison de la réduction de la durée de remplissage du grain (YANG *et al.*, 2016). Récemment, il a été montré qu'une augmentation de l'intensité des précipitations pendant les stades végétatif et reproductif du maïs pouvait entraîner des réductions de rendement respectives de 5 % et 2 %, mais que le taux de perte par stade de croissance dépendait de la variété de maïs ainsi que du système de gestion des cultures utilisé (MTONGORI *et al.*, 2015).

Toutes les conclusions précédentes sont tirées d'expériences conduites soit en pots (JAISWAL et SRIVASTAVA, 2015 ; YANG *et al.*, 2016 ; WANG *et al.*, 2017 ; LI *et al.*, 2018 ; PANOZZO *et al.*, 2019 ; KAUR *et al.*, 2019), soit en lysimètres ou en serres (DUTHION, 1982 ; LIZASO et RITCHIE, 1997 ; ZUGUI *et al.*, 2013) et ne tiennent pas compte des systèmes de production agricole ouest-africains.

De plus, dans la diversité des études réalisées, peu d'expériences sur l'effet de l'engorgement ont été menées en plein champ (REN *et al.*, 2014 ; 2016 ; 2018) et, malheureusement, mis à part des tests réalisés sur différentes phases phénologiques des cultures, ces études ne rendent pas compte des effets cumulés de l'engorgement du sol lorsqu'il survient à plusieurs phases phénologiques du cycle des cultures. Dans ce contexte, ce chapitre présente la réponse spécifique d'un cultivar de maïs ouest-africain aux effets cumulés de l'engorgement du sol (en fonction de différentes conditions d'engorgement naturel) en plein champ, de 2017 à 2018, dans le nord du Ghana.

Matériel et méthode

Description du site d'étude

L'étude a été menée pendant deux saisons de culture (2017-2018) sur un site expérimental du projet APTE-21¹, localisé à Aniabisi, dans la municipalité de Bolgatanga, dans la région nord-est du Ghana (fig. 1). Aniabisi bénéficie d'un climat soudanien caractérisé par une saison des pluies qui s'étend de mai ou juin à septembre ou octobre avec une pluviométrie annuelle variant de 756 à 1 000 mm. Les températures annuelles moyennes varient entre 28 °C et 39 °C. Le sol dans la zone d'étude est constitué de lixisol gleyique sur les 100 premiers cm de sa couche supérieure. Les propriétés gleyiques caractérisent souvent les sols temporairement ou définitivement submergés par les eaux souterraines (KELLER *et al.*, 2013). En particulier à Aniabisi, les sols caractérisés en 2012 jusqu'à une profondeur de 60 cm sont principalement des plinthosols (haut de pente) et des luvisols (bas de pente ou zone de basse altitude) (DANSO, 2015).

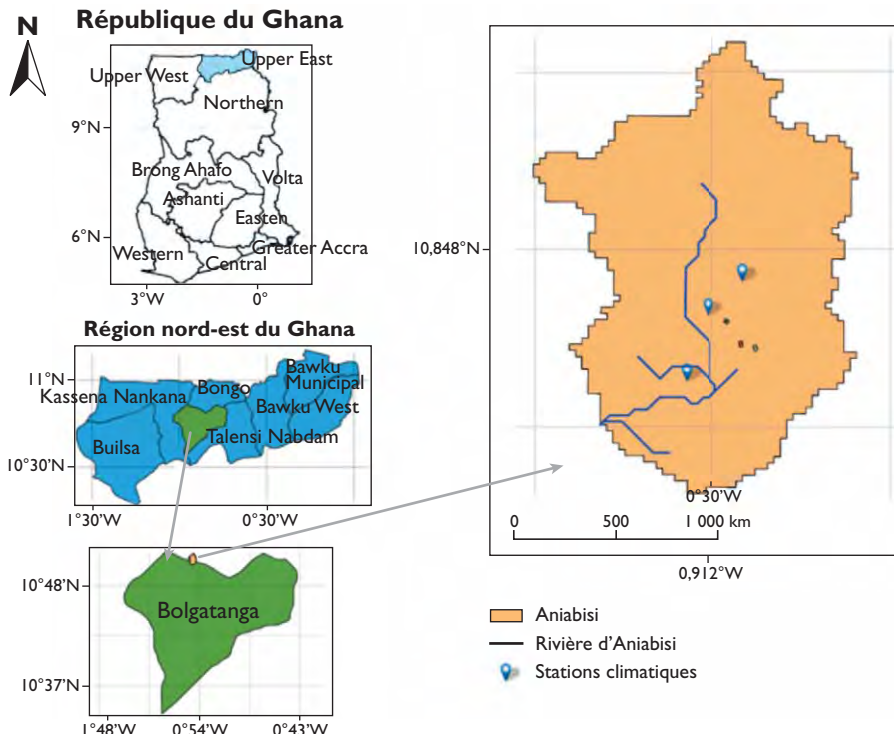


Figure 1. Localisation du site expérimental d'Aniabisi.

1. APTE-21 : Applications des prévisions climatiques et pratiques agricoles dans la traduction des événements pluviométriques extrêmes du 21^e siècle en zones à risques (MEAE/IRD, Agricora axe 1, convention 2016–2018).

Dispositif de collecte des données

Pour la fertilisation minérale, les engrais de type NPK 23-10-5, de l'urée (46 % N) et du sulfate d'ammonium (21 % N) ont été appliqués sur la variété de maïs dénommée « Wang Data ». Il s'agit d'une variété de maïs blanc, tolérante à la sécheresse et au striga (*Striga hermonthica* (Delile) Benth.), développée dès 2012 par l'Institut international d'agriculture tropicale (IITA) en collaboration avec le Centre international d'amélioration du maïs et du blé (CIMMYT) et les instituts de recherche sur les cultures de Kumasi et de Tamale (CSIR-CRI Kumasi, CSIR-SARI Tamale), afin d'augmenter la résilience des producteurs de maïs à la sécheresse (SIPALLA et SIPALLA, 2013).

Pour suivre la dynamique du niveau d'eau dans la couche de sol sur 0,30 m de profondeur, des tuyaux en polychlorure de vinyle (PVC) de 0,50 m de hauteur perforés sur 0,30 cm, appelés « *pani pipes* » ont été installés au hasard sur la moitié des parcelles expérimentales (PRITHWIRAJ, 2017).

En 2017 et 2018, les expérimentations ont été mises en place, selon un dispositif expérimental de type split-split-plot avec 3 répétitions. Elles comprenaient : 1) trois positions topographiques (haut de pente, milieu de pente et bas de pente) en tant que source de variation des parcelles principales ; 2) deux types d'aménagement pour la maîtrise de l'eau (la présence de diguette et l'absence de diguette [écoulement normal de l'eau]) en tant que source de variation au niveau des parcelles et 3) deux dates de semis (première et deuxième date de semis) en tant que source de variation au niveau des sous-parcelles. En effet, les parcelles principales étaient localisées en fonction de la topographie du terrain (fig. 2). Ces parcelles principales ont été divisées en deux parcelles (la parcelle bordée de diguettes de 0,3 m de hauteur et la parcelle sans diguettes). Chaque parcelle a été divisée en 6 sous-parcelles (5 m x 6 m), où deux dates de semis ont été répétées 3 fois. Au final, 12 traitements ont été répétés 3 fois, et sont aléatoirement répartis dans 36 sous-parcelles.

Le semis a été fait selon un schéma cultural de 0,75 m entre les interlignes et 0,40 m entre les plantes de la même ligne (VOTO, 2015). Deux semaines après le semis, au démarrage, la densité de population a été réduite à 66 667 plants/ha. Les attaques des ravageurs, particulièrement la chenille légionnaire d'automne (*Spodoptera frugiperda*), ont été contrôlées par des pesticides tels que PYRINEXQUICK 424EC (Deltaméthrine, 24 g/l associée à du chlorpyrifoséthylrique (400 g/l) et à l'EMASTAR (benzoate d'emamectine, 20 g/l + Acétamipride, 64 g/l).

Données collectées et méthodes d'analyse

Au cours des expérimentations, des données météorologiques quotidiennes (radiation solaire, précipitations, températures maximales et minimales, humidité relative, vitesse du vent) ont été collectées par la station météorologique la plus proche (fig. 1). Les paramètres liés à la profondeur quotidienne du niveau de l'eau dans la couche superficielle de 0,30 m ont également été recueillis à l'aide des *pani pipes* installés au centre de chaque parcelle afin d'estimer le facteur de stress hydrique dû à l'excès eau (SEW30). Les valeurs de SEW30 permettent de quantifier les conditions d'excès d'eau du sol en cm.jour comme unité.

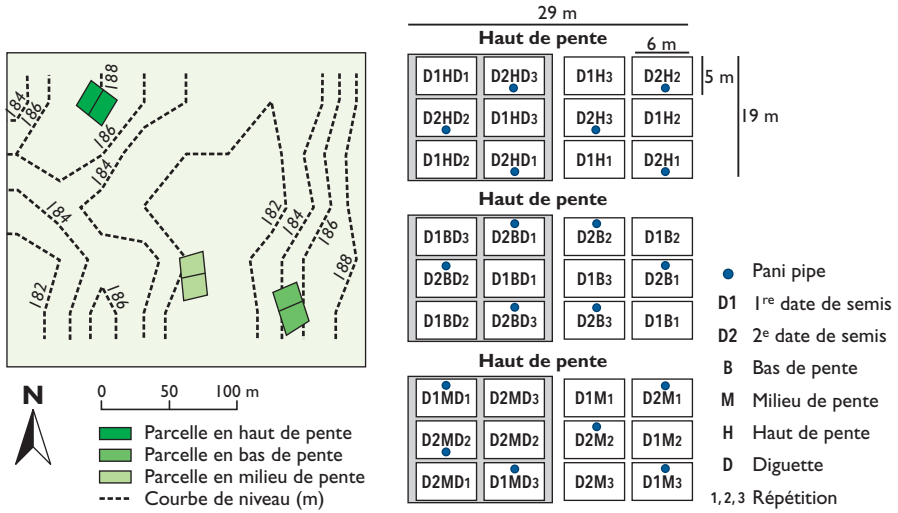


Figure 2.

Détails du dispositif expérimental sur le site d'Aniabisi (Bolgatanga, Ghana).

- D1HD1 : Date de semis 1 sur Haut de pente avec réplication de diguette 1 ;
- D1HD2 : Date de semis 1 sur Haut de pente avec réplication de diguette 2 ;
- D1HD3 : Date de semis 1 sur Haut de pente avec réplication de diguette 3 ;
- D1H1 : Date de semis 1 sur Haut de pente sans diguette 1 ;
- D1H2 : Date de semis 1 sur Haut de pente sans diguette 2 ;
- D1H3 : Date de semis 1 sur Haut de pente sans réplication de diguette 3 ;
- D2HD1 : Date de semis 2 sur Haut de pente avec réplication de diguette 1 ;
- D2HD2 : Date de semis 2 sur Haut de pente avec réplication de diguette 2 ;
- D2HD3 : Date de semis 2 sur Haut de pente avec réplication de diguette 3 ;
- D2H1 : Date de semis2 sur Haut de pente sans diguette 1 ;
- D2H2 : Date de semis2 sur Haut de pente sans diguette 2 ;
- D2H3 : Date de semis2 sur Haut de pente sans réplication de diguette 3 ;
- D1MD1 : Date de semis 1 sur le Milieu de pente avec réplication de diguette 1 ;
- D1MD2 : Date de semis 1 sur le Milieu de pente avec la réplication de diguette 2 ;
- D1MD3 : Date de semis 1 sur Milieu de pente avec réplication de diguettes 3 ;
- D1M1 : Date de semis 1 sur Milieu de pente sans réplication de diguette 1 ;
- D1M2 : Date de semis 1 sur Milieu de pente sans réplication de diguette 2 ;
- D1M3 : Date de semis 1 sur Milieu de pente sans réplication de diguette 3 ;
- D2MD1 : Date de semis 2 sur Milieu de pente avec réplication de diguette 1 ;
- D2MD2 : Date de semis 2 sur Milieu de pente avec réplication de diguette 2 ;
- D2MD3 : Date de semis 2 sur Milieu de pente avec réplication de diguette 3 ;
- D2M1 : Date de semis2 sur Milieu de pente sans réplication de diguette 1 ;
- D2M2 : Date de semis2 sur Milieu de pente sans réplication de diguette 2 ;
- D2M3 : Date de semis 2 sur Milieu de pente sans réplication de diguette 3 ;
- D1BD1 : Date de semis 1 sur Bas de pente avec réplication de diguette 1 ;
- D1BD2 : Date de semis 1 sur Bas de pente avec réplication de diguette 2 ;
- D1BD3 : Date de semis 1 sur Bas de pente avec réplication de diguette 3 ;
- D1B1 : Date de semis 1 sur Bas de pente sans réplication de diguette 1 ;
- D1B2 : Date de semis 1 sur Bas de pente sans réplication de diguette 2 ;
- D1B3 : Date de semis 1 sur Bas de pente sans réplication de diguette 3 ;
- D2BD1 : Date de semis2 sur Bas de pente avec réplication de diguette 1 ;
- D2BD2 : Date de semis2 sur Bas de pente avec réplication de diguette 2 ;
- D2BD3 : Date de semis2 sur Bas de pente avec réplication de diguette 3 ;
- D2B1 : Date de semis2 sur Bas de pente sans réplication de diguette 1 ;
- D2B2 : Date de semis2 sur Bas de pente sans réplication de diguette 2 ;
- D2B3 : Date de semis2 sur Bas de pente sans réplication de diguette 3.

$$SEW30 = \sum_{i=1}^n (30 - WTD_i) \quad (\text{KANWAR } et \text{ al.}, 1998)$$

Avec WTD_i la profondeur journalière de la lame d'eau (en cm) dans la couche superficielle de 0,3 m d'épaisseur et n représente le nombre de jours.

Mis à part les activités de gestion des cultures (tabl. 1), des mesures liées aux paramètres de croissance et de développement des plantes (hauteur des plants, longueur et largeur des feuilles, nombre de feuilles, masse de la biomasse aérienne) ont été collectées sur un échantillon de 5 plantes aléatoirement réparties par sous-parcelle, tous les 15 jours à partir de 30 jours après le semis (das). Les mesures effectuées sur les feuilles ont été utilisées pour estimer l'indice de surface foliaire (LAI) (REN *et al.*, 2014). Pour la production de biomasse, la biomasse aérienne à 30, 60 et à 90 das a été estimée par un échantillonnage de plants collecté dans des carrés de 1 m x 1 m. À la maturité (R6), les épis des parcelles ont été entièrement récoltés sur chaque parcelle, ainsi que le nombre de plants restant sur chaque parcelle afin d'estimer le rendement en grain. Les épis après récolte ont été séchés au soleil pendant 10 jours avant l'égrenage. L'analyse de la variance des paramètres étudiés et les tests de discrimination des moyennes de Duncan ont été effectués par le package *Agricolae* 1.3-0, avec le logiciel R.

Résultats

Dynamique de la lame d'eau et stress hydrique induit

Une analyse de fluctuation du niveau de la lame d'eau dans la couche superficielle de 0,30 m au cours des années expérimentales montre que, en comparaison avec 2017, l'expérimentation a été davantage exposée à l'engorgement du sol en 2018. En termes d'amplitude, la profondeur moyenne du niveau de la lame d'eau par rapport à la surface du sol, observée respectivement sur les parcelles avec et sans diguettes, localisées en bas ou en milieu de pente en 2017 (-9,2 cm ; -13,6 cm ; -16,5 cm ; -20,9 cm) était inférieure aux profondeurs observées au cours de 2018 (+ 6,7 cm ; -1,7 cm ; -4,7 cm ; -6,7 cm) (fig. 3 a et fig. 3 c). De plus, en termes de fréquence, la probabilité d'observer le niveau d'eau dans les 0,15 m de la couche superficielle, en cas de saturation en eau, sur des parcelles avec et sans diguettes, localisées en bas et milieu de pente était en 2017 (58 %, 34 %, 25 %, 4 %) également inférieure à celle observée en 2018 (63 %, 57 %, 45 %, 23 %). En outre, le risque d'exposition à un excès d'eau naturel était très dépendant de l'emplacement topographique des parcelles. En 2017 et 2018, les parcelles en haut de pente ont été significativement moins exposées à l'engorgement que celles situées en bas et milieu de pente. La présence des diguettes par contre a joué son rôle de rétention d'eau, elles ont augmenté le niveau moyen atteint par la lame d'eau ainsi que la durée des phases d'engorgement en 2017 et 2018 (fig. 3 b et fig. 3 d).

En utilisant l'indice relatif à l'excès d'eau (SEW30), les différences en termes de risque d'engorgement apparaissent clairement : le risque d'engorgement sur les

Tableau 1.
Gestion des parcelles expérimentales d'Aniabisi en 2017 et 2018.

Activités de gestion des cultures	Dates	Caractéristiques
Installation des diguettes	16 juin 2017/19 mai 2018	30 cm de hauteur (manuel)
Labour manuel	17 juin 2017/19 mai 2018	Profondeur 10 cm (Labour manuel)
Premier semis	19 juin 2017/31 mai 2018	66 667 plantes.ha ⁻¹
Deuxième semis	3 juillet 2017/21 juin 2018	66 667 graines.ha ⁻¹
Démariage pour les plantes 1 ^{re} date	03 juillet 2017/13 juin 2018	Réduction manuelle à 2 plantes par trou
Démariage pour les plantes 2 ^e date	17 juillet 2017/7 juillet 2018	Réduction manuelle à 2 plantes par trou
Première fertilisation pour le premier semis 1	7 juillet 2017/20 juin 2018	333,335 kg.ha ⁻¹ de NPK 23-10-5
Deuxième fertilisation pour le premier semis 1	24 juillet 2017/10 juillet 2018	333,335 kg.ha ⁻¹ de NPK 23-10-5
Troisième fertilisation pour le premier semis 1	07 août 2017/27 août 2018	400,002 kg.ha ⁻¹ de silicate d'Aluminium (21 % N)
Première fertilisation pour le premier semis 2	24 juillet 2017/10 juillet 2018	333,335 kg.ha ⁻¹ de NPK 23-10-5
Deuxième fertilisation pour le premier semis 2	07 août 2017/20 juillet 2018	333,335 kg.ha ⁻¹ de NPK 23-10-5
Troisième fertilisation pour le premier semis 2	20 août 2017/07 août 2018 (21 % N)	400,002 kg ha ⁻¹ de silicate d'Aluminium
Premier désherbage manuel	3 juillet 2017/17 juin 2018	Désherbage manuel des premiers semis
Deuxième désherbage manuel	12 juillet 2017/06 juillet 2018	Désherbage manuel sur toutes les parcelles
Troisième désherbage manuel	1 ^{er} août 2017/27 juillet 2018	Désherbage manuel sur toutes les parcelles
Quatrième désherbage manuel	26 août 2017 /	Désherbage manuel sur toutes les parcelles
Premier désherbage chimique	15 juillet 2017 /	KABAHERB appliqué à 720g / l
Première lutte antiparasitaire	15 juillet 2017/15 juin 2018	PYRINEXQUICK 424 EC appliqué à raison de 10 ml pour 40 litres d'EMASTAR / 50 ml d'EMASTAR par sac à dos (16 litres), chacun pour chaque parcelle principale.
Deuxième lutte antiparasitaire	3 août 2017/03 juillet 2018	PYRINEXQUICK 424 EC appliqué à raison de 10 ml pour 40 litres d'EMASTAR / 50 ml d'EMASTAR par sac à dos (16 litres), chacun pour chaque parcelle principale.
Troisième lutte antiparasitaire	16 août 2017/30 juillet 2018	PYRINEXQUICK 424 EC appliqué à raison de 10 ml pour 40 litres d'EMASTAR / 50 ml d'EMASTAR par sac à dos (16 litres), chacun pour chaque parcelle principale.
Quatrième lutte antiparasitaire	16 août 2018	50 ml d'EMASTAR par sac à dos (16l) chacun pour chaque parcelle principale
Cinq luttés antiparasitaires	13 août 2018	FORABAT appliqué à 200kg.ha ⁻¹
Première récolte	19 septembre 2017/13 septembre 2018	Récolte manuelle
Deuxième récolte	03 octobre 2017/20 septembre 2018	Récolte manuelle

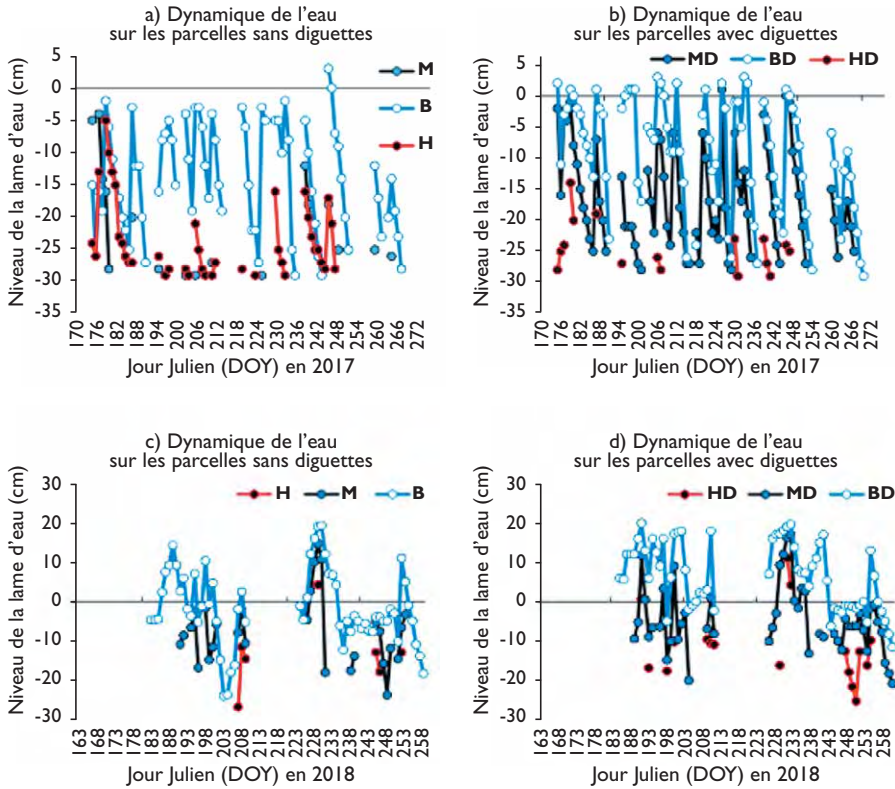


Figure 3.

Dynamique de la lame d'eau dans la couche superficielle du sol en 2017 et 2018.

H : haut de pente ; HD : haut de pente avec diguette ; M : milieu de pente ; MD : milieu de pente avec diguette ; B : bas de pente ; BD : bas de pente avec diguette

parcelles situées en bas de pente et en milieu de pente sans diguettes comme barrières (173 cm.jour et 1 157 cm.jour en 2017 ; 625 cm.jour et 1 567 cm.jour en 2018) est faible comparativement aux valeurs atteintes sur les parcelles de bas et de milieu de pente avec diguettes au cours des expérimentations (1 011 cm.jour et 1 705 cm.jour en 2017, 1 154 cm.jour et 1 798 cm.jour en 2018) (fig. 4 a et 4 b).

Les résultats ont montré également que le risque d'engorgement variait au cours des phases végétatives (7 – 45 das) et reproductives (46 – 91 das) de la culture en fonction de la date de semis adoptée chaque année. En 2017, les plantes semées à la première date étaient davantage exposées à l'engorgement pendant leur phase végétative que pendant leur phase reproductrice. Par contre, semées à la deuxième date, seules les plantes situées en bas de pente avec ou sans diguettes y ont été exposées, lors de leur phase végétative. Celles qui ont été semées en milieu de pente et sur le haut de pente étaient exposées à un risque plus important d'engorgement pendant les stades reproductifs. En 2018, toutes les parcelles de maïs ont connu un risque accru d'engorgement aux stades de la reproduction (fig. 4 c et 4 d).

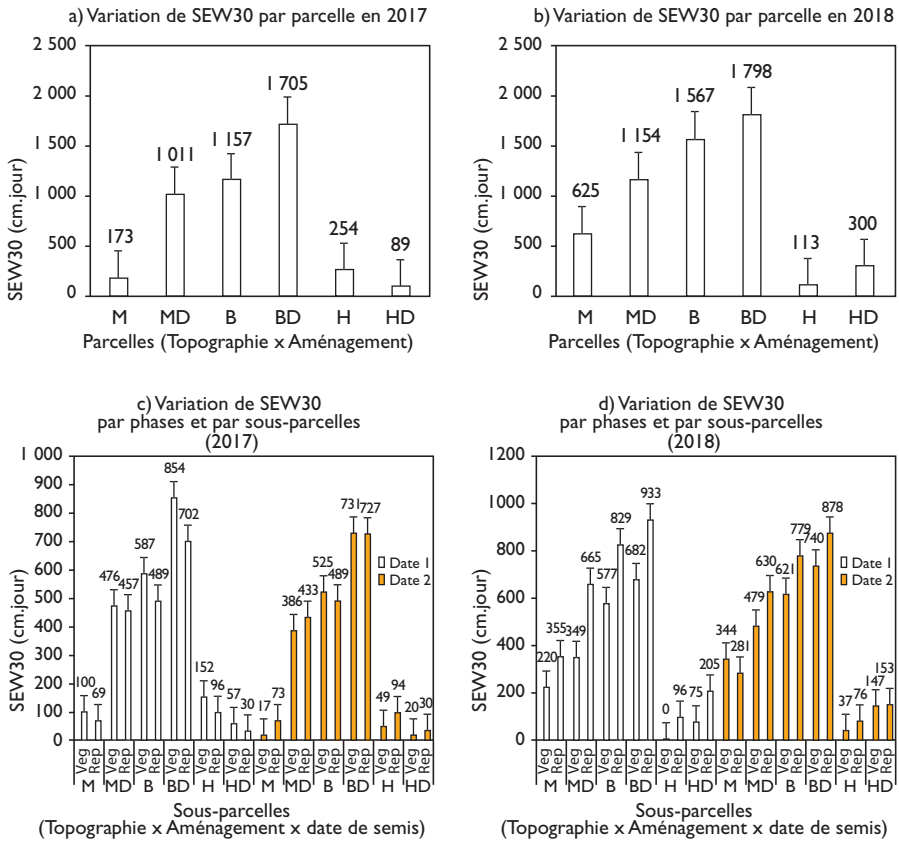


Figure 4.

Variation de SEW30 sur les parcelles et sous-parcelles par phases végétaives (Veg) et reproductives (Rep) en 2017 et 2018.

H : haut de pente ; HD : haut de pente avec diguette ; M : milieu de pente ; MD : milieu de pente avec diguette ; B : bas de pente ; BD : bas de pente avec diguette

Effets de l'engorgement sur la croissance et le développement du maïs

L'analyse statistique des données de croissance révélait que le nombre de feuilles par plant, la hauteur des plants aussi bien que l'indice foliaire avaient été significativement affectés par la topographie en 2017, mais, au cours de 2018, ce facteur n'affectait significativement le nombre de feuilles et l'indice foliaire que de 60 à 90 das. En 2017, mis à part à 30 das, le type d'aménagement (absence ou présence de diguettes) affectait la hauteur des plants. Le nombre de feuilles et l'indice foliaire ont significativement été affectés de 30 à 60 das par ce facteur. En 2018, la croissance végétative (hauteur des plants) a été fortement affectée par le type d'aménagement de 45 jours à la fin de la saison et le nombre de feuilles et l'indice de surface foliaire ont été modifiés de 75 das à la fin de la saison.

En 2017, la date de semis a affecté le nombre de feuilles à 30 et 60 das. Au 60^e jour après semis, l'indice de surface foliaire ainsi que la hauteur de la plante à 45 jours étaient affectés par ce facteur. En 2018, la date de semis a affecté de manière significative le nombre de feuilles et l'indice de surface foliaire du 45^e jour après semis à la fin de la saison. Sur la hauteur de la plante, l'effet n'était pas significatif à partir de 60 das. De plus, les interactions entre « topographie et aménagement » et entre tous les facteurs « topographie, aménagement et date de semis » n'ont eu aucun effet en 2017. En revanche, en 2018, ces interactions ont eu une incidence significative sur le nombre de feuilles et l'indice de surface foliaire à 90 das. Plus précisément, l'interaction de tous les facteurs a également eu un effet significatif sur l'indice foliaire à 60 das et le nombre de feuilles à 75 das.

La date de semis a également interagi avec le type d'aménagement et, en 2017, cette interaction affectait la hauteur de la plante à 60 das, mais, en 2018, la même interaction affectait l'indice de surface foliaire à 30 das, le nombre de feuilles à 75 das et 90 das et affectait également l'indice foliaire à 90 das (tabl. 2). L'interaction entre la date de semis et la topographie a affecté le nombre de feuilles à 45, 75 et 90 das en 2018. En 2017, cette interaction affectait également le nombre de feuilles à 45 et 60 das, mais aussi la hauteur de la plante au 30^e et 60^e das.

La position en bas de la pente en 2017 a considérablement réduit le nombre de feuilles, l'indice foliaire et la hauteur de la plante au cours du cycle de culture par rapport aux plantes se trouvant en milieu de pente et en haut de pente. En 2017, les paramètres de la culture (le nombre de feuilles, l'indice foliaire et la hauteur de la plante) y ont été respectivement réduits de 41 %, 86 % et 60 % à 45 das par rapport à la position en haut de pente. Mais en 2018, la position en bas de pente a considérablement réduit leur nombre de feuilles à 60 das, de 6 % à 49 %, comparativement au nombre moyen de feuilles observé en haut de pente (tabl. 2).

En comparant avec l'absence de diguettes, la présence de diguettes en 2017 a réduit le nombre de feuilles et l'indice foliaire respectivement de 10 % et 40 % à 30 das. À 45 das, le nombre de feuilles, l'indice foliaire et la hauteur de la plante ont également été réduits de 11 %, 41 % et 23 %. À 60 das, seule la hauteur de la plante a été réduite de 10 % par les diguettes. Cependant, la même analyse effectuée en 2018 a montré que la hauteur de la plante avait été réduite de 10 % à 12 %, à partir de 45 das. Quant au nombre de feuilles et l'indice de surface foliaire, il a diminué de manière significative dans les parcelles comportant des diguettes, de 17 % à 29 % à partir de 75 das.

En ce qui concerne la date de semis, une comparaison des plants de maïs semés à la première date (D1) avec ceux qui ont été semés à la deuxième date de semis (D2) montre que la hauteur de la plante a été réduite de 18 % à 45 das en 2017. La même année, le nombre de feuilles et l'indice foliaire des plants semés à D1 ont été réduits respectivement de 8 % et 22 % à 60 das.

En 2018, le nombre de feuilles et l'indice foliaire des plantes semées à D2 ont considérablement été réduits de 10 % à 19 % à la fin du cycle de culture pour ce qui concerne le nombre de feuilles, et de 12 % à 49 % à la fin du cycle de culture dans le cas de l'indice foliaire. Le retard dans la croissance en hauteur des plantes semées

à D2 par contre est passé de 45 das à 60 das de 30 % et 6 % comparativement à la hauteur de plantes semées à D1 (tabl. 2).

Effet de l'engorgement du sol sur la biomasse sèche aérienne et le rendement grain du maïs

L'analyse de la variance et test de discrimination des moyennes de Duncan au seuil de 5 % de la biomasse aérienne à 30, 60 et 90 das et sur le rendement en grain du maïs a montré que la biomasse aérienne à 60 et 90 das et le rendement en grain dépendaient significativement de la topographie en 2017 (fig. 5 a et 5 d). En 2018, le rendement grain était également fortement affecté par la topographie, mais à l'inverse de 2017, seule la biomasse aérienne à 30 das avait été affectée par la position topographique (fig. 5 b et 5 d). En 2018, la biomasse sur la parcelle en bas de pente à 30 das a été réduite de manière significative de 21 % par rapport à celles des parcelles localisées en haut de pente. En 2017, les pertes de biomasse sur les parcelles en bas de pente à 60 et 90 das par rapport aux parcelles en haut de pente ont été estimées à 78 % et 88 %. Le rendement en grain le plus faible a été obtenu, au cours des deux années expérimentales, en bas de pente (0,39 t/ha en 2017 et 1,112 t/ha en 2018) et par rapport aux rendements en grain les plus élevés sur les parcelles en haut de pente, les pertes de rendement en grain étaient de 91 % et 62 % en 2017 et 2018. Les diguettes ont considérablement réduit l'accumulation de biomasse sèche durant le cycle de culture en 2017 mais n'ont eu aucun effet sur la biomasse en 2018. La biomasse à 60 das était très sensible à la date de semis adoptée en 2017 et 2018. La deuxième date de semis avait presque doublé la biomasse à 60 das par rapport à la première date de semis en 2017. De plus, le rendement en grain avait été augmenté de 64 % pour les semis ayant été effectués à la deuxième date. À l'inverse, en 2018, la deuxième date de semis avait réduit significativement de 25 % la biomasse à 60 jours, mais n'a eu aucune incidence sur le rendement grain (fig. 5 c).

L'interaction entre la date de semis et la topographie a également affecté de manière significative la biomasse à 60 das et le rendement en grain en 2017. La biomasse à 60 das et le rendement en grain ont été considérablement réduits ou annulés sur les parcelles situées en bas de pente aussi bien pour la D1 que pour la D2. En 2017, le type d'aménagement et la date de semis ont également interagi et ont affecté le rendement en grain. Les diguettes installées pour le maïs semé à D1 avaient réduit le rendement à 1,7 t.ha⁻¹, mais les diguettes installées pour le maïs semé à D2 avaient augmenté le rendement en grain à 4,1 t.ha⁻¹.

Des corrélations négatives linéaires et logarithmiques entre le rendement grain et le stress dû à l'excès d'eau (SEW30) ont été déterminées avec des degrés de corrélation variant en fonction des années d'expérimentation et en fonction des phases (fig. 6). En 2017, les degrés de corrélation entre SEW30 et le rendement grain étaient plus élevés que ceux obtenus en 2018 (fig. 6 a et fig. 6 d). Au cours de cette année, plus l'indice SEW30 augmentait, plus le rendement grain du maïs se réduisait suivant une relation logarithmique significative ayant un degré de corrélation de 0,85 lorsqu'on ne considérait que le SEW30 cumulé durant la phase végétative (fig. 6 b). Considérant la phase végétative et reproductive de l'expérimentation

Tableau 2.
Nombre moyen de feuilles, indice foliaire et hauteur des plants
à différentes dates après semis au cours de 2017 et 2018.

	30 das			45 das			60 das			75 das			90 das												
	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018	2017	2018											
Facteur	nf	lai	h	nf	lai	h	nf	lai	h	nf	lai	h	nf	lai	h										
Topographie																									
Haut																									
de pente	6.6a	0.6a	29.4a	8.5a	1.7a	57.1a	9.7a	2.8a	105.7a	9.1a	2.7a	112a	9.1a	1.9a	151a	9.4b	2.5a	146.6a	6.6a	1.6a	153a	5.5a	1.2a	164.0a	
Milieu																									
de pente	6.4a	0.5a	26.3a	9.7a	2.1a	53.7a	8.9a	1.9b	90.1a	8.5a	2.0a	93 a	8.9a	2.2a	150a	9.9a	2.5a	142.3a	4.3b	0.9b	147a	2.4b	0.4b	152.5a	
Bas																									
de pente	5.0b	0.2b	21.3b	9.1a	1.8a	48.6a	5.7b	0.4c	42.2b	8.6a	2.1a	95a	6.6b	0.6b	65b	8.8c	3.3a	145.2a	4.7b	1.1ab	149a	2.8b	0.6b	156.1a	
Aménagement																									
Diguettes	5.7b	0.3b	24.0a	8.7a	1.7a	52.5a	7.6b	1.3b	69.2b	8.4a	2.2a	94b	8.4a	1.5a	116b	9.2a	2.8a	135.5b	4.7b	1.0b	141b	3.4b	0.7b	148.7b	
Sans																									
diguettes	6.4a	0.5a	27.3a	9.5a	2.0a	53.7a	8.5a	2.2a	89.5a	9.1a	2.3a	105a	8.0a	1.7a	128a	9.6a	2.7a	153.9a	5.7a	1.4a	158a	3.8a	0.8a	166.3a	
Date de semis																									
Date 1	6.3a	0.4a	26.3a	8.7a	1.8a	51.0a	8.3a	1.5a	71.3b	9.5a	2.7a	118a	7.8b	1.4b	119a	10.4a	3.7a	149.6a	5.6a	1.3a	149a	3.8a	0.8a	155.1a	
Date 2	5.7b	0.4a	25.0a	9.5a	1.9a	55.2a	7.9a	1.9a	87.5a	8b	1.8b	81.9b	8.5a	1.8a	126a	8.4b	1.9b	139.8b	4.7b	1.1b	150a	3.4b	0.7b	160.0a	

nf = nombre moyen de feuilles, lai = indice foliaire moyen, h = hauteur moyenne des plants (cm).
Les valeurs des paramètres (nombre moyen, indice foliaire ou hauteur moyenne des plants) ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 %.

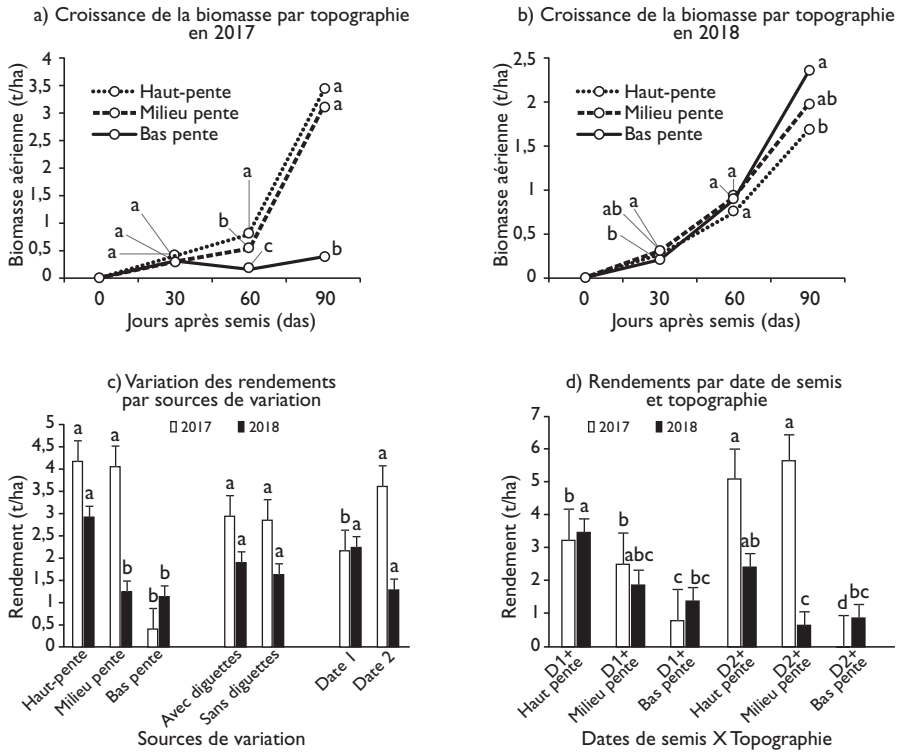


Figure 5.

Croissance de la biomasse aérienne et rendement grain en 2017 et 2018.

menée en 2017, on note une chute considérable du rendement respectivement à partir de 200 cm.jour pour le stade végétatif et 100 cm.jour au stade de reproduction. L'engorgement a donc été une contrainte majeure à la productivité du maïs au cours de cette année 2017, où les risques d'engorgement étaient plus importants pendant la phase végétative que pendant la phase reproductive du maïs (fig. 6 b et 6 c). Par contre en 2018, malgré le risque d'engorgement plus élevé qu'en 2017, les degrés de corrélation entre SEW30 et le rendement grain étaient très faibles comparativement à ceux obtenus en 2017.

Discussion

Les précédentes études sur l'effet de l'engorgement du sol sur le maïs ont démontré des changements physiologiques de la plante et une baisse du rendement du maïs surtout lorsque l'engorgement survient au stade végétatif (REN *et al.*, 2016 ; TIAN *et al.*, 2019). Cependant, ces études ne tenaient pas compte des agrosystèmes africains

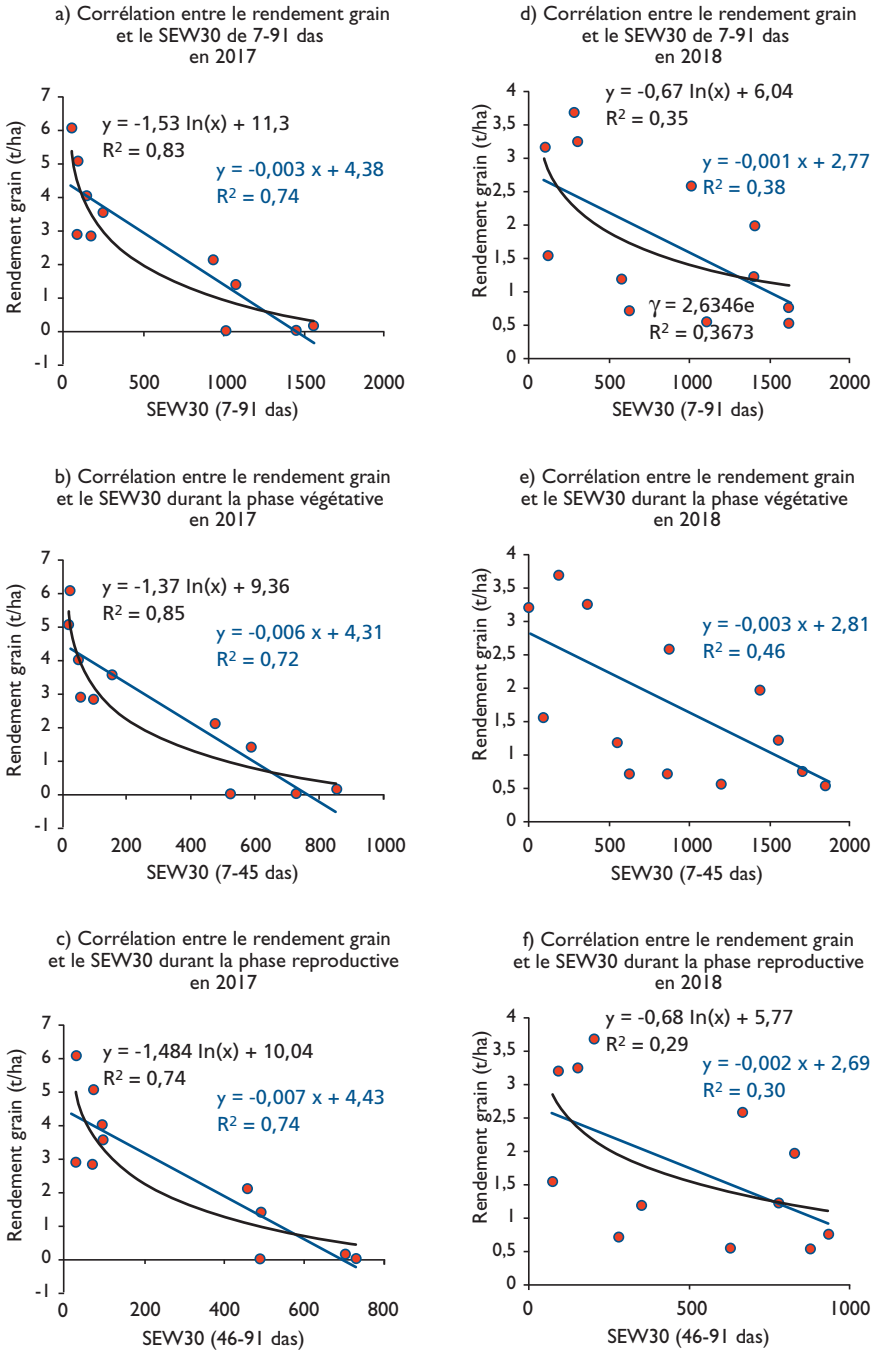


Figure 6.
 Variation des rendements grain
 en fonction de l'indice de stress d'excès d'eau SEW30.

dans les zones de basse altitude, qui sont de plus en plus occupées par les producteurs en quête de terre fertile. Malheureusement, le risque d'engorgement dans ces zones est de plus en plus important. Cette étude s'est donc focalisée sur les effets de l'engorgement du sol sur la culture du maïs dans ces zones. Pour ce faire, un essai de maïs a été conduit selon deux dates de semis durant deux années et tout en prenant en compte la topographie et la présence ou non de diguettes. Les parcelles situées en bas de pente sont celles où l'engorgement du sol a été important durant ces deux années. Les diguettes ont permis de conserver l'eau, accentuant ainsi l'engorgement du sol. Les résultats montrent que l'engorgement affecte la croissance et le développement de cette variété de maïs surtout lorsqu'il survient intensément pendant la phase végétative. En effet, lorsqu'elles poussent dans des conditions d'hypoxie ou d'anoxie, les plantes font face à une crise énergétique (KUMAR PATEL *et al.*, 2019) qui nuit gravement à la germination et au développement des plantules aux premières phases phénologiques du maïs (LONE et WARSI, 2009 ; REN *et al.*, 2018), ainsi qu'aux processus de la photosynthèse et de sénescence tout au long du cycle (TIAN *et al.*, 2019). Dans certains cas, l'excès d'eau du sol entraînerait la pourriture des jeunes plants lorsqu'il intervient tôt à la levée des jeunes plants, en provoquant une faible turgescence de la plante et un jaunissement de la feuille qui commence avec une couleur violette de contour (AHMAD *et al.*, 1992). Il a également été démontré qu'avec des nappes d'eau au-dessus de 1,5 m de profondeur, l'influence des eaux souterraines devient négative, probablement en raison de l'engorgement (FLORIO *et al.*, 2014). Cela expliquerait l'arrêt de la croissance de la biomasse observé sur les parcelles de bas de pente en 2017.

Quant au rendement grain, il est considérablement plus réduit et s'annule dans certains cas lorsque l'engorgement survient au stade végétatif du maïs. De plus, lorsque le stress d'excès d'eau intervient à ce stade, la perte de rendement semble suivre une tendance logarithmique en fonction de son intensité, représentée par l'indice SEW30. En effet, il a été démontré que la sensibilité du maïs à l'engorgement semble diminuer du semis au stade de l'apparition de la fleur mâle (MUKHTAR *et al.*, 1990 ; ROSENZWEIG *et al.*, 2002 ; RAO et LI, 2003 ; ZAIDI *et al.*, 2004 ; LIU *et al.*, 2010 ; REN *et al.*, 2016, 2014).

Le stade de l'émergence est le plus susceptible à l'engorgement avec un faible développement, un retard dans le développement de la plante et l'apparition des organes reproducteurs ou l'assèchement complet du jeune plant (LONE et WARSI, 2009). Il a aussi été démontré que les effets négatifs induits par l'engorgement augmentaient quand la durée du stress lié à l'engorgement se prolonge (REN *et al.*, 2014 ; 2016). Une diminution des facteurs de la morphologie (indice foliaire, nombre de feuilles, hauteur) du maïs en cas d'engorgement d'un sol a également été démontrée (LONE et WARSI, 2009 ; REN *et al.*, 2014, 2016).

Par contre, la croissance des plants pourrait avoir été avantagée par la conservation de l'humidité précoce du sol en début de saison. Ce qui expliquerait qu'en 2018, avant que les importantes phases d'inondation ne surviennent pendant les stades reproductifs, la biomasse était beaucoup plus développée sur les parcelles de bas de pente. En effet, en 2013 et 2014, au cours d'expérimentations menées à Dano

(Burkina Faso), le maïs semé en bas de pente enregistrait une meilleure quantité de la biomasse aérienne que celui semé en haut de pente. DANSO (2015), expliquait cela par le fait qu'en condition de stress hydrique sec, le volume de sol est relativement élevé, le rôle de conservation de l'eau et la disponibilité des nutriments en bas de pente avantagent la production de biomasse. En haut de pente, la biomasse avait été réduite par l'avènement de stress hydrique sec (DANSO, 2015).

L'existence d'une corrélation négative entre le rendement en grain et le facteur de stress hydrique (SEW30), surtout lorsque l'engorgement survient en phase végétative, vient confirmer les résultats d'autres chercheurs tels que KANWAR *et al.* (1998). En effet, ils ont démontré que le rendement du maïs est plus affecté par les valeurs du SEW30 au stade floraison et est très peu affecté par les valeurs du SEW30 durant la phase de formation des grains. Des coefficients de corrélation de l'ordre de 0,71 à 0,85 pour des régressions linéaires et logarithmiques, obtenus entre le stade de levée et le stade végétatif tardif, montraient que le maïs était très sensible durant ces stades à l'excès d'eau tellurique (KANWAR *et al.*, 1998).

De plus, lorsque l'on considère les deux années d'expérimentation, 2017 et 2018, on obtient de meilleurs rendements pour les plants semés à la première date, comparativement aux plants semés à la deuxième date sur les parcelles situées en bas de pente. En haut de pente, c'est le contraire qui prévaut. Sur la base de ces résultats, et du fait que dans les zones de production agricole exposées à l'inondation, FLORIO *et al.* (2014) recommandent des stratégies se basant sur la réduction de la nappe d'eau à une profondeur idéale afin de minimiser l'engorgement, les semis évitant la coïncidence des périodes d'engorgement et des phases végétatives de maïs seraient utiles.

Conclusion

L'engorgement du sol représente un risque non négligeable, car il impacte de façon significative la croissance, le développement et la productivité du maïs. Compte tenu des résultats obtenus, le semis précoce dans les zones de basse altitude en fonction de la prévision saisonnière relative au début de la saison et aux extrêmes pluviométriques (pluie précoce ou tardive) pourrait permettre de réduire les dégâts et les pertes liés à l'engorgement sur la culture du maïs dans ces zones, en évitant la coïncidence de l'engorgement avec les phases végétatives sensibles de cette culture. Pour ce faire, la mise à disposition de variétés de maïs tolérantes à l'excès d'eau, la mise en place d'infrastructures de drainage et la diffusion de l'information relative au début de saison et à la tendance climatique saisonnière aux producteurs pourraient les aider à mieux s'organiser et tirer profit de leurs activités agricoles, même en zones de basse altitude.

Remerciements

Nos remerciements au projet « Application des prévisions climatiques et pratiques agricoles dans la traduction des événements pluviométriques extrêmes du XXI^e siècle en zones inondables – APTE-21 » pour l'encadrement scientifique et le financement de cette étude.

Références

- AHMAD N., KASPAR T. C., BAILEY T. B., 1992**
Effect of Soil Surface Submergence and a Water Table on Vegetative Growth and Nutrient Uptake of Corn Effect of Soil Surface Submergence and a Water Table on Vegetative. *Transactions of the ASAE*, 35 : 1173-1177.
- BADU-APRAKU B., FAKOREDE M. A. (éd.), 2017**
Advances in Genetic Enhancement of Early and Extra-Early Maize for Sub-Saharan Africa.
Gewerbestrasse, Cham, Switzerland, 593 p.
- BICHET A., DIEDHIOU A., 2018**
West African Sahel has become wetter during the last 30 years, but dry spells are shorter and more frequent. *Clim. Res.*, 75 : 155-162.
- BLEIN R., SOULÉ B. G., DUPAIGRE B. F., YÉRIMA B., 2008**
Les potentialités agricoles de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO).
Rapport d'étude, Fondation pour l'agriculture et la ruralité dans le monde, 116 p.
- CAIRNS J. E., SONDER K., ZAIDI P. H., VERHULST N., MAHUKU G., BABU R., NAIR S. K., DAS B., GOVAERTS B., VINAYAN M. T., RASHID Z., NOOR J. J., DEVI P., SAN VICENTE F. M., PRASANNA B. M., 2012**
Maize production in a changing climate : Impacts, adaptation, and mitigation strategies. *Advances in Agronomy*, 114 : 1-58.
- DANSO I., 2015**
Soil and water conservation technologies in the West African Sudan Savanna : Cropping system options to address variability of crop yield and impacts of climate change.
Thesis doc., Faculty of Agriculture, University of Bonn, 135 p.
- DENNIS S., DOLFERUS R., ELLIS M., RAHMAN M., YU Y., HOEREN F. U., GROVER A., ISMOND K. P., GOOD A. G., PEACOCK W. J., 2000**
Molecular strategies for improving waterlogging tolerance in plants. *Journal of Experimental Botany*, 342 (51) : 1-9.
- DUTHION C., 1982**
Effets d'une courte période d'excès d'eau sur la croissance et la production du maïs. *Agronomie*, 2(2) : 125-132.
- FAOSTAT, 2019**
<http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- FLORIO E. L., MERCAU J. L., JOBBÁGY E. G., NOSETTO M. D., 2014**
Interactive effects of water-table depth, rainfall variation, and sowing date on maize production in the Western Pampas. *Agricultural Water Management*, 146 : 75-83.
- GORNALL J., BETTS R., BURKE E., CLARK R., CAMP J., WILLET K., WILTSHIRE A., 2010**
Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, 365 (1554) : 2973-2989.

HANSEN J. W., 2002

Realizing the potential benefits of climate prediction to agriculture: issues, approaches, challenges. *Agric. Syst.*, 74 : 309-330.

JAISWAL A., SRIVASTAVA J., 2015

Effect of nitric oxide on some morphological and physiological parameters in maize exposed to waterlogging stress. *African Journal of Agricultural*, 10 (35) : 3462-3471.

KANWAR R. S., BAKER J. L., MUKHTAR S., 1998

Excessive soil water effects at various stages of development on the growth and yield of corn. *American Society of Agricultural Engineers*, 31 (1) : 133-141.

KAUR G., ZURWELLER B., MOTAVALLI P. P., NELSON K. A., 2019

Screening Corn Hybrids for Soil Waterlogging Tolerance at an Early Growth Stage. *Agriculture*, 9 (2) : 1-28.

KELLER A., WEIGHT E., TAYLOR S. (éd.), 2013

Rapid assessment of water availability and appropriate technologies for small-scale farming: guidelines for practitioners. Colombo, Sri Lanka, International Water Management Institute (IWMI), IWMI Working Paper 156, 65 p.

KUMAR PATEL M., PANDEY S., BURRITT D. J., PHAN TRAN L. S., 2019

Plant responses to low-oxygen stress: interplay between ROS and NO signaling pathways. *Environmental and Experimental Botany*, 161 : 134-142.

LAVIGNE-DELVILLE P., BOUCHER L., VIDAL L., 1996

« Les bas-fonds en Afrique tropicale humide : stratégies paysannes, contraintes agronomiques et aménagements ». In Pichot J. P. (éd.) : *Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides*, actes, Montpellier, CIRAD-SAR Éditions : 148-161.

LI W., MO W., ASHRAF U., LI G., WEN T., ABRAR M., GAO L., LIU J., HU J., 2018

Evaluation of physiological indices of waterlogging tolerance of different maize varieties in South China. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16 (2) : 2059-2072.

LI X. Y., LIU Z. Y., LI T. X., 2011

An impact test study of the flood disasters on summer corn's characters and yield. *Acta Meteorol. Sin.*, 31 : 79-82.

LIU Y., TANG B., ZHENG Y., MA K., XU S., QIU F., 2010

Screening methods for waterlogging tolerance at maize (*Zea mays* L.) seedling stage. *Agric. Sci. China*, 9 (3) : 362-369.

LIZASO J. I., RITCHIE J., 1997

Maize Shoot and Root Response to Root Zone Saturation during Vegetative Growth. *Agronomy journal*, 89 (1) : 125-134.

LONE A. A., WARSI M. Z., 2009

Response of Maize (*Zea mays* L.) To Excess Soil Moisture (ESM) Tolerance at Different Stages of Life Cycle. *Botany Research International*, 2 (3) : 211-217.

MTONGORI H. I., STORDAL F., BENESTAD R. E., MOURICE S. K., PEREIRA-FLORESS M. E., JUSTINO F., 2015

Impacts of climate and farming management on maize yield in southern Tanzania. *African Crop Science Journal*, 23 (4) : 399-417.

MUKHTAR S., BAKER J. L., KANWAR R. S., 1990

Corn growth as affected by excess soil water. *Trans. Am. Soc. Agric.*, 33 : 437-442.

PANOZZO A., DAL CORTIVO C., FERRARI M., VICELLI B., VAROTTO S., VAMERALI T., 2019

Morphological Changes and Expressions of AOX1A, CYP81D8, and Putative PFP Genes in a Large Set of Commercial Maize Hybrids Under Extreme Waterlogging. *Frontiers in Plant Science*, 10 (62) : 1-14.

PRITHWIRAJ D., 2017

Smart water management in rice by IRRIS cost effective pani-pipe method for sustainable and climatesmart rice development – A short communication. *International Journal of Agriculture*, 9 (17) : 4154-4155.

- RAO R., LI Y. C., 2003**
Management of flooding effects on growth of vegetable and selected field crops. *Hortic. Technol.*, 610-616.
- REN B., ZHANG J., LI XIA F. X., 2014**
Effects of waterlogging on the yield and growth of summer maize under field conditions. *Can. J. Plant Sci.*, 94 : 23-31.
- REN B., ZHANG J., DONG S., LIU P., ZHAO B., 2016**
Effects of Waterlogging on Leaf Mesophyll Cell Ultrastructure and Photosynthetic Characteristics of Summer Maize. *PLoS ONE*, 11 (9) : 1-22.
- REN B., ZHANG J., DONG S., LIU P., ZHAO B., 2018**
Responses of carbon metabolism and antioxidant system of summer maize to waterlogging at different stages. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 204 (5) : 505-514.
- ROSENZWEIG C., TIBIELLO F., GOLDBERG R., MILLS E., BLOOMFIELD J., 2002**
Increased crop damage in the US from excess precipitation under climate change. *Global Environ. Change*, 12 : 197-202.
- SALACK S., SALEY I. A., LAWSON Z. N., ZABRE I., DAKU E. K., 2018**
Scales for rating heavy rainfall events in the West African Sahel. *Weather and climate extremes*, 21 : 36-42.
- SALACK S., SARR B., SANGARE S. K., LY M., SANDA I. S., KUNSTMANN H., 2015**
Crop-climate ensemble scenarios to improve risk assessment and resilience in the semi-arid regions of West Africa. *Climate research*, 65 : 107-121.
- SIPALLA T. A., SIPALLA F., 2013**
DT Maize, A Quarterly Bulletin of the Drought Tolerant Maize for Africa Project. Drought Tolerant Maize for Africa Project. Volume 2 (2), CIMMYT, Nairobi, Kenya, 4 p.
- TAYLOR C. M., BELUSIC D., GUICHARD, F., PARKER D. J., VISCHER T., BOCK O., HARRIS P. P., JANICOT S., KLEIN C., PANTHOU G., 2017**
Frequency of extreme Sahelian storms tripled since 1982 in satellite observations. *Nature*, 544 : 475-488.
- TIAN L., LI J., BI W., ZUO S., LI L., LI W., SUN L., 2019**
Effects of waterlogging stress at different growth stages on the photosynthetic characteristics and grain yield of spring maize (*Zea mays* L.) Under field conditions. *Agricultural Water Management*, 218 : 250-258.
- VOTO, 2015**
A complete Curriculum and Guide to maize production in Ghana. 34 p
- WANG X., DENG Z., ZHANG W., MENG Z., CHANG X., LV M., 2017**
Effect of Waterlogging Duration at Different Growth Stages on the Growth, Yield and Quality of Cotton. *PLoS ONE*, 12 (1) : e0169029.
- YANG H., HUANG T., DING M., LU D., LU W., 2016**
Effects of waterlogging around flowering stage on the grain yield and eating properties of fresh waxy maize. *Cereal Chemistry Journal*, 93 (6) : 605-611.
- ZAIDI P. H., RAFIQUE S., RAI P. K., SINGH N. N., SRINIVASAN G., 2004**
Tolerance to excess moisture in maize (*Zea mays*L.): susceptible crop stages and identification of tolerant genotypes. *Field Crops Research*, 90 : 189-202.
- ZAIDI P. H., RALIQUE S., SINGH N. N., 2003**
Response of maize genotypes to excess moisture stress: morphophysiological effects and basis of tolerance. *Eur. J. Agron.*, 19 : 383-399.
- ZAIDI P. H., VINAYAN M. T., SEETHARAM K., 2016**
Phenotyping for abiotic stress tolerance in maize - Waterlogging stress. A field manual. CIMMYT, Hyderabad, India, 33 p.
- ZUGUI L., ZHANDONG L., JUNFU X., JIQIN N., WENJUN G., 2013**
Waterlogging at seedling and jointing stages inhibits growth and development, reduces yield in summer maize. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 29 (5) : 44-52.

Relation entre la fertilité du sol et la productivité de l'eau de pluie sur le maïs (Burkina Faso)

*Kalifa COULIBALY, Mamadou TRAORÉ,
Aboudramane GUIRO, Bernard BACYÉ,
Hassan B. NACRO*

Introduction

L'agriculture du Burkina Faso, à l'image de celle des pays de l'Afrique subsaharienne, joue un rôle important dans le développement économique et social du pays. Ce secteur occupe plus de 80 % de la population burkinabée et constitue la principale activité génératrice de revenus monétaires des ménages ruraux (DGPER, 2010 ; MAHRH, 2011).

L'agriculture burkinabée rencontre malheureusement d'énormes difficultés, parmi lesquelles la faible productivité des terres et la précarité des conditions climatiques. Selon PIERI (1989), la plupart des sols au Burkina Faso sont des sols ferrugineux tropicaux (lixisol), caractérisés par une mauvaise stabilité structurale des horizons superficiels liée à leurs richesses en limons et sables fins. Les travaux de PALLO *et al.* (2008) montrent également que les sols de la zone sud-soudanienne du Burkina Faso sont très pauvres du fait de leur faible teneur en matière organique totale qui est d'environ 0,6 %. Avec l'exploitation continue de ces sols, on assiste à une dégradation rapide de leur fertilité qui se traduit par une baisse des rendements agricoles. Les travaux de COULIBALY *et al.* (2012) montrent des chutes de 76,83 %, 82,48 % et 3,88 % respectivement des teneurs en carbone, en phosphore assimilable et du pH des sols après 10 années de mise en culture. De nos jours, la baisse de fertilité des sols et de rendement des cultures est un problème évoqué avec insistance par les différents acteurs de la société burkinabée.

De nombreux travaux indiquent qu'en Afrique subsaharienne, les productions agricoles seront affectées par les changements climatiques (ROUDIER *et al.*, 2011 ; SULTAN *et al.*,

2013 ; TOURÉ *et al.*, 2018). Les simulations de SULTAN *et al.* (2013) ont montré que le principal effet du changement climatique sur le rendement du mil et du sorgho en Afrique de l'Ouest était la perte de rendement provoquée par une température élevée conduisant à une évapotranspiration potentielle accrue. Ils ajoutent que les rendements du mil et du sorgho vont probablement diminuer de 0 à 41 % au XXI^e siècle sur l'Afrique de l'Ouest en raison du réchauffement attendu, et ce que les précipitations augmentent ou diminuent. TOURÉ *et al.* (2018) montrent qu'au Mali, les rendements du mil vont décroître entre la période 2040 et 2069 par rapport à la période 1983 et 2012 du fait des changements climatiques. L'agriculture burkinabée étant majoritairement pluviale, cela indique qu'elle est soumise aux caprices de ces changements climatiques. La mauvaise répartition de la pluie dans le temps et dans l'espace ainsi que la variation interannuelle des quantités d'eau de pluie qui tombent sont durement ressenties par les agriculteurs. Les travaux de SARR *et al.* (2011) indiquent une plus grande variabilité interannuelle de l'installation de l'hivernage, ce qui rend les dates de semis aléatoires pour les agriculteurs. Il en est de même pour la fin des pluies, qui est incertaine et pèse régulièrement sur la possibilité pour les cultures de terminer leur cycle.

Dans ce contexte donc de changement climatique, quelle sera l'influence de la fertilité du sol sur la productivité de l'eau de pluie ? Ce texte analyse la corrélation entre le niveau de fertilité du sol et la productivité de l'eau de pluie pour la culture du maïs.

Matériel et méthodes

Zone d'étude

L'étude a été conduite dans la région des Hauts-Bassins (11° 15' N et 4° 30' W) au Burkina Faso. Cette région a une superficie de 25 606 km² avec une population estimée à 1 961 204 personnes en 2015 (77 personnes/km²) (INSD, 2016). La région est divisée en 3 provinces, 33 communes urbaines et rurales et 484 villages. Le climat de la région des Hauts-Bassins est du type sud-soudanien, caractérisé par une pluviosité annuelle variant entre 800 et 1 200 mm (FONTES et GUINKO, 1995). Le système de culture est basé sur la rotation coton-céréales avec le maïs comme principale céréale de la région. La majorité des sols est de type ferrugineux tropical à texture sableuse dans les horizons de surface et argileuse au-delà de 40 cm. La végétation est une savane avec des arbres, arbustes et herbes.

Méthodologie

Le dispositif était constitué de parcelles de maïs dispersées dans 10 villages de la région des Hauts-Bassins pendant 7 ans. Les données collectées étaient le rendement en grain et en tige du maïs, la quantité d'eau de pluie tombée entre avril et novembre

de chaque année et les paramètres chimiques du sol. Une diversité de variétés de maïs a été utilisée avec une dominance de la variété SR21. Les itinéraires techniques ont légèrement varié d'une parcelle à une autre. Les opérations culturales qui ont été observées sont le labour, l'application de fertilisants (organique et/ou minéraux) et 1 à 2 sarclages.

Les rendements en grain et en tige du maïs ont été déterminés en récoltant les épis et les tiges sur des parcelles utiles de 12 m². Les rendements ont été mesurés sur 99 parcelles, soit 33 parcelles en 2010, 6 parcelles en 2015, 33 parcelles en 2016 et 27 parcelles en 2017. Les valeurs obtenues ont été extrapolées en kg/ha selon la formule :

$$\text{Rendement (kg/ha)} = P \text{ (kg)} \times \frac{10\,000 \text{ m}^2}{\text{Surface utile (m}^2\text{)}}$$

Avec P = poids du grain ou tige de la surface utile

Les quantités d'eau de pluie ont été enregistrées avec des pluviomètres à lecture directe qui ont été installés sur chaque site. Le nombre de pluviomètres variait de 1 à 6 selon le nombre et la dispersion des parcelles dans un village. Les quantités d'eau de pluie ont été collectées durant les mêmes années de mesure des rendements du maïs.

À partir des données de rendement du maïs et de pluie, l'index de récolte (HI) et la productivité de l'eau de pluie (WP) ont été calculés. L'index de récolte a été calculé selon la formule utilisée par OUATTARA *et al.* (2017) :

$$HI = \frac{\text{Rendement en grain}}{\text{Rendement (grain + tige)}}$$

La productivité de l'eau de pluie a aussi été calculée selon la formule utilisée par OUATTARA *et al.* (2017) :

$$WP \text{ (kg/ha/mm)} = \frac{\text{Rendement en grain (kg/ha)}}{\text{Pluie (mm)}}$$

Pour les analyses de sol, les échantillons ont été prélevés sur l'horizon 0-10 cm en 2010 (33 parcelles) et en 2016 (6 parcelles) et sur l'horizon 0-20 cm en 2015 (6 parcelles), en 2016 (27 parcelles) et en 2017 (27 parcelles). Les paramètres chimiques déterminés étaient le pH_{eau}, le carbone total et le phosphore assimilable pour les échantillons de sol collectés sur 0-10 cm de profondeur. En plus de ces paramètres, l'azote total et le potassium disponible ont été déterminés pour les échantillons de sol collectés sur 0-20 cm de profondeur. Les analyses ont été réalisées au laboratoire du Département « Gestion des Ressources Naturelles et Système de Production (GRN-SP) » de l'INERA à Farako-Ba (Bobo-Dioulasso). Le pH_{eau} du sol a été déterminé selon le ratio 1/2.5 à travers une suspension du sol dans l'eau distillée (AFNOR, 1981). Le carbone total a été déterminé selon la procédure de Walkley et Black (1934). L'azote total a été déterminé par la méthode de digestion de Kjeldahl, le phosphore assimilable a été déterminé par la méthode d'extraction de Bray I (BRAY et KURTZ, 1945). Le potassium disponible a été dosé en utilisant le photomètre à flamme après minéralisation du sol selon la méthode de WALINGA *et al.* (1989).

Analyse statistique

Les données collectées ont été soumises à une analyse en composantes principales (ACP) à l'aide du logiciel XLstat, version 2018.5. Les caractéristiques chimiques du sol, la productivité de l'eau de pluie et l'indice de récolte du maïs ont été utilisés comme variables actives. Le rendement du maïs et les précipitations ont été utilisés comme variables passives, car ils ont été utilisés pour calculer le WP et le HI.

Résultats

Analyse de la corrélation entre productivité de l'eau de pluie, indice de récolte et caractéristiques chimiques du sol (0-10 cm)

Les valeurs moyennes des paramètres du sol sont respectivement de 5,80, 0,79 % et 5,81 mg/kg pour le pH, la teneur en carbone et la teneur en P disponible (tabl. 1). Les échantillons de sols sont prélevés sur 0-10 cm de profondeur. La productivité moyenne de l'eau de pluie (WP) est de 2,14 kg/ha/mm et l'indice de récolte (HI) moyen du maïs est 0,46. Les rendements en maïs sont de 1 993,22 et 2 279,69 kg/ha pour les grains et la paille respectivement. Les précipitations ont été de 959,73 mm.

Le test de Bartlett montre que la corrélation est significative avec une valeur p inférieure à 0,0001 (tabl. 2). La figure 1 montre que le plan factoriel constitué des axes

Tableau 1.
Statistiques descriptives des caractéristiques chimiques du sol prélevé sur 0-10 cm, rendements du maïs et hauteur d'eau de pluie (39 observations).

Variables	Minimum	Maximum	Moyenne	SD
Ph	4,61	6,64	5,80	0,54
C (%)	0,32	1,62	0,79	0,36
Pass (mg/kg)	0,25	16,83	5,81	4,50
WP (kg/ha/mm)	0,71	4,58	2,14	1,01
HI	0,23	0,62	0,46	0,09
Rendement Grain (kg/ha)	624,33	3 858,96	1 993,22	854,30
Rendement Tige (kg/ha)	1 199,40	3 848,21	2 279,69	703,52
Hauteur d'eau de pluie (mm)	749,00	1 273,00	959,73	167,29

pH = potentiel hydrogène, C = carbone, Pass = phosphore assimilable, WP = productivité de l'eau de pluie, HI = indice de récolte, SD = déviation standard

F1 et F2 explique 70,57 % de la variabilité totale. Les paramètres du sol qui sont significativement et positivement corrélés au WP sont la teneur en P disponible et le pH. Il n'y a pas de corrélation significative entre les paramètres du sol et le HI.

Tableau 2.
Test de spécificité de Bartlett.

Khi ² (observed value)	61,026
Khi ² (critical value)	3,940
DDL	10
p-value	< 0,0001
alpha	0,95

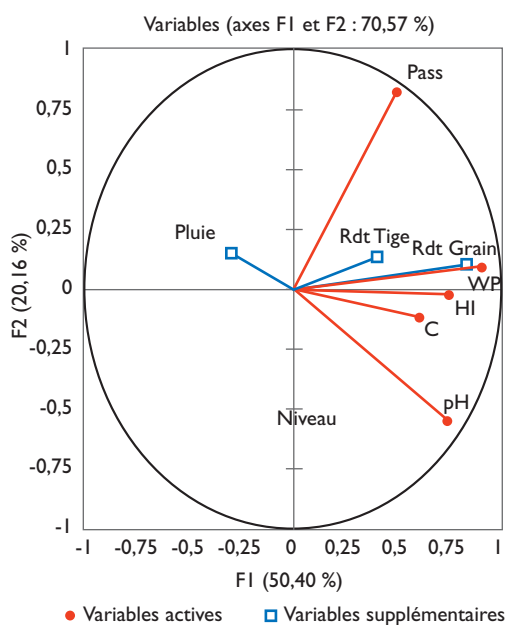


Figure 1.

Projection des variables sur un plan constitué par les 2 premiers facteurs (F1 et F2).

pH = potentiel hydrogène, C = carbone, Pass = phosphore assimilable,
WP = productivité de l'eau de pluie, HI = indice de récolte, Rdt = rendement

Analyse de la corrélation entre productivité de l'eau de pluie, indice de récolte et caractéristiques chimiques du sol (0-20 cm)

Le tableau 3 présente les statistiques descriptives des caractéristiques chimiques du sol, échantillonné sur 0-20 cm de profondeur, du rendement du maïs, de la hauteur d'eau de pluie, de la productivité de l'eau de pluie et de l'indice de récolte du maïs.

Nous observons que le pH moyen est de 5,91, la teneur en carbone de 0,35 %, la teneur en azote de 0,03 %, la teneur en P disponible de 2,86 mg/kg et la teneur en K échangeable de 33,48 mg/kg. Les valeurs moyennes de la productivité de l'eau de pluie (WP) et de l'indice de récolte (HI) sont respectivement de 0,66 kg/ha/mm et de 0,27. Les données sur le rendement du maïs montrent que le rendement en grains est de 612,95 kg/ha et le rendement en paille de 1 575,47 kg/ha. La hauteur moyenne d'eau de pluie est de 963,88 mm.

Le tableau 4 montre une corrélation significative entre les variables avec une valeur $p < 0,0001$. Le premier plan factoriel explique 77,26 % de la variabilité totale (fig. 2). La teneur en carbone, la teneur en azote et la teneur en P disponibles sont significativement et positivement corrélées au WP et au rendement en grain. Le K échangeable et le pH ne sont pas significativement corrélés au WP. La corrélation entre l'HI et les paramètres du sol n'était pas significative.

Tableau 3.
Statistiques descriptives des caractéristiques chimiques du sol prélevé sur 0-20 cm, rendements du maïs et hauteur d'eau de pluie (60 observations).

Variables	Minimum	Maximum	Moyenne	SD
Ph	4,40	6,49	5,91	0,31
C (%)	0,22	0,56	0,35	0,08
N (%)	0,02	0,05	0,03	0,01
Pass (mg/kg)	1,25	12,35	2,86	2,00
Kex (mg/kg)	15,63	79,96	33,48	12,87
WP (kg/ha/mm)	0,04	2,02	0,66	0,46
HI	0,04	0,79	0,27	0,17
Rendement Grain (kg/ha)	26,49	1 962,99	612,95	430,80
Rendement Tige (kg/ha)	232,78	4 378,35	1 575,47	823,70
Hauteur d'eau de pluie (mm)	747,90	1 190,60	963,88	212,39

pH = potentiel hydrogène, C = carbone, Pass = phosphore assimilable, WP = productivité de l'eau de pluie, HI = indice de récolte, SD = déviation standard

Tableau 4.
Test de spécificité de Bartlett.

Khi ² (observed value)	304,333
Khi ² (critical value)	11,591
DDL	21
p-value	< 0,0001
alpha	0,95

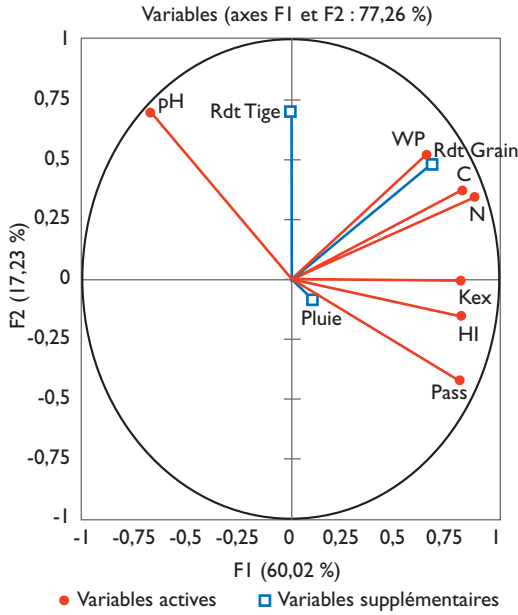


Figure 1.

Projection des variables sur un plan constitué par les 2 premiers facteurs (F1 et F2).

pH = potentiel hydrogène, C = carbone, Pass = phosphore assimilable, WP = productivité de l'eau de pluie, HI = indice de récolte, Rdt = rendement

Discussion

Les résultats montrent que les sols d'étude sont acides avec des valeurs moyennes de C de 0,35 % sur l'horizon 0-20 cm et 0,79 % sur l'horizon 0-10 cm. Cela traduit un niveau de fertilité faible de ces sols. Nos résultats sont proches de ceux obtenus par KOULIBALY *et al.* (2015) sur un lixisol dans la région de l'ouest du Burkina Faso. Ils ont obtenu des teneurs en C variant entre 3,77 et 4,92 g/kg, en N variant entre 0,35 et 0,44 g/kg, en Pass de 2,4 à 4,6 mg/kg et en Kex de 66 à 118 mg/kg avec un pH de 5,2 à 5,6. PALLO *et al.* (2008), qui ont obtenu des teneurs en MO de 0,6 % toujours dans la même région, avaient qualifié ces sols de très pauvres.

Les valeurs de WP obtenues ont été en moyenne de 0,66 kg/ha/mm pour les 60 parcelles de 2015, 2016 et 2017 et 2,14 kg/ha/mm pour les 39 parcelles de 2010 et 2016. Ces résultats sont proches de ceux de OUATTARA *et al.* (2017) qui ont obtenu dans la même région d'étude des valeurs de WP qui ont varié entre 3,28 et 4,51 kg/ha/mm à Péni et entre 3,10 et 6,61 kg/ha/mm à Houndé. Selon ces auteurs, l'amélioration de la productivité de l'eau du maïs dépend de l'approvisionnement en eau, de la gestion de la fertilité des sols et du potentiel de la variété utilisée. Dans notre cas, il y avait une diversité de qualités de sol, de variétés de maïs et de pratiques culturales qui pourrait expliquer les écarts importants entre les valeurs minimales et

les valeurs maximales. OIGANJI *et al.* (2016) ont obtenu des valeurs de WP de 0,41 à 0,63 kg/m³ dans différentes conditions d'irrigation.

Les valeurs moyennes de HI obtenues sont de 0,46 (données de 2010 et 2016) et 0,27 (données de 2015, 2016 et 2017). Ces résultats sont similaires à ceux des travaux antérieurs (ION *et al.*, 2015 ; OIGANJI *et al.*, 2016 ; OUATTARA *et al.*, 2017). En effet, OUATTARA *et al.* (2017) ont obtenu des valeurs HI du maïs variant entre 0,36 et 0,43 (Péni) et entre 0,43 et 0,63 (Houndé) dans la région des Hauts-Bassins et avec différentes techniques de gestion de la fertilité du sol et de l'eau. Les données de ION *et al.* (2015) indiquent des HI qui ont varié entre 0,2 et 0,56. ION *et al.* (2015) attribuent cette variation à la variété de maïs, aux conditions climatiques et du sol, à la densité des plantes, aux cultures précédentes et au travail du sol. Ils mentionnent toutefois que les valeurs les plus élevées de HI du maïs sont enregistrées dans des conditions pédologiques et climatiques plus favorables que dans des conditions moins favorables.

Les résultats de corrélation montrent que dans les conditions pluviométriques de la zone d'étude, le rendement en grain du maïs n'est pas significativement corrélé à la pluviosité. Par contre, la corrélation entre la productivité de l'eau et le niveau de fertilité chimique du sol est significative et positive. Ces résultats sont en accord avec ceux de ERKOSSA *et al.* (2011), qui indiquent que dans les hautes terres d'Éthiopie, l'appauvrissement des sols est un problème prioritaire qui défie la productivité des cultures et que, par conséquent, l'amélioration de la fertilité du sol est une priorité pour accroître la productivité de l'eau des cultures par rapport aux interventions liées à l'eau. MATSUMOTO *et al.* (2013) indiquent également que les propriétés du sol influencent grandement la productivité du maïs sur les Andosols à western highland of Guatemala. On peut faire l'hypothèse donc que, pour mieux valoriser les quantités d'eau de pluie qui tombent, il faut mieux gérer la fertilité du sol. EDREIRAA *et al.* (2018) ont d'ailleurs constaté que les facteurs non liés à l'eau (c'est-à-dire les déficiences de gestion, les stress biotiques et abiotiques et leurs interactions) limitaient davantage le rendement que l'approvisionnement en eau dans différentes régions du monde. Ils concluent que leurs résultats mettent en évidence la possibilité de produire plus de nourriture avec la même quantité d'eau, à condition que des facteurs limitants autres que l'approvisionnement en eau puissent être identifiés et atténués grâce à de meilleures pratiques de gestion. Selon les analyses agroclimatiques conduites par SARR *et al.* (2011) sur la période 1979-2008 dans la zone soudanienne et soudano-sahélienne, la variabilité des paramètres clés de la saison des pluies tels que les dates de démarrage, de fin et la longueur de la saison agricole ne constituent pas des risques majeurs pour la culture du maïs au Burkina Faso.

Conclusion

Il ressort de cette étude que WP augmente lorsque la fertilité chimique du sol, notamment le C, N et Pass, augmente. Les quantités d'eau de pluie qui tombent actuellement dans la région Ouest du Burkina Faso ne sont pas le facteur limitant de

la productivité du maïs, mais plutôt les éléments nutritifs du sol qui seraient des risques majeurs pour valoriser ces quantités d'eau de pluie. Les agriculteurs peuvent donc améliorer leur résilience face aux variabilités climatiques en intervenant significativement sur la fertilité du sol pour rehausser le niveau du carbone, d'azote et de Pass. Cela va permettre un bon développement racinaire et de feuillage, et par conséquent améliorer l'absorption des nutriments, de l'eau par les plantes et leur photosynthèse. Les techniques de conservation de l'eau doivent être associées à la gestion de la fertilité pour mieux gérer l'humidité du sol et l'évaporation dans le but de réduire les stress liés aux poches de sécheresse.

Références

Association française de normalisation (AFNOR), 1981

« Détermination du pH ».
In : AFNOR, NF ISO 103 90,
Qualité des sols, Paris, France : 339-348.

BRAY R. I. I., KURTZ L. T., 1945

Determination of total organic, and available forms of phosphorus in soils.
Soil Science, 59 : 39-45.

COULIBALY K., VALL E., AUTFRAY P., NACRO H. B., SEDOGO P. M., 2012

Effets de la culture permanente coton-maïs sur l'évolution d'indicateurs de fertilité des sols de l'ouest du Burkina Faso.
Int. J. Biol. Chem. Sci., 6 (3) : 1069-1080.

COULIBALY K., KOUTOU M., DIALLO A. M., SANGARÉ M., 2017

Performances agro économiques de la micro dose d'engrais sur les cultures en zone cotonnière de l'ouest du Burkina Faso.
International Journal of innovation and Applied Studies, 20 (1) : 170 186.

Direction générale de la promotion de l'économie rurale (DGPÉR), 2010

Évolution du secteur agricole et des conditions de vie des ménages au Burkina Faso.
Rapport, Ouagadougou, Burkina Faso, 100 p.

EDREIRA J. I. R., GUILPART B. N., SADRASC V., CASSMANA K. G., ITTERSUMD M. K. V., SCHILSD R. L. M., GRASSINIA P., 2018

Water productivity of rain-fed maize and wheat: A local to global perspective.
Agricultural and Forest Meteorology, 259 : 364-373.

ERKOSSA T., AWULACHEW S. B., ASTER D., 2011

Soil fertility effect on water productivity of maize in the upper Blue Nile basin, Ethiopia.
Agric. Sci., 2 (3) : 238-247.

FAOSTAT, 2017

Maize yield of Burkina Faso Available at : www.fao.org/faostat/fr/#data/QC [Accessed 28 August 2018]

FONTES J., GUINKO S., 1995

Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso.
In Ministère de la coopération française : *Notice explicative*, Toulouse, France, 67 p.

INSD (Institut national de la statistique et de la démographie), 2016

Annuaire statistique 2015 de la région des Hauts-Bassins.
Rapport, Ouagadougou, Burkina Faso, 233 p.

ION V., DICU G., DUMBRAV M., TEMOCICO G., ALECU I. N., B A A. G., STATE D., 2015

Harvest index at maize in different growing conditions.
Rom. Biotechnol. Lett., 20 (6) : 1-10.

KOULIBALY B., DAKUO D., OUATTARA A., TRAORÉ O., LOMPO F., ZOMBRÉ P. N., YAO-KOUMÉ A., 2015

Effets de l'association du compost et de la fumure minérale sur la productivité d'un système de culture à base de cotonnier et de maïs au Burkina Faso.
Tropicicultura, 33 (2) : 125-134.

MATSUMOTO T., CIFUENTES O., MASUNAGA T., 2013

Characterization of soil properties in relation to maize productivity in Andosols of the western highland of Guatemala. *Soil Science and Plant Nutrition*, 59 (2) : 195-207.

DOI: 10.1080/00380768.2012.760430

Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques (MAHRH), 2011

Résultats définitifs de la Campagne Agricole 2009/2010.

Rapport, Ouagadougou (Burkina Faso), 96 p.

OIGANJI E., IGBADUN H. E., MUDIARE O. J., OYEBODE M. A., 2016

Water Productivity of a Maize Crop under Deficit Irrigation Scheduling Using Gravity Drip System. *Production Agriculture Technology*, 12 (1) : 161-172.

OUATTARA K., SERMÉ I., BONGOUNGOU S., ZOMBRÉ P., 2017

Soil and water conservation, and soil fertility management effects on rain water productivity of maize hybrid in Burkina Faso. *Afr. J. Agric. Res.*, 12 (12) : 1014-1021.

PALLO F. J. P., SAWADOGO N., SAWADOGO L., SÉDOGO M. P., ASSA A., 2008

Statut de la matière organique des sols de la zone sud-soudanienne au Burkina Faso. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 12 (3) : 291-301.

PIÉRI C., 1989

Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au Sud Sahara. Ministère de la coopération, Paris, France, 444 p.

ROUDIER P., SULTAN B., QUIRION P., BERG A., 2011

The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say? *Global Environmental Change*, 21 (3) : 1073-1083.

SARR B., KAFANDO L., ATTA S., 2011

Identification des risques climatiques de la culture du maïs au Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5 (4) : 1659-1675.

SULTAN B., ROUDIER P., QUIRION P., ALHASSANE A., MULLER B., DINGKUHN M., CIAIS P., GUIMBERTEAU M., TRAORE S., BARON C., 2013

Assessing climate change impacts on sorghum and millet yields in the Sudanian and Sahelian savannas of West Africa. *Environmental Research Letters*, 8 (1) : 014-040.

TOURÉ H. A., SERMÉ I., TRAORÉ K., KYEI-BAFFOUR N., 2018

Assessment of the changes in the yields of millet crop under different scenarios of climate change using DSSAT model. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 12 (1) : 363-380.

WALINGA I., VAN VARK W., HOUBA V. J. G., VAN DER LEE J. J., 1989

« Plant analysis procedures ». *In: Syllabus, Part 7*, Dpt. Soil Sc. Plant Nutr., Wageningen Agricultural University : 197-200.

WALKLEY A., BLACK I. A., 1934

An examination method of the detjareff and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science*, 37 : 29-38.

Diagnostic rizicole des bas-fonds face aux risques climatiques

Les effets des aléas d'inondation (Lofing-Bankandi, Dano, Burkina Faso)

*Georges SERPANTIÉ, Augustine DORÉE,
Manaka DOUANIO, Fabrice SOMÉ, Séverin HIEN,
Aymar Y. BOSSA, Jean-Louis FUSILLIER, Bruno LIDON,
Abdraime SAWADOGO, Nab DABIRÉ*

Introduction

Au Burkina Faso, pays sahélien vulnérable aux risques climatiques, les bas-fonds humides des zones soudano-sahéliennes ont joué un rôle agricole croissant à partir des sécheresses de 1970-1990 selon une fonction anti-risque (SERPANTIÉ et ZOMBRE, 1994). Du fait de cette propriété anti-aléatoire, l'aménagement des terres de bas-fonds pour la culture du riz a été promu dans une forme intermédiaire à l'irrigation (JAMIN et WINDMEIJER, 1995; DRABO, 2004). Cette « mise en valeur des bas-fonds » se déplace aujourd'hui vers les zones plus humides en présence d'une demande urbaine en riz croissante et avec l'augmentation des prix en 2008 sur le marché mondial.

Ailleurs en Afrique de l'Ouest, la riziculture s'est aussi développée dans les bas-fonds, parfois très anciennement, mais les pratiques le plus souvent observées visent plus à minimiser les risques écoclimatiques qu'à maximiser la production (MANZELLI et al., 2015). Peut-on encore concilier ces deux objectifs alors que les aléas liés au changement climatique semblent s'aggraver (BROWN ET CRAWFORD, 2018) ?

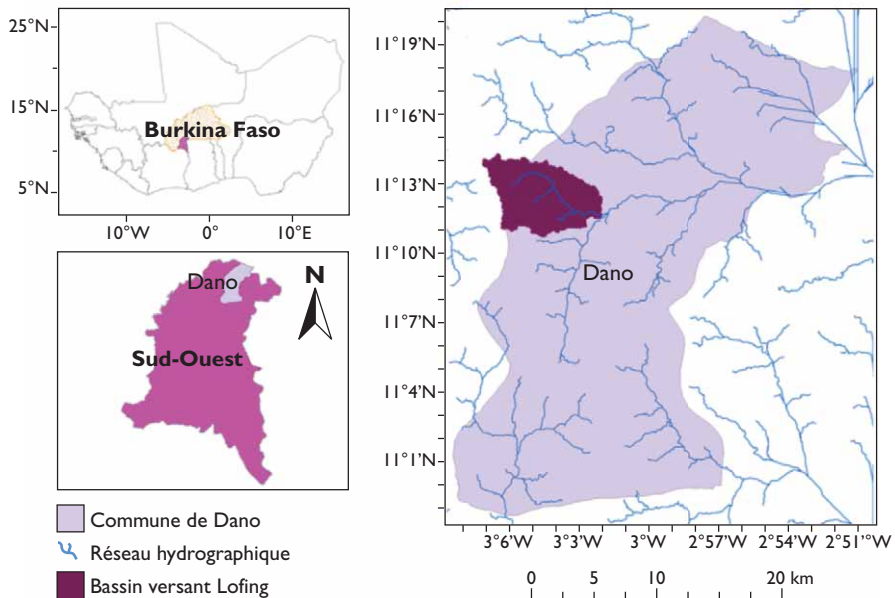
L'enjeu pour une recherche d'accompagnement de l'adaptation est double : 1) accroître les productions de riz de bas-fond (surfaces, rendements) sans réduire la fonction « anti-risque » de ces derniers, ni ajouter de nouveaux risques environnementaux ou sociaux ; 2) adapter aménagements et pratiques aux nouveaux aléas.

Les questions scientifiques à traiter portent donc sur la caractérisation des aléas (anciens comme nouveaux) auxquels doivent faire face les riziculteurs de bas-fond, sur les effets de ces aléas et sur le niveau d'adaptation des pratiques des riziculteurs à ces aléas, en milieu « aménagé » comme « non aménagé ».

Matériel et méthodes

Zone d'étude

Le sud-ouest du Burkina Faso sous climat sud-soudanien, qui focalise ces politiques d'aménagement de bas-fonds et de soutien aux filières riz, a été sélectionné comme cadre géographique. La province du Ioba a été retenue pour son abondance en terres de bas-fonds et en raison de l'implantation récente de projets d'aménagements innovants.



La commune de Dano (fig. 1), chef-lieu de la province, est un territoire rural. Cette région de langue dagara, de population dense, est restée en marge de la dynamique cotonnière. Les bas-fonds y sont depuis longtemps cultivés pour le riz à plat et le maïs sur buttes puis des projets ont introduit des aménagements pour le riz (PRADEAU, 1970 ; PALÉ *et al.*, 2016). Deux types d'aménagements principaux s'y observent, ceux basés sur la rétention d'eau au moyen de digues en courbe de niveau (« DCN ») et ceux basés au contraire sur le drainage au moyen de digues de partition et canaux parallèles (casiers+arroseurs/drains « CAD »). Ces derniers sont conçus pour parer à deux aléas contraires, l'inondation (par la fonction de drainage des canaux) et la sécheresse (par l'irrigation possible à partir des canaux de drainage). En attendant de pouvoir modéliser des cultures de riz dans le contexte naturel et humain complexe des bas-fonds, le choix de Generia a été de recourir à l'analyse empirique de systèmes rizicoles *in situ*.

Méthodes

Les séries climatologiques longues (stations synoptiques de Boromo et Gaoua) sont analysées par fréquence cumulée et par bilan climatique. Des instruments et jaugeages hydrologiques suivent la pluie, les débits des écoulements, les inondations et la nappe dans trois bas-fonds. Dans chacun, une dizaine de piézomètres ont été relevés quotidiennement en 2017, année à pluviométrie médiane et 2018, année humide de fréquence décennale, avec une mesure interne niveau de l'eau dans le tube) et externe (épaisseur de la lame d'eau).

Un diagnostic agronomique est mené sur l'ensemble du bas-fond de Lofing-Bankandi, limité à Lofing en 2017. Un réseau de 26 parcelles de riz a été suivi en campagne 2017 (DORÉE, 2017) et 54 en 2018 (SAWADOGO, 2018).

Le choix des parcelles répond à un échantillonnage stratifié (aménagé/non aménagé, irrigable/non irrigable, semé/repiqué, semis précoces/semis tardifs, femmes/hommes) avec tirage aléatoire. Chacune fait l'objet d'enquêtes et d'observations sur les pratiques, les coûts et les états cultureux physiques et biologiques à 5 dates. Le rendement est mesuré dans toutes ses composantes par échantillonnage des peuplements à maturité (1 à 5 placettes de 3 lignes de 3 m selon la taille de parcelle). L'analyse sépare les composantes précoces déterminées en phase végétative et celles fixées en phase reproductive.

Aléas et contraintes de la riziculture de bas-fond

Aléas climatiques

Le climat sud-soudanien de Boromo (station synoptique la plus proche de Dano) reçoit depuis 1922 une pluviométrie médiane de 940 mm (décennales : sèche 720 mm, humide 1 090 mm). La saison pluvieuse court de mai à octobre. Il existe un aléa de pentades sans pluie supérieur à 80 % en mai et en octobre et supérieur à 50 % en juin, juillet, septembre. Mais des changements tendanciels apportent de nouveaux aléas, tous confirmés par les paysans de Lofing.

La période 1971-1990 était caractérisée par de nombreuses sécheresses dont plusieurs se succédaient, et par l'absence d'années excédentaires (fig. 2). Le climat s'est stabilisé depuis. Le risque de sécheresses reste maintenu mais s'est atténué à 1 an sur 3. Elles ont perdu ce caractère double qui les rendait particulièrement dommageables. En revanche le risque d'excédents est revenu (1 an sur 3), ce qui concerne particulièrement les bas-fonds qui les collectent, et particulièrement la décennie actuelle où 3 années ont atteint la pluie décennale (2012, 2016 et 2018).

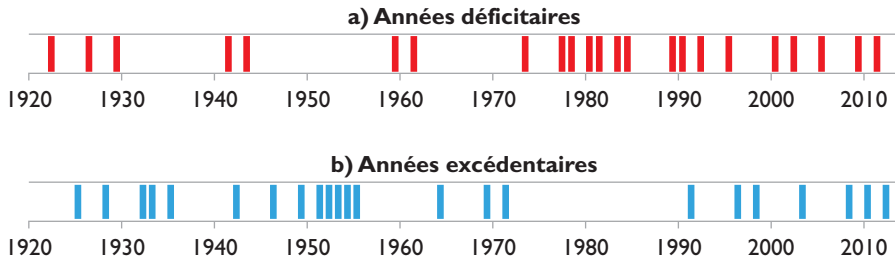


Figure 2.
Distribution des aléas annuels (Boromo).
a : années déficitaires (quartile inférieur $P < 828$ mm) ;
b : années excédentaires (quartile supérieur $P > 1\,032$ mm).
Source : Generia.

La saison pré-humide (mai-juin) est la période d'aléa sécheresse principale et pourtant c'est aussi la période stratégique de « mise en place des enjeux ». Le piochage des sols argileux demande des pluies suffisantes pour la réhumectation des terres argileuses desséchées (mai). Les périodes les plus favorables aux semis sont celles dont la pluie est supérieure à ETP/2 (évaporation du sol nu) pour la recharge du sol en eau (juin).

Les aléas de cette saison stratégique ont significativement augmenté. La distribution statistique des pluies décennales a changé significativement depuis la sécheresse 1971-1990 (test KOLMOGOROV-SMIRNOV, au risque 5 %). La fréquence de décades très sèches ($P < ETP/4$) a presque doublé (25 à 40 %), conférant une difficulté croissante de piochage, réalisé sous une chaleur croissante, et les semis sont retardés (fig. 3 a). En cas de semis tardifs, les travaux d'installation et d'entretien deviennent concurrents.

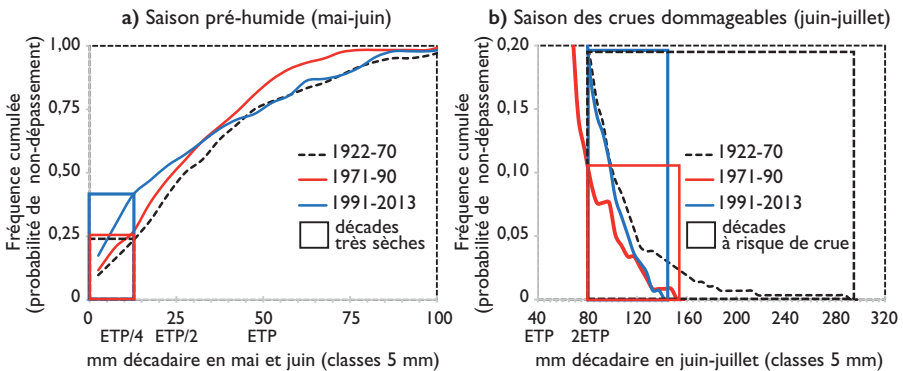


Figure 3.
Analyse fréquentielle des pluies décennales en début de saison.
a : aléa de décades très sèches ;
b : aléa de décades pluvieuses à risques de crues.
Source : Generia.

Un autre aléa existe en juin-juillet, celui de crues dommageables aux cultures à un stade vulnérable. Les plus précoces retardent les opérations rizicoles et abîment les sols labourés, les jeunes cultures et aménagements. Les suivantes submergent les jeunes plants. Le risque de pluies de plus de 100 mm/j, générateur de fortes crues, inexistant entre 1971 et 1990, est réapparu. Les crues dépendent aussi des intensités de pluie et du cumul antérieur de pluie. La figure 4, établie à partir d'un suivi hydrologique de 2 ans, montre qu'en juin-juillet l'aléa « crue » est nul en dessous de 80 mm de cumul décadaire, mais monte à 37 % au-dessus de ce seuil, et 66 % au-dessus de 100 mm. Un simple cumul décadaire, calculé à partir de séries journalières, représente donc un indicateur de l'aléa de crue au-dessus de 80 mm. La fig. 3 b montre un doublement des décades dépassant 80 mm de pluie (10 % à 20 %), donc un doublement de l'aléa de crues précoces depuis 1990.

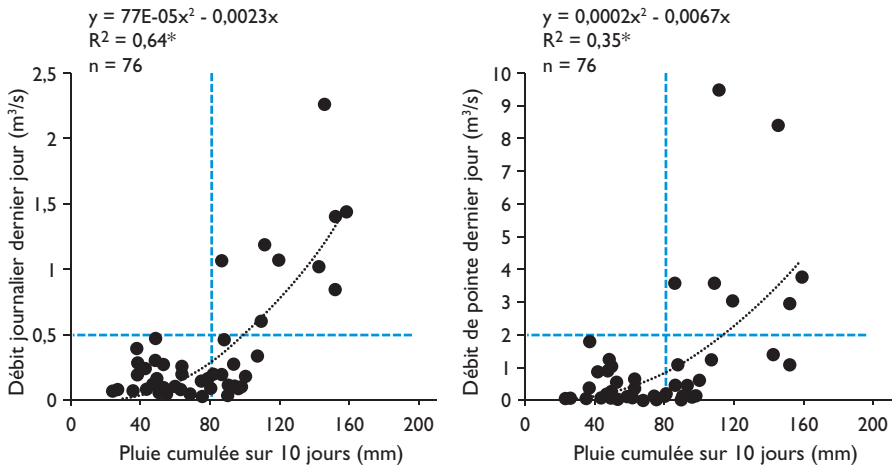


Figure 4.

Débites moyens et débits de pointe en fonction de la pluie cumulée (juin-juillet 2017-2018).

Les pointillés indiquent les seuils de débits jugés à risque et le seuil de pluie cumulée correspondant.

Source : Generia.

Ainsi, les fréquences des deux extrêmes, décades très sèches et décades très pluvieuses, ont doublé en début de saison, témoignant d'un climat de début de saison doublement plus contraignant pour la riziculture en bas-fonds.

Au plan thermo-radiatif, la température s'est accrue de près de +2 °C en 50 ans pendant les mois secs et chauds, et de +1 °C en saison humide. La période froide est devenue en revanche plus fraîche (-1 °C). En août, la température augmente significativement (0,8 ° en 30 ans) et l'insolation diminue significativement (tabl. 1). Une telle évolution est défavorable au riz intensif : elle tend à réduire le taux de nouaison du riz, réduisant le rendement potentiel selon YOSHIDA et PARAO (1976).

Tableau 1.
 Changements thermo-radiatifs à Dano en août
 (moyennes des données des stations synoptiques Boromo et Gaoua encadrant Dano).

Sources : Generia et Météorologie nationale.

	Température moyenne journalière (°C) (hausse)	Radiation solaire moyenne journalière (MJ/m ² /j) (baisse)
Année 1970	25,7 a	18,9 b
Année 1980-90	26,2 b	18,7 b
Année 2000-2010	26,5 c	18,2 a

Les lettres différentes indiquent une différence significative entre moyennes pour un risque de 5 %.

Contraintes des bas-fonds

Les sols hydromorphes des bas-fonds, bien qu'hétérogènes, sont les plus fertiles des terroirs : composés le plus souvent de plus de 50 % d'argile 2/1, riches en limons, ils ont une bonne activité de fissuration et de rétention d'eau, une bonne capacité d'échange, un pH peu acide, et restent filtrants (DORÉE, 2017 ; YAMÉOGO, 2017). Le taux de matière organique, issue des anciens milieux forestiers et prairies humides est encore élevé mais déclinant du fait d'un bilan organique déficitaire. Ces sols à fortes potentialités ont aussi des contraintes : sol gonflant conduisant à un enracinement peu développé ; fugacité de la disponibilité des nitrates (YAMÉOGO, 2017) ; difficulté à travailler en conditions mouillées, très collantes. Les digues constituées de ce matériau gonflant sont fragiles, surtout si elles ont été damées en sec et colonisées par des termites.

L'avantage de l'humidité s'accompagne de multiples contraintes liées à l'eau. La toxicité ferreuse du sol liée à des conditions asphyxiantes réductrices est perceptible par endroits (eaux rougeâtres, symptômes foliaires).

Le régime variable et aléatoire dépend à la fois des eaux de surface et de la nappe (LIDON, 2017).

En premier lieu, les crues (fig. 5 a) sont néfastes pour les sols travaillés, jeunes cultures et aménagements lorsque la végétation n'est pas encore en état de stabiliser les sols et les digues, et compte tenu de la sensibilité des variétés modernes de riz à la submersion. Sur 14 parcelles enquêtées en 2016, 15 % ont été détruites par les crues et 8 % endommagées par des ravageurs. Les crues produisent une inondation limitée au centre du bas-fond en règle générale mais des crues de fréquence moyenne bi-annuelle (une fois en 2017 et quatre fois en 2018, illustrant la forte variabilité interannuelle de ces aléas) l'inondent sur toute sa largeur (environ 200 m) et sur une épaisseur allant jusqu'à 50 cm. Les crues parvenant à submerger le riz en période végétative sont particulièrement néfastes car elles salissent les feuilles et bloquent le tallage (fig. 5 b). Il s'en est produit deux en 2018 et aucune en 2017.

Des inondations durables nuisent au maïs des buttes et gênent l'entretien. La rémanence de l'inondation varie. Un casier rizicole ceint de diguettes se voit inondé un jour ou deux après chaque grosse pluie dès le mois de juin. Au centre du bas-fond, des inondations d'environ une semaine n'ont pas eu lieu en 2017 mais se sont produites à 6 reprises en 2018 (fig. 5 b).

La nappe à faible profondeur de juin à décembre maintient une possibilité d'alimentation en eau des plantes en l'absence de pluies, par capillarité puis *via* l'exhaure à partir de puisards. Mais la dynamique de la nappe est très variable d'une année sur l'autre sur plusieurs paramètres : date de remontée de la nappe, niveau moyen, périodes de saturation, pression interne, vitesse de descente (fig. 5 b). Il existe des poches sèches (début sept. 2017) qui voient la nappe redescendre rapidement, alors que le riz à faible enracinement est sensible en période de floraison. Il existe aussi en 2018 une longue période tardive de saturation en eau avec pression interne de la nappe élevée, indépendamment des inondations de crue (pic de la nappe décalé au 1^{er} octobre, fig. 5 b), qui augmente les conditions d'asphyxie.

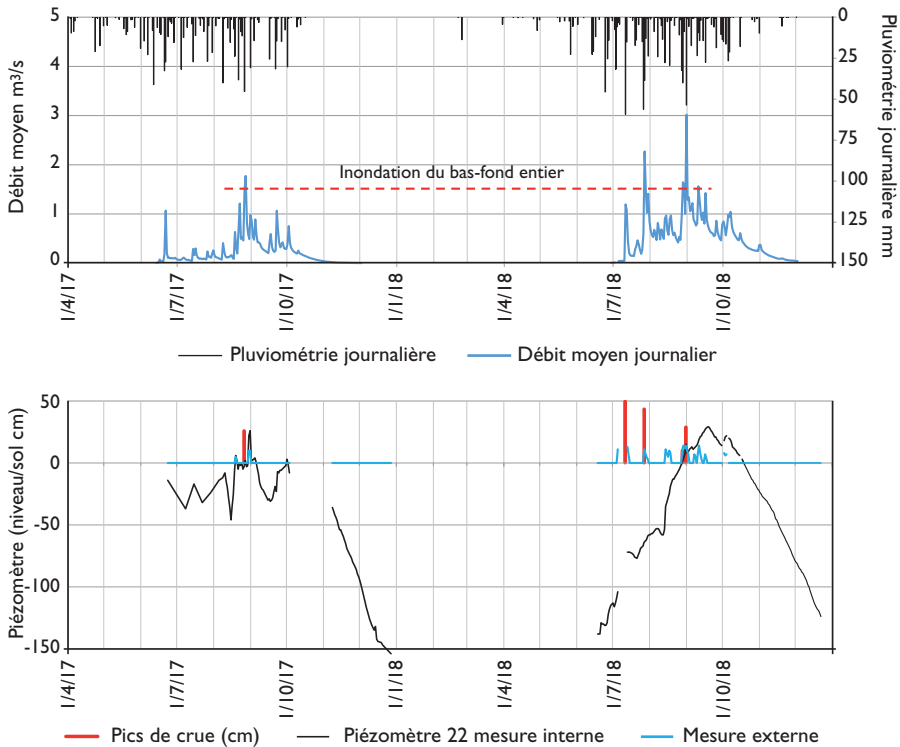


Figure 5.

a (haut) : pluviométrie, hydrométrie ;

b (bas) : piézométrie d'une section « non aménagée »

(mesure externe = lame d'eau de surface ; mesure interne = pression de la nappe).

Source : Generia.

Facteurs climatiques du rendement

Les composantes du rendement 2017 (sécheresses en septembre) et 2018 (excès d'eau) sur les parcelles sont analysées globalement.

Variabilité et effet année

Le tableau 2 montre la médiocrité des rendements parcellaires moyens en riz de bas-fond (2t/ha sur deux ans) mais aussi leur grande variabilité (de 0,4 à 6 t/ha, CV = 63 %), exprimant des tensions entre un potentiel élevé et des contraintes sévères, et une variété de pratiques, entre des systèmes techniques intensifs et extensifs. (DORÉE, 2017).

Tableau 2.
Composantes du rendement « riz de bas-fonds » deux années de suite
(l'effet année est significatif S si p-value <0,05 (test T)).

	Moyenne	CV %	2017	2018	p-values
Composantes					
Rendements à 14 %H ₂ O (t/ha)	2,0	63	2,6	1,7	0,00 S
Précoces					
Rendement MS paille (t/ha)	2,5	60	3,9	1,8	0,00 S
Panicules utiles /m ²	107	37	128	97	0,00 S
Taux de touffes vides %	6,6	85	3,1	8,4	0,00 S
N grains/panicule	78	35	92,7	71,5	0,00 S
Tardives					
Poids de 1 000 grains (g)	21,8	12	19,0	23,1	0,00 S
Biovolume adventices	146	92	172	134	0,24
Poids d'une panicule utile sèche (g)	1,72	32	1,85	1,65	0,13
Taux de panicules inutiles %	10,4	68	10,5	10,3	0,92
Taux de grains vides (%)	8,1	153	24,3	0,3	0,00 S
N parcelles		80		26	54

L'importance de l'effet année sur le rendement (- 34 % en 2018) est frappante, illustrant la forte exposition de cette riziculture de bas-fond aux aléas hydrologiques d'excès d'eau (tabl. 2). Les composantes déterminées précocement se sont dégradées en 2018, mais les composantes tardives se sont améliorées, du fait de la sécheresse 2017 en septembre. Les sécheresses de septembre 2017 ont donc eu moins d'incidence sur le rendement que les inondations et crues de 2018.

Effets des inondations 2018

La partie aval de l'aménagement de Bankandi, construit en digues en courbe de niveau (DCN), avait été quasi abandonnée de longue date suite à des inondations récurrentes même en année normale comme 2017 (YIRA et al., 2019).

Des crues et inondations ont marqué les phases végétatives et pré-florale de juillet 2018 (fig. 5 a et 5 b), comme le montre la courbe enveloppe décroissante sur tous les diagrammes « composantes précoces vs durées d'inondation », telle que la biomasse végétative (fig. 6). Les inondations ont donc introduit des facteurs limitants.

Comme le riz est une des cultures les plus tolérantes à une inondation modérée, d'autres effets indirects doivent être recherchés. La perte des nitrates par lixiviation, l'entraînement superficiel des engrais par les crues et l'urée soluble plusieurs jours avant d'être retenue dans la CEC sous la forme ammonium (ANGLADETTE, 1966) rendent l'azote disponible vite déficitaire (YAMÉOGO, 2017). Une végétation jaunâtre indique une alimentation azotée déficitaire. Le taux de parcelles jaunâtres est déjà de 1/3 pour moins de 10 jours d'inondation, et atteint 2/3 au-delà de 30 jours d'inondation (fig. 6). La dynamique de l'azote est donc en partie en cause.

Mais les végétations les plus vertes, bien alimentées en azote, ont eu aussi de meilleures croissances sous faible inondation. Il faut donc invoquer un second processus, comme des dommages aux plants submergés en cas de crues (salissement des feuilles, asphyxies temporaires, déchaussements).

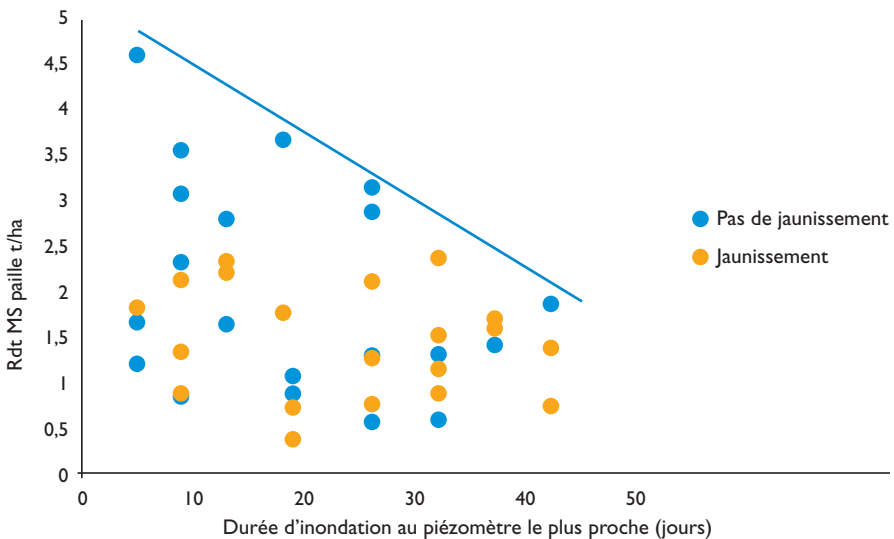


Figure 6.
Biomasse végétative maximum limitée par l'alimentation azotée
et la durée d'inondation en 2018.

Source : Generia.

Effet des aménagements

Puisque la durée d'inondation (corrélée à la hauteur de submersion) paraît déterminer le potentiel, des aménagements renforçateurs de drainage pourraient réduire l'aléa d'inondation.

Les inondations de 2016 ont cependant fortement perturbé la mise en place du riz sur le périmètre CAD de Lofing, dont les canaux ont été surcreusés début 2017 pour pallier cet inconvénient (DORÉE, 2017). Mais ce surcreusage avait aussi entraîné des difficultés de mobilisation de l'eau des canaux pendant la phase sèche de septembre 2017. Mais des inondations ont eu lieu à nouveau en 2018.

Suite aux demandes de la population de Bankandi, la fondation Dreyer a organisé en mai 2018 le creusement de canaux de drainage sur le bas-fond chroniquement engorgé, transformant l'aménagement DCN en système CAD. Malgré une année 2018 très pluvieuse (décennale humide propice à l'inondation), la quasi-totalité du bas-fond a pu être emblavée et récoltée, le drainage a donc atteint en partie ses buts. L'impact des 2 aménagements CAD sur la durée d'inondation par rapport aux zones non aménagées du quartier Zangoli est très net (fig. 7).

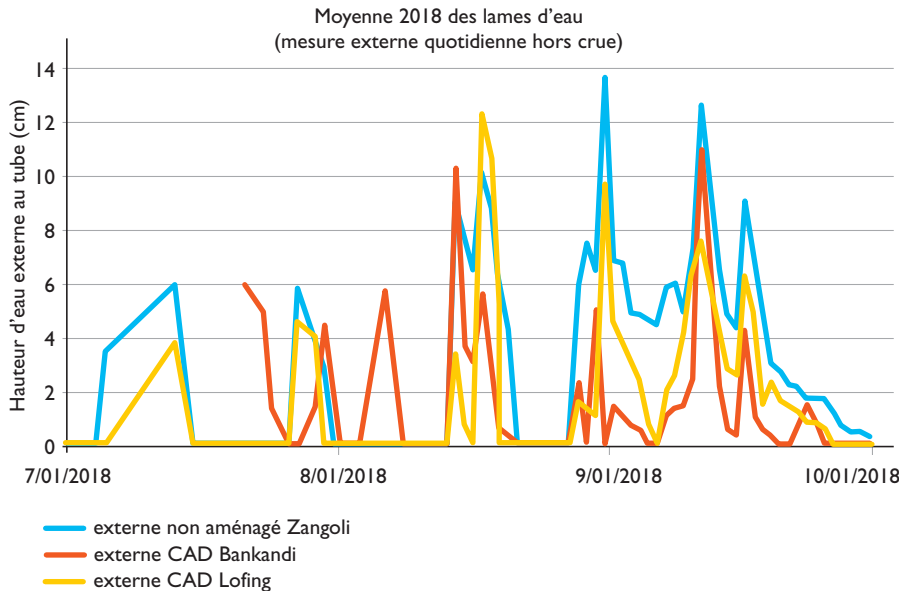


Figure 7.
Effet des aménagements CAD sur la durée
et la hauteur moyenne des inondations de 2018
(mesure externe sur les piézomètres en l'absence de crue).

Source : Generia.

En revanche, l'aménagement CAD n'agit pas significativement sur la durée de saturation du profil, la nappe de bas-fond étant liée à un système souterrain qui dépasse l'étendue de l'aménagement (convergence des nappes de pentes) (fig. 8). L'effet apparent à Bankandi de remontée plus précoce et plus haute, alors que son bassin est le plus petit, est lié vraisemblablement à sa forme en entonnoir.

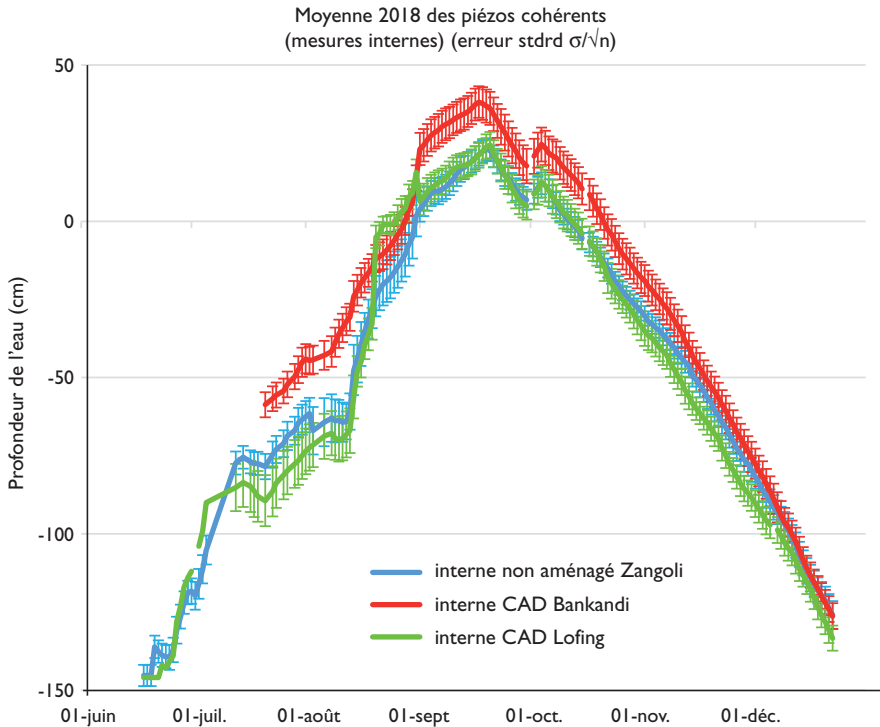


Figure 8.

Dynamique de la nappe en 2018 par mesure de hauteur piézométrique interne. Les valeurs positives correspondent à la surpression de la nappe dans le sous-sol argileux.

Source : Generia.

Discussion et conclusion

D'autres points du diagnostic Generia indiquent bien d'autres contraintes que l'aléa d'inondation/submersion à lever ou auxquelles s'adapter dans les rizières de bas-fonds : importance d'un piochage et d'un semis précoces, rôle majeur des mauvaises herbes mal contrôlées, tant en début de cycle qu'en fin de cycle. Les densités de plantation sont trop faibles avec trop peu de démariage. Absence de fumure organique et mauvais timings de la fertilisation de couverture (souvent trop tard), usage abusif d'herbicides, monoculture, irrigation insuffisante pendant les poches sèches tardives. Ces systèmes de culture et itinéraires techniques souvent défectueux révèlent d'abord que les ressources (en fumier, en travail, en temps) ne sont pas dédiées en priorité au riz, à la fois risqué, contraignant et de faible enjeu (petites parcelles, prix non incitatif).

La faible production rizicole dans les bas-fonds a donc des origines multiples, contraintes hydriques (excès ou déficit) mais aussi stratégies de gestion des risques et de gestion des ressources qui conduisent à investir plus de temps, de travail et

d'argent sur les grands champs de plateau. L'aménagement CAD favorable au drainage joue pourtant un rôle certain pour réduire l'aléa inondation et l'aléa érosion et encourager à l'investissement en travail et en intrants.

Cette interprétation des données 2017 et 2018 est encore partielle. En effet le principe de notre méthode d'analyse des données empiriques, à savoir la recherche de liens statistiques entre facteurs hypothétiques et résultats, n'est pas toujours suffisant pour identifier les causalités. Le diagnostic complet nécessite un raisonnement complémentaire (recherche de liens de confirmation par expérimentation, par recouplement, répétition de l'enquête).

Ces résultats valident les chantiers d'innovation lancés en 2018 lors des ateliers du programme Generia afin de réduire les risques :

- renforcer les capacités de drainage des aménagements de type DCN sur les sites à risque (grands bassins versants, faibles pentes) ;
- renforcer la solidité des ouvrages et réduire les risques érosifs associés aux types CAD ;
- rechercher des variétés supportant mieux l'aléa de submersion.

Références

ANGLADETTE A., 1966

Le Riz.

Paris, Ed Maisonneuve et Larose.

BROWN O., CRAWFORD A., 2008

Évaluation des conséquences des changements climatiques sur la sécurité en Afrique de l'Ouest.

Étude de cas nationale du Ghana et du Burkina Faso.

Lied, Canada.

DORÉE A., 2017

Gérer les nouveaux risques des bas-fonds soudaniens (Dano, Burkina Faso).

Mémoire d'ingénieur agronome, option Resad, Montpellier Supagro, IRD, Cirad, Wascal, 84 p.

DORÉE T., SEBILLOTTE M.,

MEYNARD J.-M., 1997

A diagnostic method for assessing regional variations in crop Yield.

Agricultural Systems, 54 (2) : 169-188

DRABO A., 2004

Situation de la filière riz au Burkina Faso, Observatoire national de la filière riz du Burkina Faso – Onriz

ELDIN M., MILLEVILLE P., 1989

Le risque en agriculture.

Paris, Éditions de l'Orstom, coll. ATC.

JAMIN J.-Y., WINDMEIJER P.-N. (eds). 1995

La mise en valeur durable des bas-fonds d'Afrique de l'Ouest. Premiers résultats du consortium bas-fonds, 118 p.

Atelier annuel du consortium bas-fonds WARDA.3, Bouaké, Côte d'Ivoire, 23–24 mars 1995.

LALLAU B., 2008

Les agriculteurs africains

entre vulnérabilité et résilience.

Pour une approche par les capacités

de la gestion des risques.

Revue française de socio-économie 1 (1) : 177-198.

LIDON M., 2017

Analyse des caractéristiques climatiques de Dano, (document Generia)

**MANZELLI M., FIORILLO E.,
BACCI M., TARCHIANI V., 2015**

La riziculture de bas-fond au sud du Sénégal (Moyenne Casamance) : enjeux et perspectives pour la pérennisation des actions de réhabilitation et de mise en valeur.

Cahiers Agricultures, 24 (5) : 301-312.

DOI: 10.1684/agr.2015.0772.

MILLEVILLE, P., 1987

Recherches sur les pratiques des agriculteurs. *Les Cahiers de la recherche-développement*, 16 : 3-7.

MOODY K., 1993

Weed control in wet seeded rice.

Expl agric., 29 (4) : 393-403.

**OUEDRAOGO M., DEMBELE Y.,
SOME L., 2010**

Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso.

Science et changements planétaires/Sécheresse, 21 (2) : 87-96.

PALE S., KIEMDE B. J.,

DA D. E., 2016

Pratiques traditionnelles paysannes dans les bas-fonds agricoles à Dano au Burkina Faso.

Rev. Sc. Env. Univ. Lomé, 13 : 122-136.

PRADEAU C., 1970

Kokolibou (Haute-Volta)

ou le pays Dagari à travers un terroir.

Études rurales, 37-39 : 85-112.

RAUNET M., 1985

Les bas-fonds en Afrique et à Madagascar. Géomorphologie-géochimie-pédologie-hydrologie.

Zeitschrift für geomorphologie, 52 : 25-62.

SAWADOGO A., 2018

Adaptation technique rizicole suite aux changements dans l'environnement des bas-fonds.

Mémoire de fin d'étude, CAPM/GENERIA, 91 p

SERPANTIÉ G., ZOMBRE P., 1994

Contraintes et potentialités des petits bas-fonds soudano-sahéliens vis-à-vis d'une riziculture sous aménagement d'étalement de crues.

Expérience du programme R3S à Bidi (Nord-Yatenga).

Atelier national sur la riziculture et commission du programme riz, Bobo-Dioulasso, 9-11 mai 1994.

YAMEOGO P. L., 2017

Managing seasonal soil nitrogen dynamics in inland valleys of the West African savanna zone. Ecology and Development Series, 102, Bonn, Ed. ZEF, 99 p.

YIRA Y., BOSSA Y.A., KEITA A.,

FUSILLIER J. L., SERPANTIÉ G.,

YAMÉOGO B. T., IDRISOU M., LIDON B., 2019

Failure of inland valleys development: a hydrological diagnosis of the Bankandi valley in Burkina Faso.

Modeling Earth Systems and Environment; <https://doi.org/10.1007/s40808-019-00628-5>.

YOSHIDA S., PARAO F. T., 1976

Climatic influence on yield and yield components of lowland rice in the tropics. *Climate and rice*, 20 : 471-494.

Gestion du risque à l'échelle de la parcelle en riziculture de bas-fond (Dano, Burkina Faso)

Georges SERPANTIÉ, Augustine DORÉE,
Manaka DOUANIO, Fabrice SOMÉ,
Aymar Y. BOSSA, Jean-Louis FUSILLIER,
Abdraime SAWADOGO, Nab DABIRÉ

Introduction

Les bas-fonds soudaniens représentent un espace de développement rapide de la riziculture, qui est en recherche de durabilité, sur un plan écologique, social et économique (RODENBURG *et al.*, 2013). Mais les risques élevés confinent souvent la riziculture à des pratiques de nature extensive (MANZELLI *et al.*, 2015). En tant que culture ayant une place et un rôle encore secondaires, le riz fait aussi l'objet d'une moindre priorité dans l'organisation du travail (DORÉE, 2017). Améliorer à la fois la gestion des risques dans les bas-fonds et les résultats de production appelle un diagnostic préalable des aléas et des enjeux (cf. chap. 6, cet ouvrage), mais aussi des pratiques actuelles et de leurs effets. C'est l'enjeu de ce chapitre 7.

L'agronomie des pratiques est le cadre scientifique choisi. Elle prend l'agriculture telle qu'elle se conduit comme objet de recherche et s'intéresse aux pratiques, c'est-à-dire aux manières concrètes d'agir des agriculteurs (-trices), les pratiques étant considérées comme des techniques « dimensionnées » par leur mise en œuvre (MILLEVILLE, 1987). En matière d'analyse de la gestion des risques, les agronomes étudient comment les agriculteurs perçoivent les aléas et préviennent les dommages en diversifiant ou adaptant leur portefeuille d'activités, de parcelles, d'espèces et de variétés, de systèmes de cultures (SC intensifs risqués et extensifs rustiques), en calant les cycles culturaux sur les périodes de moindre aléa ou en procédant à des actions de rattrapage (ELDIN et MILLEVILLE, 1989). La méthode du « diagnostic régional » permet aussi, sur un réseau de parcelles paysannes dont on suit le climat, la diversité de pratiques et les successions d'états culturaux plusieurs années de suite, d'identifier les facteurs qui gouvernent les résultats de production (DORÉ *et al.*, 1997).

L'objectif de ce chapitre est donc de comprendre les pratiques actuelles de gestion du risque en riziculture à l'échelle parcelle tant en « aménagé » (système casier-arroseur drain CAD) qu'en « non aménagé » (aménagements paysans), et de rendre compte de voies d'amélioration identifiées de façon participative.

Méthodes

Un « diagnostic régional » a été mené sur l'ensemble du bas-fond de Lofing-Bankandi (Dano, Ioba, Burkina Faso) en 2018, limité à Lofing en 2017. Un réseau de 26 parcelles de riz a été suivi en campagne 2017 (DORÉE, 2017) et 54 en 2018 (SAWADOGO, 2018).

Le choix des parcelles répond à un échantillonnage stratifié (aménagé/non aménagé, irrigable/non irrigable, semé/repiqué, semis précoces/semis tardifs, femmes/hommes) avec tirage aléatoire : des parcelles en cours de levée sont choisies par des parcours au sol réalisés régulièrement dans les différentes zones des bas-fonds. Chacune fait l'objet d'enquêtes et d'observations sur les pratiques, les coûts et les états culturaux physiques et biologiques à 5 dates (10 jours après semis – jas –, 40 jas, 80 jas, récolte, enquête post-récolte). Des « tours de plaines » complètent le dispositif pour connaître l'état des périmètres rizicoles à différentes dates et le cartographier, en utilisant les digues des canaux comme sentiers de visite.

La méthode d'analyse fréquentielle des conditions bioclimatiques saisonnières a été proposée par FRANQUIN (1984) à partir d'un raisonnement sur le bilan d'eau P-ETP (en période de végétation) et P-ETP/2 (en période initiale sans végétation). À Dano, les mois de mai-juin correspondent à cette période initiale appelée saison « pré-humide ».

Résultats

Plusieurs possibilités s'offrent à l'agriculteur pour parer aux aléas climatiques à l'échelle de sa parcelle : le choix variétal, le calage du cycle semis-récolte et celui des « phases sensibles » sur la période la moins risquée du « calendrier des aléas », une conduite technique destinée à ne pas exposer trop d'investissements au risque (économie d'intrants et de travail), enfin des pratiques permettant de « rattraper » un état défavorable constaté.

Calendrier des aléas climatiques

Une condition climatique nécessaire présente moins d'une année sur quatre n'est pas encore « un aléa », ni une « opportunité régulière » mais c'est un obstacle rédhibitoire.

C'est le cas de la saison sèche. Par exemple, à Dano, personne ne sèmerait quoi que ce soit en culture pluviale avant le 1^{er} mai. Au-delà de trois années sur quatre, cette condition est en revanche considérée comme relativement « sûre ». On considérera donc comme « aléatoire » une condition climatique qui autorise un travail particulier entre une année sur quatre et trois années sur quatre.

En saison pré-humide, les décades les plus favorables aux semis sont celles dont la pluie est supérieure à ETP/2 (évaporation du sol nu). L'analyse fréquentielle des pluies décadaires par la méthode des quartiles permet de définir un calendrier d'aléa (fig. 1).

La saison pré-humide (mai-juin) est la période d'aléa sécheresse principale (risque $P < ETP/2$ entre 1 an sur 4 et 3 ans sur 4) (cf. fig. 1) et pourtant, c'est aussi la période stratégique de « mise en place des enjeux », c'est-à-dire des semis.

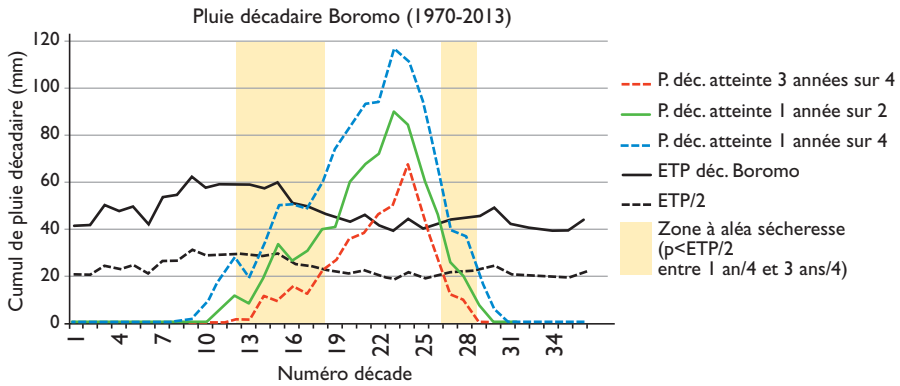


Figure 1.

Calendrier des aléas « sécheresse ». Modèle fréquentiel saisonnier des pluies de Boromo et périodes aléatoires du point de vue sécheresse, sur un pas décadaire

Source : Generia.

Les semis sont réalisés après un travail du sol par piochage qui a besoin d'un minimum d'eau, mais moins que le semis (donc environ une pluie décadaire équivalant à ETP/4). Trop d'eau devient un obstacle, la terre argileuse devenant collante. Avec la condition $P > ETP/4$, la période d'opportunité du piochage commence début avril et finit mi-juin.

Choix de la variété

La variété principale cultivée dans les bas-fonds aménagés de Lofing et Bakandi est la TS2, qui est la seule achetée par la filière riz de la Fondation Dreyer pour répondre à la préférence des consommateurs urbains pour le « riz de Bagré ». C'est une variété dite de 115 J., à cycle plus court que les autres variétés employées par les paysans dans les bas-fonds non aménagés (120 à 140 J.). Les paysans qui cultivent sur des

sites aménagés n'ont donc aucun choix sur la variété. Mais le cycle relativement court de TS2 réduit en principe le risque de mauvais remplissage de grains en cas de retard d'implantation à fin juin ou d'arrêt précoce des pluies, dont l'aléa est d'une année sur quatre (fig. 1).

Or, le délai implantation-récolte à maturité observé de la TS2 varie en réalité de 80 à 140 J. sous l'influence de facteurs climatiques et culturaux (fig. 2).

Les repiquages allongent le cycle total, mais raccourcissent la phase végétative après implantation, grâce à la phase pépinière. Les repiquages tardifs raccourcissent encore plus le cycle, probablement à cause d'un léger photopériodisme.

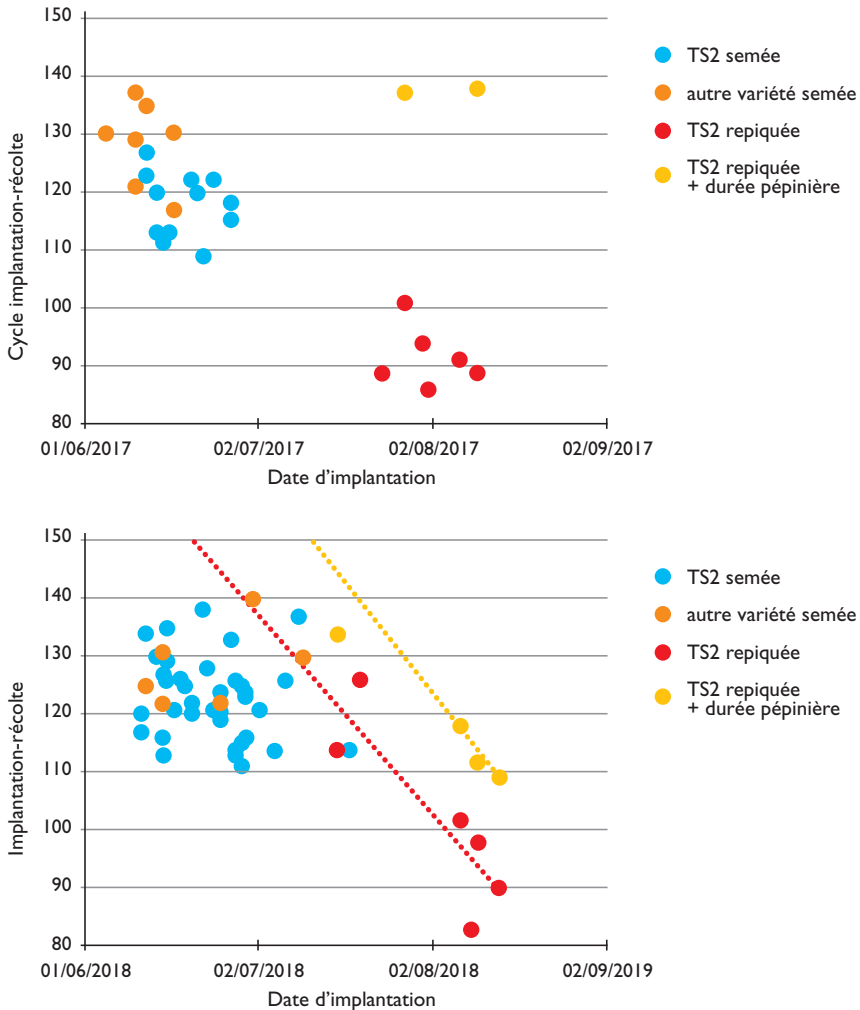


Figure 2. Durées de cycle (implantation-récolte à maturité) observées en fonction de la date et du type d'implantation (2017 et 2018).

En mode semis et implantation précoce, la variation reste encore élevée (110 à 130 J.), liée à la variabilité génétique des semences ainsi qu'au niveau de fertilisation ou de l'enherbement qui tendent à rallonger le cycle, enfin, aux « re-semis » en cas d'échec du premier semis (cas de 2018 après inondations), ce qui décalera la récolte. En 2018, il faut ajouter des pluies abondantes et un mauvais état sanitaire (attaques de cécidomyies) qui ont aussi joué sur le rallongement jusqu'à 140 J.

La variété TS2 apparaît donc globalement moins vulnérable aux sécheresses de fin de cycle que les variétés locales à cycles longs, mais elle est caractérisée par une variabilité de durée selon la saison, les pratiques culturales et les attaques, ce qui entraîne une difficulté pour un calage précis. Le repiquage apparaît comme une solution de rattrapage en raccourcissant le cycle d'un mois à condition d'avoir prévu une pépinière.

Calage du cycle en cas de semis

Le modèle de développement moyen observé à Dano de la variété TS2 est le suivant (en jours après semis, jas) : début tallage 30 jas ; initiation paniculaire 60 jas ; début montaison 75 jas ; épiaison-floraison très sensible à la sécheresse 90 jas ; maturité 120 jas.

Par rapport à ce modèle moyen et au calendrier des aléas (fig. 1), le calage optimal serait : semis mi-juin (décade 17, proche de la fin de la période aléatoire pré-humide), début tallage mi-juillet (d20), initiation paniculaire mi-août (d23), floraison mi-septembre (d26, juste avant la 2^e phase aléatoire mais après le pic de pluies d'août), maturité mi-octobre (d29, exploitant les reliquats du sol). Le semis mi-juin est effectivement la pratique la plus couramment observée (fig. 4), ce qui confirmerait le caractère optimal de cette date.

Mais il subsiste un risque résiduel élevé, du fait de la variabilité de durée de cycle confrontée à la variabilité du climat. En semant mi-juin, on prend aussi le risque de faire coïncider la floraison avec le maximum de pluies si le cycle s'avère être de 110 J. (risque de coulures d'étamines). On risque aussi de faire coïncider la phase grossissement avec des sécheresses précoces si le cycle s'avère être de 140 j.

Variabilité des pratiques et des itinéraires techniques observés

La date d'installation de la culture varie aussi avec la situation de chacun en matière de priorités, de contraintes perçues et d'organisation collective. Nous présentons ici le cas de la campagne 2017, très éclairant sur les stratégies variables d'installation du riz en année climatique peu pluvieuse.

La mise en œuvre du suivi 2017 a concerné 24 parcelles (aménagement F. Dreyer) et 12 dans le bas-fond paysan « non aménagé » du quartier Zangouli. L'essentiel est cultivé en TS2.

LA PRÉPARATION DU SOL

Le piochage manuel (en deux fois, grosses mottes puis petites mottes) commence dès les premières pluies d'avril sur les deux bas-fonds et culmine en mai. L'essentiel

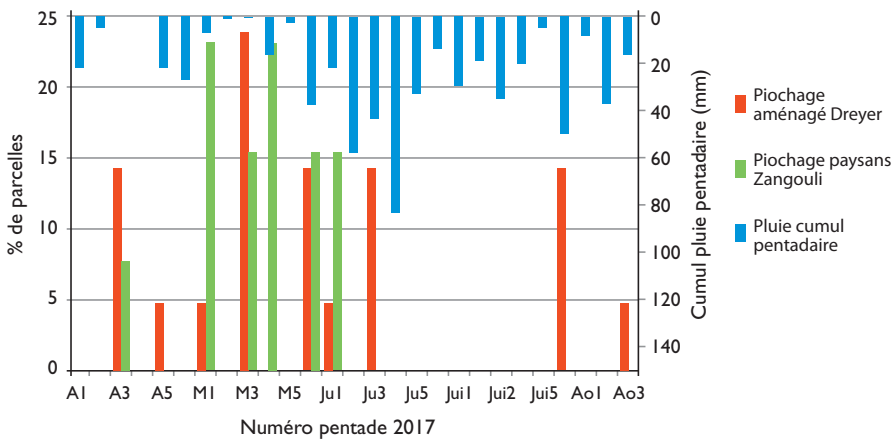


Figure 3.

Distribution temporelle du piochage entre les deux bas-fonds et pluies pentadaires 2017.

des piochages se pratique sur sol humide (fig. 3) mais en dehors des périodes pluvieuses, car les sols collants ne sont pas propices au piochage et ces périodes sont dédiées aux semis des grands champs. S'il n'y pas assez de pluies précoces (décades sèches en augmentation, cf. chap. 6), les piochages seront nécessairement tardifs.

Avril est aussi une période de canicule (40 °C de température maximale moyenne, près de +2 ° en 50 ans), ce qui motive les producteurs (-trices) à différer les piochages vers une période plus fraîche (mai ou juin) ou demander un appui en labours motorisés auprès des privés ou des projets.

Le risque des préparations trop tardives est de faire face à un enherbement puissant (notamment en riz sauvage à reproduction végétative), plus difficile à piocher profondément (simple sarclage), et moins efficace à réduire le salissement ultérieur.

Les piochages finissent mi-juin dans notre échantillon des parcelles. Mais 13 % du bas-fond aménagé de Lofing n'était pas encore pioché au premier août (attributaires absents ou ayant renoncé à faire du riz en 2017).

Les piochages les plus tardifs (seulement en aménagé) s'observent en vue du repiquage fin juillet-début août, à l'occasion de « fenêtres » dans la pluie et combinés avec des opérations de malaxage du sol avec les adventices, dans l'objectif que celles-ci se décomposent.

Les labours ou piochages ont été essentiellement précoces (mai-juin) en 2017. En 2018, les piochages tardifs (juin) s'accompagnent d'une baisse significative de rendement (tabl. 1).

Une différence significative ne donne pas de garantie de causalité, car un piochage précoce s'accompagne éventuellement d'autres facteurs du rendement (semis précoce par exemple). Néanmoins, les piochages précoces permettent probablement de faire mieux profiter les sols argileux à argiles 2/1 des alternances humectation/dessiccation de la période pré-humide, bénéfiques au second travail du sol léger (affinement des mottes, arrachages d'herbes vivaces), et ils facilitent l'enracinement et l'entretien

Tableau 1.
Test T de comparaison de moyennes des rendements selon les dates de piochage.

Source : Generia

2018	Panicules/m ²			Rendement t/ha	
	N	moyenne	ET	moyenne	ET
Précoce (avril-mai)	39	101	33	1,85	1,14
Tardif (juin)	15	83	33	1,17	0,67
Proba. Test T (S si P < 0,05)		0,077		0,017 S	

précoce. Les piochages tardifs groupés avec le semis délivrent en revanche un état moins favorable, grosses mottes et adventices vivaces à forte capacité de reprise après désherbage.

LE SEMIS

Les distributions des semis sont décalées entre les deux bas-fonds, mais montrent un commun maximum mi-juin, ce qui correspond à l'optimum du calendrier d'aléas (fig. 4).

En non aménagé, où les cycles sont plus longs, et en perspective d'un aléa d'inondation précoce qui empêcherait le semis ou abîmerait la levée, les semis précoces (première quinzaine de juin) sont recherchés, malgré un autre aléa, celui de ravages par le bétail encore divagant car les bas-fonds représentent le pâturage principal à cette saison.

En aménagé, les semis ont commencé le 10 juin. Mais l'arrivée tardive des semences TS2 a retardé beaucoup de semis dans l'aménagement (fig. 4), alors que les piochages avaient été réalisés en même temps dans les deux bas-fonds.

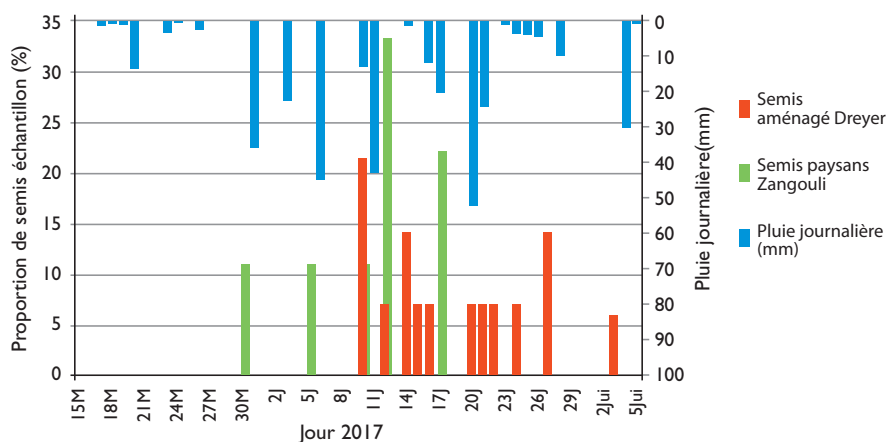


Figure 4.
Distribution des semis.

Source : Generia

L'intention de certains de repiquer début juillet a aussi été abandonnée, faute d'eau dans les parcelles (canaux surcreusés en 2017, pluie insuffisante), ce qui a fait opter pour un semis tardif fin juin, voire un abandon de la parcelle (22 % des parcelles ont été piochées mais non implantées au premier août) (fig. 5).

Il y a donc eu un retard global des semis à Lofing-Dreyer par rapport à l'idéal représenté par les pratiques paysannes de Zangouli (tabl. 1). Ici le risque est autant d'ordre hydroclimatique qu'organisationnel à l'échelle de l'aménagement.

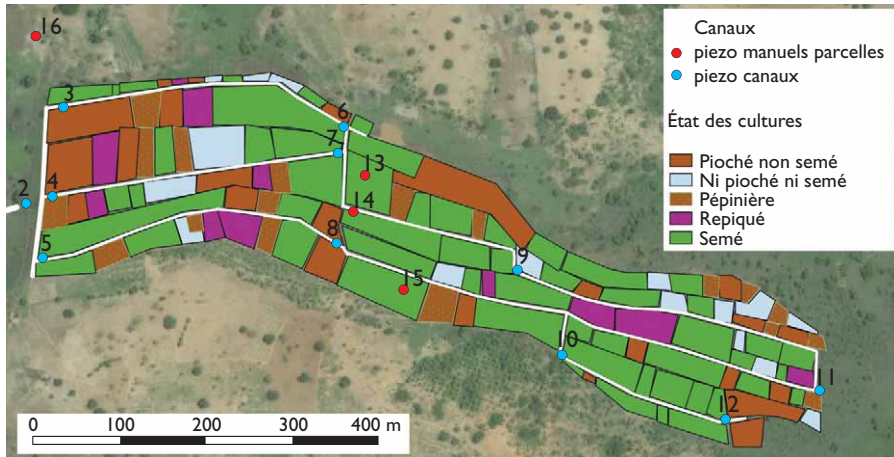


Figure 5.

État des cultures au 1^{er} août 2017 montrant l'importance des retards d'implantation (marron et bleu = 35 %).

Source : Generia

ITINÉAIRES TECHNIQUES D'INSTALLATION ET D'ENTRETIEN AU DÉPART

Finalement, la date de semis définit deux grands types d'itinéraires techniques d'implantation par semis, divisibles en deux sortes selon la date de piochage (tabl. 2).

Tableau 2.
Typologie des ITK d'installation 2017.

Type	Semis	Itinéraire technique
1	<i>Semis précoces début juin</i>	piochage très précoce (+30 J. avant semis), deuxième travail du sol, semis précoce
2		travaux de sol groupés avec semis précoce
3	<i>Semis tardifs fin juin/juillet</i>	un seul travail du sol précoce (+30 J. avant semis) puis semis tardif
4		travaux de sol groupés avec le semis tardif
5	<i>Repiquage fin juillet/début août</i>	Travail précoce, reprise (malaxage sol + herbes), mise en eau (pluie ou batardeau) puis repiquage de plants de pépinière d'âge 15 J. à un mois

Les conséquences de l'année climatique 2017 (pluvieuse début juin) ont été de faibles enherbements au semis pour les semis précoces, et de forts enherbements au semis pour les semis tardifs, incitant à l'usage de glyphosate (herbicide total). Certains ont semé dans l'herbe, avec un passage de glyphosate après semis.

L'entretien des cultures commence dans la majorité des parcelles par l'herbicide au semis (glyphosate, suivi parfois d'herbicide de prélevée appelée « colle ») et un désherbage/sarclage ultérieur (parfois précédé par un herbicide sélectif). Cet herbicide total, fortement dosé pour les vivaces, permet de réduire la pénibilité et le temps de travail au profit des cultures de plateau. Pourtant l'usage d'herbicide au semis ne marque pas le rendement et ne supprime pas la nécessité de sarcler tôt pour conserver un potentiel de rendement, surtout en année humide comme 2018 (fig. 6 a et 6 b).

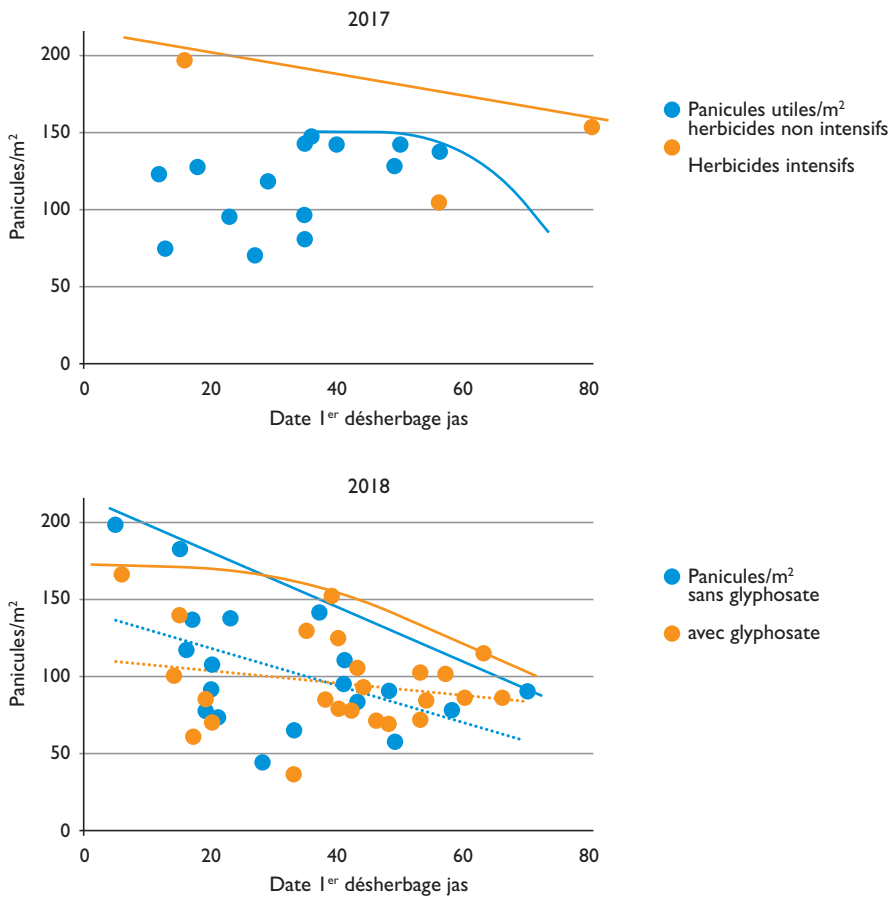


Figure 6.
Effets de la date de premier désherbage manuel sur le rendement potentiel selon l'année et les pratiques d'herbicide.

Source : Generia

En cas de contrainte de main-d'œuvre occupée sur les grands champs, on fait appel à des groupes d'entraide, ou bien on retarde l'intervention, ou on limite le désherbage manuel à un seul passage, avec des conséquences importantes sur la maîtrise de l'enherbement et le rendement potentiel en année humide (fig. 6 b).

LE REPIQUAGE

Le repiquage a été la meilleure option en 2017 dans l'aménagement Dreyer en vue de réduire l'enherbement et d'augmenter le rendement, mais il n'a pu être mis en place que tardivement (fin juillet-début août) (fig. 5), du fait de la difficulté d'irrigation : canaux trop approfondis, faibles écoulements, planches de batardeaux livrées tardivement. Ce repiquage a néanmoins profité de la fin tardive des pluies et des possibilités d'irrigation, mais aussi du décalage de la période sensible de floraison après la sécheresse de début septembre, alors que les semis ont subi de plein fouet cette contrainte.

La possibilité de choix entre semis et repiquage permet donc de s'adapter au climat de l'année, d'effectuer des rattrapages, de saisir des opportunités et de réduire les risques, mais différemment entre aménagement et hors aménagement, ainsi qu'entre hommes et femmes (tabl. 3 et 4).

Tableau 3.
Raisons d'avoir préféré le semis au repiquage en 2017
selon aménagé/non aménagé et hommes/femmes.

Source : Generia

Raison d'avoir préféré semer que repiquer	Contrainte d'exploitation	Organisation du groupement	Risques ou événement climatique (pas de crues précoces)	Savoir-faire
Bas-fond paysan				
Hommes (%)	43	0	43	14
Femmes (%)	0	0	100	0
Aménagé Dreyer				
Hommes (%)	63	13	25	0
Femmes (%)	80	0	20	0

Tableau 4.
Raisons d'avoir préféré le semis au repiquage en 2017
entre hommes et femmes.

Source : Generia

Raison d'avoir préféré semer que repiquer	Meilleur potentiel de rendement	Moins de travail	Meilleure maîtrise des adventices	Rattraper un retard d'implantation
Aménagé Dreyer				
Hommes (%)	50	25	25	0
Femmes (%)	67	0	0	33

Le choix du repiquage (tabl. 3) reste encore contraint par la formation insuffisante, par l'absence de période favorable (fortes pluies) ou de capacités d'irrigation (organisation, batardeaux indisponibles ou non faisables sur canaux profonds), enfin, par les contraintes d'exploitation qui dictent une mise en place de riz soit très précoce, soit très tardive par rapport à la période de pointes de travaux agricoles de mi-juin à mi-juillet.

Les repiquages ont effectivement augmenté les rendements en 2017, année peu pluvieuse (meilleure nutrition, moins d'adventices, irrigation) (tabl. 4). Ce sont les repiquages tardifs (joint à l'irrigation de mise en eau) qui ont limité les conséquences de l'aléa. L'aménagement casiers-arroseurs-drains CAD pratiqué par la Fondation Dreyer permet de mettre en œuvre ces solutions de rattrapage et augmente donc la sécurité.

Pour les années humides mais à démarrage tardif comme 2018, les semis restent préférés pour leur rapidité d'exécution. Les repiquages tardifs n'ont pas amélioré le rendement car ils ont coïncidé avec des conditions d'engorgement (tabl. 5).

Tableau 5.
Différences entre semis et repiquage sur l'échantillon de parcelles suivies
(test T significatif si probabilité < 0,05).

Source : Generia

	2017			2018		
	Semé	Repiqué	Proba.	Semé	Repiqué	Proba.
Rendement à 14 % d'humidité (t/ha)	2,1	4,4	0,00 S	1,6	1,8	0,68
Rendement paille sèche t/ha	3,6	4,7	0,13	1,8	1,9	0,66
Panicules utiles/m ²	117	163	0,01 S	96,4	97,4	0,95
Tx de touffes vides %	3,9	0,3	0,03 S	8,8	4,7	0,10
Nombre de grains par panicule utile	82	129	0,00 S	69,5	86,8	0,08
P l 000 (g)	19,5	17,6	0,06	23,3	21,0	0,00 S
Biovolume adventices à la récolte	195	94	0,04 S	140,8	76,5	0,31
n parcelles	20	6		48	6	

L'IRRIGATION

L'irrigation de mise en eau pour le repiquage et l'irrigation de complément de fin de cycle (sécheresse début septembre 2017), bien qu'elles ne soient mises en œuvre que sur la moitié des parcelles, ont particulièrement joué leur rôle d'optimisation (tabl. 5). Tandis que 2018, bien pourvue en pluies jusque mi-octobre, marquée par les excès d'eau, n'a pas révélé de différences entre irrigué et non irrigué, et seules 1/5 des parcelles ont été irriguées.

Tableau 6.
Effets de l'irrigation en année sèche (2017) sur les composantes du rendement
(test T significatif si probabilité < 0,05).

Source : Generia

	2017			2018		
	Non-irrigué	Irrigué	Proba.	Non-irrigué	Irrigué	Proba.
Rendement à 14 % d'humidité (t/ha)	1,8	3,5	0,00 S	1,6	2,0	0,20
Rendement paille sèche t/ha	3,0	4,8	0,00 S	1,6	2,3	0,02 S
Panicules utiles/m ²	103	153	0,00 S	93	109	0,17
Tx de touffes vides %	4,9	1,3	0,01 S	8,8	6,5	0,24
Nombre de grains par panicule utile	78	107	0,01 S	69	81	0,13
P l 000 (g)	19,5	18,6	0,33	23,2	22,5	0,21
Biovolume adventices à la récolte	235	109	0,00 S	142	103	0,43
n parcelles	13	13		43	11	

Discussion et conclusion

Bilan sur les pratiques anti-risques

Plutôt que l'existence de pratiques typiquement « anti-risques », c'est la diversité de pratiques possibles, et notamment de pratiques de rattrapage et d'irrigation, qui permet de limiter l'exposition à l'aléa pendant la période stratégique de « mise en place du riz » en saison pré-humide aléatoire. :

1) la préférence pour des semis de mi-juin, moins aléatoires que mai sous réserve de la disponibilité de semences à temps et de pluie suffisante pendant cette période (depuis 1990, la période pré-humide mai-juin est marquée d'un risque de poches très sèches accru, cf. chap. 6) ;

2) des semis tardifs fin juin en cas d'absence de possibilités de repiquage début juillet faute d'eau (cas de Lofing en 2017). L'année 2018, avec son retard d'arrivée des pluies (mi-juin), a obligé certains, fortement occupés par les cultures de plateau, à décaler l'implantation du riz par semis jusqu'à mi-juillet (voire mi-août pour les repiquages), au prix d'une forte prise de risque sur la fin de cycle ;

3) des démariages et des repiquages dans les vides avec les plants démariés. Les vides se produisent notamment du fait d'une sécheresse après semis, de submersions ou de crues dévastatrices précoces ;

4) un repiquage tardif fin juillet-début août à partir d'une pépinière et une irrigation de mise en eau, pour rattraper un semis non encore fait (cas de Lofing, 2017, 2018) ;

5) l'irrigation de complément destinée aux parcelles repiquées (cas de 2017 et 2018) et en fin de cycle (cas de 2017, Lofing). Ces deux dernières pratiques sont permises par l'aménagement CAD.

Thèmes de co-construction d'innovations

Les thèmes de co-construction engagés en 2018 en vue de faciliter la mise en place du riz et réduire l'aléa ont porté sur le nettoyage préalable du sol (arrachage des stolons de riz sauvage par râteau renforcé au moment du second piochage) afin de réduire les risques d'enherbement puissant lors de semis tardifs.

Pour atteindre une densité optimale et un semis plus rapide, l'usage d'un rayonneur pour semer plus vite et avec un écartement optimal s'est avéré très adapté (fig. 7).

Concernant l'adaptation variétale au risque hydrique (notamment submersions), nous avons procédé à la comparaison de 4 variétés en champ-école (fig. 8). Cependant, toutes les variétés testées sont apparues aussi sensibles.



Figure 7.
Rayonneur à riz testé en champ-école et co-produit localement.
© IRD/IA. Sawadogo



Figure 8.
Essais variétaux en champ-école.
© IRD/IG. Serpantié



Figure 9.

Un batardeau adapté aux canaux larges et profonds et aux faibles débits, élaboré par co-construction entre août et novembre 2018.

© IRD/G. Serpantié

Et concernant l'irrigation de complément, l'équipe Generia avec ses partenaires locaux a travaillé sur un batardeau adapté aux faibles écoulements sur canaux larges et profonds, processus d'innovation qui a livré une solution efficace et bon marché (fig. 9).

Pour 2019

Des données anciennes sur le riz pluvial de bas-fonds en Asie peuvent être utilisées à titre de comparaison et apporter des idées. Par exemple, la création d'un mulch de saison sèche (terre ou paille) peut maintenir suffisamment d'humidité dans le sol pour faciliter un piochage précoce moins dépendant des pluies (DE DATTA *et al.*, 1979). Enfin, on travaillera sur des solutions d'engrais vert (semis début juin), combinées au repiquage (début août), afin de réduire les risques d'enherbement et améliorer la nutrition azotée du riz.

Références

DE DATTA S. K., MORRIS R. A.,
BARKER R., 1979
*Land preparation and crop establishment
for rainfed lowland rice [in Philippines].*
IRRI : 189-213.

DORÉ T., SEBILLOTTE M.,
MEYNARD J. M., 1997
A diagnostic method for assessing
regional variations in crop Yield.
Agricultural Systems, 54 (2) : 169-188.

DORÉE A., 2017

Gérer les nouveaux risques des bas-fonds soudaniens (Dano, Burkina Faso).
Mémoire d'ingénieur agronome,
option Resad, Montpellier Supagro,
IRD UMR Gred, Cirad, Wascal, 84 p.

ELDIN M., MILLEVILLE P., 1989

Le risque en agriculture.
Paris, Éditions de l'Orstom,
coll. À travers champs.

FRANQUIN P., 1984

Agroclimatologie et agrométéorologie
en zone tropicale sèche d'Afrique.
L'Agronomie Tropicale, 39 (4) : 301-307.

**MANZELLI M., FIORILLO E., BACCI M.,
TARCHIANI V., 2015**

La riziculture de bas-fond au sud du Sénégal
(Moyenne Casamance) : enjeux et perspectives
pour la pérennisation des actions
de réhabilitation et de mise en valeur.
Cah. Agric., 24 : 301-312.

MILLEVILLE P., 1987

Recherches sur les pratiques des agriculteurs.
Les Cahiers de la recherche développement,
16 (déc).

MOODY K., 1993

Weed control in wet seeded rice.
Expl. agric., 29 (4) : 393-403.

**RODENBURG J., ZWART S. J.,
KIEPE P., NARTEH L. T., DOGBE W.,
WOPEREIS M., 2013**

Sustainable rice production
in African inland valleys:
Seizing regional potentials
through local approaches.
Agricultural Systems, 123 : 1-11.

SAWADOGO A., 2018

*Adaptation technique rizicole
suite aux changements
dans l'environnement des bas-fonds.*
Mémoire de fin d'étude,
CAPM/GENERIA, 91 p.

Partie II

L'aménagement des zones inondables dans un contexte de changement climatique



Introduction

Aymar Y. BOSSA

En Afrique de l'Ouest, les plaines et bas-fonds inondables constituent des milieux porteurs de forts enjeux, tant agricoles qu'environnementaux. D'une part, ce sont des zones humides qui assurent des fonctions essentielles de conservation des eaux et de la biodiversité. D'autre part, ces milieux sont dotés d'un grand potentiel agricole compte tenu de leurs ressources en eau et de leurs sols, et ils sont de plus en plus convoités pour l'agriculture. Il est donc attendu que ces plaines inondables soient un lieu privilégié d'intensification agricole et de conservation, tout particulièrement en région de savanes sahéliennes ou soudaniennes, où elles jouent un rôle anti-aléatoire face aux sécheresses qui touchent les cultures pluviales sur les versants. La mise en valeur agricole des zones humides est confrontée aux risques hydriques d'inondation, qui empêchent l'implantation des cultures ou les endommagent, et de sécheresse précoce après la décrue. Les politiques d'aménagement (« bas-fonds aménagés », « irrigation de proximité ») pour réguler les flux hydriques ou mobiliser la ressource en eau ont permis d'améliorer les performances agricoles, mais sans tenir toutes leurs promesses. D'autres politiques ont concerné les bas-fonds (intensification des cultures, sécurisation foncière, organisation des filières...). La valorisation de ces aménagements par une intensification des cultures bute sur de multiples contraintes d'ordre technique, social et économique, et désormais sur de nouveaux aléas liés au changement climatique. De plus, avec un changement climatique marqué par des irrégularités croissantes des pluies (variabilité de l'arrivée des pluies, événements extrêmes plus fréquents) et des écoulements plus brutaux, l'intensification agricole des terres inondables va à la fois s'imposer davantage et être plus difficile (pression agricole accrue sur les terres inondables et l'écosystème des zones humides, risques pour l'agriculture).

Avec le soutien financier du Ministère français des affaires étrangères dans le cadre du programme FSP-Agricora¹, le Centre ouest-africain pour les services scientifiques sur les changements climatiques et l'utilisation adaptée de la terre (WASCAL) a rassemblé un consortium d'experts nationaux et internationaux pour la mise en œuvre du projet « Gestion des nouveaux risques et des opportunités des terres inondables pour l'agriculture africaine » (Generia). L'ambition de Generia est de participer à l'orientation des politiques d'aménagement des plaines et bas-fonds inondables, mais aussi, à une échelle plus locale, de co-construire avec les communautés rurales concernées de nouvelles options d'adaptation.

Le projet s'inscrit dans un cadre de recherche-intervention basé sur des approches multi-échelles (de la petite région à l'individu), interdisciplinaires (hydrologie, agronomie, géographie, économie, sociologie), et participatives (intégrant savoirs des paysans et expertise des structures d'appui). Au total, quinze chapitres de cet ouvrage traitent des aspects pertinents des résultats de Generia couvrant des thématiques transdisciplinaires :

- politiques de bas-fonds et diagnostic régional : impacts sur les zones inondables, leurs risques et leur gestion ;
- évaluation et gestion des risques et opportunités à une échelle locale, liés au changement climatique et aux autres changements dans l'aménagement et la mise en valeur agricole des zones inondables ;
- évaluation participative des modes de gestion du risque et co-construction de modes de gestion plus sûrs en vue de l'adaptation des exploitations et des communautés ;
- actions à mettre en place pour renforcer les compétences.

Au Sénégal, Generia s'est intéressé aux cultures de décrue dans les cuvettes de la vallée du fleuve Sénégal. Après une revue détaillée des connaissances sur les conditions d'aménagement et de mise en culture des cuvettes (dynamiques hydrologiques et hydrodynamiques, politiques foncières et techniques d'aménagement, dynamiques socioéconomiques, etc.), Generia a conduit un ensemble de diagnostics au regard de ses objectifs. Concernant les dynamiques hydrologiques et hydrodynamiques, il ressort que la surface de cuvette inondée et la durée de l'inondation sont liées à l'hydrogramme de crue du fleuve Sénégal. Mais cette liaison n'est pas linéaire à cause de la présence de seuils dans les biefs d'alimentation des cuvettes. Au-dessus d'une certaine cote de crue, l'inondation d'une cuvette suit la forme de l'hydrogramme de la crue. Cet hydrogramme est plus aplati en aval qu'en amont ; l'inondation dure donc plus longtemps à l'aval qu'à l'amont. Lors de la décrue, en dessous d'une certaine cote, le retrait de l'eau dans les cuvettes devient beaucoup plus lent que la baisse du niveau du fleuve à cause de la présence de seuils dans le bief d'alimentation. Ces deux aspects ont une conséquence directe sur les aménagements nécessaires pour sécuriser les surfaces exploitables en décrue : aménager une « porte » pour maintenir l'eau plus longtemps si l'hydrogramme de crue est étroit (à l'amont), éliminer les seuils dans le bief d'alimentation pour favoriser une décrue rapide afin de pouvoir semer plus précocement dans les parties basses. La réduction des seuils permettrait

1. Fonds de solidarité prioritaire - Agriculture et gestion des risques climatiques - outils et recherches en Afrique.

également l'inondation d'une plus grande surface lorsque l'amplitude de la crue est faible. Au-delà de ces aspects très techniques, Generia a abordé la question de la résilience de l'agriculture de décrue face à la variabilité climatique et à la régulation des fleuves. Des aspects traitant de l'avenir de l'agriculture de décrue au Sénégal ont été pris en compte à partir de travaux analytiques portant sur les forces, faiblesses, opportunités et menaces dans ce secteur. Cela inclut les questions sur la variabilité des politiques publiques sénégalaises, les politiques transfrontalières dans la vallée du fleuve Sénégal, et enfin l'amélioration des pratiques culturales, celles du sorgho en particulier.

Au Burkina Faso, Generia a travaillé sur les bas-fonds du Sud-Ouest, concernés par des politiques soutenues et ambitieuses d'aménagement rizicole tournées vers l'intensification en conditions de maîtrise d'eau incomplète. Après un diagnostic général et participatif sur une vingtaine de bas-fonds aménagés et non aménagés, suivi d'un diagnostic approfondi de trois bas-fonds en campagne pluvieuse, basé sur une approche scientifique interdisciplinaire en partenariat avec des aménagistes et des groupements rizicoles (notion de « recherche d'accompagnement »), Generia dispose d'un corpus de données scientifiques et de recueils de savoirs locaux et savoirs experts unique sur les principaux risques auxquels sont soumis les bas-fonds soudanais. Ces aléas et risques sont d'abord considérés du point de vue des processus naturels (crues, inondations, érosion, conditions thermo-radiatives, aléas pluviométriques, ravageurs et mauvaises herbes), puis des processus sociaux (questions foncières et conflits liés, organisation des groupements, modes d'approvisionnements, politiques rizicoles), des risques environnementaux et productifs liés aux infrastructures (érosion, pertes de biodiversité, fertilité, pollutions, fragilités), et des contraintes que rencontrent les agriculteurs dans leur système de production (contraintes de commercialisation, contraintes du système de culture, contraintes de gestion de l'eau, limitations des rendements, contraintes de main-d'œuvre et de financement).

Ces diagnostics croisés ont permis d'imaginer des pistes en vue de faire progresser la sûreté, la rémunération et la durabilité sociale et environnementale des activités agricoles dans les bas-fonds, en prenant en compte la diversité des situations socio-économiques. La restitution précoce et réitérée de ce travail de diagnostic partagé a eu lieu à différents niveaux en plusieurs phases et a débouché sur des discussions puis des propositions d'inflexion des pratiques d'aménagement. Le projet Generia a permis de co-construire de nouveaux outils participatifs de gestion de l'irrigation de complément appelés « jeux de bas-fond », d'identifier des outils d'étude du contexte avant aménagement (topographie, télédétection, maîtrises foncières, risques environnementaux et limitations à donner aux emprises rizicoles), de proposer des voies d'amélioration des aménagements et des systèmes techniques rizicoles. Ces inflexions ont commencé à être mises en œuvre dans deux bas-fonds faisant partie des bas-fonds pilotes. Elles portent sur le renforcement des dispositifs de drainage, la réorganisation des modalités d'irrigation de complément, la diversification variétale et culturale, de nouvelles pratiques plus écologiques de fertilisation et de lutte contre l'enherbement, un meilleur appui apporté aux groupements sur leurs principaux points faibles (approvisionnement, gestion de l'eau, entretien des aménagements, commercialisation).

L'agriculture de décrue en Afrique de l'Ouest et du centre

Une certaine résilience face à la variabilité climatique et à la régulation des fleuves

*Mohamadou DIEYE, Djiby DIA, Bruno BARBIER,
El Hadji Malick SYLLA, Mamadou SALL,
Jean-Claude BADER, Aymar Y. BOSSA,
Safietou SANFO, Cheickh Sadibou FALL*

Introduction

L'agriculture de décrue est un mode de production ancestral qui a permis aux populations des plaines inondables africaines de survivre, et même de développer des sociétés avancées comme l'Égypte pharaonique, le Tekrour, le Ghana, les empires malien ou songhaï. Elle a l'avantage de fournir une production appréciable en saison sèche, et nécessite très peu d'intrants et un travail limité. Si les rendements à l'hectare sont faibles, la productivité du travail est appréciable et explique l'engouement des riverains à son endroit, malgré la fréquente possibilité de la remplacer par une agriculture irriguée moderne.

L'importance de cette pratique dans la sous-région ouest-africaine reste peu connue, car les services statistiques nationaux ont tendance à la négliger. Dans ce chapitre, nous passons en revue la littérature existante pour l'Afrique de l'Ouest et centrale, c'est-à-dire du Sénégal jusqu'au Tchad. L'objectif est de mieux appréhender les perspectives de cette agriculture, qui avait presque disparu pendant les grandes sécheresses des années 1980 et qui était censée disparaître définitivement avec la construction de plusieurs dizaines de barrages régulateurs sur les grands fleuves de la sous-région. Depuis, les plans de barrages ont été suspendus à cause de l'endettement des États et du rapport alarmant rendu par la Commission mondiale des barrages (WCD, 2000). Par ailleurs, les pluies sont en partie revenues, permettant aux riverains de certaines plaines inondables de relancer cette production, notamment dans plusieurs plaines du bassin du lac Tchad.

Depuis quelque temps, les plans de barrages sont réapparus sur l'agenda des États et des agences de bassin. Si les bailleurs traditionnels sont toujours réticents, la Chine se montre déterminée à financer et réaliser ces projets de barrages qui avaient été enterrés dans les années 1990. Dans ce chapitre, les auteurs font un bilan zone par zone, en comparant les surfaces potentiellement inondables, les surfaces cultivées, les cultures pratiquées et les techniques de production spécifiques à ces zones.

L'agriculture de décrue dans la sous-région ouest-africaine

Dans cette région, l'agriculture de décrue couvrait encore quelques centaines de milliers d'hectares avant les sécheresses (ADAMS, 1992) (tabl. 1, fig. 1). Selon la base de données Aquastat (2005), si la culture de décrue est pratiquée à petite échelle dans presque tous les pays de la sous-région, elle est surtout répandue dans le bassin du lac Tchad et au bord des fleuves Niger et Sénégal. Selon les estimations de l'association ARID (2004) pour les années 2000, les superficies des cultures de décrue couvriraient en moyenne 60 000 ha au Mali, la même surface en Mauritanie, 33 000 ha au Sénégal et 12 000 ha au Niger. Au Tchad, la base de données Aquastat indiquait 120 000 ha en 2000. Cela ferait près de 300 000 hectares pour ces six pays sahéliens d'Afrique de l'Ouest pour la période post-sécheresse. Mais les 700 000 ha affichés au Nigeria sont douteux, dans la mesure où le Nigeria a construit plusieurs dizaines de barrages sur les principaux cours d'eau, et dans beaucoup de ces plaines la petite irrigation a pris le pas sur la culture traditionnelle de décrue (DELANEY, 2012).

L'agriculture de décrue dans le bassin du lac Tchad

Le bassin versant du lac Tchad comprend d'immenses zones inondables, que l'on trouve surtout au sud du Tchad, mais aussi au Nord-Cameroun, au Nord-Nigeria et à l'est du Tchad (LEMOALLE, 2005). Il s'étend sur une surface de 2 335 000 km², à cheval sur huit pays (Algérie, Cameroun, Libye, Niger, Nigeria, République centrafricaine, Soudan et Tchad). Le lac Tchad qui pouvait avoisiner 26 000 km² à son maximum, s'est drastiquement rétracté, perdant plus de 90 % de sa taille. Les populations qui résident dans ces plaines inondables ont élaboré des systèmes de production très variés dans un contexte climatique et socioéconomique très changeant (LYEBI-MANDJEK et SEIGNOBOS, 2005 ; MAGRIN, 2009 ; RAIMOND, 1999, 2005).

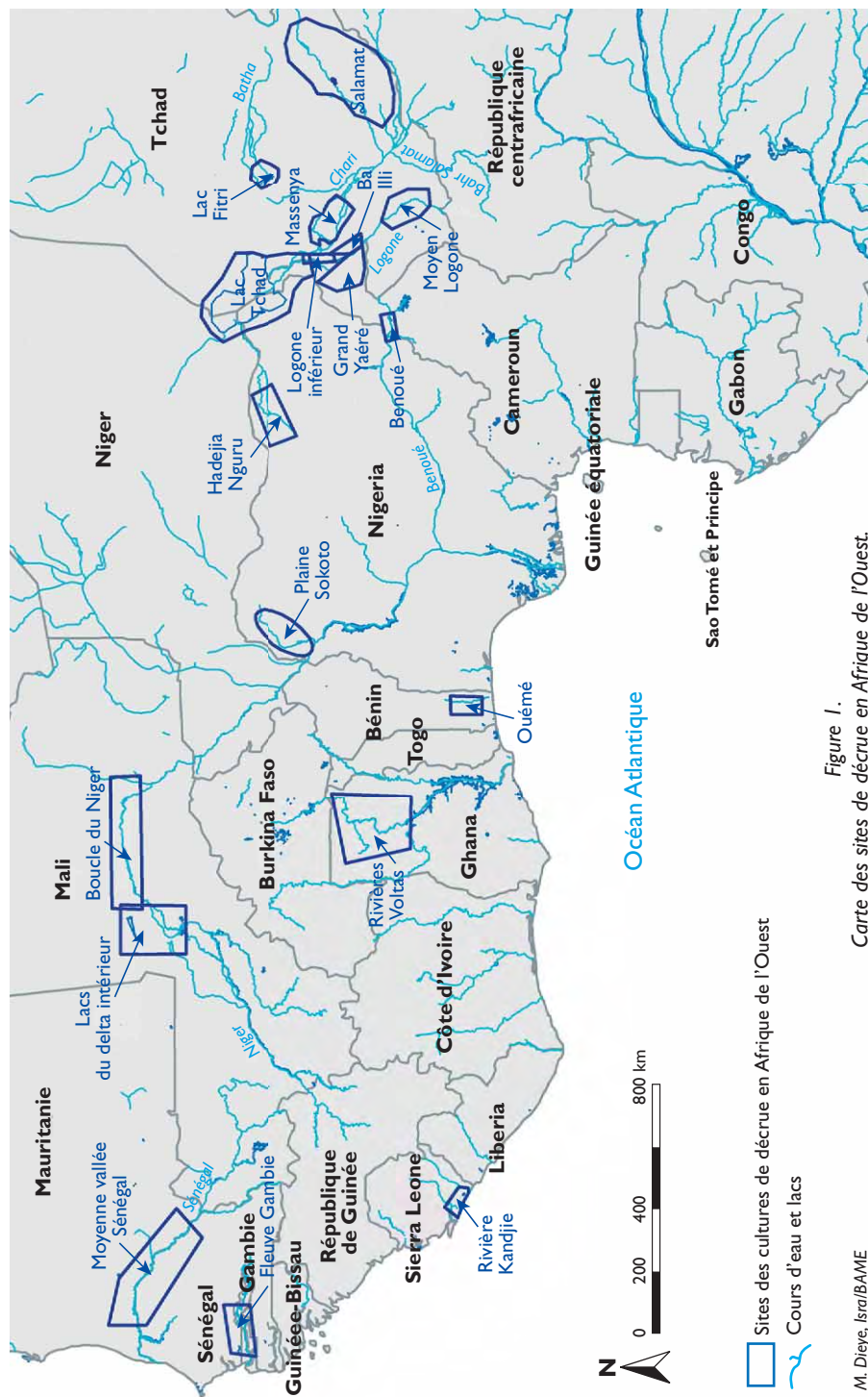


Figure 1. Carte des sites de décrue en Afrique de l'Ouest.

M. Dièye, Isra/BAME

Tableau 1.
Plaines inondables et cultures de décrue en Afrique de l'Ouest et centrale.

Sources : LEMOALLE (2005) ; ARID (2004) ; AQUASTAT (2005) ; NEGOUNOU et al. (2002) ; DENENDJI et al. (2017) ; SIDIBÉ et al. (2016).

Lac ou plaine (PI)	(Sous-) bassin	Pays concernés	Barrages construits	Barrages prévus	Cultures	Inondables (ha)	Cultivé avant la grande sécheresse (ha)	Cultivé après (ha)
Lac Tchad	Lac Tchad	Tchad, Nigeria, Cameroun Niger	Semry CAM Nigeria	Projet PTEIB	Mais, sorgho, patate, riz, blé	–	–	–
Pl. Salammat	Chari	Tchad	–	–	Sorgho	15 000 000	–	–
Lac Fitri	Logone	Tchad	–	–	Sorgho	–	–	56 000 (2015)
Pl. Grand Yaéré	Logone	Cameroun, Tchad	Semry	Projet PTEIB	Sorgho	800 000	–	–
Pl. Ba Illi	Logone, Chari	Tchad	–	Projet PTEIB	Sorgho	400 000	–	–
Pl. Massenia	Chari	Tchad	–	–	Sorgho	700 000	–	–
Basse vallée Logone	Logone	Tchad	–	–	Sorgho	–	32 133 (1985)	57 283 (2015)
Pl. Hadejia-Nguru	Komadugu Yobé	Nigeria	Tiga, Challawa	–	Riz, niébé	200 000	–	–
Régions des lacs	Haut Niger	Mali	Sélingué, Markala	Fomi	Sorgho, riz	–	–	60 000
Boucle du Niger	Haut Niger	Mali	–	Taoussa	Sorgho, riz	–	–	–
Moyenne vallée	Sénégal	Sénégal Mauritanie	Manantali, Féloù	Gourbassi	Sorgho, niébé	312 000 43 000	65 000 30 000	58 000
Vallée Volta	Volta blanche Volta noire	Ghana Burkina Faso	Bagré Samandéni Bui, Leri	–	Mais, patate légumes	780 000	–	–

L'agriculture de décrue s'insère généralement dans des systèmes où cohabitent cultures pluviale et irriguée, pêche et élevage. Dans ces terroirs, le mil, le sorgho, le maïs et quelques légumineuses sont surtout cultivés sur les terres exondées. Le sorgho de décrue est semé ou repiqué sur les terres basses inondables, mais aussi dans les plaines argileuses non inondables. Le riz dressé est semé ou repiqué dans les bas-fonds et dans quelques périmètres à maîtrise totale de l'eau. Le riz flottant est semé dans quelques parties basses inondables et profondes. Les légumes sont surtout cultivés en saison sèche dans les zones basses.

Après les Indépendances, l'installation des populations s'est accélérée autour du lac dans les quatre pays riverains. Mais lors de la grande sécheresse des années 1970-1980, les terres inondées annuellement ont fortement régressé, ainsi que l'agriculture de décrue. Aujourd'hui, les apports renouvelés des affluents du lac ont entraîné le retour de la crue à un certain niveau et une spectaculaire expansion des cultures de décrue. Dans la partie sud du lac Tchad, l'inondation est relativement régulière d'une année sur l'autre, mais elle reste irrégulière dans sa partie nord, qui peut rester sèche les années de faible pluviométrie (LEMOALLE, 2005). Le lac Fitri, à l'est du lac Tchad, a également connu un retour des crues et une expansion du sorgho de décrue (KEMSOL *et al.*, 2018).

Au sud du lac Tchad, les rivières Logone et Chari forment de vastes plaines d'inondation très favorables à l'agriculture de décrue. La plaine du Grand Yaéré est localisée au Cameroun sur la rive ouest du Logone (800 000 ha) ; celle du Ba Illi (400 000 ha) est située au Tchad (MAGRIN, 2009) entre le Logone et le Chari, et le Massenya (700 000 ha) est situé à l'est du Chari. Plus à l'est à l'intérieur du Tchad, se trouve l'immense plaine du Salamat, un affluent du Chari (HOLT et CIPRYK, 2011), où la production de sorgho contribue significativement au bilan céréalier du Tchad (PAM, 2012).

Dans les années 1970 et 1980, les surfaces en décrue avaient reculé à cause de l'assèchement du climat et de l'installation des périmètres irrigués en amont sur le Logone et sur les petits affluents venant du Nigeria comme le Komadugu Yobe. À la fin des années 1970, au Cameroun, un barrage de 27 km a été construit pour créer un réservoir de 400 km² (lac Maga) afin d'alimenter une série de projets rizicoles (SEMRY 1 et SEMRY 2). Ce barrage et les digues construites sur la rive gauche du fleuve Logone ont privé la plaine d'inondation d'une partie de sa crue naturelle et de son potentiel écologique. De 1981 jusqu'au milieu des années 1990, cette réduction des inondations a dégradé l'environnement et a provoqué de graves bouleversements sociaux en aval du lac Maga. Après un premier test en 1994, l'ensemble des aménagements a été modifié pour rétablir une inondation de la plaine (LOTH, 2004). Cependant, la multiplication des canaux de pêche contribue, depuis, à réduire à nouveau l'importance de cette inondation.

Une bonne partie des plaines du Nord-Cameroun n'est pas inondable, mais les sols à argile gonflante supportent pendant la saison sèche des milliers d'hectares de sorgho repiqué dénommé *Muskuwarri* en langue locale. Il ne s'agit donc pas réellement de décrue, mais d'une agriculture sans pluie ni irrigation sur sols argileux (SEIGNOBOS, 2000, 2008).

Les plaines de Hadejia-Jama'are, au nord-est du Nigeria, sont drainées par la rivière Komadugu Yobé, un affluent de la cuvette nord du lac Tchad. Traditionnellement, les cultivateurs y sement plusieurs variétés de riz et de sorgho pluviales résistantes aux inondations, suivies par un deuxième cycle de culture de saison sèche en décrue (THOMAS et ADAMS, 1999). Sur certaines parties, l'exhaure a été longtemps réalisée à l'aide de *Shadoufs* (de grandes puisettes d'eau soulevées par un contrepoids), autrefois utilisés en Égypte et au Soudan (KIMMAGE et ADAMS, 1992 ; ADAMS, 1992). Dans les années 1970, le Nigeria a construit une série de grands barrages, comme les barrages de Tiga et Challawa qui ont modifié le régime d'inondation de la plaine ce qui a impacté l'agriculture et le séjour des oiseaux migrateurs. À la suite du projet Fadamas, financé par la Banque mondiale, une grande partie de ces zones de décrue est aujourd'hui irriguée de manière informelle à partir de puisards et de petites motopompes.

Le bassin du Niger

Le nord du delta intérieur au Mali compte un grand nombre de lacs localisés entre les dunes qui sont alimentés plus ou moins régulièrement par la crue du fleuve Niger. L'agriculture de décrue y est encore pratiquée sur plusieurs dizaines de milliers d'hectares, plus particulièrement sur les bords des lacs Faguibine (HARLAN et PASQUEREAU, 1969 ; THOM et WELLS, 1987) et Horo (ADAMCZEWSKI *et al.*, 2011). Traditionnellement, les cultures de décrue comprenaient le sorgho et le niébé, souvent en association, et parfois un peu de maïs, de patate douce et de riz. Certains cultivateurs transplantent les plants de riz ou de sorgho au fur et à mesure de la décrue. Des producteurs installent parfois des diguettes pour retarder le retrait de l'eau lorsque les inondations se résorbent. Dans certaines cuvettes, les paysans sèment aussi du riz flottant avant la saison des pluies et du mil en hivernage sur les terres exondées.

La crue du fleuve Niger a déjà été légèrement réduite par le barrage de Sélingué et par les prélèvements de l'Office du Niger à partir du barrage de Markala. Le plan de construction du barrage de Fomi en Guinée devrait réduire davantage la crue dans toute la vallée, notamment dans le delta intérieur, dont la région des lacs, et dans la boucle du Niger. De même, le projet de construction du barrage de Taoussa au Mali aura des répercussions en amont dans la boucle du Niger et en aval au Niger et au Nigeria.

La culture du sorgho de décrue est encore pratiquée le long de la rivière Bénoué, un affluent du fleuve Niger, notamment au Cameroun dans la région de Garoua. Les surfaces en culture de décrue ont beaucoup régressé après la construction du barrage hydroélectrique de Lagdo en 1982 (NGOUNOU NGATCHA *et al.*, 2002).

La moyenne vallée du fleuve Sénégal

Les populations sénégalaise et mauritanienne de la moyenne vallée du fleuve Sénégal pouvaient cultiver pratiquement toute l'année, en fonction de la crue et de la pluie : pendant la saison des pluies, elles semaient mil, arachide, pastèques et niébé sur les zones exondées ; lors de la saison froide, elles semaient une association de sorgho et le niébé de décrue dans les cuvettes, et pendant la saison chaude elles emblavaient d'autres cultures de décrue comme l'oseille, le gombo, l'aubergine, le maïs et bouturaient la patate douce sur les berges du lit mineur (LERICOLLAIS et SCHMITZ, 1984 ; SAARNAK, 2003). Le Recensement national de l'agriculture (1998/1999) a révélé que 9,2 % des ménages ruraux agricoles du Sénégal se sont adonnés aux cultures de décrue, et 58,49 % de ces ménages étaient installés dans la région de Saint-Louis (d'avant le découpage administratif de 2008), avec une grande majorité d'entre eux dans le département de Podor (82,88 %) (République du Sénégal, 1999).

Pour la période allant de 1946 à 1971, avant la création de l'OMVS (Office de mise en valeur du fleuve Sénégal), la moyenne des surfaces inondées était estimée à 312 000 ha de part et d'autre du fleuve, et celle des surfaces cultivées à 108 000 ha, dont 65 000 ha pour la rive sénégalaise (KOSUTH, 1999). La construction du barrage de Manantali en amont, sur le Bafing, le plus gros bras du fleuve Sénégal, a sensiblement réduit la crue du fleuve et les inondations dans les cuvettes. Dans les années 1980, les gouvernements sénégalais et mauritanien ont fait installer des centaines de périmètres rizicoles sur leur rive respective du fleuve pour compenser les pertes des populations privées de cultures de décrue. Ces périmètres sont situés sur les terres exondées des bourrelets de berge, en bordure des bras pérennes du fleuve, et sont peu nombreux dans les plaines inondables à cause des dégâts des inondations. Quand les crues des rivières Falémé et Bakoye le permettent, les populations sont donc toujours prêtes à semer la traditionnelle association sorgho-niébé-cucurbitacée dans les cuvettes inondables. Mais le projet de barrage de Gourbassi sur la Falémé et les plans d'aménagements dans les cuvettes pourraient bien sonner le glas de la culture de décrue dans la vallée du Sénégal.

Des plaines inondables dans les pays du golfe de Guinée

Les cultures de décrue sont encore pratiquées dans la basse vallée de l'Ouémé au Bénin, où les riverains profitent du retrait des eaux de crue pour installer progressivement diverses cultures de décrue. Les superficies annuellement emblavées varient sensiblement d'une année à l'autre. En 2008, on estimait ces superficies à 7 000 ha

cultivés en décrue (GBAGUIDI, 2014). Mais de plus en plus de cultivateurs commencent à appliquer une irrigation de complément avec des petites motopompes ou passent directement au maraîchage irrigué.

L'agriculture de décrue est encore pratiquée sur les bords des différents bras du fleuve Volta au nord du Ghana (LAUBE *et al.*, 2012 ; SIDIBÉ *et al.*, 2016 ; BALANA *et al.*, 2019). L'Autorité de développement de l'irrigation du Ghana a identifié 32 000 ha de vallées et bas-fonds qui pourraient bénéficier du système de décrue (MoFA, 2011). La culture de décrue est aussi pratiquée par les pêcheurs le long du lac Volta qui y cultivent du gombo, du piment, des légumes feuilles, de la pastèque et du maïs (SAM-AMOH *et al.*, 2011). Beaucoup de femmes et de jeunes sont impliqués dans ces productions. Les cultivateurs de décrue ghanéens incriminent l'insécurité foncière et les décrets d'interdiction de la culture dans certaines plaines inondables et dans les zones tampons autour des plans d'eau.

Conclusion

L'agriculture de décrue reste une pratique relativement répandue dans les plaines inondables d'Afrique de l'Ouest, où elle couvre encore quelques centaines de milliers d'hectares. Elle avait fortement régressé lors des grandes sécheresses des années 1970 et 1980. Par la suite, la construction de quelques grands barrages et de périmètres irrigués a encore réduit la crue. Elle est aujourd'hui menacée par des projets de grands barrages régulateurs dans certains bassins comme celui du Niger ou du Sénégal. Elle est au contraire en pleine expansion dans le bassin du lac Tchad, à la suite du retour des pluies et grâce à des aménagements permettant le retour des inondations en bordure du Logone. Mais l'impact du projet de transfert d'eau du bassin du Congo risque de modifier le fonctionnement des inondations.

Dans beaucoup de plaines inondables et bas-fonds d'Afrique de l'Ouest, la tendance est au remplacement progressif de l'agriculture de décrue par la petite irrigation d'initiative privée. L'augmentation rapide de la demande alimentaire urbaine pour les fruits et légumes entraîne avec elle celle du maraîchage. Les maraîchers pratiquent la petite irrigation à partir de puisards ou de canaux artisanaux qui sont sureusés au fur et à mesure que les plans d'eau reculent. C'est en quelque sorte une agriculture de décrue irriguée. L'arrivée prochaine sur le marché de petites pompes solaires pourrait accélérer ce mouvement. Dans ces zones de décrue, les producteurs appliquent de plus en plus d'engrais organiques et minéraux et emploient occasionnellement des pesticides, ce qui permet d'envisager une certaine intensification de la production agricole. Comme pour les zones de décrue, l'encadrement public est quasiment absent. Ce sont pourtant ces zones à fort potentiel agroécologique qui ont le plus besoin d'appui technique et sanitaire pour assurer une transition efficace et durable.

Références

- ADAMCZEWSKI A., HERTZOG T., DOSSO M., JOUVE P., JAMIN J. Y., 2011**
L'irrigation peut-elle se substituer aux cultures de décrue ?
Cah. Agric., 20 (1-2) : 97-104.
- ADAMS W. M., 1992**
Wasting the rain: Rivers, people and planning in Africa.
 London, Earthscan Publications Ltd.
- ADAMS W. M., 1993**
 Development's deaf ear: Downstream users and water releases from the Bakolori Dam, Nigeria.
World Development, 21 (9) : 1405-1416.
 doi:10.1016/0305-750X(93)90121-O.
- AQUASTAT, 2005**
Water resources of African countries: a review. Revised by Jean Margat in 2001. Revision by AQUASTAT and Jean Margat in 2005, Rome, FAO.
- ARID, 2004**
Typologie des systèmes irrigués en Afrique de l'Ouest sahélienne.
 Projet Appia.
 Ouagadougou, ARID, Burkina Faso.
http://www.arid-afrique.org/IMG/pdf/Typologie_des_systemes_irrigues_AO_.pdf
- BALANA B., SANFO S., BARBIER B., WILLIAMS T. O., KOLAVALLI S., 2019**
 Assessment of flood recession agriculture for food security in northern Ghana: an optimization modelling approach.
Agricultural Systems, 173 : 536-543.
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.03.021>
- BARBIER B., OUEDRAOGO H., DEMBELE Y., YACOUBA H., BARRY B., JAMIN J. Y., 2011**
 L'agriculture irriguée dans le Sahel ouest-africain.
Cah. Agric., 20 : 24-33. doi : 10.1684/agr.2011.0475
- DELANEY S., 2012**
Challenges and opportunities for agricultural water management in West and Central Africa: lessons from IFAD experience.
 IFAD report, 63 p.
- DENENODJI A., GONNE B., BEGUE A., LAOHOTE B., BONDORO O., DATOLOUM D., LIBAR, J., 2017**
 « La dynamique des cultures irriguées et de décrue sous l'effet de la variabilité climatique dans la vallée inférieure du fleuve Logone ». In : *Recherches croisées sur les écosystèmes lacustres tchadiens*, ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche scientifique et Ambassade de France, s.l. : FSP, 168-190.
- GBAGUIDI F., 2014**
 « Situation de l'irrigation au Bénin ». In Namara R. E., Sally H. (eds) : *Proceedings of the Workshop on Irrigation in West Africa: Current Status and a View to the Future*, Ouagadougou, Burkina Faso, December 1-2, 2010, Colombo, Sri Lanka, International Water Management Institute (IWMI), 373 p. DOI : 10.5337/2014.218
- HARLAN J. R., PASQUEREAU J., 1969**
 Décrue agriculture in Mali.
Econ. Bot., 23 : 70-74.
- HOLT J., CIPRYK R., 2011**
Profils de zones de moyens d'existence rapides. Rapport spécial du réseau de systèmes d'alerte rapide contre la famine (USAID fews net).
- KEMSOL NAGORNGAR A., JOFACK SOKENG V. C., MADJIGOTO R., RAIMOND C., RIRABE D., LIBAR J., KOUAME K. F., 2018**
 Discrimination des cultures de décrue par classification semi-automatique des images Landsat au lac Fitri.
International journal of engineering science invention, 7 (2) : 32-42.
- KIMMAGE K., ADAMS W., 1992**
 Wetland Agricultural Production and River Basin Development in the Hadejia-Jama'are Valley, Nigeria.
Geographical Journal, 158 (1) : 1.
 DOI: 10.2307/3060012
- KOSUTH P., 1999**
Populations de la vallée concernées par la gestion des ouvrages et des eaux de surface du fleuve Sénégal.
 POGR, avril 1999.

LAUBE W., SCHRAVEN B., AWO M., 2012
 Smallholder adaptation to climate change: Dynamics and limits in Northern Ghana. *Climatic Change*, 111 (3) : 753-774.
<http://doi.org/10.1007/s10584-011-0199-1>

LEMOALLE J., 2005
 « The lake Chad basin ». In Fraser L. H., Keddy P. A. (eds) : *The world's largest wetlands. Ecology and conservation*, Cambridge University Press, 488 p.

LEMOALLE J., MAGRIN G. (dir.), 2014
Le développement du lac Tchad. Situation actuelle et futurs possibles. Marseille, IRD Éditions, coll. Expertise collégiale, rapport de synthèse, 63 p.

LERICOLLAIS A., SCHMITZ J., 1984
 La calebasse et la houe : techniques et outils des cultures de décrue dans la vallée du Sénégal. *Cahiers Orstom, série Sciences Humaines*, 20 (3-4).

LOTH P. (ed.), 2004
The Return of the Water: Restoring the Waza Logone Floodplain in Cameroon. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, xvi + 156 p.

MAGRIN G., 2009
 « De longs fleuves tranquilles ? Les mutations des plaines refuges du bassin tchadien ». In Raison J. P., Magrin G. (dir.) : *Des fleuves entre conflits et compromis. Essais d'hydropolitique africaine*, Paris, Karthala : 125-172.

MOFA, 2011
National Irrigation Policy, Strategies and Regulatory Measures. Ministry of Food and Agriculture, Ghana Irrigation Development Authority.

NGOUNOU NGATCHA B., NJITCHOUA R., NAAH E., 2002
 « Le barrage de Lagdo (Nord-Cameroun). Impact sur les plaines d'inondation de la Bénoué ». In Orange D. (éd.) : *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales*, Paris, IRD Éditions, CNRS : 455-474.

PARK T. K., 1993
Risk and Tenure in Arid Lands. The Political Ecology of Development in the Senegal River Basin. Tuscon, The University of Arizona Press.

RAIMOND C., 1999
Terres inondées et sorgho repiqué. Évolution des espaces agricoles et pastoraux dans le bassin du lac Tchad. Université de Paris-I Panthéon-Sorbonne, thèse de doctorat de géographie, 541 p.

RAIMOND C., 2005
 « La diffusion du sorgho repiqué dans le bassin tchadien ». In Raimond C., Garine E., Langlois O. (dir.) : *Ressources vivrières et choix alimentaires dans le bassin du lac Tchad*, Paris, IRD Éditions, coll. Colloques et séminaires : 207-241.

SAM-AMOAH L. K., BONSU M., ABANO E. E., 2011
 Using residual moisture to support a second crop in a rice-based cropping system in two different agro-ecological zones in Ghana. *Journal of Agricultural and Biological Science*, 6 (1) : 64-67.

PAM, 2012
Tchad : la filière céréales au Salamat ; enjeu : les flux céréalières internes dans un contexte déficitaire. 4 p.

SAARNAK N. L., 2003
 Flood recession agriculture in the Senegal River Valley. *January Geografisk tidsskrift/udgivet af Bestyrelsen for Det Kongelige danske geografiske selskab*, 103 (1) : 99-113.
 DOI: 10.1080/00167223.2003.10649483

LYÉBI-MANDJEK O., SEIGNOBOS C., 2005
Atlas de la province Extrême-Nord Cameroun. Paris, IRD Éditions/Minrest-INC, 172 p.

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL, 1999
Recensement national de l'agriculture 1998-99 (Volume 1) : les résultats du pré-recensement de l'agriculture. 300 p.

SEIGNOBOS C., 2000
 « Sorghos et civilisations agraires ». In Seignobos C., Lyébi-Mandjek O. (éd.) : *Atlas de la province Extrême-Nord Cameroun*, Paris, IRD Éditions/ : 82-87.

SEIGNOBOS C., 2008

« Le sorgho repiqué Muskuwaari au Cameroun ».

In Mollard E., Walter A. (éd.) : *Agricultures singulières*, Paris, IRD Éditions.

SIDIBE Y., WILLIAMS T. O.,

SHASHIDHARA K., 2016

Flood recession agriculture for food security in Northern Ghana: Literature review on extent, challenges, and opportunities.

GSSP Working Paper, 42, Washington D.C. and Addis Ababa, Ethiopia, International Food Policy Research Institute (IFPRI) and Ethiopian Development Research Institute (EDRI).
<http://ebrary.ifpri.org/cdm/ref/collection/p15738coll2/id/130195>, 2016.

THOM D. J., WELLS J. C., 1987

Farming Systems in the Niger Inland Delta, Mali.

Geographical Review, 77 (3) : 328-342.
<https://www.jstor.org/stable/214124>

THOMAS D. H. L.,

ADAMS W. M., 1999

Adapting to dams: Agrarian change downstream of the Tiga Dam, Northern Nigeria. *World Development*, 27 : 919-935.

WCD (WORLD COMMISSION ON DAMS), 2000 *Dams and development.*

A new framework for decision-making. The report of the World Commission On Dams, Earthscan Publications Ltd, London and Sterling, Earthscan.
www.dams.org/report/contents.htm.

L'agriculture de décrue a-t-elle un avenir au Sénégal ?

Une analyse selon la méthode FFOM : « Forces-Faiblesses-Opportunités- Menaces »

*Abdou Ndiaye DIOP, El Hadji Malick SYLLA,
Bruno BARBIER, Jean-Claude BADER, Mamadou SALL,
Cheickh Sadibou FALL, Mohamadou DIEYE,
Aymar Y. BOSSA*

Introduction

L'avenir de l'agriculture de décrue de la moyenne vallée du fleuve Sénégal a suscité de vifs débats depuis l'Indépendance. Alors que dans les plans initiaux d'aménagement de la vallée, elle était censée disparaître, elle est toujours pratiquée par des dizaines de milliers de producteurs quand la crue le permet (BRUCKMAN, 2018). Mais l'avenir de cette pratique est toujours incertain. Les tenants de son maintien listent une série d'atouts, mais la majorité estime que la pratique est sans avenir. Cette absence de visibilité affaiblit probablement les initiatives de développement de la moyenne vallée et explique en partie la persistance de la pauvreté et de l'émigration.

Dans ce chapitre, nous appliquons la méthode « Forces-Faiblesses-Opportunités-Menaces » (FFOM ou SWOT en anglais) pour synthétiser l'information existante sur le sujet. En plus de la littérature existante, nous avons réalisé des enquêtes auprès de 119 producteurs de décrue des cuvettes de Podor, Guédé et Nabadji (fig. 1). Nous avons aussi réalisé des « focus groupes » dans les trois cuvettes précitées ainsi qu'à Djandjoli et Wawa. Nous avons ensuite rencontré diverses personnes-ressources, chercheurs, techniciens, chefs de service au niveau de l'OMVS (Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal), de la Saed (Société nationale d'aménagement et d'exploitation des terres du delta du fleuve Sénégal et des vallées du fleuve Sénégal et de la Falémé), de l'Isra (Institut sénégalais de recherches agricoles), de la DRDR (Direction régionale de développement rural), de l'IRD (Institut de recherche pour le développement), de l'UGB (université Gaston-Berger), de Enda (Environnement,

Développement, Action dans le tiers monde), de l'Ujak (Union des jeunes agriculteurs de Koyli Wirnde), l'IWMI (International Water Management Institute) et l'Ucad (université Cheikh Anta Diop de Dakar).

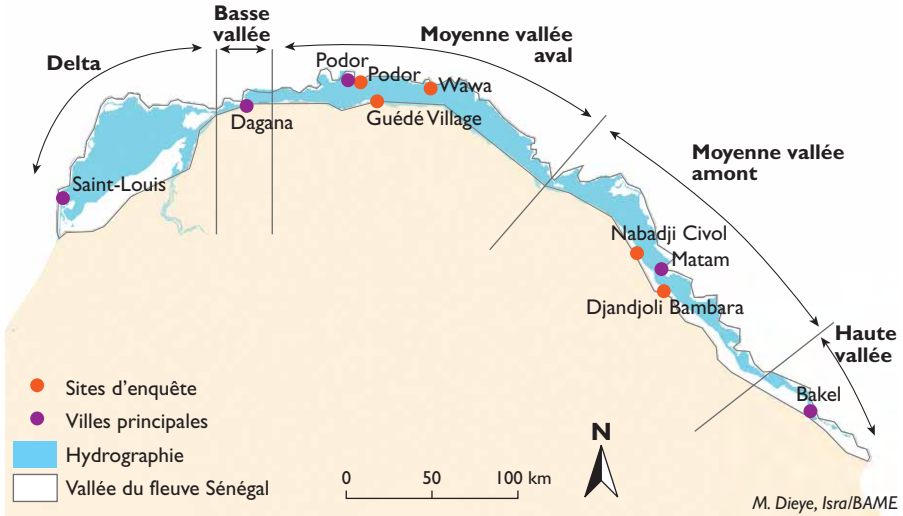


Figure 1. Situation de la moyenne vallée du fleuve Sénégal.

Tableau 1. Analyse des forces, faiblesses, opportunités et menaces concernant l'agriculture de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal.

Sources : données de l'enquête.

<p>Forces</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une certaine popularité parmi les producteurs • Une bonne productivité du travail et de l'eau • Une bonne connaissance agronomique 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> • Des crues erratiques • Un maximum de crue écrêté • L'arrêt du soutien des crues • La gestion des cuvettes aménagées • Des rendements très faibles • Une faible consommation de sorgho • Un appui inégal sur le terrain • Une certaine résignation
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> • Des gains de rendements possibles • L'irrigation d'appoint • Les doutes sur le projet de barrage de Gourbassi • Augmenter le turbinage • Une politique des territoires 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le retour des grands barrages • Expansion des systèmes irrigués • Des politiques nationales atones • Des perspectives hydroclimatiques ambiguës

La méthode FFOM est une méthode couramment employée pour clarifier les situations complexes en classant les informations recueillies en quatre catégories, à savoir : les forces, les faiblesses, les opportunités et les menaces. Dans notre cas, les forces sont les éléments internes de l'agriculture de décrue qui peuvent favoriser son développement. Les faiblesses sont les facteurs internes qui peuvent contribuer à la faire disparaître. Les menaces sont les facteurs externes, ceux qui échappent à un contrôle immédiat, qui peuvent avoir une incidence négative sur le développement de l'agriculture de décrue. Les opportunités sont les facteurs externes tels que les politiques publiques ou les aspects institutionnels, qui sont susceptibles d'apporter un appui au maintien de cette pratique.

Les forces de l'agriculture de décrue

Une certaine popularité parmi les producteurs

En année de bonne crue, les populations riveraines du fleuve montrent un enthousiasme certain pour l'agriculture de décrue, même les plus jeunes. Les producteurs considèrent cette pratique ancestrale avec respect et utilisent les mêmes outils taillés et ornés que leurs ancêtres (LERICOLLAIS et SCHMITZ, 1984 ; COUTURE, 1998). Les cultivateurs de décrue interrogés lors des ateliers disent préférer cette culture à la riziculture irriguée. La riziculture irriguée est relativement plus contraignante, et ses bénéfices, bien que supérieurs en moyenne, restent très variables et peuvent conduire à un endettement, voire à l'éviction des périmètres. Par ailleurs, les personnes de la vallée interrogées estiment que le sorgho est un excellent mets, meilleur pour la santé que le riz, souvent accusé de favoriser le diabète, la tension et la goutte.

Une bonne productivité du travail et de l'eau

L'agriculture de décrue a quelques atouts économiques à faire valoir (LERICOLLAIS et SCHMITZ, 1984 ; JAMIN, 1986 ; LE ROY, 2000). Elle ne demande pas d'investissement financier, pas d'aménagement, elle requiert un travail limité, pas d'engrais ni de pesticides, si ce n'est que certains doivent acheter des semences et qu'il faut surveiller les cultures les semaines avant la récolte. Le semis (en octobre-novembre) est rapide et le désherbage est beaucoup plus réduit que pour les cultures d'hivernage. L'agriculture de décrue valorise de vastes étendues, légèrement fertilisées par les crues, et permet une culture de saison sèche. Elle affranchit le producteur de la pluviosité locale, très faible et capricieuse. Les cultures de décrue produisent aussi des quantités importantes de résidus. Les tiges de sorgho sont une ressource fourragère bien plus appréciée des troupeaux que les pailles de riz. Le niébé, qui est souvent produit en association avec le sorgho, fournit à la fois des gousses et des fanes qui ont une grande valeur commerciale aux mois de février/mars quand les autres fourrages se font rares. L'agriculture de décrue affiche aussi une très bonne productivité de l'eau (RIJKS, 1971 ; BONNEAU, 2001).

Une bonne connaissance agronomique

Les travaux de recherche agronomique ont permis d'identifier les contraintes principales de la culture du sorgho de décrue (JAMIN, 1986 ; COMAS et MACPHERSON, 2001 ; NDIAYE, 1991). Parmi elles, on peut citer : la faible maîtrise de l'inondation des cuvettes par les producteurs ; les problèmes phytosanitaires et les dégâts liés aux insectes, oiseaux et phacochères ; la rudesse du travail de trouaison du sol pour le semis (SALL *et al.*, 2018). Les recherches effectuées ont aussi permis de montrer qu'un rendement dépassant 1 t/ha de sorgho peut être obtenu avec des variétés améliorées à cycle court, la fertilisation et l'utilisation des insecticides/fongicides sur les semences pour la protection phytosanitaire et l'augmentation de la densité de plants.

Les faiblesses

Des crues erratiques

L'agriculture de décrue dépend de la crue du fleuve Sénégal, peu prévisible et d'ampleur très variable d'une année à l'autre. Pendant les années 1970 et 1980, l'agriculture de décrue avait pratiquement disparu.

Un maximum de crue écrêté

Le barrage de Manantali, qui contrôle moins de 50 % de la crue annuelle du fleuve Sénégal, a déjà réduit la hauteur du maximum de crue (LE ROY, 2008 ; BADER, 2017). Les cuvettes sont donc moins facilement inondées en moyenne.

L'arrêt du soutien des crues

Lors de la mise en service du barrage de Manantali, il était prévu que des lâchers soient réalisés pour compenser des crues insuffisantes afin de maintenir des surfaces inondées et assurer la mise en culture de décrue. Mais, après l'installation des turbines, les États riverains ont définitivement privilégié l'hydroélectricité (BADER *et al.*, 2003). Aucun soutien à l'inondation n'est assuré pour les cultures de décrue depuis 2004. Les crues sont aujourd'hui liées aux affluents non contrôlés et au turbinage de Manantali.

La difficile gestion des cuvettes aménagées

Le BRLI (Bureau d'études et d'ingénierie dans le domaine de l'eau et de l'environnement) avait étudié l'aménagement d'un certain nombre de cuvettes sur les deux rives (BRLI, 2006) et la Saed a aménagé certaines de ces cuvettes en édifiant des digues sur les bourrelets de berge et en plaçant des portes hydrauliques afin de pouvoir

gérer le niveau des inondations à l'intérieur des cuvettes. Ces aménagements visent plusieurs objectifs, à savoir mieux gérer l'inondation en maintenant l'eau plusieurs semaines dans la cuvette, installer des périmètres irrigués dans les cuvettes sans avoir besoin de les protéger, favoriser la recharge des nappes, maintenir les zones arborées et produire des fourrages.

La gestion des portes des cuvettes aménagées, comme à Nabadji et Djandjoli, est souvent conflictuelle, car les objectifs divergent entre producteurs de décrue, les irrigants des PIP (périmètres irrigués privés) ou des PIV (périmètres irrigués villageois) et les pêcheurs. La gestion de ces portes nécessite en fait un accompagnement de longue durée. Il ne s'agit pas simplement de remettre les clés des vannes à un groupement. Il faut accompagner les agriculteurs dans la mise en place d'un bureau effectif et dans la définition de règles précises d'ouverture et de fermeture des vannes.

Des rendements très faibles

Les rendements de la culture de décrue sont faibles, et même nuls quand il n'y a pas de crue ou quand les ravageurs anéantissent les récoltes. La riziculture irriguée atteint souvent six tonnes par hectare, et parfois deux fois par an, et les cultures maraîchères comme l'oignon ou la tomate génèrent des revenus nettement supérieurs à la culture de décrue.

Une faible consommation du sorgho

Le sorgho, qu'il soit produit en pluvial, en irrigué ou en décrue, est une céréale très faiblement consommée au Sénégal. La consommation moyenne est estimée à 0,7 kg/tête/an au niveau national, 2,8 kg/tête/an en zones rurales et 0,05 kg/tête/an en zones urbaines. Le sorgho est la céréale la moins consommée. Par comparaison la consommation de riz est de 80 kg par tête en milieu rural et celle de mil de 53 kg. Seuls 2,4 % des ménages, dont 9,6 % en milieux ruraux et 0,2 % en zones urbaines, sont concernés. Même à Matam, la consommation reste faible (5 kg/tête/an) (IPAR, 2017).

Un appui inégal sur le terrain

Les services d'appui technique de la Saed, de la DRDR, de l'Ankar (Agence nationale du conseil agricole et rural) fournissent un appui occasionnel selon les zones et les opportunités, par exemple en distribuant des pesticides pour enrober les semences. La recherche n'a pas fait de la culture de décrue sa priorité, bien que l'Isra ait récemment réalisé plusieurs études sur l'agriculture de décrue et fourni un ensemble de recommandations pour améliorer les rendements. Mais pour l'instant, l'adoption des innovations est quasi nulle.

Une certaine résignation

Pour ce qui est de l'avenir de la crue et de la décrue dans la vallée, les producteurs rencontrés ne sont pas très au courant des perspectives. Si certains producteurs affichent un certain optimisme, la plupart se résignent : les autorités avaient bien prévu

que cette forme de culture serait remplacée par l'irrigation. Les cultures de décrue ont régressé en surface et les producteurs observent aussi une baisse de rendements. Les ravageurs augmentent leurs attaques et la concurrence des cultures irriguées progresse. De même, pour les experts interrogés, l'agriculture de décrue est sans avenir dans la mesure où le fleuve sera progressivement régulé par de nouveaux barrages réservoirs en amont, destinés prioritairement à la production hydroélectrique et à la régulation des débits du fleuve.

Des menaces

Le retour des grands barrages

Il y a une vingtaine d'années, la commission des barrages avait jeté un fort discrédit sur l'impact social et environnemental des barrages (WCD, 2000). Elle avait dénoncé l'impact des barrages sur les agricultures traditionnelles, et notamment sur celle de décrue. Le barrage de Manantali était pris comme l'exemple d'un barrage qui aurait créé plus de problèmes qu'il n'en aurait résolus. Les grands bailleurs avaient alors pratiquement cessé de financer des grands barrages. Maintenant que les COP portant sur le changement climatique ont sonné l'alarme et jeté les bases d'une transition énergétique rapide vers les énergies renouvelables, l'hydroélectricité revient dans les plans de « mix » énergétique. Des pays émergents, et surtout la Chine, ont relancé les grands chantiers de barrages chez eux et un peu partout dans les pays en développement. La marche pour la régulation des grands fleuves a repris.

L'expansion des systèmes irrigués

Malgré les difficultés rencontrées, les États sont bien décidés à étendre les systèmes irrigués intensifs, que ce soit dans le delta ou dans la moyenne vallée. L'État sénégalais va continuer à faciliter l'installation des PIP mais aussi à installer des périmètres collectifs (PIV et grands aménagements) dans les cuvettes de la moyenne vallée.

Dans la moyenne vallée, les PIV et les PIP sont surtout localisés sur les bourrelets de berge rarement inondés. Mais cette zone est quasiment saturée. Les prochains aménagements devront être installés dans les cuvettes. De grands investissements sont prévus, notamment dans l'île à Morphil avec l'aide de la coopération indienne. Le gouvernement sénégalais a aussi investi dans le désenclavement de la moyenne vallée. Les perspectives de transformer la moyenne vallée en zone de production agricole intensive se concrétisent progressivement, probablement au détriment des cultures de décrue.

Des politiques nationales atones

L'agriculture est mentionnée dans les politiques de l'OMVS, notamment dans le Sdage (Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux), ainsi que dans les

plans nationaux de la rive gauche (Guinée, Mali, Mauritanie, Sénégal). Par contre, elle est absente dans les politiques agricoles nationales du Sénégal, que ce soit la Goana d'Abdoulaye Wade ou le Pracas de Macky Sall. L'État sénégalais compte surtout sur le renforcement de l'irrigation intensive dans la vallée, dans les Niayes et en Casamance pour atteindre l'autosuffisance en riz et pour développer les productions horticoles. Pour les pouvoirs publics, la crue du fleuve est considérée comme un handicap au développement économique de la moyenne vallée.

Des perspectives hydroclimatiques ambiguës

Quant aux perspectives hydrologiques et climatiques, les tendances sont contradictoires. Les modèles climatiques globaux prévoient plutôt un assèchement du climat dans la moitié ouest de l'Afrique de l'Ouest (BATES *et al.*, 2008). Par ailleurs, des climatologues ont observé des cycles climatiques naturels de longue durée (autour de 70 ans), dénommés « Oscillations multidécennales Atlantique » (OMA). Comme la dernière grande sécheresse a eu lieu dans les années 1970-1980, la prochaine période de sécheresse pourrait survenir dans les années 2040. Il est toutefois probable que ces cycles naturels seront perturbés par le réchauffement global (MOHINO *et al.*, 2011).

Les opportunités

Les difficultés de l'irrigation classique

Les difficultés de l'irrigation classique sont peut-être une chance pour le maintien, voire la relance, de l'agriculture de décrue. La transition des systèmes agraires de la vallée de la décrue vers l'irrigation est en difficulté. Beaucoup de périmètres sont abandonnés quand les pompes tombent en panne ou que les canaux se dégradent. Beaucoup de PIV ne peuvent pas partir en campagne à cause des impayés bancaires. Beaucoup de riziculteurs exclus de l'irrigation comptent sur les cultures de décrue pour générer des revenus.

L'augmentation des rendements est possible

Avec des apports de fertilisants, comme la micro-fertilisation, et la réduction du déficit hydrique à la parcelle, les rendements potentiels des cultures de décrue peuvent être très nettement améliorés. Le rendement du sorgho de décrue arrosé et fertilisé peut dépasser plusieurs tonnes par hectare (JAMIN, 1986 ; COMAS et MACPHERSON, 2001 ; NDIAYE, 1991). En développant une certaine maîtrise de l'inondation (surface, durée), le Sénégal pourrait produire entre 60 000 et 100 000 tonnes de sorgho-grains (et plus encore de fourrage) selon l'amplitude de la crue, soit entre 10 et 15 milliards de FCFA.

Les doutes sur le projet de barrage de Goubassi

Il n'est pas certain que l'agriculture de décrue disparaisse entièrement dans la vallée du fleuve Sénégal. Les bras non régulés du fleuve Sénégal tels que le Bakoye, la Falémé et quelques autres petits bras latéraux représentent plus de la moitié de la crue du fleuve et peuvent contribuer à l'inondation des cuvettes de la moyenne vallée lors des années humides. Le bassin versant du Bakoye ne sera probablement pas régulé, car il est en grande partie occupé par des aires protégées, notamment le parc du Baoulé. L'avenir de la décrue dépend principalement de la réalisation du barrage de Goubassi prévu sur la Falémé. Or, son productible électrique potentiel est très faible (25 MW). L'OMVS compte sur Goubassi pour réguler le fleuve pour la navigation et le développement de l'irrigation dans les cuvettes de la moyenne vallée (TRACTEBEL, 2013). L'OMVS cherche le financement, notamment auprès de l'AFD. Les Chinois viennent de signer un contrat pour le financement et la construction du barrage de Koukoutamba sur le Bafing. Il n'est pas certain qu'ils voudront financer dans la foulée un nouveau barrage dont la rentabilité est en partie liée à une navigation assez hypothétique. Cette incertitude peut être levée sous le mandat de l'actuel commissaire de l'OMVS, déterminé à faire construire Goubassi. Mais s'il échoue, cette incertitude risque de perdurer.

Augmenter le turbinage

Un autre argument pour le soutien des cultures de décrue est que la demande en électricité du Sénégal est très élevée pendant les chaleurs de septembre à octobre, c'est-à-dire pendant le pic de crue. Un soutien de la crue par un turbinage maximum est une option. Jusque-là, la Sogem (Société de gestion de l'énergie de Manantali) devait restreindre le turbinage pour maintenir le niveau du plan d'eau dans le barrage de Manantali. Avec la construction des grands barrages en amont, il sera possible de turbiner davantage à Manantali à cette période. Toutefois, le débit turbiné est limité par une valeur maximale dépendant des caractéristiques de la turbine et du niveau du plan d'eau dans le réservoir. Selon l'hydrogramme objectif de crue de l'OMVS et les apports intermédiaires entre barrages et lieu de l'objectif, le soutien de crue peut nécessiter des débits dépassant la capacité maximum des turbines, dont une partie doit alors être lâchée sans être turbinée. Même avec plusieurs barrages en parallèle sur les bras du fleuve, le turbinage maximal de tous les côtés sera parfois insuffisant pour atteindre l'objectif de soutien de la crue qui permette l'inondation des cuvettes. Il faudra alors renforcer le soutien des crues par des lâchers supplémentaires.

Une politique des territoires

Jusque-là, les populations de la moyenne vallée ont été peu consultées et même peu informées par rapport aux différents projets de barrages et d'aménagements. Les barrages ont été construits à la suite des sécheresses des années 1970, accompagnés de la promesse d'une transition progressive vers une agriculture intensive, et les soutiens de crue devaient permettre le maintien de la culture de décrue sur 40 000 ha. L'installation de plusieurs centaines de périmètres villageois à maîtrise totale de l'eau devait compenser la disparition de l'agriculture de décrue. C'était une époque

où les populations étaient peu intégrées aux plans de développement. Or, depuis un certain temps déjà, les politiques nationales et transfrontalières ont adopté le discours de la territorialisation, de la décentralisation, de la participation et de la gouvernance au niveau local. Le comité de bassin de l'OMVS, rendu opérationnel en 2019, devrait permettre aux producteurs de décrue de faire entendre leur voix dans les choix stratégiques de la mise en valeur de la vallée.

Conclusion

Le tableau FFOM suggère que l'agriculture de décrue dispose d'assez peu d'arguments à présenter en sa faveur si ce n'est une certaine productivité du travail, un faible coût, un marché porteur pour les principales cultures, un certain enthousiasme des populations pour poursuivre une pratique millénaire. Du côté des faiblesses, la liste des contre-arguments est longue. Des rendements dérisoires et qui baissent, une pression accrue des ravageurs, et un manque d'appui des services publics et des ONG. Les perspectives poussent au pessimisme, dans la mesure où la disparition des cultures de décrue était programmée à haut niveau et où elle favorisera l'installation de nouveaux périmètres dans les cuvettes.

Malgré ce diagnostic, nous pensons que la probabilité pour que les crues perdurent dans la moyenne vallée reste élevée. Tout dépend de la volonté des bailleurs à financer le barrage de Goubassi. Or, la mise en chantier de ce barrage va nécessiter un argumentaire convaincant de la part de l'OMVS, notamment quant à l'intérêt de la navigabilité du fleuve. La navigation va nécessiter un certain nombre d'ouvrages connexes complexes, une organisation publique inter-États et la mise en place d'un marché du transport fluvial. Or le réseau routier sénégalais est en voie de rénovation, et il existe une voie ferrée de Dakar au Mali dont les projets de rénovation sont régulièrement discutés. L'intérêt éventuel du barrage de Goubassi réside dans la facilité de l'installation de nouveaux périmètres dans les cuvettes de la moyenne vallée. Or, là aussi, les investisseurs doutent de la durabilité de ces périmètres. Que ce soient les PIV, les PIP ou les grands aménagements, les problèmes de gestion et de durabilité demeurent.

Si l'agriculture de décrue a de bonnes chances de persister, ne serait-il pas possible d'améliorer sa productivité ? Les producteurs des zones inondables cultivées en décrue du Cameroun, du Nigeria, du Bénin, du Togo et du Ghana sont en train d'amorcer cette transition de l'agriculture de décrue vers une petite irrigation qui se pratique au bord des plans d'eau ou à partir de puisards.

Références

BADER J.-C., 2017

Estimation des superficies inondées dépassées n jours chaque année depuis 1950 sur chacune des 10 cuvettes expérimentales du POGR et sur l'ensemble du lit majeur du fleuve Sénégal entre Matam et Dagana. Miméo, 2017.

BADER J.-C., LAMAGAT J.-P., GUIGEN N., 2003

Gestion du barrage de Manantali sur le fleuve Sénégal : analyse quantitative d'un conflit d'objectifs.

Hydrological Sciences Journal, 48 (4) : 525-538.

DOI: 10.1623/hysj.48.4.525.51415

BATES B. C.,

KUNDZEWICZ Z. W., WU S.,

PALUTIKOF J. P., 2008

Climate Change and Water.

Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change,

IPCC Secretariat, Geneva, Switzerland, 210 p.

BONNEAU M., 2001

Besoin en eau de l'agriculture irriguée et de l'agriculture de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal.

Montpellier-Dakar, ENSA/IRD, 105 p. + 74 p. annexes.

BRLI, 2006

Étude de faisabilité des ouvrages de remplissage et de vidange des cuvettes du bassin du fleuve Sénégal.

OMVS, 172 p.

BRUCKMANN L., 2018

Crue et développement rural dans la vallée du Sénégal : entre marginalisation et résilience.

Belgeo, 2 : DOI : 10.4000/belgeo.23158

COMAS J.,

GOMEZ MACPHERSON H., 2001

La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre.

Situation actuelle et définition d'un Plan d'Action Régional.

Madrid, Agence espagnole de coopération internationale (AECIet Rome, FAO.

<ftp://ftp.fao.org/TC/TCA/ESP/pdf/sorgho.pdf>).

COUTURE J. L., 1998

Les bouches de l'eau du pays Soninké. Protohydraulique paysanne, gestion des ressources naturelles, aménagement des terroirs et développement rural. Mémoire IRC, 158 p.

IPAR, 2017

Étude de la consommation des céréales de base au Sénégal.

Rapport pour l'USAID, Feed the future, 125 p.

JAMIN J.-Y., 1986

L'agriculture de décrue

dans la vallée du fleuve Sénégal : les cultures traditionnelles du Waalo et du Falo.

Saint-Louis, Isra, 16 p.

LERICOLLAIS A., 1997

La vallée du Sénégal :

les cultures de décrue en question.

Montpellier, Orstom, multigr., 16 p.

LERICOLLAIS A., SCHMITZ., 1984

La calebasse et la houe :

techniques et outils des cultures de décrue dans la vallée du Sénégal.

Cahiers Orstom, série Sciences Humaines, 20 (3-4).

LE ROY X., 2000

« La difficile mutation de l'agriculture irriguée dans la vallée du fleuve Sénégal ».

In : Rivière-Honegger A., Ruf T. (éd.) :

Approches sociales de l'irrigation et de la gestion collective de l'eau : démarches et expériences en France et dans le monde, Montpellier, université Paul-Valéry.

LE ROY X., 2008

« Sorgho de décrue dans le département de Podor (Sénégal) ».

In : Mollard E., Walter A. (éd.) :

Agricultures singulières, Paris, IRD Éditions : 27-48.

MOHINO E., JANICOT S.,

BADER J. C., 2011

Sahel rainfall and decadal to multi-decadal sea surface temperature variability.

Climate Dynamics, 37 (3-4) : 419-440.

NDIAYE A., 1991

La culture du sorgho dans la vallée du fleuve Sénégal. Quelques contributions de la recherche.
Rapport : Introduction d'animation scientifique, Isra Fleuve, 29 p.

RIJKS D., 1971

Note Technique sur la consommation en eau du sorgho de décrue.
C.R. des essais de Kaédi et Richard Toll, OMVS, Saint-Louis.

SALL M., NDIAYE R., NDIAYE M., CISSE B., SINE H., NDONGO, 2018

Contribution à l'utilisation optimale de l'humidité du sol pour les cultures de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal.
Rapport de projet, 25 p.

TRACTEBEL, 2013

Évaluation régionale stratégique. Des options de développement hydroélectrique et des ressources en eau dans le bassin du fleuve Sénégal.
OMVS.

WCD

(World Commission On Dams), 2000

Dams and development. A new framework for decision-making. The report of the World Commission On Dams.
Earthscan Publications Ltd, London and Sterling, Earthscan.
www.dams.org/report/contents.htm. 2000

L'agriculture de décrue au gré de la variabilité des politiques publiques sénégalaises

*Cheickh Sadibou FALL, Djiby DIA,
Abdou Ndiaye DIOP, El Hadji Malick SYLLA,
Mamadou SALL, Bruno BARBIER, Aymar Y. BOSSA,
Mohamadou DIEYE*

Introduction

Sur les rives de la moyenne vallée du fleuve Sénégal, la culture du sorgho de décrue a assuré la base de la subsistance des populations pendant quelques millénaires (fig. 1). Or, dès l'indépendance, le gouvernement sénégalais a opté pour une politique de modernisation de l'agriculture qui prévoyait le remplacement de cette agriculture de décrue par une riziculture irriguée intensive. Après la construction de deux grands barrages régulateurs, à Manantali en amont et à Diama en aval, les populations ont bien été installées sur ces périmètres irrigués pour produire du riz et des cultures maraîchères de manière intensive. Cependant, après des efforts considérables, les indicateurs de la moyenne vallée restent décevants. C'est toujours l'une des régions les plus pauvres du Sénégal, où la malnutrition sévit fortement et où les taux de migration sont très élevés.

Malgré le barrage de Manantali et les périmètres, les populations de la vallée continuent de cultiver les cuvettes et les berges du fleuve pour semer du sorgho traditionnel et une dizaine d'espèces de cultures de décrue sur des dizaines de milliers d'hectares, quand la crue le permet.

Dans ce chapitre, nous essayons d'expliquer ce paradoxe en replaçant les évolutions agricoles de la vallée du fleuve Sénégal au sein des politiques agricoles sénégalaises proposées par les quatre gouvernements du Sénégal qui se sont succédé durant une période de 60 ans (tabl. 1).

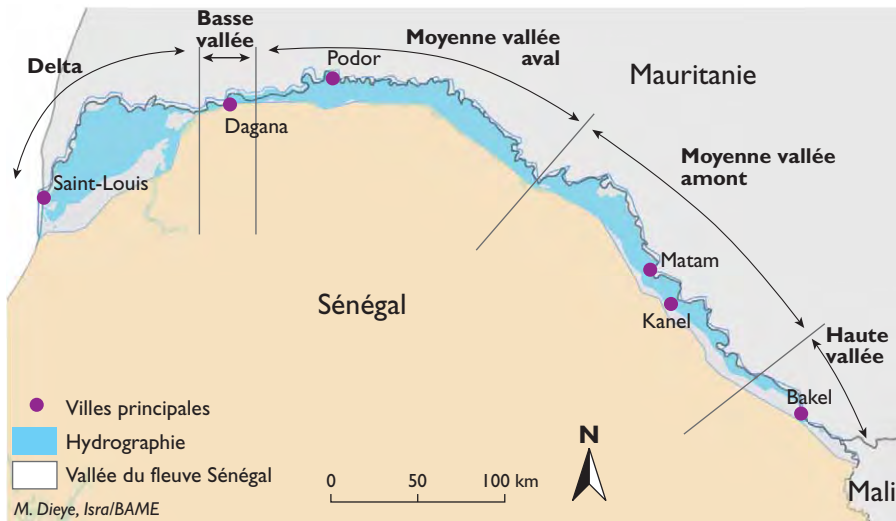


Figure 1.

Situation de la moyenne vallée du fleuve Sénégal.

La période post-indépendance (1960-1980)

Aux indépendances, la plupart des pays africains se sont inspirés d'approches progressistes, plutôt orientées vers l'industrialisation, notamment au travers du concept de substitution aux importations, période caractérisée par un fort interventionnisme de l'État dans la gestion de l'agriculture, des marchés et du foncier. Au Sénégal, le gouvernement de Léopold Sédar Senghor s'est d'abord inscrit dans cette orientation politique (FAYE, 2005 ; BA, 2008). Dans la vallée, l'État est intervenu de manière déterminée dans l'espoir de créer une dynamique de développement qui favorise la production rizicole pour le marché intérieur. Certains voyaient dans la vallée une future « Californie », « le grenier de l'Afrique de l'Ouest » ou « un fleuve nourricier et civilisateur ». D'autres prévoient un véritable « changement de civilisation » (MEUBLAT et INGLES, 1997). La culture de décrue, qui avait souffert de la sécheresse dans les années 1970 et 1980, devait disparaître, remplacée par la riziculture irriguée.

L'État installe en 1965 la Société d'aménagement et d'exploitation des terres du delta du fleuve Sénégal et des vallées du fleuve Sénégal et de la Falémé (Saed), une société d'État dotée de moyens importants en vue de développer la riziculture irriguée dans de grands périmètres collectifs. Des milliers de migrants sont installés sur quelques grands aménagements du delta. Une caisse de péréquation est mise en place pour financer les investissements agricoles en complément des capitaux internationaux à partir de taxes sur le riz importé (BÉLIÈRES *et al.*, 2002).

Tableau 1.
Historique des interventions dans la vallée du fleuve Sénégal.

1960	1970	1980	1990	2000	2010	2020
Léopold Sédar Senghor		Abdou Diouf		Abdoulaye Wade		Macky Sall
Pluies abondantes	Sécheresse		Retour modéré des pluies			
1965	1972	1986	1988	Turbines Manantali		Félou
Saéd	OMVS	Diama Manantali				
Grands Aménagements (GA)			Périmètres irrigués privés (PIP)			
	Périmètres irrigués villageois (PIV)					
Superficies de décrue						
110 000 ha	32 134 ha				48 700 ha	
Programme agricole (PA)	Nouvelle politique agricole (NPA)					
			Goana ⁽¹⁾		Pracas ⁽²⁾	

(1) Grande offensive agricole pour la nourriture et l'abondance ; (2) Programme de relance et d'accélération de la cadence de l'agriculture sénégalaise

Dans la moyenne vallée, les terribles sécheresses des années 1970 réduisent les cultures de décrue, provoquant un exode massif des hommes. Le gouvernement réagit en installant des centaines de « périmètres irrigués villageois » (PIV) à conception sommaire sur les bourrelets de berge pour assurer la sécurité alimentaire. Ces périmètres sont alors considérés comme un succès (CROUSSE *et al.*, 1991).

Dès 1972, le gouvernement s'entend avec la Mauritanie et le Mali pour créer l'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal (OMVS) afin de démarrer la construction des premiers grands barrages sur le fleuve Sénégal. Ils décident de construire un grand barrage hydroélectrique en amont au Mali et un barrage anti-sel vers l'embouchure.

Mais suite à la sécheresse et à la chute des prix des matières premières, la filière arachidière, la principale source d'exportation du Sénégal, s'effondre. Le Sénégal se trouve en état de quasi-faillite. Le Fonds monétaire international (FMI) et la Banque mondiale ont alors conditionné leurs nouveaux prêts à des Plans d'ajustement structurel (PAS), des programmes d'austérité visant à assainir les finances publiques.

La période des PAS (1980-2000)

Au Sénégal, les PAS se poursuivent sous la présidence d'Abdou Diouf, avec le Pref (Plan de redressement économique et financier) de 1980 à 1984. Ces programmes n'étaient pas conçus spécifiquement pour le secteur agricole mais l'ont influencé. L'État se désengage alors de l'administration directe de l'économie agricole, favorise quelques privatisations, restructure les entreprises publiques et parapubliques et libéralise le commerce des denrées agricoles. Ensuite, toujours dans le cadre des PAS, la NPA (Nouvelle politique agricole), menée de 1985 à 1994, accélère le désengagement de l'État qui se manifeste par la réduction de l'encadrement du monde rural. Le franc CFA est dévalué en 1994. De 1995 à 2000, le désengagement s'accroît encore avec le Pasa (Programme d'ajustement structurel du secteur agricole).

Par ailleurs, la gestion du foncier est confiée aux communautés rurales, tandis que le financement et la production des périmètres irrigués ont été confiés aux organisations paysannes et en partie au secteur privé. Les PAS visaient d'abord à assainir les finances de l'État, pas à rendre les paysans autosuffisants. La caisse de péréquation est fermée. Le déficit céréalier se creuse.

Malgré les PAS, les barrages de Manantali et Diama entrent en service respectivement en 1988 et 1986. Manantali était censé soutenir le débit de la crue par des lâchers pour favoriser l'agriculture de décrue en attendant le déploiement de l'irrigation. Sa construction a suivi deux phases. La première est celle de la mise en place du barrage (1982-1988), la seconde celle de l'édification d'une centrale hydroélectrique (1997-2001). Mais les lâchers prévus n'ont pas été réalisés (ADAMS, 2000).

La crue est réduite de 30 % et la culture de décrue doit se satisfaire des crues de la Falémé et du Bakoye.

Pourtant, au début des années 1980, le gouvernement du Sénégal avait tenté de convaincre ses partenaires de l'OMVS de maintenir le soutien des crues aussi longtemps que nécessaire. En 1984, le ministre du Plan, Cheikh Hamidou Kane, soutenait que « le maintien de la crue artificielle peut s'avérer nécessaire dans la mesure où sa suppression entraînerait la dégradation des écosystèmes naturels et le bouleversement des systèmes agropastoraux existants » (République du Sénégal, 1984, cité par ADAMS, 2000 : 8). Cette position était difficilement applicable à long terme, puisque cette crue artificielle ne concernait que les riverains du Sénégal et de la Mauritanie.

La période libérale (2000-2012)

En 2000, le régime plus libéral du président Abdoulaye Wade confirme d'abord la faiblesse des interventions de l'État. De 2000 à 2008, les programmes et politiques agricoles sont définis dans le cadre du DSRP (Document stratégique de réduction de la pauvreté). Mais en 2008, le Sénégal est fortement impacté par la crise mondiale qui voit une augmentation dramatique des prix de l'alimentation et des carburants entraînant d'importantes manifestations dans le pays.

La même année, la SCA (Stratégie de croissance accélérée) est lancée. Il s'agit aussi d'un autre instrument de soutien aux efforts déjà entamés dans le cadre du DSRP en vue d'atteindre les OMD (Objectifs du millénaire pour le développement) en 2015. Au travers de la SCA, l'État veut créer des avantages compétitifs sur les marchés porteurs, diversifier les sources de croissance et améliorer l'insertion de l'économie dans les marchés régional et mondial (FALL, 2016). Pour le secteur agricole, ces objectifs sont concrétisés à travers la LOASP (Loi d'orientation agrosylvopastorale) et la mise en place de plusieurs plans spéciaux et d'urgence comme le plan Reva (Retour vers l'agriculture) et la Goana (Grande offensive agricole pour la nourriture et l'abondance). Ces programmes ont généralement été considérés comme peu cohérents (FAYE, 2005 ; BA, 2008). En parallèle, les finances de l'État sont assainies par une série de remises de dettes. Cette situation permet à l'État de relancer des investissements hydroagricoles dans la vallée, notamment les PIP (périmètres irrigués privés) dont les surfaces dépassent aujourd'hui celles des périmètres dits publics (PIV et GA [Grands aménagements]). Malgré une augmentation significative de la production de riz, celle-ci n'arrive pas à suivre la demande d'une population qui croît rapidement, consomme de plus en plus de riz et migre vers les villes. Les importations de brisures de riz asiatique bon marché continuent d'augmenter, classant le Sénégal parmi les premiers importateurs mondiaux de riz.

Le retour du volontarisme (à partir de 2012)

Élu en 2012, le président Macky Sall lance en 2014 le Pracas (Programme de relance et d'accélération de la cadence de l'agriculture sénégalaise), qui met l'agriculture au centre du dispositif visant l'avènement d'un PSE (Plan Sénégal émergent). Le premier axe du PSE, intitulé « Transformation structurelle de l'économie et de la croissance », vise à : 1) renforcer la sécurité alimentaire du Sénégal et rééquilibrer une balance commerciale dégradée par les importations de produits alimentaires ; 2) développer des filières intégrées compétitives à haute valeur ajoutée ; 3) préserver les équilibres socioéconomiques et dynamiser l'économie rurale. Le Pracas s'articule autour du PNIA (Programme national d'investissement agricole) et de la LOASP. Les filières concernées par le programme prioritaire (2014-2017) étaient dans un premier temps le riz, l'oignon, l'arachide et les fruits et légumes de contre-saison. Pour relancer la filière riz, le gouvernement demande à l'ARM (Agence de régulation des marchés) de conditionner l'importation de riz à l'achat préalable des stocks de riz sénégalais. Par ailleurs, les importations d'oignon et de pomme de terre sont gelées à certaines périodes de l'année pour limiter la concurrence avec les productions nationales.

Toutefois, les agriculteurs privés tendent à réaliser des périmètres sommaires sans drainage et donc peu durables. La Saed et certains bailleurs commencent à tester un modèle d'irrigation selon le paradigme du partenariat public-privé, dans lequel des fonds publics servent à financer des infrastructures principales de qualité d'un grand périmètre, au sein duquel des investisseurs privés peuvent acquérir des terres de tailles variables sous forme de bail à long terme et en finançant eux-mêmes les infrastructures secondaires. Il s'agit des projets PDIDAS (Projet de développement inclusif et durable de l'agribusiness au Sénégal), financés par la Banque mondiale, et du 3PRD (Projet de promotion du partenariat rizicole dans le delta du fleuve Sénégal), financé par l'AFD.

Si le Pracas n'a pas permis d'atteindre l'autosuffisance alimentaire en 2017 comme prévu, il a permis d'améliorer la production rizicole (1,13 million de tonnes en 2018 contre 469 649 tonnes en 2012) et il a favorisé un certain développement de l'agriculture de la vallée. La culture de décrue, essentiellement le sorgho, trop marginale, n'est pas mentionnée dans ces différentes politiques nationales.

Discussion

Le Sénégal est considéré comme l'un des seuls pays africains réellement démocratiques, qui n'a pas connu de coup d'État et qui a opéré deux alternances paisibles. Les quatre présidents qui se sont succédé ces 60 dernières années ont soumis à leurs électeurs des politiques suffisamment contrastées, qui proposent des choix de

société. Dans la pratique, l'application de ces politiques s'est heurtée aux événements extérieurs, comme de longues périodes de sécheresse, la baisse des cours de l'arachide, les plans d'ajustement structurel, la mondialisation, ou des crises économiques internationales diverses comme la crise du pétrole ou la crise de 2008. Ces événements ont été prépondérants pour l'économie du pays. La sécheresse a été particulièrement sévère et longue, les PAS douloureux dans la mesure où ils ont démantelé les services publics. Après l'alternance de 2000, qui a amené un gouvernement plutôt libéral, le gouvernement a été confronté à la crise de 2008, qui a remis en selle des interventions plus volontaristes. Les premières, un peu désordonnées, comme la Goana, ont ensuite laissé place à des politiques plus cohérentes comme le Pracas.

Dans la vallée, 60 ans après l'indépendance, le constat reste mitigé. Les efforts se sont d'abord concentrés sur le delta, qui est aujourd'hui presque saturé de périmètres irrigués financés par des fonds publics et privés et où les rendements en riz sont maintenant honorables, la production de sucre significative et la production horticole en pleine expansion. Le Sénégal n'a pas atteint l'autosuffisance, mais la production de riz a très nettement augmenté. L'accent est maintenant mis sur la moyenne vallée, dans les départements de Podor, Matam et Bakel, par de nouveaux aménagements hydroagricoles, des réhabilitations, mais aussi des ponts et des routes. Les indicateurs de la vallée restent relativement négatifs en termes de pauvreté, de malnutrition et de migration. La raison principale en est la faible durabilité des aménagements.

Par ailleurs, l'agriculture de décrue est toujours là. Contrairement au discours général, le développement des cultures irriguées ne s'est pas fait en lieu et place de l'agriculture de décrue. Cette dernière perdure dans les cuvettes et sur les berges des bras du fleuve de la moyenne vallée. Lors du recensement de 2013, quelque 34 588 ménages sénégalais se disaient producteurs de cultures de décrue, soit près de 6,6 % des ménages ruraux sénégalais (ANSD, 2013) (cette proportion a baissé par rapport au recensement agricole de 1998). Elle permet à des dizaines de milliers de ménages, certains sans ressources, de produire, les années de bonne crue, une partie de leur alimentation ou de générer de petits revenus monétaires. Les producteurs sont des propriétaires terriens ou des métayers. Sur les berges, beaucoup de femmes s'adonnent à la culture de *falo* avec une grande variété de cultures pour l'autoconsommation et le marché.

Contrairement aux idées reçues, la culture de décrue a été intensément étudiée et son avenir discuté à haut niveau. Elle est présente dans les plans nationaux et transfrontaliers de mise en valeur de la vallée. Pour l'ensemble du bassin, elle est prise en compte de manière détaillée dans le Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (Sdage) qui prévoyait un soutien de crue. Au Sénégal, c'est le Plan directeur de développement intégré pour la rive gauche de la vallée du fleuve Sénégal qui définit le plan de développement de la vallée. En revanche, l'agriculture de décrue est absente des politiques agricoles nationales du Sénégal, que ce soit la Goana d'Abdoulaye Wade ou le Pracas de Macky Sall. La Lettre de politique sectorielle de développement de l'agriculture (LPSDA, 2018-2022) est aussi muette sur cette forme d'agriculture.

Les perspectives pour le maintien de cette pratique sont incertaines. Il est peu probable que l'OMVS réalise à nouveau un soutien de la crue par des lâchers. Si le projet de barrage sur la Falémé se concrétise, la crue disparaîtra. L'OMVS est effectivement en train de chercher les financements. Mais si ce projet ne trouve pas bailleur, la crue et la décrue vont perdurer indéfiniment selon les caprices du climat.

Avec l'avènement du comité de bassin de l'OMVS, les politiques nationales de décentralisation en cours vers les communes et les plans d'occupation des sols mis en place au Sénégal, on peut envisager une prise en compte plus démocratique de l'avis des populations dans les futurs plans d'aménagement de la vallée. C'est dorénavant aux populations de la vallée de décider du type d'aménagement ou du « mix » des activités qu'elles voudront maintenir ou développer sur leurs terroirs. Il est fort probable qu'elles demanderont que l'agriculture de décrue fasse partie du paysage, mais il n'est pas sûr qu'elles soient entendues.

Références

ADAMS A., 2000

Fleuve Sénégal : gestion de la crue et avenir de la vallée.

International Institute for Environment and Development (IIED), 28 p.

ANSD, 2013

Recensement général de la population et de l'habitat, de l'agriculture et de l'élevage du Sénégal.

Rapport définitif, RGPHE, 60 p.

BA B., 2008

Agriculture et sécurité alimentaire au Sénégal.
L'Harmattan, 350 p. .

BÉLIÈRES J.F., BOSC P.M., FAURE G., FOURNIER S., 2002

Quel avenir pour les agricultures familiales d'Afrique de l'Ouest dans un contexte libéralisé ?

Drylands Issue Papers, 113, 40 p.

CROUSSE B., MATHIEU P.,

SECK S. M., 1991

La vallée du fleuve Sénégal - Évaluation et perspectives

d'une décennie d'aménagements.

Paris, Karthala.

FALL C. S., 2016

Impact de la libéralisation commerciale au Sénégal.

Évaluation de l'Accord de partenariat économique sur l'agriculture et les ménages sénégalais.

Thèse doct., univ. Pau et des pays de l'Adour, 373 p.

FAYE J., 2005

Évolution et impact des politiques agricoles de 1960 à 2005.

IPAR, Dakar.

MEUBLAT G., INGLES J., 1997

« L'éternel retour des grands projets. L'aménagement du fleuve Sénégal en perspective ».

In Bare J.-F. (éd.) :

Regards interdisciplinaires sur les politiques de développement, Paris, L'Harmattan : 163-199.

République du Sénégal, 1990

Plan directeur de développement intégré pour la rive gauche de la vallée du fleuve Sénégal.

Document Définitif, Paris, Euroconsult.

« Entre deux eaux » : l'agriculture de décrue face aux politiques transfrontalières dans la vallée du fleuve Sénégal

*Cheickh Sadibou FALL, Bruno BARBIER,
Abdou Ndiaye DIOP, Mamadou SALL,
Jean-Claude BADER, El Hadji Malick SYLLA,
Mohamadou DIEYE, Aymar Y. BOSSA*

Introduction

L'agriculture de décrue a régressé un peu partout à travers le monde, en raison de la régulation des fleuves par les barrages et de l'expansion des périmètres irrigués, et à cause de la baisse des pluies dans certaines régions comme l'Afrique de l'Ouest. Elle apparaît rarement dans les statistiques agricoles des États et de la FAO, ou dans les politiques agricoles nationales. Les années de grande sécheresse, il n'y a quasiment pas de production de décrue. Pour beaucoup, c'est une pratique du passé, appelée à disparaître avec la reprise de la construction des grands barrages à travers le monde. L'Égypte est souvent prise en exemple. La crue a disparu sur les bords du Nil après la construction du barrage d'Assouan, ce qui a entraîné le remplacement de l'agriculture de décrue par une agriculture irriguée intensive permettant deux ou trois cultures par an.

Si elle a fait l'objet de nombreuses études, l'agriculture de décrue bénéficie beaucoup moins d'actions concrètes. Les décideurs politiques ont commandité plusieurs études détaillées sur cette pratique et sur les moyens de la soutenir, mais la décision doit se prendre au niveau d'États peu concernés par son maintien. Évaluer le rôle des politiques publiques sur l'agriculture de décrue est un défi, dans la mesure où les interventions des politiques publiques ont varié dans le temps et selon les échelles.

Dans ce texte, nous avons synthétisé ces interventions à l'échelle du bassin du fleuve Sénégal. Après avoir décrit succinctement l'agriculture de décrue dans la vallée, nous abordons brièvement les projets coloniaux. Nous décrivons ensuite le rôle de l'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal (OMVS) dans les décisions,

son organisation, ses doctrines et l'influence des institutions internationales. La dernière partie traite de l'impact économique et social des décisions issues des politiques publiques dans la vallée.

L'agriculture de décrue dans la vallée du fleuve Sénégal

Le fleuve Sénégal court sur 1 750 km depuis les montagnes du Fouta-Djalon en Guinée, à 750 mètres d'altitude, jusqu'à l'embouchure sur l'océan Atlantique à Saint-Louis au Sénégal (fig. 1). Son bassin versant couvre environ 337 000 km² et produit un débit moyen à l'embouchure de 640 m³/s. Après la Guinée, le fleuve traverse le Mali, sépare la Mauritanie et le Sénégal. On distingue trois zones : le delta en aval de Dagana ; la moyenne vallée de Dagana à Bakel ; et la haute vallée en amont de Bakel.

Pour la période 1946-1971, avant la création de l'OMVS, la moyenne des surfaces inondables était estimée à 312 000 ha de part et d'autre du fleuve, et celle des surfaces

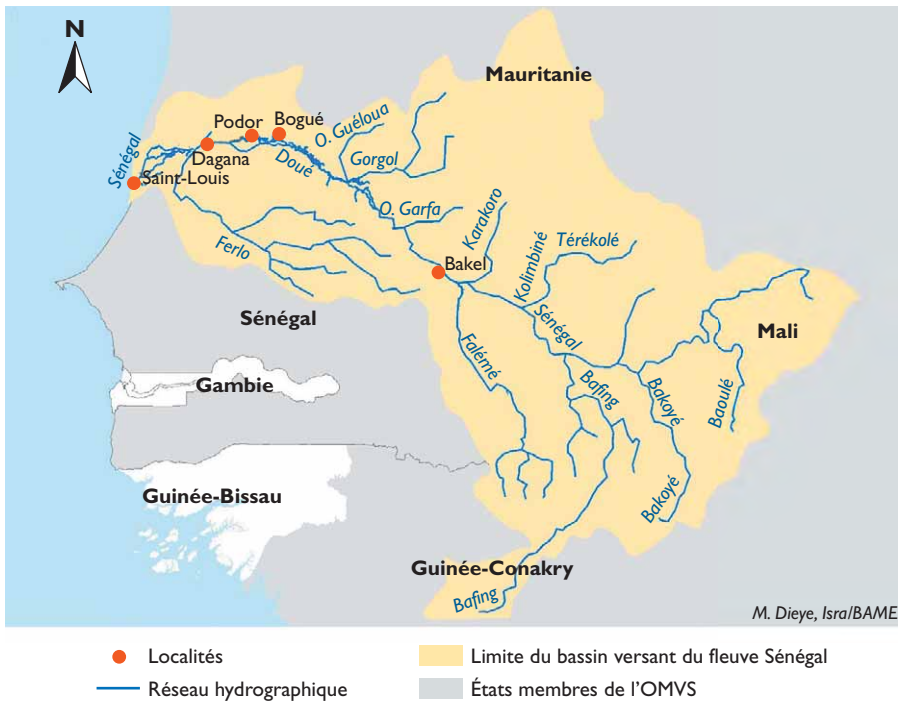


Figure 1.
Réseau hydrographique du bassin versant du fleuve Sénégal.

cultivées autour de 108 000 ha, dont 65 000 ha pour la rive sénégalaise (KOSUTH, 1999). La culture de décrue a pratiquement disparu durant les sécheresses des années 1970 et 1980. Les pluies se sont améliorées à partir des années 1990 et le barrage de Manantali a permis de soutenir la crue par quelques lâchers. Depuis l'évaluation de KOSUTH (1999), les informations sur l'importance de la culture de décrue sont restées très lacunaires.

Les politiques transfrontalières dans la vallée

Les projets coloniaux

Depuis le début du XIX^e siècle, le colonisateur français a élaboré plusieurs plans de colonisation agricole, essentiellement pour développer les cultures destinées à l'exportation vers la métropole (FAYE, 2008). L'ingénieur Émile Bélime, l'architecte de l'Office du Niger, avait étudié les possibilités de valoriser la vallée du fleuve Sénégal. Son rapport de 1922 contenait déjà l'ensemble des propositions d'aménagements réalisées dans les années 1980. D'un côté, il considère l'agriculture de décrue comme trop aléatoire : « Quelles que soient les améliorations qui pourraient être apportées au régime de l'inondation naturelle, il subsistera toujours dans ce mode de culture un aléa d'ordre climatique qui lui enlèvera toute sécurité » (BÉLIME, 1922, 1934). Mais ses conclusions étaient aussi pessimistes quant à la rentabilité d'un aménagement d'envergure. Il considérait que la création de l'Office du Niger sur le fleuve Niger au Mali présentait des possibilités de valorisation supérieures à celles du fleuve Sénégal, car la zone irrigable de l'Office, appelée « delta mort », avait l'avantage d'être inhabitée, et il estimait la vallée du fleuve Sénégal trop plate pour supporter une irrigation gravitaire (MEUBLAT et INGLES, 1997).

Les expériences successives de l'UHA (Union hydroélectrique africaine, créée en 1927), de la MEFS (Mission d'étude du fleuve Sénégal, créée en 1935) et de la MAS (Mission d'aménagement du Sénégal, créée en 1938) n'ont abouti qu'à la construction d'un petit seuil hydroélectrique à Felou au Mali. Quelques projets expérimentaux ont porté sur l'implantation de différentes cultures. Les premières tentatives portaient sur le coton irrigué, puis sur la riziculture irriguée, mais comme les coûts d'aménagement et de production étaient trop élevés, les populations n'ont pas adhéré à ces projets.

L'OMVS, une organisation de bassin reconnue

Les gouvernements du Sénégal, de la Mauritanie et du Mali ont créé l'OMVS en 1972. La Guinée les a rejoints en 2005. Cette organisation sous-régionale doit permettre aux États membres d'accélérer leur croissance économique, de créer des emplois et de réduire leur vulnérabilité aux aléas climatiques, tout en améliorant la situation de l'environnement. Elle est chargée : de développer l'agriculture irriguée dans la vallée ;

de développer l'énergie électrique ; d'améliorer la navigation fluviale. L'OMVS a présidé à la réalisation des barrages de Diama et de Manantali, entrés en service respectivement en 1986 et 1988, puis de Felou en 2013. Un barrage est en construction à Gouina, et le financement a été trouvé en 2018 pour celui de Koukoutamba.

Le Plan directeur de développement intégré pour la rive gauche de la vallée du fleuve Sénégal (République du Sénégal, 1990) prévoyait le remplacement de la culture de décrue par les cultures irriguées. En revanche, le Sdage (Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux du fleuve Sénégal) (SCP/CSE/CACG, 2011) avait relancé l'idée d'un soutien à la crue dans un but écologique avec un débit maximal de 3 000 m³/s durant 20 jours, suivi d'une décrue de 15 jours, pour un volume total estimé à 8,13 milliards de m³. Les lâchers n'ont pas été réalisés, mais l'agriculture de décrue a résisté.

Le poids des institutions internationales

Plusieurs grandes institutions internationales ont pesé à un moment ou à un autre sur les décisions d'aménagement de la vallée (MEUBLAT et INGLES, 1997 ; MEUBLAT, 2001). Le financement des deux premiers grands barrages est venu des fonds d'investissement des pays du Golfe, des pays occidentaux, et du Pnud (Programme des Nations unies pour le développement). Ensuite, les interventions du FMI au travers des PAS (Programmes d'ajustement structurel) ont contrarié les possibilités d'édifier de nouveaux barrages sur les autres bras du fleuve. Dans les années 2000, le rapport de la Commission mondiale des barrages (WCD, 2000) a aussi contribué à réduire l'enthousiasme des bailleurs pour les barrages. Au contraire, les récentes COP (Conférence Of Parties) autour du changement climatique ont pesé dans le sens d'une relance du financement de nouveaux barrages. Les financements sont de plus en plus le fait des Brics (Brésil, Russie, Inde, Chine, Afrique du Sud), parmi lesquels la Chine domine largement.

Doctrines et instruments de l'OMVS

La coopération inter-États et la Commission permanente des eaux

L'OMVS est souvent citée comme un exemple de réussite dans la coopération inter-États. Elle a été classée en 2016 et 2017 « première organisation internationale de bassin » pour sa coopération exemplaire par un think-tank basé en Inde. Cette distinction souligne surtout l'absence de conflits inter-États. La collaboration entre les pays est considérée comme fructueuse dans le bassin du Sénégal, où le dialogue entre les États est resté actif même pendant le conflit transfrontalier entre le Sénégal et la Mauritanie (AUCLAIR et LASSERRE, 2013). Malgré les difficultés relatives au grand nombre de bailleurs impliqués dans les barrages construits jusque-là, la gestion partagée du bassin a aussi été jugée efficace par MBAYE (2008).

La CPE (Commission permanente des eaux), organe consultatif de l'OMVS, définit chaque année les consignes de gestion du barrage d'après les usages et en fonction de la pluviométrie dans le haut-bassin. Elle n'a jamais proposé de soutenir la crue, jugeant que les volumes d'eau des affluents non contrôlés étaient suffisants pour le maintien des fonctions écologiques et des activités dans la vallée. Cela n'a pourtant pas été le cas pour la majorité des débits de ces dernières décennies (BADER et ALBERGEL, 2015).

Le développement durable

À la suite du rapport Brundtland (*World Commission on Environment and Development*, 1987), l'OMVS a mis l'accent sur la durabilité en se portant garante du fonctionnement des écosystèmes de la vallée. LEROY (2006), qui a évalué l'application des conventions internationales environnementales relatives aux zones humides et à la biodiversité, a considéré que le suivi des indicateurs environnementaux ne permet pas l'amélioration de l'environnement. JULIEN (2006) a suggéré que l'autorité des organisations de bassins fluviaux d'Afrique de l'Ouest était insuffisante pour gérer correctement l'eau et l'environnement. Il a plaidé en faveur d'une doctrine plus générale, intégrée dans un ensemble de directives plus cohérent pour l'ensemble de la région. Pour certains, il y a une inadéquation de la gestion de l'eau entre les différentes échelles spatiales et le domaine de la gestion de l'eau a été marqué jusque-là par l'absence de mouvement revendicatif des usagers.

La Gire

La conférence de Dublin, en 1992, a défini le concept de Gire (Gestion intégrée des ressources en eau) comme un processus qui « favorise le développement en vue de maximiser de manière équitable le bien-être économique et social sans pour autant compromettre la pérennité des écosystèmes vitaux » (Partenariat mondial pour l'eau, 2000). Les enjeux de la Gire sont de trouver un équilibre entre l'utilisation de l'eau pour la subsistance d'une population en plein essor et la protection et la conservation des ressources afin de garantir sa pérennité.

Depuis les années 2000, l'OMVS, à l'instar d'autres bassins transfrontaliers, poursuit cette orientation plus participative de la gestion de l'eau (AUCLAIR et LASSERRE, 2013). En 2002, l'OMVS s'est dotée d'une « Charte des eaux » qui offre un cadre juridique d'utilisation des eaux visant à sortir d'une gestion sectorielle. L'article 2 vise une « prise en compte de tous les usages », sans toutefois préciser les méthodes de priorisation, tandis que l'article 4 « oblige à préserver l'environnement », sans définir un état des lieux précis.

Le nexus Eau-Alimentation-Énergie

Après la crise financière de 2008, le concept de Gire s'est vu complété ou supplanté par le concept de « nexus Eau-Alimentation-Énergie ». Ce dernier a émergé quand les prix de l'énergie ont fortement impacté ceux de la production agricole et des

aliments, entraînant des émeutes urbaines en Afrique. Le concept de nexus a permis de repenser l'articulation entre les trois secteurs : il faut donc développer des politiques intégrant la production d'énergies, si possible renouvelables, qui puissent favoriser le développement d'une agriculture plus productive. Pour l'OMVS, il faut surtout augmenter la capacité hydroélectrique et connecter les communes riveraines au réseau, pour faciliter le pompage électrique pour l'irrigation. Plus récemment encore, certains auteurs ont ajouté l'environnement au nexus, en rappelant que la dynamisation du nexus ne devrait pas se faire au détriment des zones humides et de la biodiversité.

Le Comité de bassin

La création d'un Comité de bassin du fleuve Sénégal avait été décidée en décembre 2009 par le Conseil des ministres de l'OMVS, mais il n'a été réellement mis en place qu'en 2019. Ce Comité est censé répondre à l'exigence d'une gouvernance plus démocratique, inclusive et transparente, et vise à une meilleure compréhension des enjeux par les populations. Le Comité, uniquement consultatif, est constitué des représentants des différents acteurs publics ou privés du bassin, répartis dans quatre collèges : (1) les pouvoirs publics, regroupant les gouvernements, les élus nationaux, les collectivités locales ; (2) les usagers, où l'on retrouve les sociétés d'eau et d'électricité, les organisations agricoles, les opérateurs de transport ; (3) celui de la société civile, qui rassemble les ONG et les associations d'usagers ; (4) la communauté scientifique. Chaque État membre dispose au sein de ces quatre collèges d'un nombre équivalent de représentants, ce qui conduit à une assemblée de 60 personnes. Il n'y a pas de représentants spécifiques pour l'agriculture de décrue.

L'impact des barrages sur les sociétés de la moyenne vallée

Impact sur l'agriculture de décrue

Après la construction du barrage de Manantali, les surfaces de sorgho, de niébé, de maïs cultivées en décrue ont diminué au profit de la culture du riz. Les crues artificielles étaient programmées sur une période de vingt ans, avec une évolution dégressive qui devait coïncider avec l'installation progressive des périmètres irrigués dans la vallée (ADAMS, 1992). Les périmètres irrigués villageois (PIV) ont d'abord été mis en place sur les berges du fleuve et de ses grands bras, mais, la place se faisant rare, de plus en plus de PIV sont aujourd'hui installés dans les cuvettes inondables elles-mêmes, et parfois à la place des surfaces autrefois dédiées aux cultures de décrue.

Sur le plan des calendriers agricoles, la décrue et l'irrigation sont en compétition lors des semis et de la récolte de la décrue qui se font en même temps que la récolte

du riz d'hivernage et le maraîchage de saison froide. Le contrôle complet de la crue avec la construction de nouveaux barrages-réservoirs sur la Falémé accentuera cette compétition. Sans soutien de crue par les lâchers des barrages en amont, la culture de décrue disparaîtra.

Impact socioéconomique

L'impact économique des barrages de la vallée avait été considéré comme positif par l'évaluation des bailleurs (KFW *et al.*, 2009), et cela grâce à la production hydroélectrique plutôt qu'à l'irrigation, et malgré le recul des cultures de décrue. MANIKOWSKI et STRAPASSON (2016) ont établi pour la partie sénégalaise de la vallée un impact financier positif et un impact économiquement négatif à cause des coûts environnementaux.

La moyenne vallée est toujours identifiée comme une zone de grande pauvreté, d'émigration, et même de malnutrition. Les promesses de crues artificielles n'ont pas pu être tenues très longtemps, et le développement de l'irrigation intensive a pris du retard (PNUE, 2005). De plus, le développement de la culture irriguée supposait des capacités d'adaptation fortes (exigence en main-d'œuvre, en coûts de production) associées à des bouleversements sociaux. Les aménagements de type PIV avaient bien fonctionné au départ. On considère que les productions des 40 000 ou 50 000 ménages qui vivaient de l'agriculture de décrue avaient été en grande partie compensées par celles des parcelles sur les aménagements. Mais les PIV ont commencé à se détériorer, et les populations peinaient à s'organiser durablement pour entretenir les canaux et à renouveler les groupes motopompes quand ceux-ci tombaient en panne.

Les aménagements pour la culture irriguée ont aussi eu un impact important sur l'élevage en réduisant considérablement les pâturages. Ensuite les périmètres, en réduisant les points de passage entre les plaines inondables (*waalo*) et les pâturages des zones dunaires non inondables (*dieri*), ont augmenté le nombre de conflits entre éleveurs et cultivateurs. La pêche a également fortement régressé dans la vallée (MAGRIN et SECK, 2009). Les difficultés ont obligé beaucoup de pêcheurs à se reconverter dans l'agriculture ou dans le commerce, et d'autres ont migré. L'essentiel des poissons consommés le long du fleuve vient de Saint-Louis ou même de Dakar.

Conclusion

Les politiques publiques ont partiellement modifié l'économie et les sociétés de la moyenne vallée du fleuve Sénégal. Les quatre États partageant le bassin versant, réunis au sein de l'OMVS, ont opté pour la production hydroélectrique, la régulation du fleuve et une agriculture irriguée intensive. L'OMVS est restée ambiguë quant à l'agriculture de décrue, même si elle a envisagé son maintien. Il paraît assez clair que la priorité a été donnée à l'hydroélectricité et qu'il n'y a plus de lâchers de crue

depuis longtemps. La production hydroélectrique a probablement permis de rentabiliser les énormes efforts financiers consentis. Mais les populations situées dans la vallée en aval de Manantali n'ont pas vu les résultats escomptés. Les performances de l'agriculture irriguée sont bien en deçà des prévisions. La malnutrition et la pauvreté perdurent. L'émigration se poursuit.

On peut pointer du doigt les attermolements des uns et des autres, notamment des bailleurs. En Égypte, le remplacement de l'agriculture de décrue par l'agriculture irriguée a été réalisé immédiatement après la construction du barrage d'Assouan, et la transition a été considérée comme un succès. Dans la moyenne vallée, l'agriculture de décrue persiste mais ne progresse pas. Les cultivateurs font état d'une détérioration des rendements, due surtout aux attaques aviaires et d'insectes.

L'OMVS cherche activement des financements pour construire le barrage de Gourbassi, qui permettrait de réguler définitivement le débit du fleuve Sénégal. À ce moment-là, la crue sera très nettement écrêtée avec une forte réduction des inondations. Il sera alors possible d'équiper les cuvettes de périmètres irrigués sans réaliser des digues de protection contre les inondations. Ces périmètres pourront ainsi accueillir plus de producteurs de la moyenne vallée, notamment ceux qui ne pourront plus pratiquer la culture de décrue. Mais, tant que ce barrage ne sera pas réalisé, l'économie de la vallée continuera à nager « entre deux eaux ».

Références

ADAMS W. M., 1992

*Wasting the rain:
Rivers, people and planning in Africa.*
London, Earthscan Publications Ltd.

AUCLAIR A.,

LASSERRE F., 2013

Aménagements, politiques
et conflits sur l'eau en Afrique de l'Ouest.
*VertigO la revue électronique en sciences
de l'environnement*, 13 (2).

BADER J.-C.,

ALBERGEL J., 2015

*Artificial flood support on Senegal River:
a challenge to protect natural resources
in the valley.*
Montpellier, IRD, 23 p.

BÉLIME E., 1922

*Rapport sur les possibilités d'aménagement
offertes par la vallée du fleuve Sénégal.*
Centre de documentation de l'OMVS,
Saint-Louis du Sénégal.

BÉLIME E., 1934

*Note sur les études générales
à entreprendre en vue de l'aménagement
des vallées du Sénégal
et du Niger inférieur.*
Archives nationales du Sénégal, Dakar.

FAYE J., 2008

*Foncier et décentralisation :
l'expérience du Sénégal.*
Dossier IIED, n° 149, 19 p.

JULIEN F., 2006

Maîtrise de l'eau et développement durable
en Afrique de l'Ouest :
de la nécessité d'une coopération
régionale autour des systèmes
hydrologiques transfrontaliers.
VertigO, 7 (2), : 1-14.

KFW, BEI, AFD, 2009

*Évaluation ex-post conjointe :
le barrage de Manantali.*
Francfort, Luxembourg, Paris, 48 p.

KOSUTH P., 1999

Populations de la vallée concernées par la gestion des ouvrages et des eaux de surface du fleuve Sénégal.
POGR, avril 1999

LEROY M., 2006

Gestion stratégique des écosystèmes du fleuve Sénégal : actions et inactions publiques internationales.
Paris, L'Harmattan.

MAGRIN G., SECK. S. M., 2009

La pêche continentale en sursis ?
Observations sur des pêcheries en rive gauche de la vallée du fleuve Sénégal dans un contexte de décentralisation.
Géocarrefour, 84 (1-2) : 55-64.

MANIKOWSKI S., STRAPASSON A., 2016

Sustainability Assessment of Large Irrigation Dams in Senegal: A Cost-Benefit Analysis for the Senegal River Valley.
Front. Environ. Sci., 4 : 18. doi : 10.3389/fenvs.2016.00018.

MBAYE A. A., 2008

Aid Effectiveness to Infrastructure. A Comparative Study of East Asia and Sub-Saharan Africa : Case Studies of Sub-Saharan Africa Aid. Senegal Case study. Japan Bank for International Cooperation,
JBICI Research Paper, 36 (3).

MEUBLAT G., 2001

De la gestion des fleuves internationaux en Afrique et du bassin du Sénégal en particulier.
Revue Tiers Monde, 42 (166) : 427-453.

MEUBLAT G., INGLES J., 1997

« L'éternel retour des grands projets. L'aménagement du fleuve Sénégal en perspective ».
In Bare J.-F. (éd.) : *Regards interdisciplinaires sur les politiques de développement*, Paris, L'Harmattan : 163-199.

Partenariat mondial pour l'eau / Comité technique consultatif, 2000

La gestion intégrée des ressources en eau.
TAC Background Papers n° 4.

PNUE, 2005

Évaluation intégrée de l'impact de la libéralisation du commerce. Une étude de cas sur la filière du riz au Sénégal.
PNUE, Châtelaine, Genève, Suisse, ISE-UCAD, Dakar, Sénégal.

SCP/CSE/CACG, 2011

Schéma directeur d'aménagement et de gestion du fleuve Sénégal.
OMVS, 168 p.

WCD (World commission on dams), 2013

Dams and development. A new framework for decision-making. The report of the World Commission On Dams.
Earthscan Publications Ltd, London and Sterling www.dams.org/report/contents.htm.
2000

World Commission on Environment and Development, 1987

Our Common Future.
Oxford, Oxford University Press, 400 p.

Amélioration des pratiques culturales du sorgho de décrue dans la moyenne vallée du fleuve Sénégal

*Mamadou SALL, Ramatoulaye NDIAYE,
Madiama CISSÉ, Bassirou SINE,
Mamadou NDIAYE, Houleymatou NDONGO*

Introduction

Le sorgho de décrue est cultivé dans les cuvettes inondables de la moyenne vallée du fleuve Sénégal (fig. 1) pendant la saison sèche fraîche après le retrait des eaux de crue du fleuve. Pour cette culture pratiquée traditionnellement sans irrigation et avec peu d'intrants, les rendements sont faibles, de l'ordre de 500 kg/ha. Les recherches présentées dans ce chapitre menées dans le cadre des projets WAAPP, AFD-Décrue et Agricora visaient à : 1) collecter des informations actualisées sur le système de culture ; 2) identifier des pratiques agricoles pouvant potentiellement améliorer sa productivité. Pour ce faire, des enquêtes, des visites de terrains et des ateliers de partage ont été organisés dans les départements de Podor (Podor, Fanaye, Dimat, Thiangaye, Ngawlé et Guia) et Matam (Matam, Djandjoli et Ndouloumadji). Des essais de démonstrations de pratiques agricoles ainsi que des tests de caractérisation hydrique du sol ont aussi été réalisés.

Analyse du système de culture

Sols et conditions climatiques de la région

Les sols argileux (pourcentage d'argile pouvant dépasser 50 %) des zones de culture reposent sur du sable en profondeur comme le montre l'exemple du profil de sol

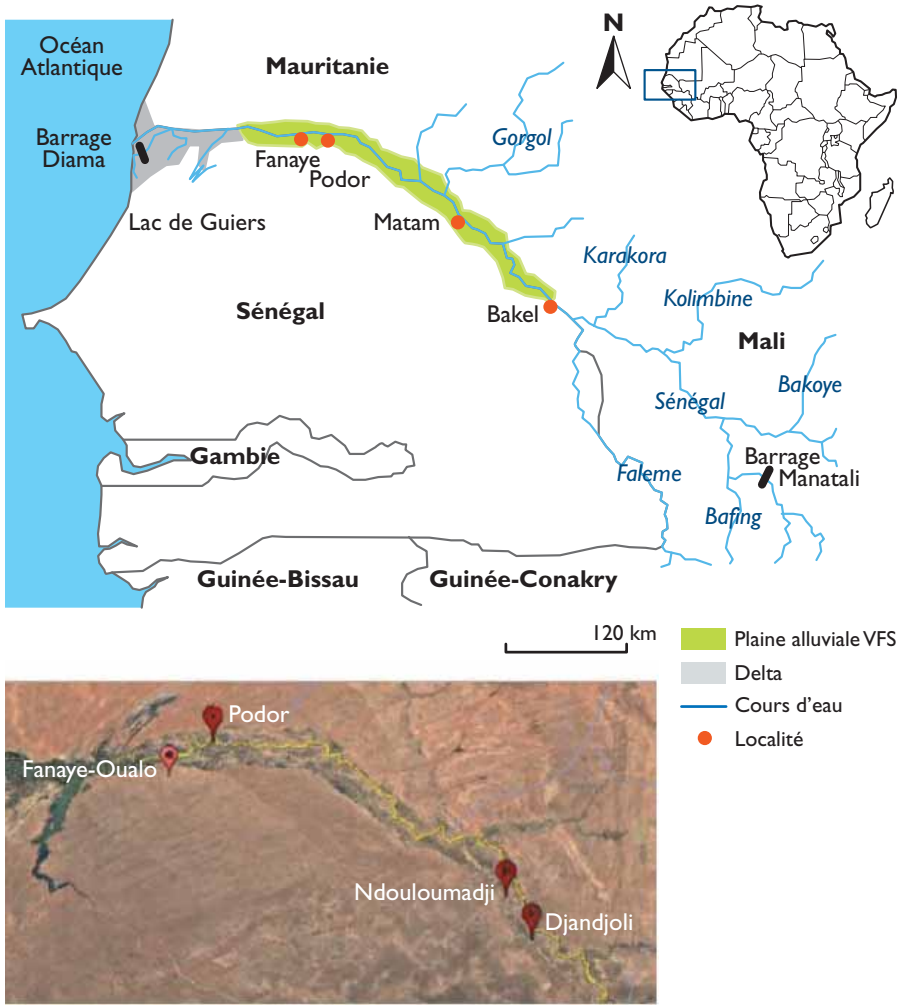


Figure 1.
La vallée du fleuve Sénégal.

(tabl. 1). Leur épaisseur est très variable (moins de 50 cm à plus de 2 m) suivant la cuvette et la situation à l'intérieur de celle-ci. Le pourcentage de limon peut dépasser 25 % sur la partie supérieure, alors que la couche sableuse en dessous de l'argile contient plus de 80 % de sable.

L'analyse chimique du sol au semis (fig. 2) montre des taux de carbone (C) et d'azote (N) très faibles (inférieurs à 0,3 %), une conductivité électrique faible (inférieure à 100 S/cm) et un pH voisin de la neutralité. Pour les bases échangeables, le magnésium (Mg) est le plus représenté (environ 10 meq/100 g) alors que le sodium, le potassium et le calcium sont inférieurs à 1 meq/100 g. La capacité d'échange cationique (CEC) se situe entre 20 et 30 meq/100 g.

Tableau 1.
Composition granulométrique sur un profil de sol à Fanaye.

Profondeur (cm)	Sable (%)	Limon (%)	Argile (%)	Texture
0 - 15	31	24,6	44,4	argileuse
15 - 30	30,5	23,6	45,9	argileuse
30 - 60	30	19,3	50,7	argileuse
60 - 100	33,5	19,1	47,4	argileuse
100 - 190	82,4	5,8	11,9	sableuse

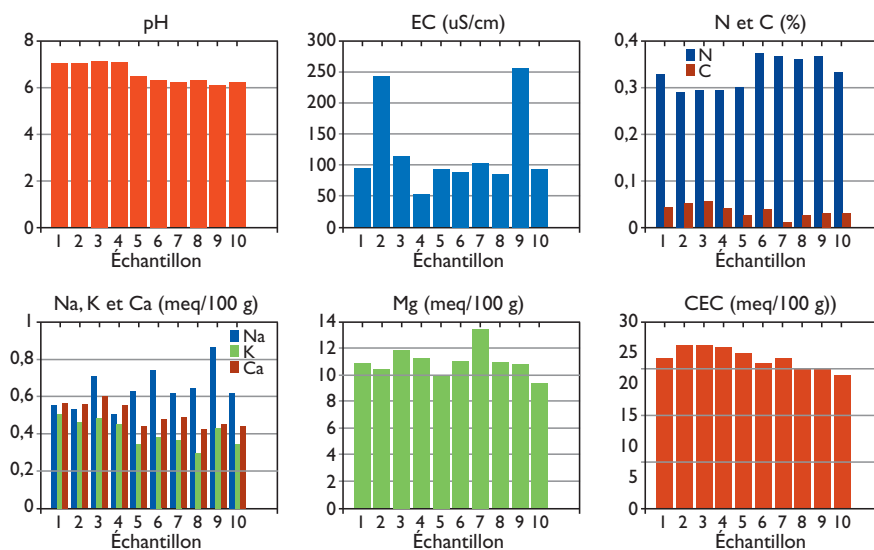


Figure 2.
Résultats d'analyse chimique de sols sur 10 échantillons prélevés dans les cuvettes.

On distingue une saison sèche froide (novembre à février), une saison sèche chaude (mars à juin) et enfin une saison des pluies (juillet à octobre). La campagne de décrue se déroule entre novembre et mars, alors que le climat sec est marqué par une période relativement froide, surtout entre décembre et février (tabl. 2).

Tableau 2.
Conditions climatiques à Fanaye durant la campagne de décrue 2014/2015.

	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril
Température min (°C)	18,5	17,9	14,9	16,3	17,4	18,9
Température max (°C)	35,7	34,0	30,5	33,2	35,7	39,1
Humidité relative min. (%)	20,1	18,0	9,8	12,6	9,7	13,2
Humidité relative max. (%)	76,8	64,8	47,6	59,4	59,0	76,6
Vent (m/s)	0,8	1,4	0,2	1,2	0,2	0,4
Pluie (mm)	-	-	-	-	-	-

La réserve hydrique du sol

La crue du fleuve contrôlée en partie par le barrage de Manantali permet l'inondation, dont l'ampleur et la durée sont très variables selon les années. La présence des cours d'eau, les fentes de retrait du sol durant l'assèchement ainsi que le microrelief laissent présager de complexes phénomènes d'écoulements dans le sol (photo 1).



Photo 1.
Inondation (a) et retrait de l'eau (b).

L'humidification du sol se fait avec l'inondation, mais aussi avec les écoulements souterrains et la remontée de la nappe phréatique. À certains endroits, on observe l'arrivée de l'eau à travers les fentes de retrait avant même que l'inondation n'arrive. Les fentes de retrait jouent un rôle important dans l'infiltration et l'évaporation de l'eau, comme le montrent ADAMS et HANKS (1964). L'étude de l'équipe de l'IRD (projet Agricora/Generia) et celle de HAMMECKER *et al.* (2003) mentionnent aussi le piégeage d'air entre la nappe d'eau superficielle et la nappe phréatique dans des cas similaires. La combinaison des phénomènes mis en jeu (infiltration à travers la matrice du sol, macropores, écoulement en sub-surface et remontée de la nappe) complique l'utilisation des méthodes usuelles de caractérisation de l'écoulement et la détermination du temps nécessaire à l'humectation du sol. Ainsi, une grande hétérogénéité de l'humidité est observée aussi bien en surface qu'en profondeur du sol (fig. 3).

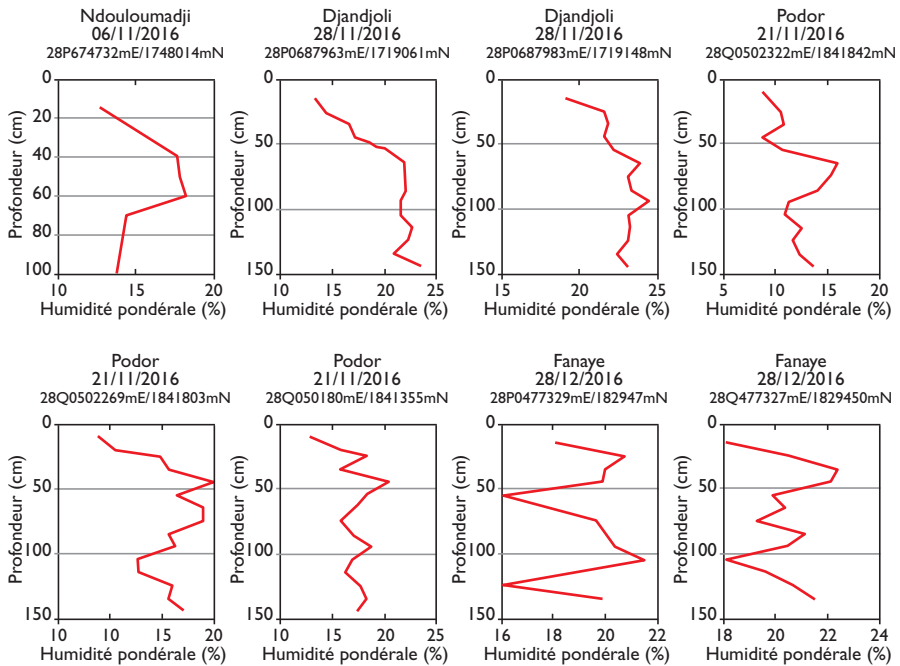


Figure 3.

Exemples de profil d'humidité pondérale du sol dans les cuvettes suivies.

Pour une humectation du sol, la durée minimum d'inondation est estimée à 15 jours (j) par certains producteurs, alors que d'autres l'estiment à 60 j. Par simplification, un essai de modélisation 1D a été effectué avec WAVE (VANCLOOSTER *et al.*, 1995) qui simule l'écoulement de l'eau sur un sol cultivé en utilisant l'équation (1) du bilan hydrique.

$$ETR+D+R= P+\Delta S+I \quad (1)$$

Où : ETR (m) est l'évapotranspiration réelle, D (m) le drainage, R (m) le ruissellement, P (m) la pluie, ΔS (m) la variation de stock (entre semis et récolte) et I (m) l'irrigation. Les termes R, P et I peuvent ici être considérés comme nuls.

Les tableaux 3 et 4 résument respectivement les paramètres hydrauliques du sol et ceux de la culture qui ont été utilisés. Cet exercice a été fait pour différents cas d'humidité initiale (HI) d'un sol d'épaisseur 1 m et en calculant l'évapotranspiration potentielle ET_0 avec la méthode FAO 56 (ALLEN *et al.*, 1998) dans les conditions typiques du climat.

Tableau 3.
Paramètres de modélisation.

Profondeur (cm)	Teneur en eau résiduelle θ_r (cm ³ /cm ³)	Teneur en eau à saturation θ_r (cm ³ /cm ³)
0 - 15	0,089	0,45
15 - 30	0,090	0,45
30 - 60	0,092	0,46
60 - 100	0,090	0,45

Tableau 4.
Paramètres de la culture.

Phase	Coefficient cultural K_c	Indice foliaire
Initiale	0,8	0,7
Croissance	1,1	0,8
Mi- saison/Épiaison	1,2	1,2
Arrière-saison	0,8	1,2

Les résultats de la modélisation sont regroupés dans le tableau 5 et la figure 4 qui montre le cas d'une HI correspondant à une pression de l'eau du sol (suction) de $S = -100$ cm. Le cas le plus favorable de la réserve hydrique correspond à HI la plus élevée ($S = -10$ cm) et permet d'avoir une ETR de 190 mm. Cette valeur d'ETR est relativement faible comparée aux besoins généralement estimés du sorgho

Tableau 5.
Résultats de modélisation du bilan hydrique.

Pression initiale (cm)	ETR (mm)	Drainage (mm)	Variation stock (mm)
-10 (pF 1)	190	49	239
-50 (pF 1,7)	183	25	208
-100 (pF 2)	171	12	183
-200 (pF 2,3)	149	4	153
-500 (pF 2,7)	111	0	111

(WANI, 2012). En plus, cette HI est proche de la saturation du sol, avec les problèmes de germination que cela peut causer. Une HI correspondant à une succion $S = -100$ cm, plus proche de la capacité au champ, donnerait une valeur d'ETR encore plus faible de l'ordre de 171 mm. Toutefois, le modèle ne considère pas l'écoulement latéral qui peut améliorer la disponibilité de l'eau et expliquer l'importance de l'optimisation de la densité de plants. La tolérance du sorgho au stress hydrique est aussi connue, surtout pour les variétés adaptées aux zones arides.

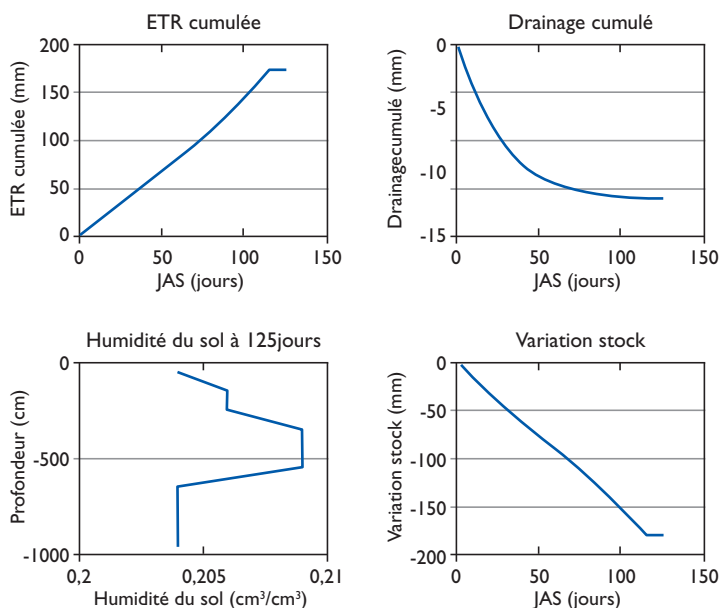


Figure 4.
Essai de modélisation du bilan hydrique avec WAVE 1D
pour une pression initiale de -100 cm (pF2).

Types d'exploitations

Les terres de décrue, dont la mode d'accès est l'héritage, sont majoritairement détenues par l'ethnie « Halpulaar », surtout par la classe sociale « torobés ». À Fanaye, les enquêtes montrent que 51 % des exploitants sont des propriétaires, les autres étant des locataires, ou bénéficiaires de prêts impliquant quelques fois le partage de la récolte avec le propriétaire. L'âge moyen est de 56 ans et 90 % ont plus de 10 ans d'expérience sur cette activité. Les hommes représentent 88 %, et une proportion de 38 % exerce une deuxième activité. La plupart (56 %) des exploitations sont des groupements familiaux et leur superficie varie de 0,5 à 3 ha avec une moyenne d'environ 2 ha. Elles sont peu équipées, et comme matériel, les charrettes, les dabas, le « luggal » (lourd pieu) et les houes dont le « toongu » (grande houe) sont pratiquement les seuls utilisés.

Mise en œuvre de la culture

Les investigations ont montré que les pratiques culturales ancestrales décrites par SAPIN et REYNARD (1968) n'ont pratiquement pas évolué.

PRÉPARATION DU SOL

Les deux principales opérations sont le désherbage et le défrichage. Si certains font le désherbage avant la crue, d'autres le font à la décrue. Ces derniers affirment que les herbes retiennent du limon et des éléments fertilisants, et que le désherbage avant inondation est inutile car la crue nettoie les champs. Après la décrue, la majorité des producteurs défrichent leurs champs avant le semis. Le désherbage avant semis est essentiel, car il limite la concurrence des herbes et arbustes ainsi que le besoin de futurs sarclages qui ne pourront être réalisés que bien après l'émergence du sorgho hors du trou de semis pour éviter d'ensevelir les jeunes plants. Il permet aussi de réaliser un léger grattage du sol. On note quelques rares cas d'utilisation de houe attelée, et plus rare encore est l'utilisation de tracteur pour un ofsetage.

VARIÉTÉS ET SEMENCES

Plusieurs variétés sont utilisées, et les plus citées dans la zone de Podor sont nommées « Marieme-Sawdata », « Samba-Souki », « Pourdi ». Souvent, le terme « *sammé* », qui désigne le sorgho en langue locale, est utilisé sans autre précision sur la variété. Également citées par NDIAYE (1991), ces variétés sont de type Durra (SAPIN et REYNARD, 1968). Avec un cycle de 105 à 120 jours, elles sont rustiques et bien adaptées à la zone.

Il manque un circuit organisé de distribution de semences de qualité et l'approvisionnement se pratique sur les récoltes précédentes ou sur les marchés locaux. Généralement, les semences ne sont pas traitées avec des produits chimiques. Pour la conservation, certains mettent un mélange de sable fin et de cendre avec les semences dans des récipients, tandis que d'autres placent les épis à côté de la cuisine pour les exposer à la fumée du bois comme protection. D'autres encore mentionnent le trempage des semences dans l'urine des bovins avant le semis.

LE SEMIS

Les paysans surveillent de très près le retrait des eaux, qui se fait très rapidement, pour pouvoir semer avant que le sol ne soit trop sec (moins d'une semaine à 10 jours). Des trous profonds de 20 cm environ sont creusés pour atteindre une zone assez humide du sol, ce qui protégera aussi le jeune plant des conditions de surface moins favorables. L'espacement des trous effectué au pas peut mesurer 90 cm à plus de 1 m et, généralement, la géométrie de semis n'est pas régulière. La réalisation des trous de semis (photo 2), qui se fait en deux étapes (première excavation de la couche superficielle du sol suivie du trou proprement dit), est, de l'avis de nombreux producteurs, l'opération la plus pénible de la culture. Plusieurs graines sont utilisées pour limiter le problème de manque de levée et sont recouvertes d'un peu de sable, parfois mélangé avec de la cendre. Lorsqu'il y a manque de levée, un re-semis est quelquefois effectué en rajoutant une petite quantité d'eau dans le trou.



Photo 2.
Décapage du sol avec la grande houe (a)
puis réalisation du trou de semis avec le pieu en bois (b).

CULTURES ASSOCIÉES

Le niébé est la principale culture associée, mais la pastèque, le melon et le « *béref* » (variété de pastèque cultivée pour ses graines) sont souvent utilisés en même temps. Les graines sont placées dans le même trou que le sorgho (80 % des producteurs) ou juste à côté. L'association avec le niébé est plus fréquente vers les bordures de cuvette que vers le centre, où le semis est plus tardif. L'association avec des légumineuses est une pratique intéressante, car elle permet de diversifier la production. L'intérêt de l'association céréale-légumineuse est aussi connu pour l'effet bénéfique lié à l'enrichissement du sol en azote par les légumineuses. On peut toutefois se poser la question de la concurrence sur la réserve hydrique du sol.

ENTRETIEN DE LA CULTURE

Le démarrage, qui n'est pas systématique, est réalisé 2 à 3 semaines après levée, en laissant 2 à 3 plants par poquet. Il est pratiqué par plus de 90 % des producteurs enquêtés, mais certains affirment que plus il y a de plants par poquet, plus il y a de chance d'en avoir qui survivent à une attaque d'insectes ou en cas de mortalité.

Les enquêtes ont montré que 93 % des producteurs pratiquent deux sarclages et le reste un seul. Le premier sarclage est réalisé 2 à 3 semaines après la levée et le deuxième 4 à 6 semaines après la levée. Ce travail est mené avec des outils manuels, mais il existe de rares cas d'utilisation d'outils attelés (photo 3).

Les producteurs utilisent rarement des produits phytosanitaires contre les ravageurs. Occasionnellement, le Diméthoate et le Décis sont utilisés pour lutter contre les pucerons et les chenilles. À l'épiaison, les épis sont couverts de morceaux de tissu, et des frondes sont utilisées pour protéger la production contre les oiseaux granivores qui abondent dans la région.



Photo 3.

Sarclage sur un champ de sorgho de décrue avec une houe attelée à un cheval.

Les exploitants enquêtés ne pratiquent aucune fertilisation minérale ou organique, et l'explication généralement donnée en est que les terres des cuvettes sont naturellement fertiles.

RÉCOLTE ET CONSERVATION DES PRODUITS

La récolte est effectuée entre 3,5 et 4,5 mois après le semis, selon les variétés. Les panicules sont coupées au couteau ou à la faucille, puis transportées et mises à sécher avant stockage (épis ou grains). Les tiges et feuilles de sorgho sont utilisées pour la confection de clôtures et pour l'alimentation du bétail. Le niébé est récolté avant le sorgho, au fur et à mesure de la maturité des gousses. Ses feuilles sont utilisées dans la cuisine avec le couscous de petit mil ou de sorgho.

CONTRAINTES AU DÉVELOPPEMENT DES CULTURES DE DÉCRUE

Les cultures de décrue sont confrontées à plusieurs contraintes :

- l'accès limité à la terre. Les premiers habitants sont les principaux bénéficiaires des terres, et les autres y accèdent de façon limitée ;
- l'incertitude liée à l'arrivée et à la durée de la crue. À Fanaye, la forte pluviométrie en 2015 a entraîné un retard du semis alors qu'en 2017, l'absence de crue a empêché la campagne de sorgho dans la vallée ;
- la concurrence entre les différents usages de l'eau (cultures de décrue, irrigation, pêche, hydroélectricité, eau potable) ;
- les dégâts causés par les insectes, les oiseaux, les phacochères et les animaux en divagation ;
- les adventices et les maladies, notamment les moisissures responsables de la mauvaise germination des graines ;
- l'enclavement des sites de production, qui souvent ne sont accessibles qu'à pied, en charrette ou par embarcation ;

- l’extension des périmètres irrigués pour la riziculture ainsi que le chevauchement de calendrier avec les cultures maraîchères de plus en plus présentes ;
- le manque d’organisation et de cadres de concertation pour bénéficier de certains avantages (subventions, prêts, semences, etc.) comme d’autres filières.

Amélioration des pratiques culturales

Gestion de la réserve hydrique du sol

L’essai de modélisation simplifiée 1D sur un sol d’épaisseur 1 m avec un pourcentage d’argile supérieur à 40 % et une humidité initiale supérieure à la capacité au champ (pF2) a montré une ETR faible, de l’ordre de 171 mm. Bien que cette modélisation ne tienne pas compte de l’écoulement latéral, il est recommandé d’éviter des conditions plus défavorables d’humidité initiale ou d’épaisseur du sol argileux.

Autres recommandations :

- utiliser la tarière pour sonder le profil d’humidité et l’épaisseur de la couche d’argile ;
- une méthode simple pour vérifier que le sol argileux est assez humide pour le semis est de faire un test de malléabilité (anneau de sol).

Le paillage permet de conserver l’humidité du sol, mais les tests effectués ici n’ont pas pu être menés à terme. En effet, il favorise l’infestation par des insectes qui s’abritent dans la paille et il est aussi sensible à l’action du vent.

Travail superficiel du sol (grattage)

Le sol travaillé en surface joue un rôle de mulch permettant de recouvrir les fentes de retrait qui favorisent l’évaporation et qui servent de niches pour les insectes. Il permet en même temps de nettoyer la parcelle avant le semis. Un bon développement du sorgho a été observé sur des parcelles au sol travaillé. Ce travail peut être fait avec des outils manuels ou attelés/tractés lorsque la portance du sol le permet.

Utilisation de variétés améliorées

Les variétés ISRA621A et ISRA621B se sont montrées précoces avec un cycle de moins de 105 jours et peuvent être utilisées en cas de semis tardif ou dans les zones où la réserve hydrique est plus faible (bordures de cuvette). Elles ont un bon potentiel de rendement (plus de 1 t/ha) mais sont plus sensibles aux rigueurs de l’environnement de la région. Elles sont plus attaquées par les insectes et les oiseaux lorsqu’elles sont à côté des variétés locales et leur utilisation demande un meilleur suivi de la parcelle (entretien et protection).

Contrôle et traitement des semences

Le manque de levée peut compromettre la campagne de culture car pendant l'attente de la levée, la réserve hydrique du sol diminue. Il est donc important de faire un test de germination plusieurs jours avant le semis avec des moyens facilement disponibles (photo 4). Un mélange de variétés peut être une stratégie pour gérer les risques, mais l'utilisation de variétés de cycles différents peut aussi nécessiter des travaux plus importants (chasse des oiseaux et récolte prolongées). Le traitement de la semence au semis est très important, car pour certaines campagnes le manque de levée est général (exemple en 2014-2015) et ce phénomène est attribué aux parasites. Pour ce faire, la semence peut être traitée avec un mélange de poudre fongicide (50 %) et insecticide (50 %) à la dose de 2 g par kg de semence.



Photo 4.
Test de germination.

Géométrie et densité de plants

Les densités faibles entraînent un manque à gagner, alors que celles trop fortes conduisent à un stress hydrique, compte tenu de la réserve hydrique limitée du sol. La densité peut être optimisée en jouant sur l'écartement entre les trous de semis et le niveau de démarrage. Les tests ont montré un rendement plus faible pour l'écartement 110 x 110 cm avec un démarrage jusqu'à 2 plants par poquet. Un meilleur rendement a été obtenu avec un écartement de 90 cm x 90 cm et un démarrage jusqu'à 3 plants (fig. 5).

Le semis en ligne (photo 5) permet d'utiliser un matériel attelé pour le sarclage, de faciliter la récolte et d'avoir une meilleure visibilité dans la parcelle. L'utilisation d'un rayonneur est recommandée à cet effet.

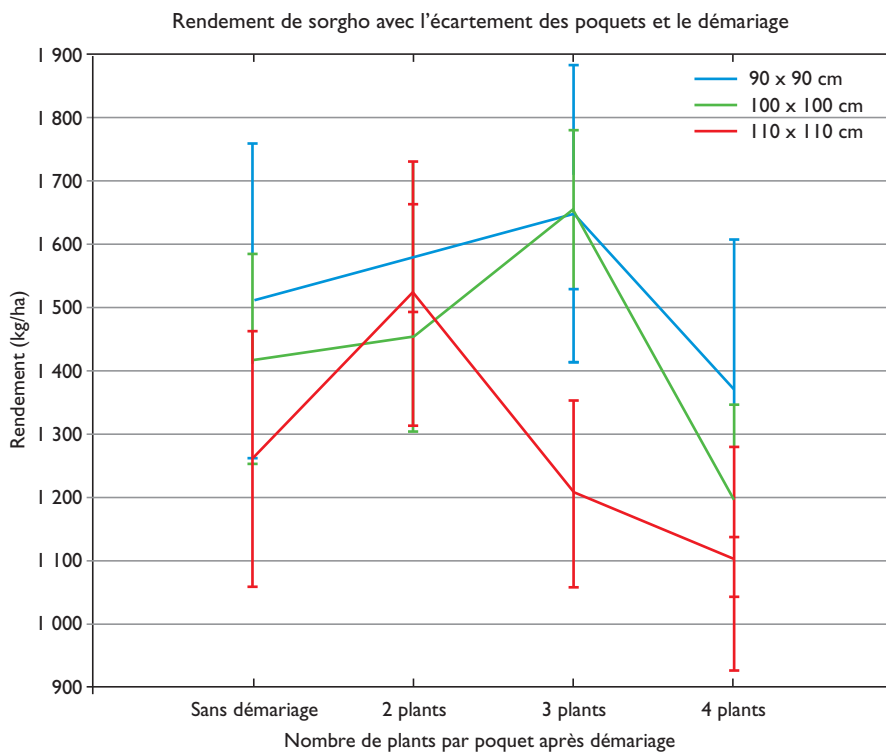


Figure 5.

Rendement de sorgho en fonction de l'écartement des poquets et du niveau de démariage.



Photo 5.

Semis en ligne avec un espacement de 90 cm entre poquets et un démariage jusqu'à 3 ou 4 plants par poquet sur un sol avec léger grattage.

Fertilisation

L'apport de fertilisation organo-minérale sous forme d'urée et de fumier permet d'améliorer considérablement le rendement. Des tests effectués ont montré un meilleur rendement avec le traitement urée + fumier par rapport au traitement NPK+ fumier et au témoin sans fertilisation. La procédure utilisée (fig. 6) est la suivante :

- un mélange de 200 g de fumier et 10 g d'urée supergranulée est placé dans un trou distant de 30 cm du trou de semis et profond de 25 cm, soit 5 cm plus profond que le trou de semis ;
- ce trou est ensuite refermé pour éviter la volatilisation de l'urée et favoriser sa diffusion dans le sol humide.

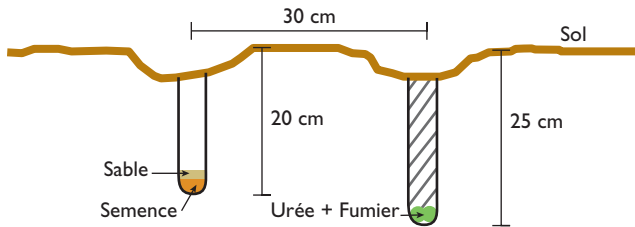


Figure 6.
Trous de semis et de fertilisation.

Association avec d'autres espèces

Les tests avec le niébé et l'arachide en interligne n'ont pas montré d'effet négatif sur le rendement du sorgho qui serait dû à une concurrence sur la réserve hydrique. Cela peut s'expliquer par le développement plus profond des racines de sorgho. Donc, en plus du niébé, de la pastèque ou du melon, l'association du sorgho avec l'arachide peut être intéressante (photos 6 et 7). Malgré une bonne floraison, l'arachide n'a pas



Photo 6.
Association avec des légumineuses : niébé (à gauche) et arachide (à droite).



Photo 7.

Paysan transportant un sac de sorgho récolté et petits ruminants profitant de la paille de l'arachide en culture associée.

produit de gousses en raison de la texture très argileuse du sol, mais son association avec le sorgho peut être effectuée si on vise l'utilisation de la fane, qui est très recherchée pour le petit élevage.

Conclusion et perspectives

La productivité des cultures de décrue est conditionnée par la disponibilité limitée de l'humidité du sol, et les pratiques doivent être adaptées à cette contrainte. Le suivi hydrique a montré une très forte hétérogénéité de l'humidité du sol. Plusieurs pratiques peuvent améliorer la productivité du sorgho de décrue :

- la vérification de l'épaisseur, du pourcentage d'argile et de l'humidité de la couche d'argile. Une épaisseur d'au moins 1 m et un pourcentage d'argile de plus de 35 % voire 40 % constituent une bonne option, mais cela suppose que le système racinaire de la variété de sorgho soit assez développé pour pouvoir exploiter la réserve hydrique. La tarière et le test de malléabilité sont des techniques simples qui peuvent être utilisées ;
- l'utilisation de variétés hâtives comme ISRA621A et ISRA621B avec une bonne organisation qui limite l'impact de l'attaque des oiseaux ;
- la réalisation d'un test de germination avant le semis avec des moyens facilement disponibles ;

– l'adoption d'un écartement de 90 cm entre les trous de semis et le démariage à 3 ou 4 plants ;

– La fertilisation organo-minérale avec du fumier mélangé à de l'urée.

En outre, l'association avec des cultures légumineuses hâtives à enracinement moins profond n'a pas montré un impact négatif sur le rendement du sorgho et permet donc d'améliorer la productivité du système.

Le travail superficiel du sol comporte des avantages potentiels qui devraient être confirmés par des études supplémentaires. Des perspectives d'amélioration existent aussi avec la sélection de variétés plus performantes, l'utilisation de semences certifiées, une meilleure protection contre les ravageurs ainsi que la petite mécanisation. Les activités de recherche à poursuivre devront prendre en compte ces aspects pour rendre les cultures de décrue encore plus productives.

Références

ADAMS J. E., HANKS R. J., 1964

Evaporation from soil shrinkage cracks.
SSSA, 28 (2) : 281-284.

ALLEN R. G., PEREIRA L. S.,

RAES D., SMITH M., 1998

Crop evaporation - guidelines for computing crop water requirements.
FAO Irrigation and drainage paper 56, 326 p.

HAMMECKER C., ANTONINO A.,

MAEGHT J. L., BOIVIN P., 2003

Experimental and numerical study of water flow in soil under irrigation in northern Senegal: evidence of air entrapment.
European Journal of Soil Science, 54 (3) : 491-503.

NDIAYE A., 1991

La culture du sorgho dans la vallée du fleuve Sénégal.
Quelques contributions de la recherche.
Rapport : Introduction d'animation scientifique ISRA Fleuve, 29 p.

SAPIN P., REYNARD A., 1968

La culture de décrue du sorgho dans la vallée du fleuve Sénégal. Quelques techniques culturales simples pour son amélioration.
L'Agronomie Tropicale, 23 (8) : 864-871.

VANCLOOSTER M.,

VIAENE P., DIELS J.,

CHRISTIAENS K., 1995

WAVE: a mathematical model for simulating water and agrochemicals in the soil and vadose environment.
Universiteit Leuven, Leuven, Belgium, 155 p.

WANI S. P., ALBRIZIO R.,

RAO V. N., 2012

« Sorghum ».
In Steduto, Hsiao, Fereres, Raes (eds) : *Crop yield response to water*,
FAO Irrigation and Drainage paper 66, 519 p.

Diversité des processus de valorisation agricole des bas-fonds et durabilité des aménagements au Burkina Faso

Bio M. TOROU, Thomas B. YAMEOGO,
Aymar Y. BOSSA, Fourvouon SOMÉ,
Evariste D. DA

Introduction

Pour beaucoup, le développement de l'irrigation apparaît comme le meilleur moyen d'augmenter la production agricole, de réduire sa vulnérabilité à la variabilité climatique et d'améliorer les moyens de subsistance au sein des communautés rurales (CILSS, 2010 ; PALÉ et DA, 2017). Toutefois, à cause du coût d'investissement et de la durabilité incertaine de l'irrigation du fait de problèmes importants de gestion et d'entretien des aménagements (TURRAL et *al.*, 2010), la question est de déterminer la stratégie d'irrigation la plus adaptée pour les petits exploitants d'Afrique subsaharienne.

De plus en plus, l'aménagement de bas-fonds apparaît comme une des solutions pour une intensification agricole. Les principaux atouts de ces milieux sont la présence plus longue de l'eau et une fertilité régulièrement renouvelée par des apports alluviaux ou colluviaux (RAUNET, 1985). Moyennant aménagement, les bas-fonds constituent des zones intéressantes pour une agriculture sécurisée et diversifiée. Ce faisant, les bas-fonds sont progressivement devenus des lieux privilégiés d'une nouvelle agriculture marchande, en raison de la reconnaissance de leur rôle anti-aléatoire face aux sécheresses qui affectent les cultures pluviales (SAKURAI, 2013 ; KCHOUK et *al.*, 2015 ; SOUBEROU et *al.*, 2017) et surtout de leur contribution dans le développement de la riziculture (MANZELLI et *al.*, 2015 ; KOMBIÉNI et *al.*, 2017).

Toutefois, le régime hydrique des bas-fonds et les interactions entre de nombreux facteurs physiques, agronomiques et sociaux en font des milieux à la fois complexes et spécifiques, avec une difficulté de maîtrise de l'eau et de mise en valeur agricole

(LIDON *et al.*, 1998). La recherche de solutions techniquement fiables et gérables par les populations concernées conduit à une diversité d'approches sociotechniques expérimentées par les opérateurs de développement.

Cette étude vise à décrire cette diversité des systèmes de mise en valeur agricole des bas-fonds, en se basant sur la variété des outils techniques et institutionnels mobilisés et sur leur adéquation avec les réalités locales dans le sud-ouest du Burkina Faso.

Contexte et méthodologie

Les écosystèmes de bas-fonds constituent au Burkina Faso un potentiel important pour le développement et l'intensification de la production agricole. Leur mise en valeur est devenue désormais un enjeu majeur du développement agricole (TOROU *et al.*, 2018), d'abord à la suite de la sécheresse des années 1970-1980, et surtout à partir de 2006 à cause des incertitudes du marché international du riz (augmentation brutale du prix de 123 %). Après une période de doute du fait de rendements considérés comme faibles, les aménagements de bas-fonds prennent désormais une place de choix dans la stratégie nationale de développement de l'irrigation, et plus spécifiquement de la riziculture, notamment dans les zones au sud de l'isohyète 1 000 mm.

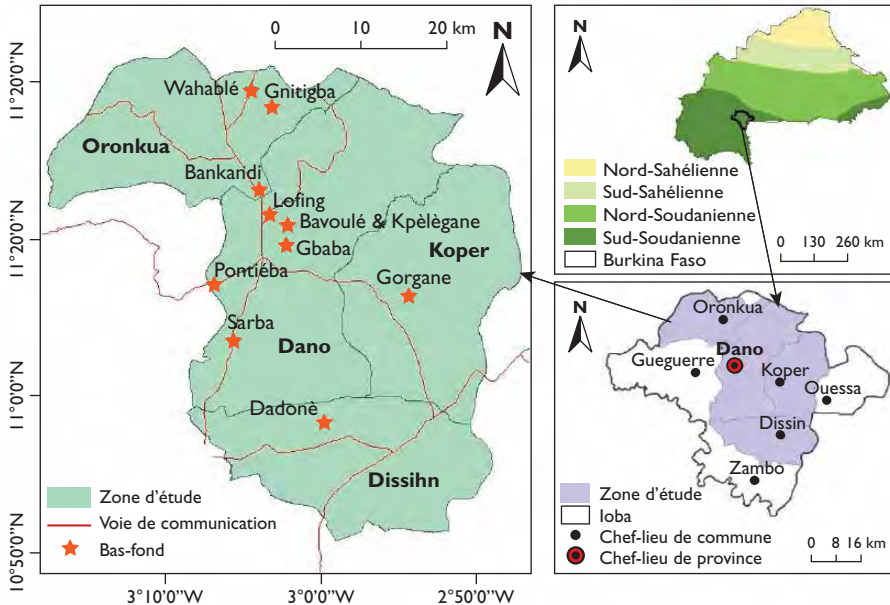


Figure 1. Situation des sites d'étude.

L'étude a été menée dans la province du Ioba (10°42' et 11°20' N ; 2°36' et 3°25' W) située dans le domaine sud-soudanien du Burkina Faso (fig. 1), caractérisé par des précipitations annuelles qui varient entre 900 et 1 200 mm et 140 à 170 jours de pluie. Les superficies de bas-fonds sont estimées à 68 490 hectares, dont 36 334 hectares sont jugés aménageables. Avec des pentes moyennes comprises entre 4 % et 6 % (RALITE, 2017) et des sols hydromorphes constitués d'argiles et d'argiles limoneuses très fertiles (DORÉE, 2017), les potentialités naturelles justifient une forte dynamique d'aménagement des bas-fonds dans la province, caractérisée par l'intervention de plusieurs projets.

Les données ont été collectées entre mai et juin 2017 dans dix villages (fig. 1) à travers une approche mixte combinant des observations de terrain (19 diagnostics d'expert), des entretiens focus (28) et individuels (142) mobilisant les connaissances des usagers (encadré 1).

Encadré 1 – Description de la démarche méthodologique

Deux niveaux d'échantillonnage ont été constitués dans le cadre de cette étude. À la suite de deux visites de reconnaissance effectuées sur 17 sites, un échantillon de 10 bas-fonds aménagés est constitué. Ces bas-fonds sont choisis en fonction de la diversité des promoteurs, de la qualité de la gestion des aménagements selon les services de l'agriculture et reflètent la diversité des situations dans la province. Chaque bas-fond aménagé et son bas-fond témoin (pour élément de comparaison) en exploitation paysanne ont été étudiés (diagnostic et enquête). Le diagnostic d'expert consiste en une caractérisation physique, sociale et agraire du bas-fond, la description des ouvrages hydrauliques par combinaison des observations, des mesures, des relevés GPS et d'entretiens avec des experts locaux. Les 142 producteurs interrogés, représentant 11 % de l'ensemble des producteurs, ont été sélectionnés de façon aléatoire à raison d'une moyenne de 14 par village. Les producteurs interrogés individuellement ne participent plus au focus groupe.

Des modalités de mise en valeur des bas-fonds variées

L'ensemble des aménagements de bas-fond observés peut être regroupé en deux grands groupes : les aménagements modernes et le système traditionnel paysan.

Le système paysan de valorisation des bas-fonds

Le système d'aménagement paysan (fig. 2) est l'ensemble des techniques développées par les paysans pour la gestion de l'espace agraire, de l'eau et des différentes productions dans le cadre de la mise en valeur de leur bas-fond. En hivernage, ces aménagements (fig. 2/photo 1) consistent notamment en la confection de gros billons disposés les uns parallèlement à la circulation de l'eau pour faciliter le drainage, les

autres perpendiculairement en amont et en aval de la première série, l'ensemble formant des chicanes qui permettent la gestion d'une lame d'eau entre les billons.

Le maintien des eaux de ruissellement dans les intervalles favorise l'infiltration, l'humectation durable des billons et, par là, la sécurisation de l'alimentation en eau des cultures associées. Dans ce système, l'association des cultures est la règle, et la disposition spatiale des cultures autour des billons répond aux exigences hydriques de celles-ci. Les cultures peu exigeantes en eau (maïs, piment ou tabac) sont placées sur les billons ; le sorgho et le tarot sont mis sur le flanc des billons et le riz qui est exigeant en eau est semé dans les sillons. Les semis en début du mois de juin permettent aux plans de grandir suffisamment avant les premières inondations dans le bas-fond.

Selon les producteurs, les billons sont renouvelés après cinq à sept ans d'exploitation. Les anciens billons sont remués pour remblayer les intervalles qui ont bénéficié de dépôts alluviaux ou colluviaux successifs durant les dernières années, ce qui renouvelle la fertilité des sols.

Dans les marges des bas-fonds, c'est plutôt le labour à plat qui est pratiqué, car les cultures dans ces espaces sont moins sujettes aux inondations. Il s'agit surtout de la culture maraîchère pratiquée en arrière (-) et contre-saison à l'aide des puisards dans des enclos en paille ou en terre (fig. 2/photo 2).

Dans le système paysan, et selon nos enquêtes, 95 % des producteurs sont propriétaires des terres qu'ils cultivent. La taille moyenne des exploitations dans ces bas-fonds paysans est de 0,76 ha.



Figure 2.
Système d'aménagement paysan de bas-fonds.

Les aménagements modernes et leur gestion

Les aménagements modernes sont ceux réalisés par une institution spécialisée en la matière suivant des règles très précises, et implantés dans le système par un projet exogène pour la communauté.

LES OUVRAGES DE MAÎTRISE PARTIELLE DE L'EAU

Ils ont pour rôle de retenir les différents apports d'eau (pluies, ruissellement, nappe), d'étaler et de laminier les crues dévastatrices ou de favoriser le drainage des eaux excédentaires. Dans cette étude, trois types d'ouvrages sont rencontrés (fig. 3).



Figure 3.
Les aménagements de bas-fonds.

L'image 1 montre une diguette en courbe de niveau améliorée (DCN). Les DCN sont des diguettes en terre compactée suivant les lignes isohypses, protégées par des moellons posés sur du géotextile. C'est un ouvrage d'épandage de crue avec possibilité de drainage et de contrôle de lame d'eau par les pertuis. C'est le modèle le plus courant dans la zone et à l'échelle nationale. Pour les producteurs, la solidité/durabilité des diguettes et la présence des pertuis représentent le meilleur atout de ce type d'aménagement. Mais l'entretien des diguettes est indispensable.

La digue-seuil déversant (image 2) est un seuil conçu comme un micro-barrage qui joue le rôle de déversoir pour l'évacuation des crues. La retenue d'eau créée en saison des pluies par la digue et un pertuis à batardeaux permettent de réguler la hauteur d'eau pour l'adapter au stade de végétation du riz. Ce système très ancien dans la zone n'est observé qu'à Gorgane et n'est plus fonctionnel.

Les images 3 et 4 montrent le modèle « casiers rizicoles avec arroseurs drains » (CAD) promu par la fondation Dreyer. Il consiste à bloquer et canaliser le ruissellement avec une digue de protection à l'amont servant de seuil partiteur des eaux vers les canaux. Les canaux servent à la fois d'arroseurs et de drains, comme dans un système d'irrigation gravitaire. Des brèches dans les cavaliers permettent d'arroser et de maintenir une lame d'eau dans les casiers et ainsi de passer au repiquage du riz. Ce système nécessite une synergie d'action, surtout dans la gestion de l'eau et la lutte contre l'érosion.

S'ajoutent à ces trois types d'aménagement observés, à vocation rizicole, les périmètres maraîchers aménagés par endroits pour les femmes avec des puits busés et une clôture en grillage.

Introduits par un projet exogène, ces aménagements, qui sont une réponse technique à un problème physique, doivent correspondre également aux aspirations des futurs utilisateurs. De ce fait, ils s'inscrivent dans un processus interactif basé la plupart du temps sur une réorganisation foncière et sociale.

LA RÉORGANISATION FONCIÈRE

Un aménagement de bas-fond, au-delà de son objectif de levée des contraintes naturelles, constitue aussi un investissement foncier (LAVIGNE DELVILLE *et al.*, 1996). De ce fait, l'aménagement engendre une redistribution des cartes au niveau des droits sur la terre, aménagée en fonction de critères nouveaux : participation aux travaux, adhésion au groupement par paiement d'une cotisation, etc.

Le processus d'aménagement d'un bas-fond naît soit d'une demande villageoise adressée à l'aménageur, soit sur proposition de l'aménageur aux populations bénéficiaires. Il s'étend de l'acquisition du site à aménager jusqu'à la redistribution des parcelles et leur gestion.

L'aménageur vérifie que les conditions pour son intervention sont réunies. Parmi ces conditions, il y a notamment la taille du bas-fond (minimum 25 ha pour PIGO-Projet d'irrigation dans le grand Ouest et fondation Dreyer), la cession foncière, la possibilité technique d'intervention sur le site proposé par les populations ou encore la discrimination positive envers les femmes. Pour la question foncière, chaque promoteur s'assure que les propriétaires terriens et leurs ayants droit ont accepté de céder leur patrimoine foncier à la communauté. Cette cession des terres se matérialise par la production d'un procès-verbal de cession. Pour ce processus très délicat, on observe plusieurs variantes selon le type de promoteur. Les projets gouvernementaux confient les négociations foncières aux services techniques déconcentrés de l'Agriculture. En tant qu'agents de vulgarisation, ils aident les populations, parfois les incitent à formuler leur demande et à la soumettre aux projets. Ainsi, c'est l'agent qui suit le dossier avec l'aide d'un leader de la communauté. Dans le cadre de programmes autonomes ou menés par des ONG, chacun y va à sa manière. La fondation Dreyer laisse l'initiative et la gestion de la cession foncière aux populations bénéficiaires. Les producteurs doivent se concerter, s'organiser entre eux et régler la question foncière en interne, et ce n'est qu'après que la fondation peut donner suite à leur demande d'aménagement. Pour des ONG comme VARENA-ASSO (ONG locale) et la CISV (ONG italienne), les sites à aménager sont obtenus sur la base de négociations directes avec les populations exploitantes. Le PIGO, quant à lui, implique plutôt l'administration territoriale, qui suit le processus et en est la garante. Le préfet de la circonscription administrative est le président du comité de gestion foncière pour tous les aménagements PIGO sous sa compétence territoriale. Il supervise la redistribution des parcelles après aménagement.

La redistribution des parcelles après aménagement est la dernière phase de la réorganisation foncière. Pour l'ensemble des promoteurs, la condition principale d'accès à la parcelle aménagée reste la participation effective aux travaux d'aménagement. Cette règle est appliquée de façon stricte par VARENA-ASSO, avec pour conséquences des tensions encore perceptibles dans le village de Saba et un délabrement total de l'aménagement. Mais cette règle est quelque fois atténuée, voire contrainte,

par le statut de propriétaire terrien ou une approche « genre ». Ainsi, bien que ne prévoyant pas au départ de place spécifique pour ceux qui possédaient des terres sur l'espace aménagé, la fondation Dreyer a été obligée de prioriser ces derniers pour apaiser les tensions naissantes (DORÉE, 2017), et ensuite d'en faire une règle pour tous ses aménagements. Le programme PIGO et la CISV donnent priorité aux anciens propriétaires terriens, qui sont alors les premiers à choisir leurs parcelles sur le site aménagé. Les autres attributaires sont tirés au sort. PIGO, en outre, destine 25 % de la surface aménagée aux femmes. Ces privilèges accordés à certaines catégories de bénéficiaires relèvent de l'apaisement social.

LA RÉORGANISATION SOCIALE ET LA RÉORGANISATION DE LA PRODUCTION

Les aménagements exigent des décisions collectives pour leur réalisation et leur pilotage saisonnier, d'où la nécessité d'une réorganisation sociale volontariste. C'est pourquoi les promoteurs conditionnent leurs actions d'abord à l'engagement des populations bénéficiaires pour les travaux de réalisation, la gestion et l'entretien des ouvrages, et ensuite pour la création d'un groupement ou d'une coopérative dès la création de l'aménagement et pour sa gestion ultérieure.

Lors de la réalisation des ouvrages, les populations assurent le creusage des drains, le compactage des diguettes et/ou la collecte et la pose des moellons. Cette contribution des populations se fait selon le principe « cash for work ». Dans le cadre du PIGO, les producteurs interviennent pour la collecte des moellons et l'enrochement des diguettes. Ils perçoivent directement 80 % de leur paye et les 20 % restants sont versés comme contribution au fonds de roulement du groupement. Pour la fondation Dreyer, après piquetage, la pleine participation des populations est systématique. La fondation finance les populations qui réalisent les canaux et les diguettes, après le passage de tracteur qui laboure le périmètre. Tel est aussi le cas du PRP (Programme riz pluvial) qui construit des diguettes en courbe de niveau simple avec l'implication des producteurs depuis la mesure des dénivelés. Ces pratiques s'insèrent dans le cadre de l'apprentissage des populations pour la gestion post-projet.

Deux situations sont observées dans la gestion de la production. Dans la première situation, qui correspond à une logique de projet, les promoteurs suivent la production et la gestion de l'aménagement les trois premières années. Ils reçoivent des semences améliorées, des engrais, et le bas-fond fait l'objet d'un suivi par les techniciens du projet ou bien ceux de l'Agriculture appuyés par le projet. Le groupement et les producteurs bénéficient de formations sur les itinéraires techniques et la gestion organisationnelle. En plus de ces aspects généraux, le PIGO maintient un animateur dans la province pour le suivi à moyen terme des aménagements. Le PRP, lui, va plus loin en achetant les récoltes issues de ces aménagements pour ensuite les revendre sur le marché national.

La seconde situation concerne les aménagements de la fondation Dreyer. C'est un système quasi intégré, dans lequel le promoteur vise la création d'une entreprise coopérative. Avec sa rizerie, la fondation contrôle la totalité de la filière du riz, un peu comme les compagnies cotonnières le font pour le coton. Outre les aménagements, l'accent est mis sur l'adoption de « bonnes pratiques » à travers les champs-écoles, l'approvisionnement en intrants et la commercialisation du produit fini. La fondation

fournit la semence (TS2) et les engrais (NPK et urée) à crédit à chaque groupement qui les répartit entre les producteurs. Le remboursement est effectué en nature lors de la vente groupée. La transformation et la commercialisation du produit final sont assurées par la fondation Dreyer.

Ces aménagements exogènes constituent ainsi à plusieurs égards une « révolution » qui influence les systèmes de culture dans les bas-fonds. Le système passe d'un système de type polyculture en aménagement paysan à un système de monoculture du riz en aménagement moderne. Les parcelles sont réduites (0,31 ha en moyenne). Les variétés cultivées sont celles issues de la recherche, soit promues par les promoteurs, soit imposées par le marché.

Aménagement des bas-fonds : entre espoirs et désillusions

L'amélioration des conditions d'exploitation des bas-fonds résultant à la fois des nouvelles conditions hydriques et des adaptations des itinéraires techniques induit l'accroissement de la production et des rendements agricoles et, par conséquent, l'amélioration des revenus et de la sécurité alimentaire et nutritionnelle. Pour les producteurs, bien plus que la sécurité alimentaire, les aménagements de bas-fonds rizicoles contribuent à transformer les habitudes alimentaires et de vie.

L'amélioration des conditions de vie générales des ménages est la conséquence de l'accès égalitaire aux facteurs de production (terre, intrants, etc.) pour les couches sociales vulnérables (femmes, jeunes). Cependant, ce mode de gestion peut être perçu comme une expropriation des terres et devenir source de conflits à long terme si le processus n'a pas été négocié avec toutes les parties prenantes du projet et validé socialement avant l'aménagement. Et c'est à ce niveau que la pratique de certaines ONG, qui se désengagent des éventuels problèmes fonciers et renvoient la totale responsabilité aux populations, peut être un obstacle à la durabilité sociale de l'aménagement.

La réorganisation sociale contribue aussi à ce bien-être. Le renforcement des capacités techniques et organisationnelles des producteurs est apparu comme un bénéfice énorme des aménagements modernes. Ces groupements auraient contribué à une meilleure cohésion sociale dans les villages. Mais les organisations de producteurs encore en apprentissage n'arrivent pas toujours à mettre leurs membres d'accord sur des processus collectifs. Or c'est là chose nécessaire pour l'approvisionnement en intrants et la recherche de marchés, pour l'entretien des ouvrages dans le bas-fond, et même pour la gestion de l'eau et de la production. Les approches de projet limitées dans le temps constituent un frein au développement de la riziculture, car le manque d'appropriation et de consolidation des acquis par les bénéficiaires est patent. Le transfert à l'autorité publique n'est souvent pas efficace, vu les moyens

limités des services techniques. Le schéma visant la création d'entreprises coopératives pourrait être une solution viable si elle s'intègre dans une politique publique de développement de la filière riz.

Conclusion

L'analyse des systèmes d'exploitation agricole des bas-fonds permet de voir que plusieurs outils techniques et organisationnels sont mobilisés non pas en fonction des spécificités des milieux, mais plutôt en fonction des promoteurs. Les processus techniques et socio-institutionnels de gestion de ces bas-fonds après aménagement sont parfois inadaptés aux capacités organisationnelles et techniques des producteurs. Ainsi, cela devient une nouvelle contrainte pour les paysans, dont le savoir-faire est basé sur l'expérience. Dans ces conditions, les performances de ces aménagements – notamment leurs capacités à atténuer les risques climatiques pour permettre de sécuriser une intensification de la riziculture – s'en trouvent hypothéquées. Toutefois, les producteurs sont plus attirés par les bas-fonds aménagés comparativement aux bas-fonds non aménagés. Ceux-ci offrent une meilleure facilité de travail du sol au début des aménagements, l'accès aux intrants et à la formation des producteurs.

Références

CILSS, 2010

Déclaration des chefs d'État et de gouvernement du CILSS relative à la coalition mondiale sur l'eau au Sahel.
N'Djamena.
http://www.cilss.bf/IMG/pdf/declaration_cetat.pdf

DORÉE A., 2017

Gérer les nouveaux risques des bas-fonds soudanais (Dano, Burkina Faso).
Mémoire de fin d'études d'ingénieur agronome, IRC/Supagro, Montpellier.

KCHOUK S., BRAIKI H., HABAIEB H., BURTE J., 2015

Les bas-fonds de la plaine de Kairouan : de terres marginalisées à lieux d'expérimentation agricole.
Cah. Agric., 24 : 404-411.

KOMBIENI F. M., GOMEZ COAMI A., YOLOU I., NATTA N. P., 2017

Contribution de l'aménagement des bas-fonds à la production rizicole dans la commune de Boukoubé (nord-ouest du Bénin).
International Journal of Innovation and Applied Studies, 19 (1) : 197-205.

LAVIGNE DELVILLE P., BOUCHER L., VIDAL L., 1996

« Les bas-fonds en Afrique tropicale humide : stratégies paysannes, contraintes agronomiques et aménagements ». In Pichot et al. (éd.) : *Fertilité du milieu et stratégies paysannes sous les tropiques humides*, actes du séminaire international, Cirad : 148-161.

**LIDON B., LEGOUPIL J.,
BLANCHET C. F, SIMPARA M.,
SANOGO I., 1998**

Le diagnostic rapide de réaménagement
(Diarpa).

Un outil d'aide à l'aménagement
des zones de bas-fonds.

Agriculture et développement, 20 : 61- 80.

**MANZELLI M., FIORILLO E., BACCI M.,
TARCHIANI V., 2015**

La riziculture de bas-fond au sud du Sénégal
(Moyenne Casamance) :

enjeux et perspectives
pour la pérennisation des actions
de réhabilitation et de mise en valeur.

Cah. Agric., 24 : 301-312.

PALÉ S., DA D. E. C., 2016

Traditional Lowlands Water Management
in Dano, South-Western Burkina Faso.

Journal of Water Resource and Protection, 8 :
425-434.

RALITE R., 2017

*Caractérisation morphologique et paysagère
des bas-fonds en zone soudanienne
par analyse géomatique - Région de Dano,
Burkina Faso.* Master 1 Géomatique,
AgroParisTech.

RAUNET M., 1985

Les bas-fonds en Afrique et à Madagascar.
*Géomorphologie-géochimie- pédologie-
hydrologie*, 52 : 25-62.

SAKURAI T., 2013

*Intensification of Lowland Cropping Systems
and Informal Land Ownership in West Africa:
Comparison of Two Large Inland Markets
in Côte d'Ivoire and Ghana.*

Technical Report Discussion Paper Series A
n° 586, 44 p.

**SOUBEROU K. J., AGBOSSOU E,
OGOUWALE E., 2017**

Inventaire et caractérisation des bas-fonds
dans le bassin versant de l'Oti au Bénin
à l'aide des images Landsat et ASTER DEM.
*International Journal of Environment,
Agriculture and Biotechnology*, 2 (4) :
1601-1623.

**TOROU B., BOSSA A. Y.,
YAMEOGO T. et al., 2018**

Exploitation agricole des bas-fonds :
diversité des situations, contraintes
et opportunités associées.

*In WASCAL (éd.) : Projet « Gestion
des nouveaux risques et des opportunités
des terres inondables pour l'agriculture
africaine (GENERIA) ».*
Rapport scientifique intermédiaire,
Ougadougou, WASCAL : 22-26.

**TURRAL H., SVENDSEN M.,
FAURES J.-M., 2010**

Investing in agriculture:
reviewing the past and looking to the future.
Agr. Water Manage., 97 : 551-560.

Pratiques paysannes de gestion des pesticides dans les bas-fonds rizicoles Risques sanitaires et environnementaux (Dano, Burkina Faso)

*Halidou COMPAORE, Sylvain ILBOUDO,
Aïssata Delphine BAMA NATI,
Mariam Myriam DAMA-BALIMA*

Introduction

En Afrique de l'Ouest, les terres inondables constituent des milieux à forts enjeux tant agricoles qu'environnementaux (DE NORAY, 2003 ; BLEIN *et al.*, 2008). D'une part, ce sont des zones humides qui assurent les fonctions essentielles de conservation des eaux et de la biodiversité. D'autre part, ces milieux, dotés d'un grand potentiel agricole compte tenu de leurs ressources en eau et de leurs sols, sont de plus en plus convoités par de multiples usagers. Les bas-fonds aménagés et les périmètres irrigués constituent de nos jours les principaux centres de production agricole, notamment pour le riz et les produits maraîchers (BLEIN *et al.*, 2008 ; BAD et FAO, 2015). Cependant, les mauvaises herbes, les maladies et ravageurs des cultures causent des dégâts considérables, pouvant engendrer dans certains cas des pertes en production s'élevant à plus de 30 % (MAHRH, 2006 ; TOÉ, 2010). Pour faire face aux pertes de rendement dues aux ennemis des cultures, les producteurs ont recours à la lutte chimique par l'utilisation des pesticides (CISSÉ *et al.*, 2003 ; GOMGNIMBOU *et al.*, 2009 ; NARÉ, 2010 ; OLINA BASSALA *et al.*, 2015). Cependant, une mauvaise utilisation des pesticides engendre des problèmes d'intoxication des opérateurs (TOÉ *et al.*, 2002 ; 2013), des consommateurs (FOURNIER et BONDEREF, 1983), la pollution de l'environnement et une toxicité envers les organismes non cibles des traitements (RAMADE, 1992 ; TOÉ *et al.*, 2004).

De ce fait, l'emploi de tout pesticide doit se faire selon les bonnes pratiques agricoles. Au Burkina Faso, plusieurs études et travaux ont mis en exergue le non-respect des bonnes pratiques agricoles par les producteurs (TOÉ *et al.*, 2002 ; COULIBALY, 2013 ; DEMBÉLÉ, 2014).

Selon les enquêtes de l'OMS, les pays africains importent moins de 10 % des pesticides utilisés dans le monde, mais ils totalisent la moitié des empoisonnements accidentels et plus de 75 % des cas mortels (TACHIN, 2011). Plusieurs études et travaux ont montré le non-respect des bonnes pratiques par les distributeurs et les utilisateurs des pesticides (COULIBALY, 2013 ; KANDA *et al.*, 2013 ; DEMBÉLÉ, 2014 ; BAD et FAO, 2015). Ces faits témoignent de la gestion non sécurisée des pesticides, avec comme corollaire des risques importants pour les utilisateurs, les consommateurs et l'environnement (DEVILLER *et al.*, 2005 ; SOUGNABE *et al.*, 2010 ; TOÉ *et al.*, 2013 ; SORY, 2011). D'où la nécessité de promouvoir une utilisation judicieuse des pesticides en vue de lutter efficacement contre les ennemis des cultures tout en prévenant l'intoxication du producteur et du consommateur, et d'éviter le gaspillage des pesticides et la pollution de l'environnement.

La présente étude a pour but d'évaluer les risques sanitaires et environnementaux liés aux pratiques des riziculteurs dans les bas-fonds rizicoles de Dano et de ses environs. Pour ce faire, il s'avère important d'évaluer les niveaux de formation des producteurs et la qualité de la gestion sécurisée des pesticides, intrants agricoles largement toxiques pour l'homme et l'environnement.

Méthodologie

Zone d'étude

L'étude a été réalisée pendant les campagnes humides 2017 et 2018 sur la zone rizicole des bas-fonds de la commune de Dano. Située dans la région du sud-ouest du Burkina Faso, autour de la ville de Dano, la zone rizicole fonctionne à partir de l'eau des pluies qui inonde des bas-fonds sommairement aménagés (fig. 1).

Dans les bas-fonds rizicoles, l'alimentation en eau des parcelles se fait à partir du ruisseau principal, qui, tour à tour, remplit les fonctions d'irrigation et de drainage. Il est canal d'irrigation quand il est obstrué à l'aval : l'eau monte et une diguette est cassée pour laisser entrer l'eau dans la parcelle. Sur l'ensemble de la province du Ioba, les bas-fonds couvrent environ 11 000 hectares sur lesquels est pratiquée annuellement une campagne rizicole en saison pluvieuse. Le climat de la région est de type sud-soudanien, avec une pluviosité moyenne d'environ 1 000 mm par an.

Méthodes

Pour analyser la diversité de pratiques agricoles incluant l'utilisation des pesticides, un échantillon de 158 producteurs a été retenu à partir d'un recensement exhaustif des producteurs du périmètre effectué dans le cadre du projet « Gestion des nouveaux risques et opportunités pour les cultures de bas-fonds en zone soudanienne » (Generia Burkina Faso). Sur chaque site d'étude, en moyenne 50 producteurs ont été enquêtés avec une proportion de 35 % de femmes pendant les campagnes agricoles

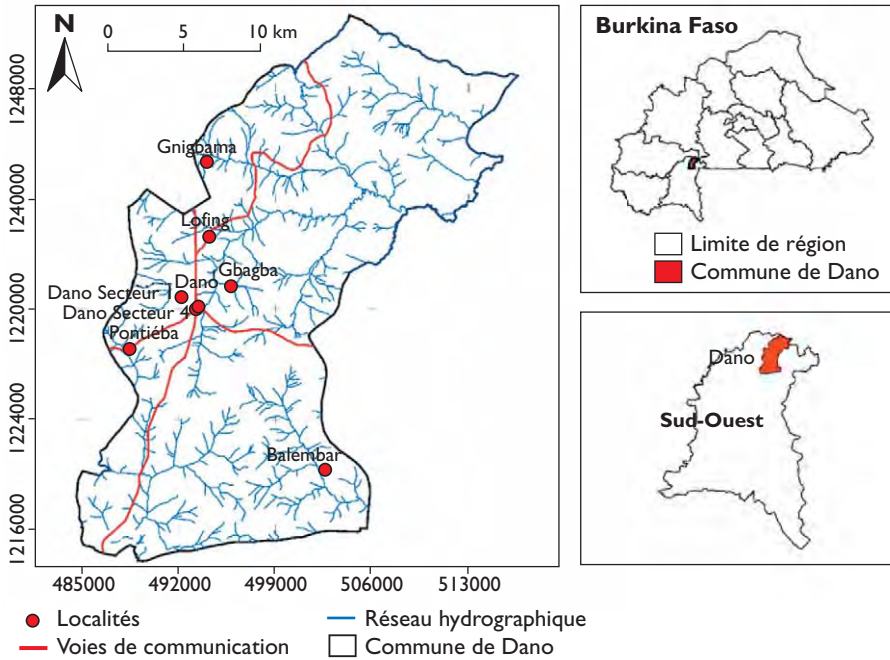


Figure 1.
Localisation de la commune de Dano.
Source : BNDT (2012)

2016-2017 et 2017-2018. Les données ont été collectées à partir d'enquêtes individuelles et semi-structurées. Il s'agit pour l'informateur clé de répondre à différentes questions en rapport avec les pratiques d'utilisation des pesticides dans la production du riz. Les enquêtes sur les risques sanitaires liés à l'utilisation des pesticides ont permis d'évaluer la qualité de la gestion des produits, les attitudes et les pratiques des producteurs concernant l'utilisation des produits, l'élimination des emballages vides, la gestion des reliquats de pesticides, etc. En vue d'évaluer la prévalence des intoxications liées à l'utilisation agricole des pesticides, les cas enregistrés dans les formations sanitaires ont été recensés dans les principaux centres de santé de la ville de Dano.

Analyse des données

Les données collectées ont porté sur les pratiques agricoles et l'utilisation des pesticides dans les bas-fonds rizicoles, les risques sanitaires et les risques de pollution environnementale liés à l'utilisation de ces produits. Les données collectées ont été dépouillées sous le tableur Excel et leur traitement a été effectué en fonction des variables notées sur le terrain. Les paramètres statistiques, notamment les moyennes et les pourcentages, ont été calculés et utilisés pour la construction d'histogrammes et de tableaux de distribution de fréquences, et ce pour chacune des pratiques d'utilisation des pesticides étudiées, comme le nombre d'années d'expérience des producteurs,

la typologie des pesticides utilisés et le statut d'homologation CSP, la fréquence d'utilisation et la nature de la matière active, les causes de consultations sanitaires liées aux intoxications, les moyens de protection utilisés par les producteurs, la provenance de l'eau servant à la préparation du mélange de pesticides, les modes de gestion des reliquats de pesticides, les principaux modes d'élimination des emballages vides.

Résultats

Pratiques agricoles et utilisation des pesticides dans les bas-fonds rizicoles

CARACTÉRISTIQUES SOCIODÉMOGRAPHIQUES DES PRODUCTEURS RIZICOLES

Âges et genre des exploitants

Les résultats d'analyse ont montré que l'exploitation des bas-fonds rizicoles de Dano est une activité essentiellement pratiquée par les hommes : 88 % contre 12 % de femmes. L'âge des producteurs varie entre 18 et 60 ans. À Pontiéba, les hommes de plus de 50 ans représentent 68 % des producteurs contre 32 % de femmes avec un âge moyen de 54 ans. Sur l'ensemble des enquêtés, les adultes de moins de 40 ans représentent 21 % des exploitants agricoles, ceux âgés de 40 à 50 ans 21 %, et ceux de plus de 50 ans 58 % (tabl. 1). Ainsi, les adultes de plus de 40 ans représentent près de 80 % des exploitants. Les parcelles rizicoles sont exploitées par une population vieillissante, et ce phénomène est lié au statut foncier traditionnel du terroir local, qui attribue la parcelle d'exploitation à l'aîné de la famille.

Tableau 1.
Caractéristiques socioprofessionnelles des producteurs rizicoles.

Paramètres	Classes	Effectifs (n=158)	%
Genre	Hommes	139	88,00
	Femmes	19	12,00
Âges (ans)	< 40	33	21,00
	40 - 50	33	21,00
	≥ 50	91	58,00
Niveau d'études	Analphabète	96	61,00
	Alphabétisé	11	7,00
	Primaire	35	22,00
	Secondaire	14	9,00
	Supérieur	2	1,00
Formation agricole	Oui	21	13,40
	Non	137	86,60

Niveau d'instruction des producteurs

La population d'étude dans sa majorité a un niveau d'instruction assez bas. On note que 32 % des producteurs ont été à l'école : 22 % ont suivi l'école primaire, 9 % ont atteint le cycle secondaire et 1 % le cycle supérieur. Quant au secteur de la formation agricole, seuls 21 % des producteurs enquêtés ont bénéficié de renforcement de capacités. Les producteurs dans leur ensemble sont analphabètes à 61 % (tabl. 1).

Années d'expérience des producteurs dans l'utilisation des pesticides

La pratique rizicole de bas-fonds dans la région du Sud-Ouest est une activité traditionnelle des populations locales. Dans la zone d'étude, les résultats des enquêtes ont révélé que plus de 60 % des producteurs ont moins de 10 ans d'expérience dans l'utilisation des pesticides, 30 % une expérience comprise entre 10 et 20 ans, et moins de 10 % une expérience de plus de 20 ans (fig. 2).

La majorité des producteurs (60 %) a une expérience moyenne d'utilisation des pesticides de 10 ans. Cela s'explique par l'extension des périmètres aménagés et par l'intrusion récente de l'utilisation des herbicides dans les opérations agricoles.

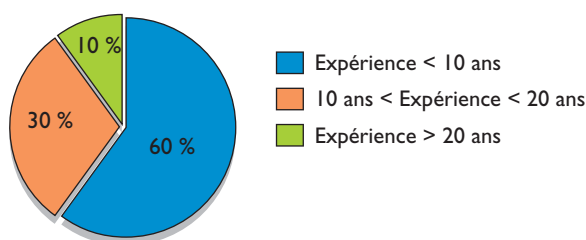


Figure 2.

Répartition des producteurs selon l'expérience dans l'utilisation des pesticides.

MISE EN PLACE DES CULTURES ET PRÉPARATION DES PARCELLES D'IRRIGATION**Modes de mise en place des cultures**

Deux modes essentiels de mise en place des cultures de riz sont pratiqués par les producteurs dans les bas-fonds rizicoles. Dans le premier, 90 % des producteurs appliquent la technique de semis directs des parcelles, en passant par une phase de sarclage manuel ou attelé. Dans le deuxième, les 10 % de producteurs restants pratiquent le système de repiquage du riz. Ce système nécessite préalablement la mise en place d'une pépinière, le planage et la mise en boue de la parcelle. Les raisons de la faible adoption du repiquage par les producteurs s'expliquent par la forte demande qu'il exige en main-d'œuvre pour le labour, le planage et la mise en boue.

Quel que soit le mode de mise en place de la culture du riz (semis direct ou repiquage), il est précédé par une phase d'application intensive d'herbicides au sol, appelée « collage », correspondant à un désherbage chimique.

Préparation des parcelles et système d'irrigation

Les résultats des enquêtes menées auprès des producteurs montrent que 60 % des problèmes d'eau dans les parcelles de production rizicole dans les bas-fonds de Dano

interviennent en début et en fin d'hivernage. Sur le site de Lofing, la mobilisation de l'eau pluviale contribue pour plus de 70 % à l'irrigation des parcelles rizicoles.

Le système d'irrigation est essentiellement pluvial. La source d'approvisionnement est une retenue d'eau située en amont, et des canaux d'amenées d'eau permettent l'irrigation des parcelles. Des bâtardeaux de circonstance sont utilisés pour élever le niveau de la lame d'eau afin de favoriser l'irrigation. Dans le cas où le drain n'est pas individualisé, l'irrigation et ensuite le drainage prennent place avec l'installation des pluies entre juin et juillet, et s'effectuent à l'intérieur de parcelles connectées entre elles par de petits drains ou en ouvrant la diguette.

Utilisation des pesticides par les producteurs

Typologie des pesticides utilisés

Les résultats des enquêtes auprès des exploitants rizicoles ont montré que le désherbage chimique des parcelles est réalisé avec des herbicides chimiques de synthèse. Sur la base des noms commerciaux, 12 pesticides incluant les herbicides et les insecticides ont été identifiés. Les herbicides destinés spécifiquement à la culture du riz représentent 40 %, ceux dédiés à la culture du coton 10 %, et les herbicides totaux 50 %. On note la présence de produits comme Gramopat super, Gramoquot super et Dyfolett, trois herbicides qui ne sont pas homologués par le Comité sahélien des pesticides (CSP) (tabl. 2). Il s'agit probablement de produits issus de la contrebande transfrontalière avec les pays voisins.

Tableau 2.
Types de pesticides utilisés par les producteurs.

Nom commercial du produit	Types de pesticides	Usage	Statut CSP
Samory	Herbicide	Riz	OUI
Adwuma wura	Herbicide	Riz	OUI
Gramopat Super	Herbicide	-	NON
Gramoquot Super	Herbicide	-	NON
Glyphader 75	Herbicide	Riz	OUI
Conquest	Insecticide	Coton	OUI
	Insecticide	Coton	
	Insecticide	Coton	
Round Up	Herbicide	Coton	OUI
Bin'fla 720 Wg	Herbicide	-	OUI
Rubis	Herbicide	Riz	OUI
Decis 25 Ec	Insecticide	Tomate	OUI
Glycel 410 SI	Herbicide	-	OUI
Dyfolett	Herbicide	-	NON

Matières actives des pesticides utilisés

Les herbicides les plus utilisés par les producteurs sont respectivement Adwuma wura (30,30 %), Gramoquot super (30,30 %), Samory (18,50 %), Gramopat super (10,50 %), Round up (2,60 %), Rubis (2,60 %). À travers ces herbicides, les matières actives les plus déversées dans les bas-fonds rizicoles de Dano et ses environs sont le paraquat, le glyphosate, le bensulfuron methyl et le bispyribac-sodium, dans les proportions respectivement de 42,10 %, 36,80 %, 18,50 % et 2,60 %.

Les insecticides les plus utilisés par les producteurs dans les bas-fonds rizicoles de Dano sont respectivement Decis 25 EC (20,00 %) et Conquest (80,00 %). À travers ces insecticides, les matières actives les plus utilisées sont les suivantes : deltaméthrine, acetamipride, cyperméthrine et fubendamide (tabl. 3). La quasi-totalité de ces matières actives sont toxiques dans le milieu aquatique.

Tableau 3.
Fréquence d'utilisation des pesticides et nature de la matière active.

Nom commercial du produit	Matières actives	Fréquence d'utilisation (%)	Statut CSP
Herbicides			
Adwuma wura	Glyphosate	30,30	OUI
Gramoquot Super	Paraquat dichloride	30,30	NON
Samory	Bensulfuron methyl	18,50	OUI
Gramopat Super	Paraquat chloride	10,50	NON
Round Up	Glyphosate sel de potassium	2,60	OUI
Rubis	Bispyribac-sodium	2,60	OUI
Glyphader 75	Glyphosate acide	1,30	OUI
Bin'fla 720 Wg	Glyphosate	1,30	OUI
Glycel 410 SI	Glyphosate sel d'Isopropylamine	1,30	OUI
Dyfolett	Paraquat chloride	1,30	NON
Insecticides			
Decis 25 Ec	Deltaméthrine	20,00	OUI
Conquest	Acetamipride	80,00	OUI
	Cyperméthrine		
	Fubendamide		

La consommation de produits à base de glyphosate représente 36,80 %, soit un des herbicides les plus prisés à Dano. Quant au Paraquat, produit très toxique en milieu aquatique même à très faible dose et interdit par le CSP, il est le plus utilisé, par 42,10 % des producteurs. Cette situation est liée à l'ignorance, à la pauvreté et au niveau d'instruction relativement bas de la population d'étude.

Il est à noter que 42,10 % des pesticides utilisés dans les bas-fonds rizicoles ne sont pas homologués et sont interdits d'utilisation, à l'image du Paraquat. La présence de produits non homologués sur le marché entraîne d'énormes risques sanitaires pour la population.

Risques sanitaires liés aux pesticides utilisés

EFFETS SANITAIRES DE L'UTILISATION DES PESTICIDES

Parmi les enquêtés, 46,20 % ont déclaré avoir déjà ressenti des effets sanitaires qu'ils attribuent à l'utilisation des pesticides. Les effets sanitaires correspondent à des affections respiratoires (43,90 %), cutanées (30,10 %), gastro-intestinales (15,00 %) et oculaires (11,00 %) (tabl. 4).

Tableau 4.
Typologie des affections rapportées par les riziculteurs comme effets liés aux pesticides.

Causes de la consultation	Fréquence (%)
Affections cutanées	30,10
Affections respiratoires	43,90
Problèmes gastriques	15,00
Affections oculaires	11,00
TOTAL	100,00

RISQUES LIÉS À L'INSUFFISANCE DE PROTECTION AU COURS DE L'UTILISATION DES PESTICIDES

L'inadaptation des moyens de protection

Les résultats des enquêtes montrent que 25 % des producteurs effectuent la préparation des bouillons ou les opérations de traitement sans équipements de protection adéquats (masques, gants, tenues, etc.). Ils déclarent porter de simples tenues usagées, constituées notamment de chemises et de pantalons souvent déchirés ou troués. En guise de protection pendant la préparation et l'application du pesticide, les producteurs à 75 % se protègent une partie du corps. Les moyens de protection cités sont les gants pour 18 % des répondants, les bottes pour 23 %, les lunettes pour 6 % des cas, les masques à poussière pour 23 %, et les couvre-têtes (chapeaux, foulards, casques, etc.) pour 3 % (fig. 3). Les producteurs détenteurs de la combinaison adaptée pour l'utilisation et la gestion des pesticides représentent 2 % des enquêtés.

Les résultats des enquêtes indiquent que la majeure partie des enquêtés (98 %) n'observe pas les mesures de protection recommandées. Les lieux de stockage des équipements de traitement phytosanitaire cités étaient le domicile pour 82 %, la brousse pour 18 %. Les explications apportées aux mauvais comportements sont le manque de moyens financiers (44 %), l'ignorance des équipements individuels de protection (22 %), la non-disponibilité (19 %) et la non-accessibilité de ces équipements de protection (14 %).

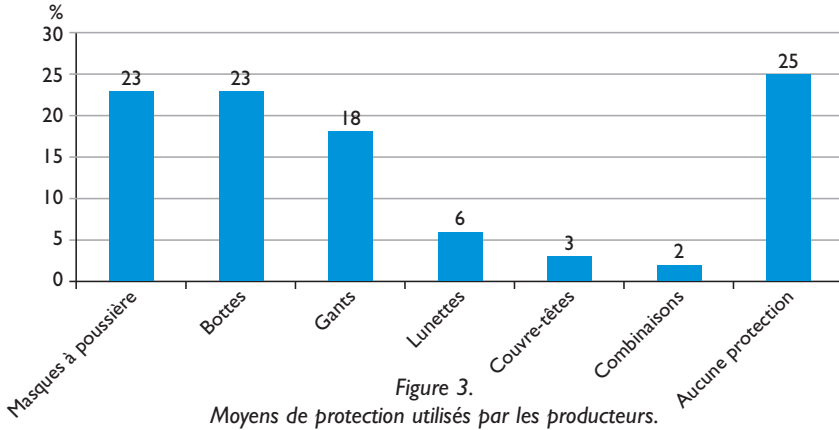


Figure 3.

Moyens de protection utilisés par les producteurs.

Risques dans la préparation et l'utilisation des pesticides

La moitié des producteurs utilise des seaux ou des bidons vides pour la préparation des bouillies de pesticides. Pour le dosage des quantités de bouillies, les producteurs enquêtés déclarent dans 90 % des cas utiliser le bouchon du contenant des produits phytosanitaires. Les 10 % autres préparent le dosage en utilisant des boîtes de tomate ou des cuillères, et en fonction de leur appréciation de l'état de la culture.

L'eau servant à la préparation du mélange de pesticides provient pour 53 % des cas de l'eau de boisson des ménages, pour 44,70 % de l'eau des canaux d'irrigation, et pour 2,30 % des autres sources du périmètre rizicole (fig. 4).

Pour les traitements, 54 % des producteurs disposent de pulvérisateurs à dos d'une capacité comprise entre 10 et 20 litres. Dans 46 % des cas, ce sont des applications informelles pour lesquelles le matériel inadapté est souvent constitué de moyens de fortune comme les arrosoirs, les balais, etc.

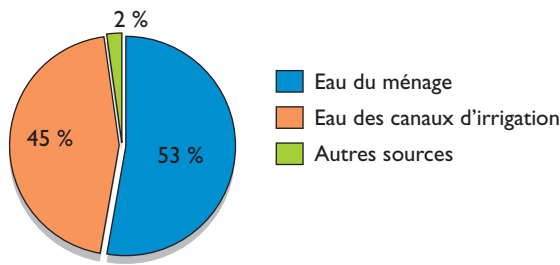


Figure 4.

Provenance de l'eau servant à la préparation du mélange de pesticides.

Risques de pollution environnementale liés à l'utilisation des pesticides

PERCEPTION DES EFFETS DE LA POLLUTION DE L'ENVIRONNEMENT

Plus de 90 % des riziculteurs interrogés affirment avoir souffert d'intoxication par les pesticides. Ils établissent une relation entre l'action des pesticides et diverses

sensations d'étourdissement, de fatigue ou de vertiges, des démangeaisons de la peau, des maux de ventre, des infections oculaires à la suite de séances de traitements phytosanitaires. Ils estiment qu'une exposition prolongée aux produits est mortelle. Environ 10 % des enquêtés estiment n'avoir pas connu les effets négatifs des pesticides.

Pour les animaux domestiques, 82,8 % des producteurs estiment avoir remarqué des signes d'intoxication à la suite de l'ingestion de fourrages constitués par des herbes traitées aux herbicides. Les manifestations seraient une perte d'appétit et des ballonnements, des diarrhées, une mollesse et une perte de mobilité, un redressement des poils, des problèmes respiratoires, etc. Selon eux, l'utilisation des herbicides est un facteur de dégradation des pâturages. Un échantillon de 15,2 % des enquêtés estime que les pesticides n'ont pas d'effets négatifs sur les animaux domestiques. 2 % des enquêtés sont sans opinion sur les effets des pesticides sur les animaux.

Quant à l'action des pesticides sur la faune du sol, 79,4 % des enquêtés pensent que l'application des pesticides a des effets négatifs. Les signes seraient une diminution de l'activité des termites et la disparition des vers de terre. Pour 5 % des enquêtés, les pesticides n'ont pas d'effets négatifs sur la faune du sol, et moins de 16 % des enquêtés ne se prononcent pas

ÉVALUATION DES RISQUES DE POLLUTION DE L'ENVIRONNEMENT

Des modes inappropriés de gestion des reliquats de pesticides

Les producteurs enquêtés déclarent dans 41,5 % des cas utiliser la totalité de leur mélange de pesticides pour le traitement. Les observations montrent que les reliquats de pesticides sont réutilisés dans une large majorité de cas, soit 58,50 % ; 25,6 % des producteurs conservent les reliquats de pesticides pour une utilisation ultérieure. Dans 6,1 % des cas, les producteurs effectuent un traitement sur les cultures des alentours ou ils assurent un double passage sur la parcelle (4,9 %). Pour 17,1 % des producteurs, les reliquats sont enfouis dans le sol ou déversés dans la nature (4,9 %) (fig. 5).

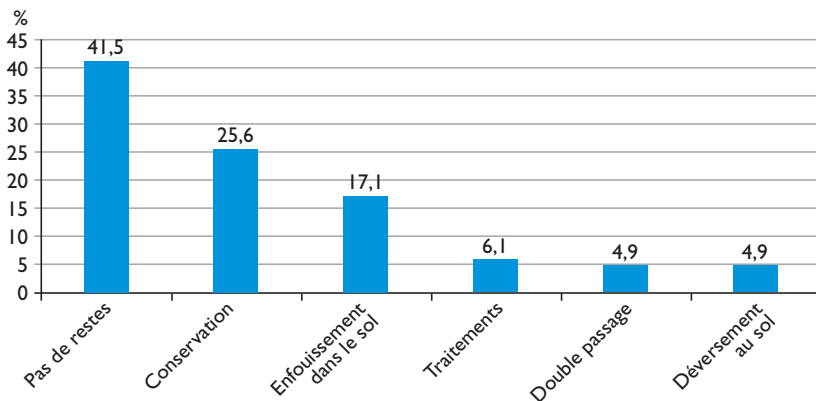


Figure 5.
Modes de gestion des reliquats de pesticides par les producteurs.

Des modes inappropriés de gestion des emballages après usage

Les résultats des enquêtes montrent divers modes d'élimination des emballages et des contenants de pesticides après usage. On remarque que 54,80 % de producteurs abandonnent les emballages dans les champs ou non loin des champs. 25,00 % des producteurs affirment détruire les emballages et les contenants vides par incinération. 15,50 % des enquêtés enfouissent les emballages vides dans un trou creusé non loin du champ. Une partie des producteurs, soit 2,35 %, reconnaît stocker à domicile des emballages vides (fig. 6). L'observation dans les ménages a montré que les contenants vides sont utilisés à des fins domestiques pour la conservation de l'eau de boisson, la bière locale, la bouillie des enfants, les huiles alimentaires, etc.

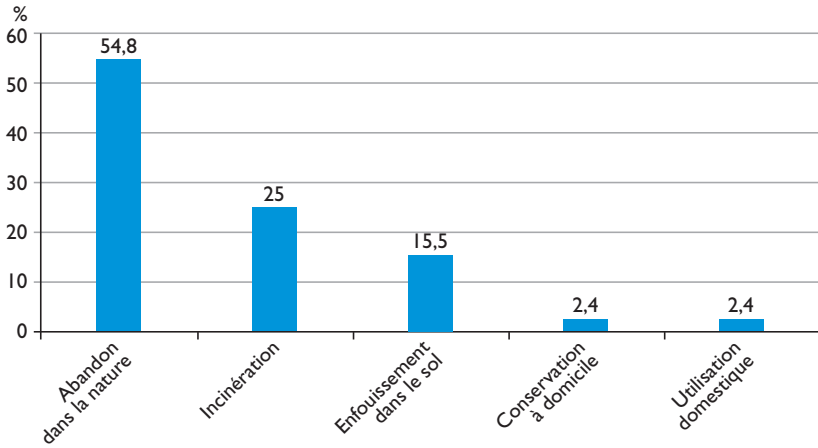


Figure 6. Principaux modes d'élimination des emballages vides de pesticides.

Risques liés à la proximité des points d'eau et des rizières

L'enquête a révélé que 62,86 % des points d'eau sont situés en moyenne à une distance inférieure à 100 m des rizières, 8,57 % à une distance comprise entre 100 et 200 m, ou 200 et 500 m, et 20 % à une distance supérieure à 500 m (fig. 7). La distance moyenne entre les rizières et le cours d'eau a été évaluée à une soixantaine de mètres.

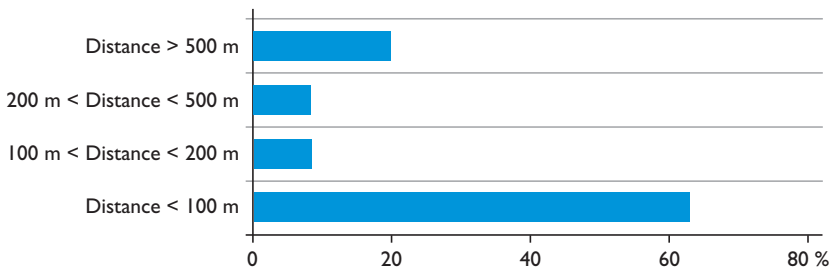


Figure 7. Distance moyenne séparant les points d'eau des rizières.

Risques de pollution des points d'eau liés au rinçage des équipements de traitement

Les résultats des enquêtes montrent que 29,74 % des enquêtés déclarent se laver et laver les équipements après le traitement phytosanitaire. Le lavage corporel et celui des équipements s'effectuent pour 46,80 % des enquêtés dans un point d'eau, pour 29,80 % à la maison, et pour 23,40 % à la rizière. La nature des points d'eau utilisés se partage ainsi : les cours d'eau (57,50 %), les forages (20 %), les puits traditionnels (17,50 %), les canaux d'irrigation (5 %) (fig. 8).

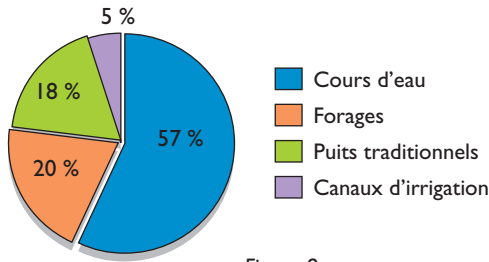


Figure 8.

Nature des points d'eau utilisés pour le lavage des équipements de traitement.

Discussion

L'activité rizicole à Dano est une activité principalement exercée par le genre masculin. Un faible pourcentage de femmes (12 %) est impliqué dans les activités agricoles, notamment la production du riz, comme cela a été également rapporté par MAWUSSI *et al.* (2015) et MONDEJJI *et al.* (2015) au Togo. Dans cette étude, la faible implication des femmes (12 %, tabl. 1) dans la production du riz pourrait être expliquée par le statut foncier, qui traditionnellement donne la primauté aux hommes. La femme dans ces conditions ne peut jouir des lopins de terre qu'en cas de décès de son mari. L'âge assez avancé des producteurs témoigne que ce sont les aînés des familles qui bénéficient en priorité des parcelles, ce qui justifie la forte représentation des personnes âgées dans les exploitations. La présence des personnes âgées sur les sites se révèle très préoccupante, car la capacité fonctionnelle de certains organes vitaux baisse avec l'âge (TOÉ, 2010 ; BERÁNKOVÁ *et al.*, 2017). La conséquence est alors l'augmentation des risques sanitaires liés à l'exposition aux pesticides, car, avec l'âge, l'organisme devient moins apte à éliminer les xénobiotiques.

Cette étude montre que la production du riz de bas-fond est pratiquée par une population majoritairement analphabète (61 %) et sans formation agricole (79 %). Les producteurs ayant atteint un niveau primaire ne représentent que 32 % de l'échantillon (tabl. 1). L'analphabétisme et le manque de formation constituent une limitation au respect des bonnes pratiques d'utilisation des pesticides, notamment le port d'équipements de protection individuels appropriés et le mode de préparation et d'utilisation des pesticides. Le producteur a forcément recours aux étiquettes des produits pour comprendre et suivre les notices sur les boîtes de pesticides utilisés pour désherber

(Toé, 2010). L'absence ou le très faible niveau d'instruction est un facteur qui empêchera la compréhension et l'application des instructions délivrées sur les étiquettes des pesticides. Face à cette faible instruction, on mesure alors l'ampleur des risques que courent à moyen et long terme les producteurs. Les résultats de cette étude sont en corrélation avec ceux obtenus par SAWADOGO (2012) qui, dans une étude des risques toxicologiques liés à l'utilisation des pesticides dans le maraîchage à Ouagadougou, a rapporté que 72 % des maraîchers étaient analphabètes et 28 % avaient un niveau d'instruction très bas.

La présente étude a montré que l'activité de production de riz était une activité traditionnelle. Malgré tout, il est à noter que les mauvaises pratiques perdurent, et que des producteurs effectuent les traitements sans aucune précaution. De même, la conservation des pesticides à domicile, l'abandon des emballages vides dans la nature et le déversement des restes de bouillies représentent des risques de contamination des aliments et de pollution de l'environnement (SAWADOGO, 2016).

L'utilisation intensive de pesticides, notamment le désherbage chimique, présente un facteur de risque environnemental. L'usage systématique des pesticides de synthèse pour optimiser les rendements des cultures maraîchères a été rapporté dans plusieurs autres pays africains comme le Bénin, la Côte d'Ivoire, le Ghana et le Togo (SOUGNABE *et al.*, 2010 ; AHOANGNINOU, 2013 ; KANDA *et al.*, 2013 ; MAWUSSI *et al.*, 2015 ; MONDEDJI *et al.*, 2015). Ces auteurs notent également une utilisation inadéquate des pesticides, dans le surdosage, la préparation des solutions et leur application, dans la protection des producteurs pendant le traitement, dans la gestion des emballages vides. Ces résultats corroborent ceux de cette étude. Les riziculteurs de Dano utilisent couramment des herbicides et des insecticides qu'ils appliquent dans la phase de préparation des cultures. Cet usage des herbicides semble efficace aux yeux des maraîchers pour contrôler l'enherbement, mais il présente des risques : gaspillage des produits, toxicité, l'accroissement des risques d'intoxication car les opérateurs ne se protègent pas de la bonne manière pendant le traitement phytosanitaire (MULIELE *et al.*, 2017). Il y a également un risque de pollution de l'environnement à travers les eaux de ruissellement (eau, air, sol et autres êtres vivants).

La distance moyenne entre les rizières et les cours d'eau est faible, et les quantités d'herbicides déversées lors du désherbage chimique sont emportées dans le lit du cours d'eau par le système d'irrigation et de drainage des bas-fonds rizicoles. Dans une telle situation, le lessivage et le drainage direct des résidus de pesticides sont des sources de pollution évidentes des sols et des cours d'eau. Ces conclusions coïncident avec celles de CONGO (2013) et TOÉ (2010), pour qui la proximité des points d'eau avec les champs est source d'une contamination de l'eau par les pesticides en suivant différentes voies. Lorsque les pesticides contaminent les eaux des rivières et des ruisseaux, ils sont nocifs pour la faune aquatique, et pour l'homme (ONIL et LOUIS, 2001 ; BERÁNKOVÁ *et al.*, 2017). Les matières actives des molécules utilisées sont très toxiques, à l'image du paraquat et du glyphosate. Les produits à base de paraquat ne sont pas homologués et sont interdits de commercialisation par le CSP, car même à faible dose le paraquat empoisonne les milieux aquatiques, tuant tous les êtres vivants (TACHIN, 2011). Des pays européens et latino-américains envisagent l'interdiction du glyphosate sur leur territoire, car il présente des risques de maladies diverses, dont le cancer.

Conclusion

L'objectif de cette étude était d'évaluer les risques sanitaires et de pollution environnementale liés à la mauvaise utilisation des pesticides dans les bas-fonds rizicoles de la commune de Dano, dans la région Sud-Ouest du Burkina Faso. Elle a permis, d'une part, de répertorier les pesticides utilisés par les producteurs rizicoles, et, d'autre part, d'identifier et de décrire leurs effets néfastes sur la santé et l'environnement. Les effets néfastes des pesticides dans la zone d'étude sont liés à leur mauvaise gestion, qui porte atteinte à la santé du producteur et à la qualité de l'environnement. Le double passage, l'enfouissement dans le sol ou la réutilisation des restes de bouillie, le rinçage du matériel de traitement dans les canaux d'irrigation et l'abandon des emballages vides dans la nature constituent une source importante de contamination des ressources en eau et des sols à proximité des rizières.

Remerciements

Nous remercions le Projet Generia pour l'appui logistique et financier apporté à cette étude.

Références

- AHOANGNINOU C. A., 2013**
Durabilité de la production maraîchère au Sud-Bénin : un essai de l'approche écosystémique.
Thèse de doctorat, université d'Abomey-Calavi, Bénin.
- BAD et FAO, 2015**
Croissance agricole en Afrique de l'Ouest : facteurs déterminants de marché et de politique.
Frank Hollinger et John M. Staatz Éditeurs.
- BERÁNKOVÁ M., HOJEROVÁ J., MELEGOVÁ L., 2017**
Exposure of amateur gardeners to pesticides via non-gloved skin per day. *Food and Chemical toxicology*, 108 (A) : 224-235.
- BLEIN R., SOULÉ B. G., DUPAIGRE F. B., YÉRIMA B., 2008**
Les potentialités agricoles de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO).
Fondation pour l'Agriculture et la Ruralité dans le Monde (FARM)
- CISSÉ I., TANDIA A. A., FALL S. T., DIOP S. E., 2003**
Usage incontrôlé des pesticides en agriculture périurbaine : Cas de la zone des Niayes au Sénégal. *Cahiers agriculture*, 12 : 181-186.
- CONGO A. K., 2013**
Risques sanitaires associés à l'utilisation de pesticides autour de petites retenues : cas du barrage de Loumbila. Thèse de Master, Ingénierie de l'eau et de l'environnement, Institut international d'ingénierie, Ouagadougou, Burkina Faso, 57 p.

COULIBALY M., 2013

Utilisation des herbicides chimiques de synthèse dans la région cotonnière des Hauts-Bassins.

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'agriculture, Centre agricole polyvalent de Matourkou, 80 p.

DEMBELÉ A., 2014

Les herbicides utilisés en riziculture dans la région des Hauts-Bassins : État des lieux et perspectives.

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'agriculture, Centre agricole polyvalent de Matourkou, 85 p.

DE NORAY M.-L., 2003

Delta intérieur du fleuve Niger au Mali – Quand la crue fait la loi : l'organisation humaine et le partage des ressources dans une zone inondable à fort contraste.

Vertigo. La revue électronique en sciences de l'environnement.

<http://journals.openedition.org/vertigo/3796>
DOI : 10.4000/vertigo.3796

DEVILLER J., FARRET R., GIRARDIN P., RIVIÈRE J. L., SOULAS G., 2005

Indicateurs pour évaluer les risques liés à l'utilisation des pesticides.

Paris, Lavoisier, 278 p.

FOURNIER E., BONDEREF J., 1983

Les produits antiparasitaires à usage agricole. Conditions d'utilisation et toxicologie.

Paris, Lavoisier, 334 p.

GOMGNIMBOU A. P. K., SAVADOGO P. W., NIANOGO A. J., MILLOGO RASOLODIMBY J., 2009

Usage des intrants chimiques dans un agrosystème tropical : diagnostic du risque de pollution environnementale dans la région cotonnière de l'est du Burkina Faso.

Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 13 (4) : 499-507.

KANDA M., BOUNDJOU G. D., WALA K., GNANDI K., BATAWILA K., SANNA A., AKPAGANA K., 2013

Application des pesticides en agriculture maraîchère au Togo.

Vertigo. La revue électronique en sciences de l'environnement, 13 (1).
www.vertigo.revues.org/13456.

MAHRH, 2006

Plan de gestion des pestes et des pesticides.

Rapport final E1300 V3 (Burkina Faso), 57 p.

MAWUSSI G., KOLANI L., DEVAULT D. A., KOFFI-KOUMA A. A., SANDA K., 2015

« Utilisation de pesticides chimiques dans les systèmes de production maraîchers en Afrique de l'Ouest et conséquences sur les sols et la ressource en eau : le cas du Togo ».

44^e Congrès du Groupe français des pesticides, 26-29 mai 2014, Actes du colloque : 46-53.

MESRSI, 2016

Utilisation des pesticides agricoles dans trois régions à l'ouest du Burkina Faso et évaluation de leur impact sur la santé et l'environnement : cas des Régions de la Boucle du Mouhoun, des Cascades et des Hauts-Bassins.

Rapport final, Convention de Rotterdam.

MONDEJJI A. D., NYAMADOR W. S., AMEVOIN K., ADÉOTI R., ABBÉVI G. A., KOFFIVI KETOH G., GLITHO I. A., 2015

Analyse de quelques aspects du système de production légumière et perception des producteurs de l'utilisation d'extraits botaniques dans la gestion des insectes ravageurs des cultures maraîchères au Sud du Togo.

International Journal of Biology and Chemistry Sciences, 9 (1) : 98-107.

MULIELE T. M., MANZENGA C. M., EKUKE L. W., DIAKA C. P., NDIKUBWAYO D. M., KAPALAY O. M., MUNDELE A. N., 2017

Utilisation et gestion des pesticides en cultures maraîchères : cas de la zone de Nkolo dans la province du Kongo Central, République démocratique du Congo.

Journal of Applied Biosciences, 119 : 11954-11972.

NARÉ W. A., 2010

Étude de l'impact des pesticides sur l'activité biologique des sols dans un agro-système maraîcher au Burkina Faso.

Mémoire de Diplôme d'études approfondies en Sciences appliquées de la Terre, de l'Eau et des Sols, option Science du sol, université de Ouagadougou, Ouagadougou, Burkina Faso, 45 p.

OLINA BASSALA J.-P., DUGUE P., GRANIE A.-M., VUNYUNGAH M., 2015
Pratiques agricoles et perceptions paysannes de l'usage des herbicides dans les champs familiaux au Nord-Cameroun.
Int. J. Adv. Stud. Res. Africa, 6 (1&2) : 94-107.

ONIL S., LOUIS S., 2001
Guide de prévention pour les utilisateurs des pesticides en cultures maraîchères.
Guide technique, Études et Recherches, Institut de recherche en santé et en sécurité du travail (IRSST) du Québec, Canada, 92 p.

RAMADE F., 1992
Éléments d'écotoxicologie appliquée. Action de l'homme sur la biosphère.
Paris, Mc Graw-Hill, édition « science internationale ».

SAWADOGO M., 2012
Utilisation des pesticides dans les cultures maraîchères en zone urbaine et périurbaine de Ouagadougou :
Étude des risques toxicologiques.
Mémoire d'ingénieur, IDR/UPB, Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 65 p.

SAWADOGO V. R., 2016
Pratiques paysannes d'utilisation des pesticides en cultures maraîchères et leurs effets induits dans la Vallée du Sourou : Cas du périmètre de Di.
Mémoire d'ingénieur, IDR/UPB, Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 72 p.

SORY S., 2011
Étude du marché des herbicides dans la production du riz : cas des sites de Bagré, Barna, Bazon et Niéna-Dionkélé.
Mémoire d'ingénieur, IDR/UPB, Bobo Dioulasso, Burkina Faso, 63 p +annexes.

SOUGNABE S. P., YANDIA A., ACHELEKE J., BREVAULT T., VAISSAYRE M., NGARTOUBAM L. T., 2010
« Pratiques phytosanitaires paysannes dans les savanes d'Afrique centrale ». In Seiny-Boukar L., Boumard P. (éd.) : *Savanes africaines en développement : innover pour durer*, 20-23 avril 2009, Actes du colloque, Garoua, Cameroun : 1-13.

TACHIN E. S., 2011
Protection des végétaux et gestion des cultures maraîchères : les pesticides chimiques, à la fois utiles et dangereux.

<https://lanouvelletribune.info/archives/sante/731-5-protection-des-vegetaux-et-gestion-des-cultures-maraicheres>.

TCHAMADEU N. N., KENKO NKONTCHEU D. B., DJOMO NANA E., 2017
Évaluation des facteurs de risques environnementaux liés à la mauvaise utilisation des pesticides par les maraîchers au Cameroun : le cas de Balessing dans l'Ouest-Cameroun.
Afrique SCIENCE, 13(1) : 91-100.

TOÉ A. M., 2010
Étude pilote des intoxications dues aux pesticides agricoles au Burkina Faso.
Rapport final de consultation nationale pour le Burkina Faso en collaboration avec l'autorité nationale désignée de l'agriculture et de l'environnement de la Convention de Rotterdam, 94 p.

TOÉ A. M., DOMO Y., HEMA S. A. O., GUISSOU I. P., 2000
Épidémiologie des intoxications aux pesticides et activité cholinestérasique sérique chez les producteurs de coton de la zone cotonnière de la Boucle du Mouhoun.
Études et Recherches Sahéliennes, 4-5 : 39-48.
Numéro spécial : Les pesticides au Sahel. Utilisation, Impact et Alternatives.

TOÉ A. M., GUISSOU I. P., HÉMA O. S., 2002
Contribution à la toxicologie agro-industrielle au Burkina Faso. Étude des intoxications d'agriculteurs par des pesticides en zone cotonnière du Mouhoun. Résultats, analyse et propositions de prise en charge du problème.
Revue de médecine de travail, tome XXIX, numéro unique : 59-64.

TOÉ A. M., KINANE M. L., KONE S., SANFO-BOYARM E., 2004
Le non-respect des bonnes pratiques agricoles dans l'utilisation de l'endosulfan comme insecticide en culture cotonnière au Burkina Faso : quelques conséquences pour la santé humaine et l'environnement.
Revue Africaine de Santé et de Production Animale (RASPA), 2 (3-4) : 275-278.

TOÉ A. M., OUEDRAOGO M., OUEDRAOGO R., ILBOUDO S., GUISSOU P. I., 2013
Pilot study on agricultural pesticide poisoning in Burkina Faso.
Interdiscipl. Toxicol., 6 (4) : 185-191.

Fonctionnement hydrologique et hydraulique du bas-fond réaménagé de Bankandi (Province du Ioba, Burkina Faso)

*Jean HOUNKPÈ, Aymar Y. BOSSA,
Yacouba YIRA, Jean-Louis FUSILLIER,
Arnold S. DA, Amadou KEITA*

Contexte de l'étude

Le projet Generia intervient au Burkina Faso dans la province du Ioba, région du Sud-Ouest, où une diversité de modèles d'aménagements de bas-fonds a été mise en œuvre pour une maîtrise partielle de l'eau. Le modèle le plus courant est celui des « diguettes en courbes de niveau » (DCN), généralement renforcées par empierrement avec possibilité de réguler l'eau par des pertuis. Conçu dans les années 1970 et 1980 pour faire face aux sécheresses survenues à cette période, ce modèle DCN apparaît actuellement confronté dans de nombreux sites de la région à des problèmes d'engorgement des sols. Les raisons de l'insuffisance de drainage peuvent être variées : inadaptation au site compte tenu d'un possible changement de conditions climatiques avec des années plus humides depuis la décennie 2010, mauvaise conception locale ou malfaçon dans la construction (pertuis insuffisants, non-respect des courbes de niveaux, dénivelé trop important dans les parcelles).

Un site illustrant ces problèmes de drainage a été étudié en 2017 : le bas-fond de Bankandi dans la commune d'Oronkoua, aménagé en 2005 sur une superficie de 22 ha, et devenu inexploitable par excès d'eau depuis 2009. Des actions correctives ont été engagées début 2018 avec le creusement de canaux afin de faciliter le drainage. La question qui se pose alors est celle du maintien de fonctionnalité des DCN pour conserver de l'eau et de l'amélioration apportée par les canaux pour réguler les lames d'eau sans entraîner un excès de drainage. Pour y répondre, un diagnostic du fonctionnement hydrologique du bas-fond et de la contribution du nouvel aménagement à la gestion des risques hydriques, tant d'inondation que de sécheresse, a été engagé.

Le présent chapitre vise à apporter une contribution à ce diagnostic en apportant des éléments de caractérisation des canaux et de leur gestion par les usagers compte tenu de leurs objectifs en riziculture (régulation des lignes d'eau par la pose de bâtardeaux, ouverture de brèches pour irriguer les casiers...). L'objectif principal de cette étude est de caractériser le fonctionnement hydrologique et hydraulique du bas-fond réaménagé de Bankandi et de trouver le compromis entre drainage et conservation de l'eau afin de pondérer les aléas hydroclimatiques.

Zone d'étude

La zone d'étude est le bas-fond de Bankandi, situé dans la province du Ioba. La superficie totale du bassin versant correspondant à l'exutoire du bas-fond est d'environ 20,85 km². Le bassin versant alimentant le bas-fond par l'amont nord a une superficie de 11,24 km², tandis que celui correspondant à l'amont ouest du bas-fond est de 6,36 km² (fig. 1).

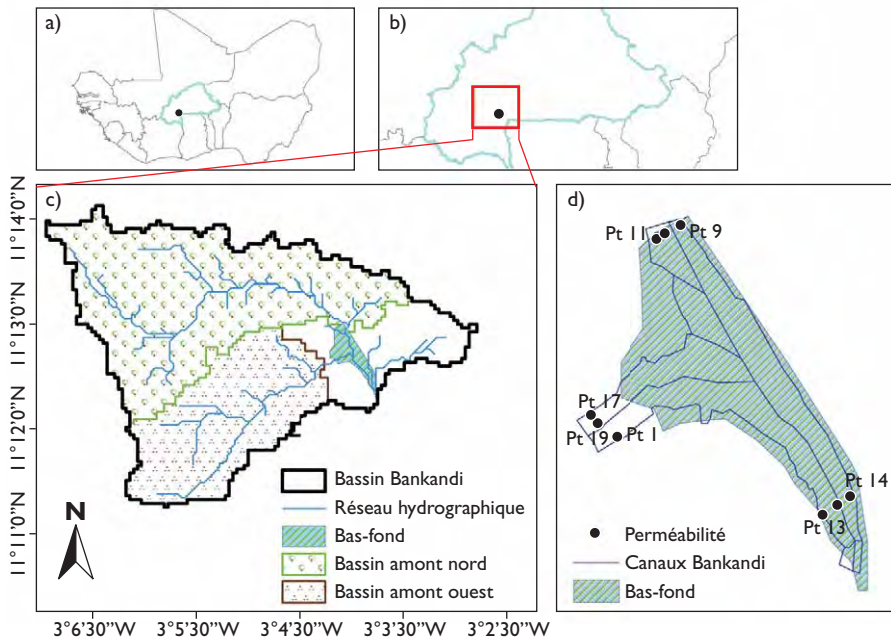


Figure 1.

Zone d'étude avec sa localisation en Afrique de l'Ouest (a) et au Burkina Faso (b) ; les différents bassins versants (c) alimentant le bas-fond (d) avec leurs réseaux hydrographiques incluant les points de mesure de la perméabilité nommés Pt.

Le climat de la zone d'étude est identique à celui de la région du Sud-Ouest. Bankandi est en effet soumis à un climat tropical de type sud-soudanien, caractérisé par deux grandes saisons : (1) une saison humide ou hivernale d'avril à septembre, caractérisée par les vents chauds et humides de la mousson ; (2) une saison sèche d'octobre à mars-avril, caractérisée par des vents chauds et secs ou « harmattan ».

Méthodologie

Évolution du statut hydrique du bas-fond

Le statut hydrique d'un bas-fond est entre autres fortement lié à la perméabilité du sol. Ainsi donc, un sol assez perméable induira une forte infiltration et, par conséquent, une recharge assez importante de la nappe. En période de poche de sécheresse, Il y aura moins d'eau dans les couches superficielles du sol pour alimenter les cultures en dehors des remontées de la nappe (si elle n'est pas profonde). L'infiltration est donc un processus assez caractéristique du statut hydrique du sol. Différentes méthodes existent pour quantifier la perméabilité du sol au niveau d'un aménagement hydroagricole, parmi lesquelles la quantification *in situ* et la quantification au laboratoire à partir d'échantillons de sol prélevés sur le terrain. La mesure de l'infiltration au niveau de l'aménagement de Bankandi a été effectuée en utilisant une méthode de quantification *in situ*, plus précisément le test du double anneau (fig. 2). Le test consiste à placer deux anneaux sur la surface à tester et à les remplir d'eau de manière à avoir une hauteur d'eau constante aussi bien dans l'anneau intérieur que dans l'anneau extérieur (CRR, 2019). Durant tout l'essai, les temps de vidange sur une hauteur d'eau de ± 1 mm dans l'anneau intérieur sont mesurés et enregistrés. La vitesse d'infiltration ou perméabilité (exprimée en m/s) est égale à la



Figure 2.

Mesure de la perméabilité du sol par la méthode du double anneau (a) et détermination de la topographie des canaux à l'aide d'une échelle graduée (b) et d'une mire (c) sur le bas-fond de Bankandi.

quantité d'eau qui pénètre dans le sol par unité de surface et par unité de temps. L'échantillon des tests d'infiltration est constitué de 20 points répartis sur l'ensemble de l'aménagement.

Fonctionnement hydrologique de l'aménagement

Plusieurs méthodes existent pour déterminer les débits de retour d'un aménagement. En cas de disponibilité d'observation de débits sur une période plus ou moins longue (30 ans au moins), une analyse fréquentielle peut être effectuée pour déduire les quantiles correspondant à différentes périodes de retour. L'approche de modélisation hydrologique peut être aussi envisagée pour simuler les débits à long terme à partir d'une série longue de précipitations (30 ans) et des données observées de débits sur une période pouvant servir au calage et à la validation du modèle hydrologique considéré. En cas de non-disponibilité de données de débits, comme c'est le cas dans cette étude, le calcul des débits correspondant à différentes périodes de retour peut s'effectuer à partir de la formule rationnelle dont l'expression est la suivante (BERNADOTTE, 2006) :

$$Q = CIA/360$$

Avec C le coefficient de ruissellement du bassin versant, A sa superficie, I l'intensité de la pluie de période de retour T et Q le débit de retour correspondant. La superficie du bassin est déterminée à partir du modèle numérique de terrain. Pour raison de simplicité, le coefficient de ruissellement du bassin versant incluant l'emménagement (voir fig. 1) a été considéré. L'intensité de la pluie correspondant à différentes périodes de retour (2, 5, 10, 20 ans) a été déterminée à partir de la pluie annuelle maximale à la station de Boromo et à celle de Gaoua respectivement en considérant la distribution de Gumbel.

Fonctionnement hydraulique de l'aménagement

L'évaluation du fonctionnement hydraulique de l'aménagement consiste à déterminer la capacité des canaux à drainer les eaux de surface (correspondant à différentes périodes de retour) arrivant par les zones amont nord et amont ouest du bas-fond, d'une part, et son potentiel à irriguer les cultures, surtout pendant les poches de sécheresse. À ce sujet, il a été procédé à la mesure des caractéristiques des canaux (sur différents tronçons de l'aménagement) que sont la largeur en gueule L , la base b , la hauteur du canal h , la hauteur du cavalier. La coupe transversale du canal trapézoïdale est représentée sur la figure 3.

Pour le calcul des débits susceptibles d'être drainés par un canal, différentes formules existent dans la littérature (GARDIA 2012 ; KERLOCH, 2015). Dans cette étude, nous avons utilisé la formule de Manning-Strickler pour évaluer le débit maximal susceptible d'être drainé par les canaux des différents tronçons. Cette formule s'écrit sous la forme :

$$Q \text{ (m}^3\text{/s)} = K_s * S * Rh^{(2/3)} * \sqrt{I}$$

avec K_s = rugosité ; S = section mouillée ; $Rh = \frac{S}{P}$; P = périmètre ; I = pente

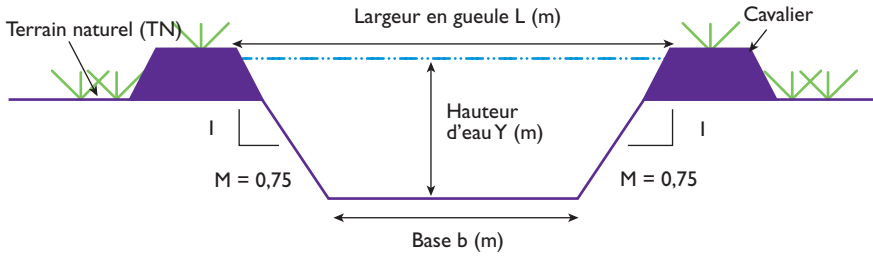


Figure 3.
Caractéristiques d'un canal quelconque au niveau du bas-fond.

Les canaux de la zone d'étude sont rectilignes, construits en terre et partiellement enherbés sans végétation arbustive (voir fig. 1). Le coefficient de rugosité K_s correspondant à ces types de canaux est d'environ 40 (Sic G-eau, 2019). La section mouillée et le rayon hydraulique du canal se déduisent des mesures des caractéristiques des canaux décrits *supra*.

Pour l'évaluation de la pente de chaque canal, une campagne topographique a été réalisée dans le bas-fond de Bankandi où les mesures des distances et dénivelés ont été réalisées à l'aide d'une mire topographique, d'un décimètre et d'une lentille à résolution modifiable. La mesure des différences de niveau a été effectuée à un pas régulier de 20 m sur chaque tronçon des canaux avec un cheminement aller-retour sur les deux points extrêmes de chaque canal. La mire était à chaque fois placée dans le fond du canal à chaque point de mesure, puis l'appareil était stationné sur le cavalier pour la lecture du niveau.

Résultats et discussion

Évolution du statut hydrique du bas-fond : tests d'infiltration

Les évènements pluvieux récurrents au cours de la période des mesures induisent un état de saturation acceptable du sol pour effectuer les tests d'infiltration. Cependant, l'intrusion des eaux de pluie dans les doubles anneaux a été significativement limitée en guettant des périodes propices pour la réalisation des tests. De la base de données de 20 tests d'infiltrations effectués sur le terrain, neuf points ont été retenus par des critères d'analyse très objectifs. Tous les essais de mesures de perméabilité perturbés par les averses (temps de mesure inférieurs à six (06) heures) ont été simplement annulés. Les neuf points de mesure retenus se fondent sur la durée totale de l'essai (supérieure ou égale à sept (07) heures). L'idéal aurait été que le temps pour chaque essai soit compris entre huit (08) et soixante-douze (72) heures. Le temps de mesures de la perméabilité sur la zone d'étude varie de 7,5 heures à 37 heures. L'analyse des résultats indique que la perméabilité varie :

- de $7,3 \pm 0,1$ à $22,7 \pm 0,2$ mm/h dans la partie amont nord du bas-fond aménagé de Bankandi ;
- de $7,0 \pm 0,1$ à $34,7 \pm 0,5$ mm/h dans la partie amont ouest ;
- de $38,3 \pm 0,3$ à $94,1 \pm 0,4$ mm/h dans la partie aval du bas-fond.

Sur la base des études antérieures en lien avec les vitesses d'infiltration de base, les différentes parties du bas-fond d'étude peuvent être classées. Les tests d'infiltration effectués sur l'aménagement ayant conduit à différentes gammes de vitesse d'infiltration permettent de connaître la constitution approximative de la couche de sol à ces endroits. Le tableau 1 ci-dessous récapitule les résultats des neuf tests retenus. Pour la zone d'étude, la perméabilité varie de 7,00 à 94,08 mm/h. Ces coefficients de perméabilité sont caractéristiques d'un sol peu perméable à très perméable.

Tableau 1.
Classification des sols suivant leur perméabilité (Cerema 2014, FAO Training 2019).

Nature du sol	Sol argileux	Sol argilo-limoneux	Sol limoneux	Sol sablo-limoneux	Sol dominante sableuse
Perméabilité	Imperméable	Très peu perméable	Perméable médiocre	Moyennement perméable	Très perméable
Coefficient de perméabilité	$K_{sat} < 7$	$7 < K_{sat} < 15$	$15 < K_{sat} < 20$	$20 < K_{sat} < 40$	$K_{sat} \geq 40$

Les essais Pt1, Pt11, Pt10, Pt17 de par la valeur de leur K_{sat} correspondent à des sols peu perméables de type argilo-limoneux. Les essais Pt9, Pt19, Pt14 présentent un sol moyennement perméable indiquant qu'ils correspondent au sol de type sablo-limoneux. Les essais Pt12, Pt13 correspondent à des sols très perméables indiquant des types de sol à dominance sableuse.

Fonctionnement hydraulique de l'aménagement

CAMPAGNE TOPOGRAPHIQUE

Le tableau 2 présente les caractéristiques des canaux de Bankandi en termes de variation de niveaux altimétriques des tronçons ainsi que de distance de chaque tronçon puis de pente correspondante. Les pentes varient de 0,26 % à 0,63 % indiquant une faible variation de l'altitude le long des canaux.

Tableau 2.
Caractéristiques moyennes des huit tronçons de Bankandi.

Tronçon	T 1	T 2	T 3	T 4	T 5	T 6	T 7	T 8
Delta Z (m)	1,39	5,69	6,99	4,44	0,474	1,09	5,44	2,47
Longueur (m)	220,00	1 036,60	1 260,00	839,00	180	320,00	1 381,80	740,00
Pente (%)	0,63	0,55	0,55	0,53	0,26	0,34	0,39	0,33

Cette variation de l'altitude au niveau des canaux est cependant suffisante pour induire un écoulement amont-aval. La plus forte pente est observée au niveau du canal sud de l'amont ouest du bas-fond suivie par le canal central de l'aménagement (fig. 4). La plus petite pente est observée au niveau de l'arrêt 2 de l'amont nord du bas-fond.

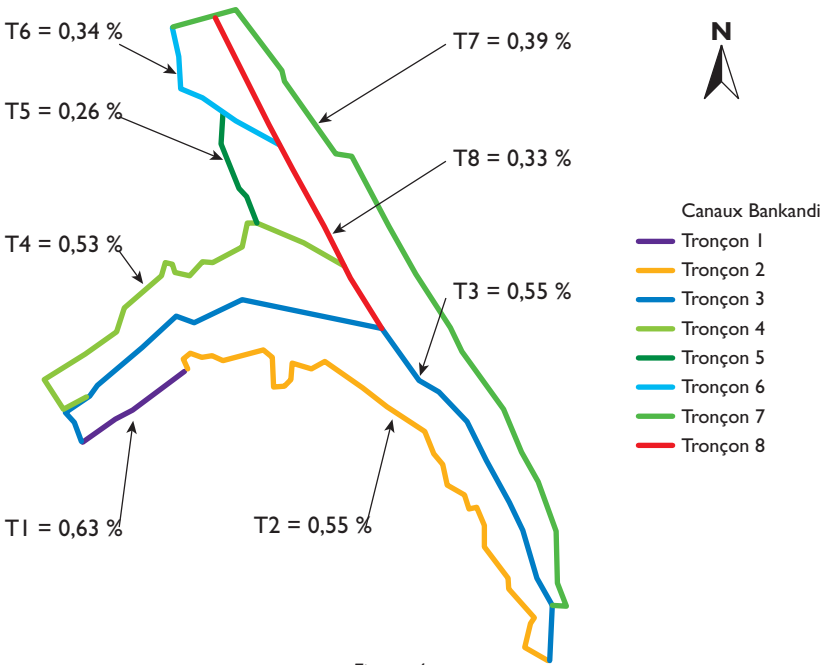


Figure 4. Répartition des pentes moyennes au niveau du bas-fond de Bankandi.

ÉVALUATION DES DÉBITS SUSCEPTIBLES D'ÊTRE DRAINÉS PAR LES CANAUX DE L'AMÉNAGEMENT

L'application de la formule de Manning-Strickler aux différents canaux de l'aménagement a permis de calculer les débits susceptibles d'être évacués par les différents canaux de l'aménagement (fig. 5). Étant donné l'état de dégradation avancée des cavaliers de l'aménagement dû aux pluies diluviennes de juillet 2018, le calcul des débits drainables par les canaux se base sur leur profondeur. Ainsi donc, au niveau de l'amont ouest, les canaux ont des capacités de drainage variant entre 0,77 m³/s (canal latéral gauche) et 2,06 m³/s (canal central ouest). La capacité totale des canaux de l'amont ouest est donc de 3,63 m³/s. Au niveau de l'amont nord, les capacités de drainage des canaux varient entre 0,63 m³/s (canal latéral gauche) et 1,54 m³/s (canal central nord). Combinés ensemble, ces canaux ont une capacité totale de drainage de 2,83 m³/s. Les débits susceptibles d'être drainés par les canaux aval et quelques arrêtes de l'aménagement ont été aussi déterminés.

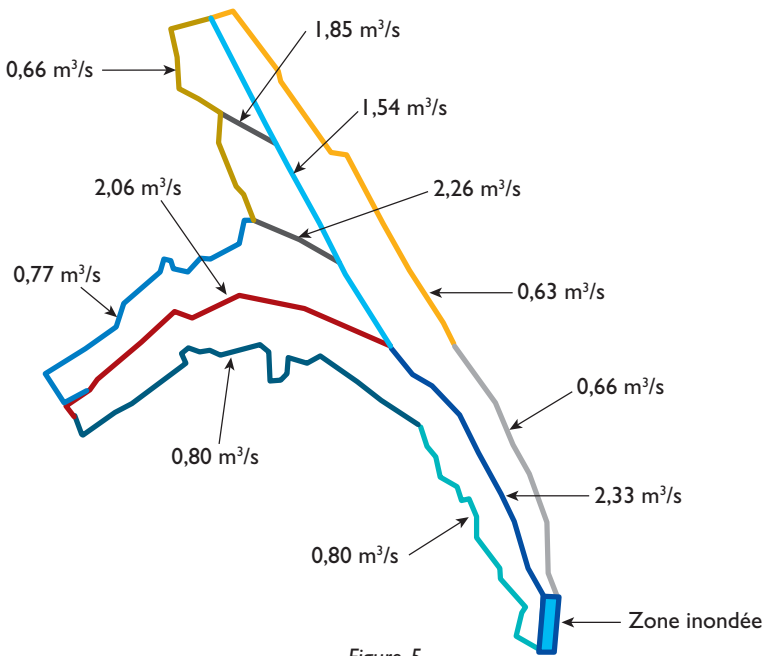


Figure 5.

Débits maximaux drainables par les canaux de Bankandi
(situation actuelle où les cavaliers sont détruits) en considérant leur profondeur.

Fonctionnement hydrologique de l'aménagement

ESTIMATION DES DÉBITS DE POINTE PROBABLES AU NIVEAU DE L'AMÉNAGEMENT

L'application de la formule rationnelle a permis de déterminer les débits maximaux susceptibles d'être observés sur les parties amont de l'aménagement, désignées respectivement par « amont nord » et « amont ouest » (voir fig. 1). Elles ont respectivement une superficie de 1 124,08 hectares et 636,45 hectares. Faute d'observations suffisantes de débits sur l'aménagement, le coefficient de ruissellement du bassin versant (égal à 21 %) incluant le bas-fond a été utilisé (BOSSA *et al.*, en finalisation).

L'application de la loi de Gumbel aux maxima annuels des pluies de 1980-2013 aux stations de Boromo et Gaoua révèle une très petite variation des quantiles correspondant aux mêmes périodes de retour (tabl. 3). La différence varie de 3,6 % à 0,3 % pour respectivement les périodes de retour de 2 à 50 ans. Cependant, les quantiles à Gaoua sont toujours légèrement supérieurs à ceux de Boromo. Les débits de pointe probables pour chaque amont du bas-fond sont présentés dans le tableau 3. Au niveau de l'amont nord, on peut espérer des débits de pointe de 1,87 m³/s tous les deux ans, 2,91 m³/s tous les dix ans et 3,31 m³/s tous les vingt ans. En ce qui concerne l'amont ouest, on peut en moyenne observer des débits de 1,06 m³/s tous les deux ans ; 1,79 m³/s tous les dix ans et 2,03 m³/s tous les vingt ans. En comparant respectivement les quantiles pour différentes périodes de retour, on constate que les débits maxima de l'amont nord sont plus élevés que ceux de l'amont ouest. Cette différence est due principalement à la différence de superficie des deux amonts. L'une des limitations

de cette méthode appliquée dans cette section est la non-disponibilité de données de pluie sur une période suffisante pour chaque amont de l'aménagement afin de tenir compte de la variabilité pluviométrique au niveau de l'aménagement. À défaut, la même intensité de pluie a été considérée pour les deux bassins des amonts.

Tableau 3.
Pluies maximales et débits de pointe estimés pour l'amont nord, l'amont ouest et l'aval du bas-fond de Bankandi.

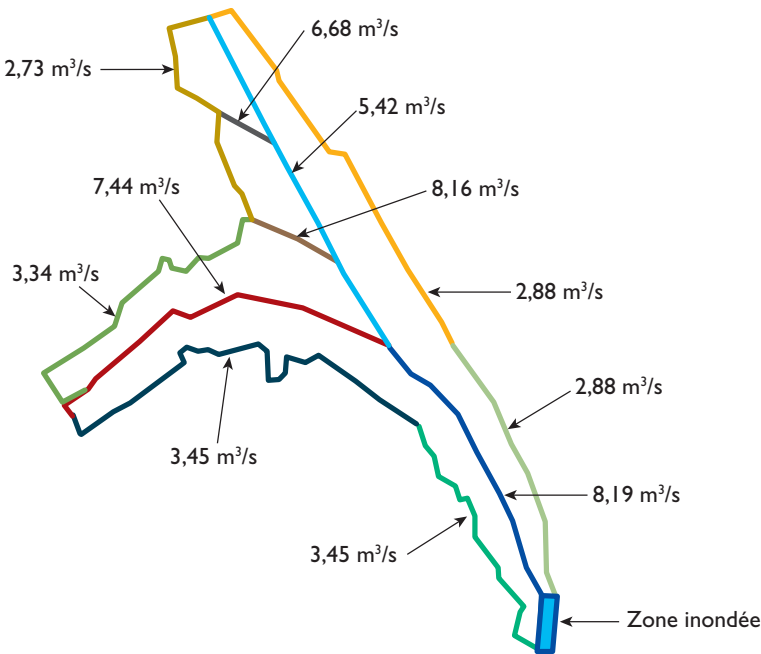
Période de retour (ans)	2	5	10	20	50
Quantile Boromo (mm/j)	66,7	90,0	105,4	120,2	139,4
Quantile Gaoua (mm/j)	69,1	91,8	106,8	121,2	139,8
Quantile Boromo (mm/h)	2,78	3,75	4,39	5,01	5,81
Quantile Gaoua (mm/h)	2,88	3,82	4,45	5,05	5,82
Amont nord de l'aménagement					
Quantile Boromo (m ³ /s)	1,83	2,47	2,89	3,30	3,83
Quantile Gaoua (m ³ /s)	1,90	2,52	2,93	3,33	3,84
Moyenne quantile	1,87	2,50	2,91	3,31	3,83
Amont ouest de l'aménagement					
Quantile Boromo (m ³ /s)	1,04	1,64	1,92	2,18	2,52
Quantile Gaoua (m ³ /s)	1,07	1,43	1,66	1,88	2,17
Moyenne quantile	1,06	1,54	1,79	2,03	2,35
Aval de l'aménagement					
Quantile Boromo (m ³ /s)	3,40	4,58	5,37	6,12	7,09
Quantile Gaoua (m ³ /s)	3,52	4,67	5,44	6,17	7,12
Moyenne quantile	3,46	4,63	5,40	6,14	7,11

ADÉQUATION DU DIMENSIONNEMENT DES CANAUX DE L'AMÉNAGEMENT PAR RAPPORT À LEUR RÔLE DE DRAINAGE ET D'IRRIGATION

L'évaluation de l'adéquation du dimensionnement de l'aménagement de Bankandi nécessite, en plus des deux précédentes (voir *supra*), une modélisation hydraulique de la propagation de l'écoulement dans les canaux de l'aménagement. À défaut de cette modélisation (pour des raisons de disponibilité de ressources), nous avons procédé à une comparaison des débits aux amonts nord et ouest de l'aménagement avec ceux qui sont susceptibles d'être évacués aux mêmes endroits.

La capacité de drainage du canal central de l'amont ouest est 2,06 m³/s. Cette valeur est largement supérieure aux débits de pointe susceptibles d'être observés tous les vingt ans au niveau du bassin versant correspondant à l'amont ouest. Cela indique que le canal central suffit à lui seul pour assurer un drainage satisfaisant des eaux arrivant par cette partie du bas-fond. Cependant, cette capacité de drainage élevée peut limiter l'infiltration, la rétention des eaux pour l'irrigation en cas de poches de sécheresse. En ce qui concerne le canal central de l'amont nord, sa capacité de

drainage est de 1,54 m³/s, impliquant son incapacité à drainer les débits de pointe correspondant à la période de retour de 2 ans. En combinant les capacités de drainage des trois canaux de l'amont nord (soit une valeur de 2,83), cette partie de l'aménagement n'est pas en mesure d'assurer le drainage des eaux de période de retour 10 ans susceptibles d'être générées par le bassin versant de l'amont nord. Le dimensionnement de l'aval de l'aménagement (capacité de drainage totale de 3,79 m³/s) permet d'évacuer les crues de période de retour 2 ans mais non celles dont les périodes de retour dépassent 5 ans. La capacité d'irrigation des canaux fera l'objet de futures investigations au niveau de l'aménagement. La figure 6 présente la capacité de drainage de l'aménagement de Bankandi dans son état initial. On peut noter que la présence des cavaliers augmente de manière substantielle la capacité des canaux.



Conclusion

Cette étude porte sur l'analyse du fonctionnement hydraulique et hydrologique de l'aménagement de Bankandi. Pour ce faire, nous avons réalisé des levés topographiques du site, effectué des tests de perméabilité, calculé les débits susceptibles d'être drainés par chacun des canaux du bas-fond, calculé les débits maximaux probables et observables pour différentes périodes de retour, évalué l'adéquation du dimensionne-

ment des canaux de l'aménagement par rapport à leur rôle de drainage (pour différentes périodes de retour) et d'irrigation. Il ressort que, bien que le dimensionnement de l'aménagement ne soit fondé sur aucune méthode scientifique, il semble en général assez bien calibré pour drainer les eaux de période de retour 2 ans, voire 5 ans. Cependant, des ajustements sont nécessaires pour certains canaux de l'aménagement, afin que ces derniers puissent pleinement jouer leur rôle de drainage. En dépit de tout, les résultats obtenus dans cette étude doivent être interprétés au regard des incertitudes inhérentes aux données utilisées et aux méthodes appliquées. D'une part, deux types de données ont été utilisées dans cette étude, il s'agit des données primaires collectées directement sur le site d'étude au cours de différentes campagnes et des données secondaires collectées au niveau de structures bien indiquées. D'autre part, des méthodes empiriques comme la méthode rationnelle et la formule de Manning-Strickler tributaire de plusieurs paramètres empiriques ont été utilisées pour la détermination des débits et autres variables. Au-delà de toutes ces limitations, la robustesse de ces méthodes réside dans leur simplicité d'application dans des zones peu ou très peu jaugées comme notre site d'étude.

Références

BERNADOTTE G., 2006

La méthode rationnelle généralisée : analyse de sensibilité et performance du modèle.

École de Technologie Supérieure, Université du Québec, Thèse de mémoire.

BOSSA A. Y., HOUNKPÈ J., YIRA Y., SERPANTIÉ G., LIDON B., FUSILLIER J. L., SINTONDI L. O., TONDOH J., DIEKRÜGER B., n.d
Managing new risks and opportunities of agricultural development of African floodplains: Hydro-climatic risks and implications for rice production. *Under Preparation.*

Cerema, 2014

Études de sols pour les ouvrages d'infiltration ou de rétention d'eaux pluviales.

CRR, 2019

Mesure de la perméabilité de surface *in situ*: essai double anneau [online].

Available from:
http://www.brrc.be/fr/article/f530_04.

FAO Training, 2019

Perméabilité du sol [online].
Available from:

http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706f/x6706f09.htm [Accessed 25 Apr 2019].

GARDIA F. A., 2012

Étude d'un réseau de collecte des eaux pour la réalisation des voiries réseaux divers (vrd) du site de 2ie Ouagadougou.
2IE, Ouagadougou.

KERLOCH B., 2015

Le dimensionnement des réseaux d'assainissement des agglomérations [online]. Available from:
https://www.pseau.org/outils/ouvrages/cerema_le_dimensionnement_des_reseaux_d_assainissement_pour_les_agglomerations_2014.pdf [Accessed 6 Sep 2019].

PANA Burkina, 2007

Programme national d'adaptation à la variabilité et aux changements climatiques.

Sic G-eau, 2019

Définition des coefficients de Manning-Strickler [online]. Available from: <http://sic.g-eau.net/definition-des-coefficients-de?lang=fr> [Accessed 24 Apr 2019].

Aménagement de bas-fonds et recompositions foncières

Le cas de Lofing (Burkina Faso)

Justine ROBIN,
Philippe LAVIGNE DELVILLE

Introduction

Avec le changement climatique, les aménagements de bas-fonds sont perçus comme des opportunités pour accroître la production agricole et augmenter la résilience des agricultures familiales (AHMADI et TEME, 1998 ; TOROU *et al.*, 2018). Le Burkina Faso a ainsi engagé une politique volontariste d'aménagements des bas-fonds, dans un objectif d'indépendance alimentaire et de réduction des risques climatiques.

Les intervenants de développement voient l'aménagement principalement comme une infrastructure physique permettant de modifier les flux hydriques et ainsi d'améliorer le potentiel productif de l'espace aménagé. Or, tout aménagement rebat les cartes de la répartition de terres, définit de nouvelles règles d'accès à l'espace aménagé et suscite des gagnants et des perdants (BOUJU, 1998 ; LAVIGNE DELVILLE *et al.*, 2000). Même si les projets tentent aujourd'hui de négocier avec les détenteurs fonciers, ils n'ont que rarement une politique construite en la matière.

Ce chapitre analyse les recompositions foncières liées à l'aménagement du bas-fond du village de Lofing, au sud-ouest du Burkina Faso. Lofing est un village Dagara situé à 7 km au nord-est de Dano dans la province du Ioba. Son territoire est traversé par un bas-fond de plus de 3 km de long (DORÉE, 2017 : 29), dont 21 hectares ont été aménagés (en trois tranches, entre 2014 et 2016) pour la culture du riz par la fondation allemande Dreyer.

Les enjeux fonciers des aménagements de bas-fonds

En Afrique, les droits sur la terre relèvent de normes sociales structurées autour de l'histoire du peuplement et du statut social des acteurs (BERRY, 1989). L'histoire du peuplement construit en parallèle des territoires et des communautés politiques (CHAUVEAU *et al.*, 2004). Un bas-fond n'est pas qu'un espace physique, c'est aussi un espace socialisé et approprié :

- il s'inscrit dans des territoires et dans des patrimoines lignagers et familiaux ;
- il fait fréquemment l'objet d'usages multiples (pâturage, cueillette, vergers, riziculture inondée, maraîchage, pêche, fabrication de briques, etc.), régis chacun par des règles foncières spécifiques.

À des degrés variables, un aménagement hydroagricole recompose ces droits. La façon dont les droits antérieurs ont été traités, le degré de la réorganisation foncière induite par l'aménagement, la façon dont sont définies les nouvelles règles d'accès à l'espace aménagé ont des impacts très forts sur la répartition entre les différents acteurs des gains et des pertes entraînés par l'aménagement.

Comprendre les enjeux fonciers d'un aménagement donné suppose de comprendre la façon dont il s'inscrit dans les territoires et la façon dont les nouvelles règles d'accès recomposent les droits sur la terre sur l'espace aménagé. Ces nouvelles règles peuvent être liées à des normes légales, avoir été imposées par le projet, qui crée ainsi son propre droit, avoir été négociées au village. Mais ce ne sont pas tant les règles officielles qui comptent que les pratiques qui ont présidé à la distribution des parcelles. En effet, un aménagement de bas-fond est un processus social, chacune de ses parties prenantes va tenter d'influencer le déroulement de l'action pour l'orienter dans le sens de ses intérêts. C'est l'histoire des interactions, des négociations, des pratiques autour de l'aménagement qui permet de comprendre comment s'est construit son impact.

Peuplement, patrimoines lignagers et accès à la terre des bas-fonds à Lofing

Histoire du peuplement, des quartiers et des patrimoines lignagers

La région de Dano fait partie de l'aire d'expansion des Dagara, venus du Ghana et qui ont progressivement colonisé le sud du Burkina Faso au XIX^e siècle (HIËN, 2000 ; KUBA *et al.*, 2001), repoussant les populations installées antérieurement (Puguli, Bwaba, etc.). Le village de Lofing est constitué de trois lignages autochtones Dagara

(on parle localement de « clans »), ayant chacun fondé un quartier sur des terres anciennement occupées par des Puguli (Somé, s.d.).

Le pouvoir foncier relève des lignages autochtones qui gèrent l'accès aux terres qu'ils contrôlent. Ils ont autorisé des membres d'autres lignages à s'installer sur leurs terres. Lofing est ainsi peuplé par plus de 6 lignages, habitant 6 quartiers, trois autochtones (Ourgan, Yérégan et Yumbo) et trois plus récents, installés sur des terres appartenant à l'un des lignages fondateurs et de peuplement varié constitué d'allochtones et d'autochtones (fig. 1).

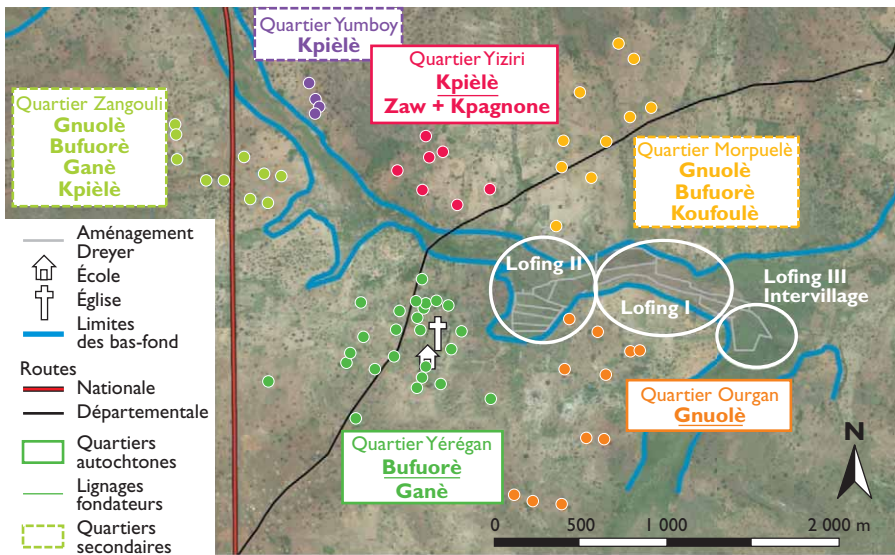


Figure 1.

Le territoire de Lofing, les quartiers et les lignages.

Élaboration : J. Robin, sur fond de carte de A. Dorée.

Patrimoines fonciers lignagers, ménages et exploitations agricoles

Au fil de l'histoire, en fonction de la démographie et des scissions, les patrimoines lignagers constitués par la défriche ont été étendus et partagés entre les différentes « maisons » (*yir*) du lignage. Les grandes concessions regroupant trois générations ont laissé place à des exploitations agricoles regroupant un ou plusieurs ménages apparentés, disposant de droits de culture permanents sur une portion du patrimoine familial (PRADEAU, 1970). Le *yir* (au sens large) est une unité familiale et de patrimoine foncier qui regroupe aujourd'hui plusieurs maisons, plusieurs exploitations agricoles différentes. Unités de production, de consommation, de résidence, de patrimoine ne se superposent pas nécessairement et se recomposent au fil des changements démographiques, des départs en migration, de l'autonomisation économique des cadets. Les exploitations agricoles regroupent un ou plusieurs ménages apparentés

et se recomposent en fonction de nombreux facteurs comme la main-d'œuvre, la disponibilité en terre, les types de production, les relations et l'entente intra-familiale, les migrations, le statut de chaque exploitant.

Un accès fluide à la terre, au sein et en dehors des groupes familiaux

Les exploitants agricoles disposent de droits d'exploitation permanents sur les portions du patrimoine lignager héritées de leur père. Ils peuvent également solliciter des droits d'usage sur d'autres patrimoines, au sein du même lignage ou auprès d'un autre. L'accès est facilité lorsque des relations de parenté sont en jeu. Même si la transmission des droits sur la terre est patrilinéaire, un individu peut aisément demander une parcelle dans sa famille maternelle. Il n'y a pas de ventes et très peu de locations de terres. Un grand nombre de prêts assure une circulation des droits de culture. Il est rare qu'une contrepartie, même en nature, soit exigée. L'emprunteur a des obligations sociales envers son tuteur, il se doit d'entretenir de bonnes relations sous peine de voir son droit remis en cause. La souplesse de l'accès aux droits de culture permet des ajustements entre dotations et besoins en terre.

Contrôle lignager et accès à la terre dans les bas-fonds

Le bas-fond est intégré dans les patrimoines lignagers. La mise en culture dépend des conditions hydriques et des intérêts économiques. L'exploitation en hivernage (riz, buttes avec cultures associées) ou en contre-saison (planches maraîchères) est concentrée dans la partie amont, moins inondée, principalement contrôlée par les Bufoorè. Tous les lignages et tous les *yir* de Lofing qui le souhaitent ont accès au bas-fond et y cultivent, même si ce n'est pas nécessairement sur les terres de leur lignage ou au sein de la localité de Lofing. Les lignages allochtones ont accès au bas-fond par des droits délégués par les lignages fondateurs. La partie aval du bas-fond, principalement contrôlée par les Gnuolè, était autrefois cultivée en buttes de maïs. Elle est en grande partie abandonnée depuis plusieurs décennies et sert de pâturage de saison sèche, mais les droits correspondants n'ont pas disparu.

L'aménagement, une redistribution des cartes

L'aménagement redéfinit le parcellaire, et redistribue les droits sur la terre aménagée en fonction de critères nouveaux. Dans les règles définies par la fondation Dreyer, c'est l'adhésion au groupement (concrétisée par le paiement d'une cotisation de 1 000 CFA) et le fait d'avoir participé au chantier de l'aménagement qui donnent droit à une parcelle (d'une surface de 2 000 m² pour les hommes et 1 000 m² pour les femmes). Pour assurer une équité entre les membres, les parcelles – dont la qualité

varie selon la localisation – devaient être tirées au sort entre ces derniers, sur place, à la fin du chantier. Mais les listes d’adhérents n’ont pas été totalement tenues à jour, le suivi de la participation au chantier encore moins. Faute de plan d’aménagement, la fondation ne savait pas à l’avance combien il y aurait de parcelles et si « l’offre » correspondrait à la « demande ».

Le conflit lors de la distribution des parcelles

La distribution des parcelles a été marquée par un conflit avec les anciens propriétaires. Les règles ne prévoyaient pas au départ de place spécifique pour ceux qui possédaient des terres sur l’espace aménagé, d’autant que cette partie du bas-fond était largement abandonnée depuis plusieurs décennies. La fondation Dreyer avait demandé que les détenteurs coutumiers concernés cèdent explicitement leurs terres au village, pour son intérêt collectif. Un acte de donation a apparemment été établi, dont nous n’avons pu retrouver trace. Mais l’aménagement empiète principalement sur les terres des Gnuolè (fig. 2). De nombreux Bufluorè ont adhéré au groupement, tandis que des Gnuolè, ayant eu le sentiment de s’être fait forcer la main, ont refusé de participer aux discussions et n’ont pas adhéré. C’est au moment de la distribution des parcelles que les Gnuolè ont pris conscience que les attributaires des autres quartiers gagnaient une nouvelle parcelle rizicole, sans rien perdre de leurs terres sur la partie non aménagée, alors qu’eux-mêmes perdaient le contrôle de leurs terres sans avoir de parcelle rizicole en compensation. Ce sentiment de spoliation a été d’autant plus fort que le groupement est dirigé par des Bufluorè. En effet, c’est l’un d’entre eux qui avait fait la démarche auprès de la fondation afin d’obtenir un aménagement

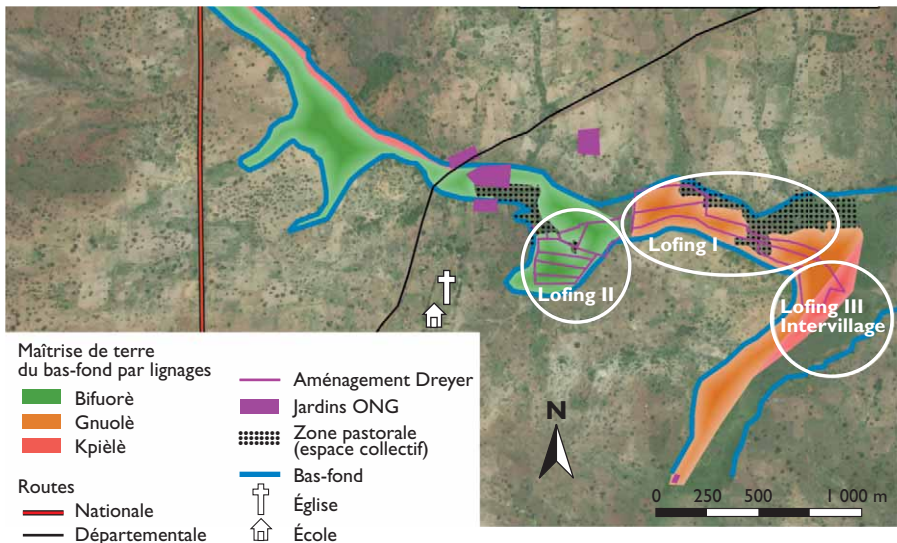


Figure 2.

Maîtrises foncières lignagères et emprise de l'aménagement.

Élaboration : Justine Robin, sur une image de l'aménagement réalisée par A. Dorée.

pour le village. Du point de vue des Gnuolè, l'exclusion de l'accès aux parcelles (faute d'avoir adhéré) se double ainsi d'une dépossession symbolique et politique sur l'espace aménagé et le contrôle de l'aménagement.

Des adaptations pragmatiques

Cette situation a provoqué des tensions lors de la distribution des parcelles. Les anciens propriétaires adhérents au groupement ont exigé que leur parcelle soit localisée sur leurs terres familiales. Des anciens propriétaires qui n'avaient pas adhéré ont également réclamé une parcelle. La fondation a dû changer les règles pour leur donner satisfaction. Mais cela a augmenté le nombre d'attributaires, qui a dépassé le nombre de parcelles disponibles, obligeant à découper les parcelles de la partie aval en deux ou en trois, et même à redécouper certaines parcelles qui venaient d'être attribuées dans la partie amont. Cet arrangement pragmatique, négocié en urgence, a permis de résoudre le conflit, mais a suscité des inégalités entre les attributaires, notamment quant à la taille de la parcelle qu'ils ont reçue (en particulier celles situées dans la partie de l'aménagement initialement réservée aux femmes, dont les parcelles étaient plus petites). Il a aussi provoqué un flou sur les règles d'accès, dont la logique est devenue difficilement compréhensible pour les villageois.

Pour résoudre la pénurie de parcelles, l'ONG a aménagé l'année suivante une nouvelle section en aval du premier aménagement (Lofing II). Ces redécoupages, et les réattributions de parcelles qui ont suivi, n'ont pas été compris par les attributaires déplacés, qui ont dû réinvestir du travail pour planer leur nouvelle parcelle, donnant le sentiment d'un interventionnisme générateur d'insécurité foncière.

L'occupation actuelle, fruit de nombreux ajustements post-aménagement

Les attributaires ont pour obligation d'exploiter eux-mêmes leur parcelle, toute parcelle non exploitée pouvant être retirée et réaffectée par le groupement. Les enquêtes révèlent cependant de nombreux ajustements par rapport à la distribution initiale :

- plusieurs attributaires dont les parcelles étaient sur des terres auparavant contrôlées par des Gnuolè ont été expulsés par ces derniers, dans Lofing I et Lofing II ;
- de nombreux transferts intra-familiaux, non enregistrés auprès du groupement, ont eu lieu, l'attributaire officiel (homme ou femme) cédant son droit d'exploiter à un conjoint ou un parent de la même exploitation. En pratique, les parcelles attribuées aux membres d'une exploitation ont été mutualisées en son sein et rentrent dans le jeu des réaffectations internes de droits de culture ;
- bien qu'interdits, des prêts ont lieu, le plus souvent entre membres du même *yir* ou du même lignage (ils sont rares entre personnes de lignage différent) ;
- des dons ont également été observés, en faveur des gros agriculteurs. Certains gros agriculteurs (dont des responsables du groupement) cumulent ainsi plusieurs parcelles ;
- malgré l'obligation de mise en valeur, on observe quelques parcelles non exploitées, qui ne font pas l'objet de reprises par le groupement. Beaucoup d'exploitants témoignent d'une difficulté à accéder à une parcelle par le prêt ou la location, même si celle-ci n'est pas cultivée.

La distribution initiale – qui a permis aux Gnuolè d’obtenir des parcelles là où leurs pères cultivaient, et les a donc concentrés dans la zone amont – et les différents réajustements ultérieurs produisent une répartition actuelle des parcelles relativement équilibrée entre lignages (fig. 3)¹.

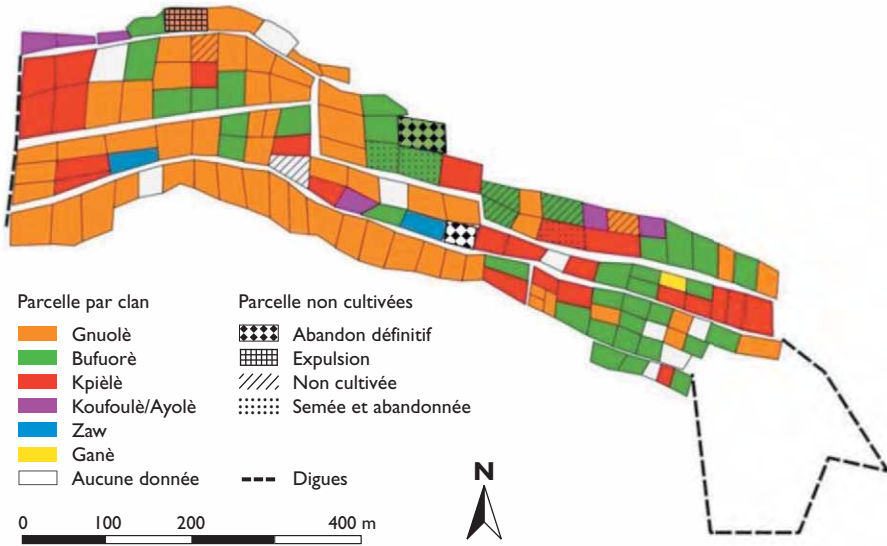


Figure 3.

Répartition actuelle des exploitants de l’aménagement, par lignage (Lofing I).

Source : enquêtes ; fond de carte : A. Dorée.

Les femmes et l’aménagement du bas-fond

Sur la soixantaine de femmes qui avaient demandé une parcelle, une quarantaine exploitent actuellement une parcelle dans l’aménagement. Dans une logique d’égalité de genre, les femmes pouvaient demander une parcelle, mais de plus petite taille. Elles en ont obtenu, le plus souvent en aval de l’aménagement (fig. 4). Mais le fait d’avoir une parcelle à son nom ne signifie pas qu’elle soit sous son contrôle : dans de nombreux cas, la parcelle attribuée à la femme a été réaffectée à un autre membre du ménage, voire à un proche parent.

Plus largement, le contenu des droits obtenus par les attributaires (hommes et femmes) n’a pas été totalement explicité. Au-delà des différents ajustements observés, les différents acteurs interrogés ont des avis divergents sur le futur de ces droits : sont-ils définitifs ? Sont-ils transmissibles par héritage ? Et si oui, selon quelle règle ? Perdureront-ils en cas d’abandon de la parcelle ou de l’aménagement ? Les

1. Nous avons choisi de noter sur les figures le lignage de l’exploitant. Pour les femmes attributaires, seul le lignage dont dépend leur unité d’exploitation a été pris en compte. C’est généralement celui de leur mari. Ainsi, la parcelle d’une femme Gnuolè mariée dans un ménage Bufuorè est marquée en vert, car elle contribue à l’économie d’un ménage Bufuorè.

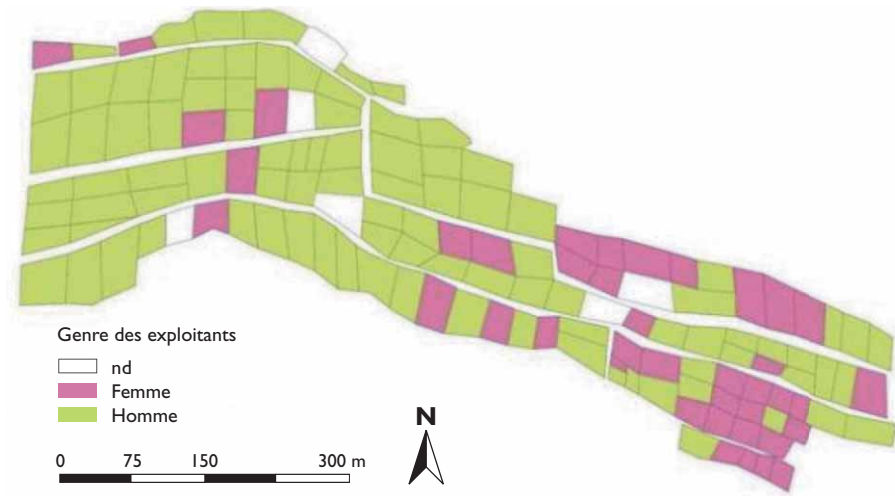


Figure 4.
Répartition des exploitants par genre (Lofing I).

Source : enquêtes ; fond de carte : A. Dorée.

anciens possesseurs ont-ils donné définitivement les terres, retrouveront-ils le contrôle foncier des terres aménagées en cas de disparition du groupement ? Cela témoigne d'une intégration encore partielle des parcelles aménagées dans les normes foncières locales. Faute d'avoir été anticipées et négociées, c'est lorsque ces questions se poseront concrètement (par exemple lors des premiers décès d'attributaires) que la façon d'y répondre sera définie, d'une manière qui pourra être consensuelle ou conflictuelle.

Conclusion

En fonction des règles définies par la loi et les intervenants, tout aménagement redéfinit, de façon plus ou moins profonde, les règles d'accès à la terre aménagée et rebat les cartes du foncier. Notre étude a mis en évidence les conséquences de l'aménagement sur la répartition des droits entre groupes (lignages, *yirs* – maisonnées), et dévoilé les tensions qui en ont résulté, du fait que des groupes ont vu leurs droits antérieurs remis en cause et s'imposer une redistribution sans véritable négociation ni compensation. Les tensions dues à la marginalisation des Gnuolè ont été provoquées par l'absence d'anticipation de ces enjeux. La solution pragmatique trouvée au moment de la distribution des parcelles a permis de gérer les tensions avec les anciens propriétaires et de rendre la distribution socialement acceptable. Mais cela a laissé des traces.

Entre le flou sur les règles, l'adaptation pragmatique au moment de la distribution des parcelles pour résoudre le conflit avec les Gnuolè et les évolutions post-aménagement, la répartition réelle des parcelles n'a que peu à voir avec l'intention initiale. De plus, le contenu réel des droits accordés aux attributaires demeure flou, en particulier sur les modes de transmission. Il en résulte des décalages croissants entre les attributaires officiels et les exploitants réels, qui risquent d'insécuriser certains exploitants et de rendre problématique le paiement de la redevance.

Raisonnement une politique de sécurisation foncière au sein des aménagements de bas-fonds suppose d'abord de traiter d'une façon socialement acceptable le devenir des droits pré-existants sur l'espace à aménager – en n'oubliant pas que les droits fonciers ne disparaissent pas forcément, ou peuvent être réactualisés, lorsque l'espace n'est plus exploité depuis de nombreuses années. Cela suppose ensuite de négocier des règles sur les conditions d'attribution d'une parcelle, sur le contenu des droits octroyés et sur leurs modes de transfert – permanent ou temporaire – qui soient à la fois claires et cohérentes avec la dynamique des exploitations agricoles et les normes foncières locales, à la fois légitimes et opératoires.

Cet article résulte d'enquêtes qualitatives (entretiens individuels, observation participante) menées de septembre à décembre 2017 dans le cadre du projet Generia. Il reprend des parties d'un article paru dans les Cahiers Agricultures (LAVIGNE DELVILLE et ROBIN, 2019), avec l'autorisation de la revue, que nous remercions vivement. Nous remercions le Pr Magloire Somé pour ses éclairages sur l'histoire de Lofing et ses retours sur les premières versions de ce chapitre et Georges Serpantié pour ses appuis.

Références

AHMADI N., TÈME B. (éd.), 1998

Aménagement et mise en valeur des bas-fonds au Mali.
Montpellier, Cirad.

BERRY S., 1989

Social Institutions and Access to Resources in African Agriculture.
Africa, 59 (1) : 41-55.

BOUJU J., 1998

« Contrôle foncier et conflits pour les ressources : l'accès aux bas-fonds aménagés comme enjeu de pouvoir local ». In Ahmadi N., Témé B. (éd.) : *Aménagement et mise en valeur des bas-fonds au Mali*, Montpellier, Cirad : 95-108.

CHAUVEAU J.-P., JACOB J.-P.,

LE MEUR P.-Y., 2004

L'organisation de la mobilité dans les sociétés rurales du Sud.
Gouverner les hommes et les ressources : dynamiques de la frontière.
Autrepart, 30 (2) : 3-23.

DORÉE A., 2017

Gérer les nouveaux risques des bas-fonds soudanais (Dano, Burkina Faso).
Mémoire de fin d'études d'ingénieur agronome, IRC/SUPAGRO, Montpellier.

HIÈN P. C., 2000

« Frontières et conflits chez les Dagara et leurs voisins au sud-ouest du Burkina Faso (xviii^e-xix^e siècle) ».

In Kuba R., Lentz C.,
Werthmann K. (éd.) :
*Les Dagara et leurs voisins :
histoire de peuplement et relations
interethniques au sud-ouest du Burkina Faso*,
Frankfurt am Main,
Johann Wolfgang Goethe-Universität :
427-440.

**KUBA R., LENTZ C.,
WERTHMANN K., 2001**
*Les Dagara et leurs voisins:
histoire de peuplement et relations
interethniques au sud-ouest
du Burkina Faso*.
Sonderforschungsbereich 268,
Frankfurt am Main,
Johann Wolfgang Goethe-Universität.

**LAVIGNE DELVILLE P.,
BOUJU J., LE ROY E., 2000**
*Prendre en compte les enjeux fonciers
dans une démarche d'aménagement :
stratégies foncières et bas-fonds au Sahel*.
Paris, GRET, coll. Études et travaux.

**LAVIGNE DELVILLE P.,
ROBIN J., 2019**
Aménagement de bas-fonds, politique
de l'aménageur et recompositions foncières
(Lofing, Burkina Faso).
Cahiers Agricultures, 28 (18).

PRADEAU C., 1970
Kokolibou (Haute-Volta)
ou le pays Dagari à travers un terroir.
Études rurales, 37/39 : 85-112.

SOMÉ M., s.d.
Petit précis d'histoire de Lofing, non publié.

**TOROU B., BOSSA A. Y.,
YAMEOGO T. et al., 2018**
« Exploitation agricole des bas-fonds :
diversité des situations, contraintes
et opportunités associées ».
In WASCAL (éd.) : *Projet « Gestion
des nouveaux risques et des opportunités
des terres Inondables pour l'Agriculture
africaine (GENERIA) »*,
Rapport scientifique intermédiaire,
Ougadougou, WASCAL : 22-26.

Co-construction d'innovations pour la maîtrise de la culture du riz de bas-fond en conditions contraignantes et aléatoires

Georges SERPANTIÉ, Abdraïme SAWADOGO,
Manaka DOUANIO, Ernest DABIRE, Fabrice SOMÉ,
Aymar Y. BOSSA, Jean-Louis FUSILLIER

Introduction

L'agriculture africaine fait face à de nouveaux risques, tant du fait des changements climatiques (BROWN et CRAWFORD, 2008) que des transformations de l'agriculture elle-même. Les risques agricoles résultent de plusieurs composantes : les aléas, les enjeux et la vulnérabilité (ELDIN et MILLEVILLE, 1989 ; LEONE *et al.*, 2010). Les enjeux agricoles vont de la possibilité d'installer une culture à la production, et des actifs naturels (sols, arbres, bétail...) aux infrastructures artificielles (aménagements, bâtiments). Gérer le risque, c'est donc connaître l'aléa (anticiper, se préparer) et chercher à l'atténuer, limiter l'exposition des enjeux (répartir le risque, éviter les périodes ou les zones aléatoires), enfin réduire la vulnérabilité (se préparer, s'assurer, se renforcer, mutualiser les pertes, renforcer la capacité à se redresser après un choc, à savoir la résilience).

Les bas-fonds de l'Afrique soudanienne représentent une facette de paysage inondable, fertile, dédiée à des activités agrosylvopastorales spécifiques. Il s'agit de fonds plats ou concaves de petites vallées et gouttières d'écoulement inondables en amont du réseau de drainage (RAUNET, 1985). Ils ont joué un rôle important en permettant des activités productives atténuant l'aléa sécheresse (SERPANTIÉ et ZOMBRÉ, 1994). La riziculture de bas-fond, historiquement marginale (activité en petites parcelles, souvent féminine), s'est ainsi développée depuis la fin des sécheresses, accompagnée par des projets d'aménagement et d'appui, mais elle doit aussi faire face à certains risques (MANZANILLA *et al.*, 2011).

Dans une région soudanienne du Burkina Faso riche en bas-fonds (commune de Dano, province Ioba, région Sud-Ouest), plusieurs aléas ont été identifiés dans cette facette de paysage. On connaît déjà la fragilité des terres de bas-fonds face au ravinement (MIETTON, 1986). Les changements climatiques en cours depuis la fin des sécheresses (1971-1990) maintiennent mais atténuent l'aléa sécheresse, sauf en début de saison, et un nouveau risque d'inondations est apparu, à la fois du fait d'années excédentaires et par un aléa accru de crues et d'inondations précoces (cf. chap. 6, cet ouvrage). Ces crues sont à l'origine de destructions d'ouvrages ou d'engorgements des systèmes de rétention d'eau. Elles sont aussi source d'érosion, à l'échelle des parcelles comme des aménagements (élargissement et enfoncement de canaux de drainage [DORÉE, 2017]). Ces crues augmentent le risque de submersions, dont l'impact sur le rendement des variétés modernes de riz est élevé (MANZANILLA *et al.*, 2011).

Les fonctions anti-aléatoires des bas-fonds ont incité au développement de certaines filières de production liées à ces milieux humides – riz intensif et maraîchage – représentant en retour de nouveaux enjeux, exposés non seulement à la variabilité des ressources en eau, mais aussi à de nouveaux types d'aléas (mauvaises herbes vivaces, parasitisme et ravageurs, fragilité des aménagements dédiés) (chap. 7, cet ouvrage).

Les objectifs d'intensification durable et de stabilité de la production requièrent encore des innovations dans les domaines technique et organisationnel, solutions qui devront prendre en compte explicitement la dimension sociale et environnementale des bas-fonds. Cette recherche appliquée faisait partie du mandat du programme Generia : innover en partant d'un dialogue des savoirs, de réflexions collectives et d'expérimentations participatives, en bref « co-construire » des options techniques et organisationnelles face aux aléas identifiés et améliorer la capacité d'adaptation des exploitations agricoles, des communautés ainsi que des organisations d'appui.

L'objectif de ce chapitre est de restituer les thématiques de co-construction de solutions anti-aléatoires mises en œuvre et leur degré d'avancement.

Démarche de co-construction

Principes

La visée d'un processus actif d'innovation est d'élaborer un diagnostic, une analyse, un projet, un changement, une politique, une méthode, un outil, susceptibles de mener à des changements de pratiques, ce qui constitue l'innovation *sensu stricto*. Nous avons fait appel à une démarche co-constructiviste.

En rappel théorique, le constructivisme kantien établit que les connaissances devraient être envisagées comme des « représentations » après un processus de « construction ». En conséquence, elles expriment un point de vue particulier sur le réel plutôt qu'un reflet direct de ce dernier. Il en va de même dans le cas d'une

démarche d'apprentissage. Pour Piaget, l'état initial est important à considérer dans les mécanismes de cognition. Le savoir individuel fait l'objet d'une appropriation en fonction d'un état cognitif préalable (« schémas conceptuels »). Donc il se « bâtit » plutôt qu'il ne « s'accumule ». Enfin, la sociologie des sciences montre l'évolution récente de la science elle-même et sa rencontre avec les autres types de savoirs à travers les « forums hybrides » et la « participation », ce qui instaure une forme de « démocratie technique » (CALLON *et al.*, 2001). Ici encore, l'invention se construit socialement, bénéficiant de dialogues entre des acteurs possédant des savoirs de nature et de niveaux différents : locaux (savoirs issus de l'expérience directe ou hérités), techniques, experts, académiques, autodidactes...

La notion de co-construction se définit comme un processus volontaire et formalisé dans lequel plusieurs acteurs parviennent à s'accorder sur une définition de la réalité (une représentation, une décision, un projet, un diagnostic) ou une façon de faire (une solution à un problème). L'accord traduit un compromis sur lequel ces acteurs s'entendent et se reconnaissent (FOUDRIAT, 2016). En l'occurrence, les acteurs de la co-construction sont des chercheurs, des techniciens, des acteurs locaux, ainsi que les partenaires techniques et financiers et leurs propres experts. La démarche de co-construction repose sur trois étapes 1) poser le problème énoncé et ses enjeux ; 2) un processus de co-conception animé par une personne apte à mener les débats et suffisamment légitime ; 3) la mise en œuvre des tests et évaluations.

Thèmes de co-construction engagés à Lofing et Bankandi

Le diagnostic 2016-2017 a exploité les résultats de recherche et les conclusions des restitutions-débats avec les différents acteurs. Les multiples réunions (recherche-développeurs à l'échelle régionale et nationale, recherche-groupements locaux, ateliers thématiques multi-acteurs adossés à des ateliers de restitution Generia) ont permis d'identifier un certain nombre de problèmes et aléas qui limitent ou font fluctuer la production agricole des bas-fonds, la productivité des moyens engagés, qui menacent la durabilité et renforcent la vulnérabilité de certains groupes. Elles ont permis de s'accorder sur 4 grandes problématiques ou thèmes à effets anti-aléatoires, et Generia a pu engager deux chantiers par thème :

- 1) Aménagements inadaptés à l'aléa de crues et d'excès d'eau
 - l'accroissement du potentiel de drainage de périmètres aménagés en DCN (digues en courbes de niveau) si confrontés à l'excès d'eau (aléa inondation) (cas de Bankandi)
 - la réduction de la fragilité et du potentiel érosif des aménagements en terre CAD (casiers-arroseurs/draines) (cas de Lofing).
- 2) Mobilisation et distribution de l'eau des canaux en vue de faciliter le repiquage (propice à une plantation retardée, la gestion des adventices et l'économie d'azote) et l'irrigation en périodes sèches
 - équipements (batardeaux) permettant l'exhaure de l'eau des canaux, notamment sur les canaux profonds (60 cm) et à grande largeur (5 m)
 - formation à la gestion coordonnée de l'eau, au moyen d'un jeu de rôles.

- 3) Manque de matériel végétal et défauts de la monoculture
 - diversification variétale rizicole, adaptée à différents niveaux de vulnérabilité et de capacités d'intensification et à différents milieux
 - diversification spécifique (rotations, diversification maraîchère, engrais verts ou jachères améliorées) pour la durabilité et la répartition des risques.
- 4) Défauts de l'itinéraire technique du riz observé
 - insuffisance de densité d'implantation du riz
 - réduire les doses d'herbicide et limiter la pression adventice vivace (riz sauvage).

Les 8 sous-thèmes ont tous fait l'objet de « chantiers d'innovation » en 2018 dans le cadre du projet. Chaque chantier commence par la définition d'un cahier des charges, suivi de la conception de prototypes ou de plans expérimentaux en champ école. La mise en œuvre des tests est toujours collective et participative (aménagement villageois, champs-écoles, réseau de parcelles paysannes), leur évaluation est multi-critères (efficacité, coûts, écologie, accessibilité sociale) et multi-acteurs. Un processus itératif d'amélioration suit les premières évaluations.

Ici, nous ferons le bilan provisoire de deux thématiques, l'érosion sur les aménagements CAD et une réponse à la pression des adventices et aux abus d'herbicides.

Risque érosif et fragilité des CAD : un nouveau déversoir

Diagnostic

L'aménagement « casiers-arroseurs/draines » mis en place par la fondation Dreyer à Lofing à partir de 2013 a fait l'objet d'observations détaillées en 2017 au cours de multiples parcours au sol de l'équipe Generia avec les partenaires (groupements, agro-formateurs, fondation Dreyer).

L'aménagement CAD est principalement constitué d'une digue transversale (consolidée en mai 2017 par un revêtement de pierres), percée de trois exutoires, débouchant sur des canaux de drainage pouvant servir aussi d'arroseurs. Chaque déversoir d'exutoire est constitué de pierres libres. Fin 2017, le déversoir central était complètement détruit (fig. 1) avec risque d'érosion régressive et ravinement vers l'amont, perte de la fonction de répartition entre canaux et difficultés de franchissement. Les enjeux sont donc le risque d'érosion régressive, la mauvaise distribution de l'eau entre les trois canaux, l'obstacle pour les riverains et la dégradation de la digue.

Des mesures ont permis de quantifier le surcreusement des canaux par l'érosion. L'érosion verticale des canaux (approfondissement) se manifeste (fig. 2) :

- au niveau du canal central (déversoir de la digue, tube 4, tube 7 (important), 9 (faible) ;

– au niveau de la rivière nord, qui prend une partie du débit du canal central et creuse son lit.



Figure 1.

Destruction du déversoir en pierres libres après une seule saison de pluviométrie moyenne

© IRD/G. Serpantié, juin 2018

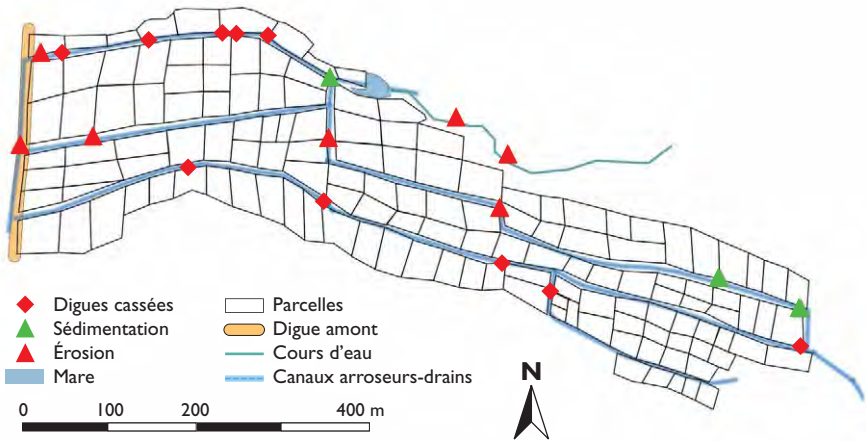


Figure 2.

Plan des canaux de l'aménagement CAD de Lofing en 2017
et zones de manifestation de l'érosion et sédimentation.

Source : Generia.

L'érosion horizontale se manifeste aussi sur les mêmes sections par un élargissement de largeur en gueule de 10 à 50 cm en un an.

La sédimentation se produit en revanche à proximité des exutoires du bas-fond, avec risques d'inondation à proximité (fig. 2).

Cahier des charges

Le premier objectif convenu était de concevoir et tester un aménagement contribuant à la durabilité de l'aménagement CAD, notamment sa résistance aux risques de crues, qui permette de fixer le niveau de base pour la répartition de l'eau entre canaux, sans augmenter le risque d'inondation amont.

Sur les plans socioéconomique, écologique, il fallait privilégier l'intensité de main-d'œuvre locale, la participation de tous (hommes et femmes), l'usage de matériaux locaux, bon marché, durables et recyclables.

Résultats

La première étape 2018 de ce « durcissement » de l'aménagement est un « exutoire déversant » en gabions (fig. 3). Les acteurs de la co-construction ont été, outre l'équipe Generia (chercheur, stagiaire), l'ONG Sagop, des formateurs retraités de l'AFVP, le chef ZAT de la DPAAH, le formateur de la fondation Dreyer, le Groupement de riz de Lofing



Figure 3.
Le déversoir en gabions de Lofing.
© IRD/G. Serpantié, juin 2018

La construction de l'exutoire s'est déroulée en juin 2018 durant 2 jours avec la participation communautaire de Lofing. Au total, 80 journées de travail bénévoles ont été consacrées à cet investissement, réparties entre hommes (creusement, montage) et femmes (transports de pierres, gravier, eau).

Évaluation

L'évaluation de l'ouvrage réalisé dépend des points de vue. Pour les femmes, c'est un passage facilité en saison pluviale. Pour les hommes, il renforce l'aménagement. Pour les experts, il permet aussi de stabiliser le canal, de dissiper l'énergie hydraulique et de limiter l'érosion du canal central qui se dégradait rapidement. Il favorise une meilleure distribution de l'eau sur les trois canaux. Il est durable en termes écologiques, il est de coût raisonnable, et socialement participatif. La technique est accessible à un groupement, mais demande un technicien spécialisé et capable d'animer un chantier. Outre les 80 jours de travail, le coût du déversoir (transports, matériaux, indemnités des formateurs) a été de 240 000 FCFA (tabl. 1), soit 400 euros, sans la nourriture et les boissons, et sans les pierres qui étaient déjà sur place.

Tableau 1.

Devis de matériel et de coûts de formation pour un déversoir central en gabions (FCFA).

Désignation	Quantité	P. unitaire	Prix total
Fer à béton de 8	10 barres	2 500	25 000
Fil de fer recuit	4 rouleaux	500	2 000
Fil de fer galva	1 rouleau	3 500	3 500
Tenaille	2	1 000	2 000
Pince	2	1 500	3 000
Paire de gants	2	1 000	2 000
Gabions	12	11 000	132 000
Niveau de maçon	1	2 000	2 000
Décamètre	1	750	750
Gravillons	4 voyages	2 500	10 000
Formateurs et leur transport (50 km/j)	4 jours	15 000	60 000
Total			242 250

Si la durabilité au bout d'une seule campagne est avérée, il faudra suivre la tenue des gabions dans le temps long (risque de rouille notamment demandant le remplacement régulier des grilles supérieures, affouillements) et la tenue des digues en terre enserrant les gabions de bajoyer, qui sont le point faible de ce type de dispositif totalement immergé plusieurs fois par an (fig. 4 a et b).



Figure 4.

- (a) Écoulement normal : bonne répartition de l'eau entre les trois exutoires ;
- (b) bonne résistance de l'exutoire déversant à une crue décennale liée à une pluie de 85 mm sur bassin de 30 km².

© IRD/G. Serpantié, juin 2018

Aléa d'enherbement : un outil pour extirper les rhizomes

Diagnostic

L'enherbement est une contrainte majeure des bas-fonds cultivés en riz (sols fertiles, humides, monocultures permanentes), et surtout en cas d'implantation par semis (MOODY, 1993). L'humidité résiduelle à faible profondeur favorise des plantes vivaces se régénérant par voie végétative comme le riz sauvage *Oryza longistaminata* à rhizomes. Elles colonisent donc les rizières avec les premières pluies. Une nouvelle espèce de parasite végétal a fait son apparition (*Rhaphicarpa fistulosa*) et devient infestante. Le défaut de maîtrise de l'enherbement existe dans une parcelle sur deux en 2017, une sur trois en 2018 (tabl. 2). L'enherbement a été un facteur prépondérant en 2017 comme en 2018 sur toutes les composantes du rendement. Les retards de désherbage manuel ont été particulièrement dommageables au potentiel de rendement en 2018 (cf. chap. 7, cet ouvrage). Les forts enherbements finaux s'accompagnent d'une division par deux du rendement (tabl. 2). Le repiquage réduit de moitié l'enherbement final (meilleure destruction des mauvaises herbes par le malaxage, présence d'une lame d'eau, désherbage facilité), favorisant le rendement en 2017, mais pas en 2018 (repiquages trop tardifs) (cf. chap. 7, cet ouvrage).

Même si la différence entre moyennes de rendement n'est pas imputable qu'à l'effet de l'enherbement (possibilités de confusions d'effets), cet effet apparent régulier et la fréquence des salissements non maîtrisés (50 % à 66 %) font de la maîtrise de l'enherbement un enjeu central. Or, le temps disponible pour l'entretien après semis est limité du fait de la priorité aux cultures de plateau (cotonnier, maïs, sorgho), qui cumulent les plus grandes superficies et les plus gros investissements, et où les gens vont travailler le matin (DORÉE, 2017). De plus, les jours disponibles pour sarcler sont limités, du fait des sols inondés ou trop collants plusieurs jours après chaque pluie. Enfin, la main-d'œuvre est globalement rare, du fait que les jeunes sont

Tableau 2.
Relations entre l'enherbement final en 2017 et 2018 et les composantes du rendement
(bas-fond de Lofing) (test T significatif si p-value < 0,05, en gras).

Source : Generia

	2017			2018		
	<150	>=150	P	<150	>=150	p
Biovolume adventices à la récolte						
Rendement à 14 % d'humidité (t/ha)	3,6	1,8	0,00	2,0	1,0	0,00
Rendement paille sèche t/ha	4,7	3,1	0,01	2,0	1,2	0,00
Panicules utiles/m ²	151	108	0,00	106	78	0,00
Tx de touffes vides %	1,6	4,3	0,05	7,6	9,8	0,18
Nombre de grains par panicule utile	113	75	0,00	78	58	0,00
PI000 (g)	18,5	19,5	0,26	23,0	23,1	0,92
n parcelles	12	14		36	18	

encore sur les sites d'orpaillage à cette époque. Il s'ensuit un engouement pour les herbicides, utilisés abusivement par tous (doses élevées de glyphosate > 9 l/ha en cas de riz sauvage), introduisant de nouveaux risques sanitaires et environnementaux (cf. chap. 14, cet ouvrage), sans parler de symptômes de toxicité sur le riz lui-même.

Cahier des charges

Face à ces difficultés, la réflexion entreprise est de chercher à profiter de la saison de re-piochage des parcelles de riz (mai) pour extirper d'avance les rhizomes du riz sauvage qui infestent certaines parcelles. Ils constituent un excellent fourrage et leur extraction revêt donc un double enjeu. La méthode doit cependant être sans impacts sur le calendrier de travail et sur les coûts. Les paysans mettent l'accent sur le coût monétaire et sur l'accessibilité. La DPAAH (ministère de l'Agriculture) et la fondation Dreyer privilégient une méthode écologique. Il faut aussi un outil facile à manipuler, ergonomique, léger et solide, pour tous.

Résultats

Un simple râteau, acheté en quincaillerie à Dano, mais renforcé chez un soudeur (manche métallique, patte métallique empêchant les dents de se replier) a été testé pour arracher les rhizomes de riz sauvage (fig. 5).



Figure 5.
Extraction des rhizomes de riz sauvage à l'aide d'un râteau renforcé
au moment du second piochage.

© IRD/G. Serpantié, juin 2018

Évaluation

Pour les paysans, le râteau permet un gain de temps et rend le travail efficace et rapide. Outre le nettoyage du riz sauvage, il permet d'affiner et niveler les parcelles. Son coût de 3 000 FCFA est accessible à la plupart. Les trois paysans qui l'ont testé ont eu du mal à s'en séparer, ce qui a réduit l'échantillon de test. Pour K., le râteau est le seul instrument que l'on peut utiliser pour ramasser le riz sauvage, il est très efficace, par contre, avec la main, c'est beaucoup plus lent. L'évaluation du râteau devra aussi être abordée en termes agronomiques (gains sur l'infestation, gain de temps de travail de sarclage, gains de croissance etc).

Discussion et conclusion

Ces deux thèmes (sur les huit) n'ont pas été choisis pour leur caractère spectaculaire (voir les autres thèmes *in* chap. 7, cet ouvrage ; SAWADOGO, 2018 ; SAWADOGO *et al.*, 2019), mais justement parce qu'ils révèlent le caractère parfois humble de l'innovation. Ils soulignent surtout l'implication de tous les acteurs présents à toutes les étapes : diagnostic préalable, cahier des charges, conception, test ou mise en œuvre et évaluation.

Naturellement, l'évaluation ne s'arrête pas à celle d'un prototype, puisque chaque étape de l'extension, c'est-à-dire l'évolution vers une adoption plus large, devra faire aussi l'objet de processus de co-construction et d'évaluation. Il faudra voir comment les aménageurs et les groupements de la région s'en saisiront ou pas, et si ces innovations resteront adaptées aux nouvelles conditions organisationnelles des coopératives.

La question de l'adaptation aux risques ne peut se passer d'une co-construction de solutions, puisque, en agriculture, ceux qui vivent depuis des générations dans un terroir et qui ont développé des systèmes de cultures spécifiques et adaptés (PRADEAU, 1970 ; PALE *et al.*, 2016) sont des experts incontournables. Mais les changements de milieu et de société peuvent laisser les paysans sans solutions immédiates, et les appuis sont donc nécessaires. LALLAU (2008) propose de se pencher sur la « capacité de gestion des risques », qui permet de distinguer les sociétés vulnérables des résilientes. Ces appuis font en soi partie d'une capacité accrue. Ils doivent aussi être pensés pour favoriser une évolution de ces capacités de gestion du risque à tous les niveaux.

Références

BOSSA A.Y., 2017

Gestion des nouveaux risques et des opportunités des terres inondables pour l'agriculture africaine – Projet Generia : Rapport d'étape. 32 p.

BROWN O., CRAWFORD A., 2008

Évaluation des conséquences des changements climatiques sur la sécurité en Afrique de l'Ouest. Étude de cas national du Ghana et du Burkina Faso. IIED, Canada.

CALLON M., LASCOUMES P.,

BARTHE Y., 2001

Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique. Paris, Le Seuil.

DORÉE A., 2017

Gérer les nouveaux risques des bas-fonds soudaniens. Mémoire d'ingénieur agronome, option Resad, Montpellier Supagro, IRD GRED, Cirad, Wascal, 84 p.

ELDIN M., MILLEVILLE P., 1989

Le risque en agriculture. Paris, Éditions de l'Orstom.

FOUDRIAT M., 2016

La co-construction, une alternative managériale. Rennes, Presses de l'ETHESP, coll. Politiques et intervention sociales.

LALLAU B., 2008

Les agriculteurs africains entre vulnérabilité et résilience.
Pour une approche par les capacités de la gestion des risques.
Revue française de socio-économie, 1 (1) : 177-198.

LEONE F., DE RICHEMOND MESCHINET N.,

VINET F., 2010

Aléas naturels et gestion des risques. Paris, PUF.

MANZANILLA D. O., PARIS T. R.,

VERGARA G. V., ISMAIL A. M., PANDEY S.,

LABIOS R. V., SILIPHOUTHONE I., 2011

Submergence risks and farmers' preferences: implications for breeding Sub1 rice in Southeast Asia.
Agricultural Systems, 104 (4) : 335-347.

MIETTON M., 1986

« L'érosion des sols de bas-fonds au Burkina Faso. Repères dans l'évolution historique, actuelle et future ». In : *Changements globaux en Afrique durant le Quaternaire. Passé-Présent-Futur.* Symposium international, n° 197 : 309-313.

MOODY K., 1993

Weed control in wet seeded rice.
Expl. Agric., 29 (4) : 393-403.

PALE S., KIEMDE B. J., DA D. E., 2016

Pratiques traditionnelles paysannes dans les bas-fonds agricoles à Dano au Burkina Faso.
Rev. Sc. Env. Univ. Lomé, 13 : 122-136.

PRADEAU C., 1970

Kokolibou (Haute-Volta) ou le pays Dagari à travers un terroir.
Études rurales, 37-39 : 85-112.

RAUNET M., 1985

Bas-fonds et riziculture en Afrique. Approche structurale comparative.
L'Agronomie Tropicale, 40 (3) : 181-201.

SAWADOGO A., 2018

Adaptations techniques rizicoles suite aux changements dans l'environnement des bas-fonds soudaniens. Rapport de stage, IRD-École polyvalente de Matourkou, 91 p.

SAWADOGO A., SERPANTIÉ G.,

OUÉDRAOGO N., 2019

Une expérimentation participative de pomme de terre à Dano (Ioba). Rapport de la campagne 2018-2019, IRD Ouagadougou, 49 p. + annexes.

SERPANTIÉ G.,

ZOMBRE P., 1994

Contraintes et potentialités des petits bas-fonds soudano-sahéliens vis-à-vis d'une riziculture sous aménagement d'étalement de crues. Expérience du programme R3S à Bidi (Nord Yatenga), Atelier national sur la riziculture et commission du programme riz Bobo-Dioulasso, 9-11 mai 1994.

Adoption des variétés améliorées de riz dans les bas-fonds

Analyse socioéconomique des déterminants

*Thomas B. YAMEOGO, Bio M. TOROU,
Fourvouon SOMÉ, Jean-Louis FUSILLIER,
Aymar Y. BOSSA, Evariste D. DA*

Introduction

Le secteur du riz fait partie des secteurs qui ont enregistré une croissance phénoménale au cours des vingt dernières années en termes de superficie cultivée, de volume produit et de consommation annuelle par habitant (FAO, 2014). Il occupe la 4^e place parmi les céréales cultivées au Burkina Faso, tant du point de vue des superficies, de la production que de la consommation annuelle par tête (MAAH/DGPER, 2016). Cette performance est imputable à plusieurs facteurs, entre autres on peut citer : la promotion de la riziculture pluviale stricte (sensibilisation, champs-écoles) ; l'intégration quasi systématique de la riziculture dans les projets dans le domaine des aménagements de bas-fonds ; la vulgarisation des nouvelles variétés (FKR 45 N, 47 N et 49 N et 58 N, 60 N et 62 N) plus résistantes aux variabilités pluviométriques et moins exigeantes en aménagement¹. En somme, la mise en valeur des bas-fonds (aménagements, vulgarisation des nouvelles variétés) a permis de développer de manière importante la production locale du riz et de favoriser une nette amélioration du bien-être des exploitants à travers : (1) l'amélioration de la sécurité alimentaire, grâce à l'amélioration des rendements (DAMA-BALIMA, 2013) ; (2) la réduction de la pauvreté, en assurant aux paysans une source potentielle de revenu monétaire. Cela a permis non seulement de faire face aux dépenses personnelles (évitant ainsi

1. Performance dans la riziculture en Afrique: Expérience du Burkina Faso.
Disponible: <https://riceforafrica.net/images/stories/PDF/5-3FR.pdf>

la vente des autres cultures vivrières), mais aussi d'accumuler du capital (cheptel, constructions, équipements) ; (3) l'amélioration de la pratique culturale et son effet d'entraînement sur les autres cultures (augmentation des rendements par hectare). En effet, les autres cultures bénéficient aussi de l'intensification des exploitations induite par le « paquet technologique » que les aménagistes ont mis à la disposition des riziculteurs.

La production de riz au Burkina Faso se fait selon trois modes bien distincts : la riziculture irriguée, la riziculture de bas-fonds non aménagés et la riziculture pluviale stricte. La riziculture irriguée, introduite dans les années 1960 au Burkina Faso, constitue le mode le plus performant avec des rendements de 4 à 7 tonnes/ha, en raison de la maîtrise totale de l'eau permettant la double campagne annuelle (GUSSOU ET ILBOUDO, 2012). Au niveau national, quatre grandes zones de production se dégagent : il s'agit des régions du Centre-Est avec 22 % de la production nationale, des Hauts-Bassins avec 20,3 %, des Cascades avec 18,26 % et de la Boucle du Mouhoun avec 9,6 %. Bien que la région du Sud-Ouest ne fasse pas partie des « grands greniers à riz » du pays, des travaux antérieurs ont montré que, dans cette zone, la production de riz est devenue une activité florissante pour les petits agriculteurs (FAO, 2009 ; PALE et DA, 2016). Cela a entraîné une hausse substantielle de la production au cours de la dernière décennie (YAMÉOGO *et al.*, 2018). Cette croissance est beaucoup plus liée à l'intensification de la production qu'à l'expansion des terres cultivées.

La présente étude vise à analyser les facteurs socioéconomiques qui influencent l'adoption des variétés améliorées de riz adaptées à la riziculture de bas-fonds.

Bref aperçu de la littérature

Au cours des dernières années, de nouvelles variétés de riz issues des croisements entre le riz africain (résistant aux maladies, résistant à la sécheresse, etc.) et le riz asiatique (haut rendement) ont été mises au point (SNDR, 2011). Ces initiatives visaient, entre autres, la réduction de la vulnérabilité des producteurs face aux aléas climatiques tout en assurant la sécurité alimentaire. Ainsi donc, les recherches agronomiques ont permis de mettre sur le marché agricole des variétés améliorées à même de résister aux aléas du climat tout en améliorant le rendement. Au niveau national, 43 variétés de riz sont recensées dans le répertoire national². Les principales variétés de semences de riz cultivées au Burkina Faso sont présentées dans le tableau ci-dessous (tabl. 1).

²Catalogue national des espèces et variétés agricoles du Burkina Faso. Disponible : https://www.doc-developpement-durable.org/file/Agriculture/catalogues-de-semences/catalogue-national-des-especes-et-varietesagricoles-du-burkina-faso_2014.pdf

Tableau 1.

Principales variétés de semences de riz cultivées au Burkina Faso.

Source : extrait du Catalogue national des espèces et variétés agricoles du Burkina Faso, 2014

Dénomination	Obtenteur, d'obtention	Mainteneur	Écologie de production	Cycle semis-maturité (jours)	Type de grain L/l	Poids de 1 000 grains (g)	Rendement potentiel (t/ha)
FKR 19 *	Nigeria, 1984	INERA	Bas-fond	95	9,3/2,7	25,3	4-6
FKR 45 N	AFRICARICE / INERA, 1999	INERA	Irrigation	95	10,1/2,9	34,3	3-4
FKR 47 N	AFRICARICE / INERA, 1999	INERA	Sup. à 800 mm	100	10,1/2,7	33,2	3-4
FKR 49 N	AFRICARICE / INERA, 1999	INERA	Pluvial	97	10,55/2,8	34,5	3-4
FKR 60 N	AFRICARICE/INERA, 1999	INERA	Bas-fonds/irrig.	115	10,35/2,27	28,2	6-7
FKR 62 N *	1999 Afriner	INERA	Bas-fonds/irrig.	118	10,77/2,47	28,98	6-7
TS2 *	Taiwan	INERA	Irrigué	120			6-5

FKR= Farako-Ba ; N= New Rice for Africa (NERICA) ; * variétés rencontrées dans la zone d'étude

Ce sont des variétés ayant un cycle compris entre 95 et 120 jours avec des rendements en zone favorable de 3 à 7 tonnes à l'hectare. La vulgarisation de ces produits et leur adoption par les producteurs méritent d'être analysées. La réflexion sur l'introduction des variétés améliorées de riz comme le NERICA a été menée par bon nombre de chercheurs dans différents pays d'Afrique. Selon *DIAGNE et al. (2012)*, la résistance de la variété aux maladies et le cycle semis-maturité (cycle court) sont les principaux facteurs déterminants de leur adoption par les producteurs en Afrique. Si la qualité des semences améliorées est un facteur incitateur à leur adoption, l'accès à ces semences constitue le plus souvent une contrainte à leur utilisation. Pour *KINKINGNINHOUN-MEDAGBE et al. (2013)*, le contact avec les services de vulgarisation constitue une étape importante pour l'adoption des semences améliorées. *Investigant sur l'adoption des variétés de riz NERICA dans l'ouest du Burkina Faso, OUEDRAOGO et DAKUO (2017)* montrent que le genre, le niveau d'éducation, l'expérience en riziculture, l'accès aux crédits, la superficie cultivée en riz et la participation au test de sélection variétale sont des facteurs déterminants à la connaissance et à l'adoption des variétés NERICA.

Matériel, méthodes et description de la zone d'étude

L'étude a été menée dans la province du Ioba, l'une des provinces de la région Sud-Ouest du Burkina Faso. Cette région, dotée d'une pluviométrie relativement bonne, a des précipitations annuelles variant entre 900 et 1 200 mm ; avec une durée moyenne de la saison des pluies variant entre 140 et 170 jours (*DRABO et al., 2003 ; SP/CONEDD, 2010*). La saison des pluies s'installe timidement vers fin avril et atteint son apogée en juillet/août. La température moyenne annuelle est de 27,7 °C. Ces conditions climatiques, ajoutées à la relative bonne qualité des sols, font de Dano une zone propice aux activités agropastorales.

Afin de mieux examiner empiriquement les facteurs influençant les décisions des exploitants dans les bas-fonds, nous avons utilisé une approche mixte combinant des techniques de recherche quantitatives et qualitatives : discussions de groupe, enquêtes individuelles et interviews d'informateurs clés. Dix bas-fonds aménagés, situés dans quatre des huit communes que compte la province du Ioba, ont été sélectionnés. Ces bas-fonds ont été choisis de manière à couvrir au maximum la diversité des bas-fonds de la province : type d'aménagement, niveau de fonctionnalité ou de performance et position dans un bassin hydrographique (fig. 1). Les données ont été collectées entre mai et juin 2017. Au total, nous avons organisé une vingtaine de discussions de groupe (*focus group discussions*) et interrogé un échantillon de 99 producteurs de riz.

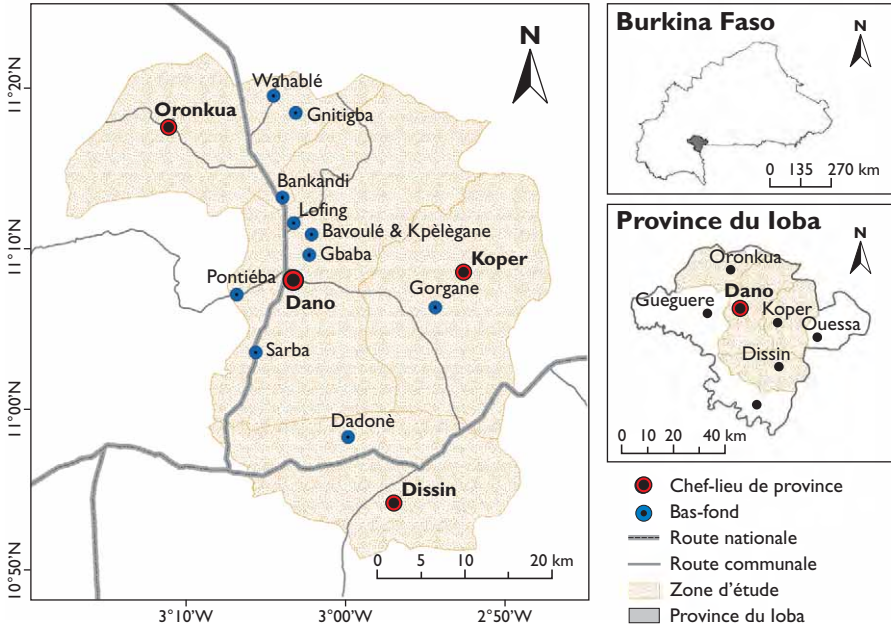


Figure 1.
Carte de la zone d'étude.

Résultats et discussion

Caractéristiques socioéconomiques des producteurs de riz des bas-fonds

Selon les résultats des enquêtes individuelles, les producteurs de riz dans les bas-fonds ont en moyenne 46 ans, et environ 57 % des producteurs interrogés sont des hommes. La taille moyenne des ménages est de 10 personnes et chaque répondant a en charge environ 8 personnes. Environ 48 % des personnes interrogées ne pouvaient ni lire ni écrire. La taille moyenne des parcelles par producteur dans les bas-fonds est de 0,25 ha. Environ 70 % des répondants ont des champs en hautes terres dont la taille est inférieure à 5 ha, avec une superficie moyenne d'environ 4 ha par producteur. De plus, 85 % des agriculteurs sont membres d'une organisation sociale.

Production de riz selon le genre

L'analyse de la production de riz selon le genre révèle un écart de rendement d'environ 897,74 kg /ha entre les parcelles exploitées par les hommes et celles exploitées par les femmes (tabl. 2). En effet, le rendement moyen du riz dans les parcelles exploitées par les hommes est significativement plus élevé que celui des parcelles

des femmes ; ce qui suggère donc l'existence d'un « effet de genre ». De l'avis des agents de vulgarisation agricole, cela est dû probablement au manque d'entretien, au faible temps de travail. De manière générale, les femmes ont obligation de s'occuper d'abord des parcelles de leur mari avant la leur. En outre, les parcelles des femmes sont moins dotées en engrais et en pesticides que celles des hommes, étant donné que les parcelles des maris sont prioritaires quant à l'application de ces engrais (subventionnés, donnés ou achetés). Tous ces facteurs réunis, combinés au manque de formation et d'accès aux services de vulgarisation, pourraient expliquer l'inégalité des rendements. Un résultat similaire a été obtenu par OKAM *et al.* (2016) au Nigeria. Selon ces auteurs, le rendement moyen du riz issu des parcelles des hommes est supérieur à celui des parcelles des femmes d'au moins 736,42 kg/ha.

Tableau 2.
Production de riz selon le genre.

	Femme	Homme	F-test	t-test	Welch's t-test
Superficie moyenne de riz (ha)	0,25	0,27	NSD	NSD	NA
Production moyenne (kg)	414,33	530,81	NSD	*	NA
Rendement moyen (kg/ha)	1 599,55	2 497,29	***	NA	**

Notes : ***, **, *, * = significatif à 1 %, 5 % et 10 %, respectivement ;
NSD = aucune différence significative ; NA = non applicable

Promotion des variétés améliorées

Dans le contexte de changement climatique avec son corollaire de baisse et d'irrégularité de la pluviométrie, des actions de résilience s'imposent. Les exploitants étant confrontés à des saisons pluvieuses de plus en plus courtes, l'utilisation de variétés améliorées permet de s'adapter aux caprices de la pluviométrie. Dans le domaine de la riziculture, des travaux d'amélioration variétale ont été menés par l'Institut de l'environnement et de recherche agricoles (INERA) et ont permis de créer plusieurs variétés, dont sept d'un nouveau type connues sous le nom de NERICA (*New Rice for Africa*). Des études, dont celles de NADIÉ (2008), ont montré que les variétés NERICA s'adaptent très bien aux conditions des bas-fonds et méritent d'être vulgarisées. Il en est de même, à quelques exceptions près, pour la variété TS2 introduite par la république de Chine - Taïwan. Ces variétés, en plus de s'adapter aux conditions du milieu des bas-fonds, ont un rendement satisfaisant. Dans la politique de mise en valeur des bas-fonds à travers leur aménagement, les différents projets intervenant dans la zone d'étude ont privilégié l'utilisation des semences améliorées. Les données récoltées sur le terrain ont révélé qu'une gamme variée de semences est utilisée par les exploitants (fig. 2). Il s'agit entre autres des variétés de riz comme la TS2, la FKR62, la FKR19, etc. Selon le graphique ci-dessous, la TS2 est adoptée par environ 63 % des exploitants interrogés, tandis que seulement 4 % des exploitants utilisent la FKR62. En plus des variétés améliorées, une poignée

de producteurs (environ 7 %) continuent à utiliser des variétés locales. Le graphique ci-dessous présente la proportion des répondants selon la variété de riz mise en culture (fig. 2 a) et selon le type de projet (fig. 2 b).

À la question de savoir ce qui pousse ces producteurs à privilégier une semence à une autre, les réponses des enquêtés laissent percevoir majoritairement un choix guidé par le rendement ou la durée du cycle de la variété utilisée. Ainsi, la plupart des producteurs utilisant les variétés améliorées affirment que ces variétés ont un cycle court, ce qui permet de s'adapter aux caprices de la pluviométrie (début tardif des pluies). Pour les utilisateurs des anciennes variétés, le choix se justifie par le faible pouvoir d'achat du producteur. Ces résultats permettent de dire que l'intervention des projets d'aménagement avec la promotion des variétés améliorées constitue un atout pour la réussite de la production agricole dans les bas-fonds.

En ce qui concerne la mise en culture des variétés dans les bas-fonds selon le type d'aménageur (fig. 2 b), dans tous les bas-fonds aménagés par la fondation Dreyer, seule la variété TS2 est produite. Cela est imposé par le promoteur (la fondation), qui ne rachète que la TS2. Cette situation présente un risque, car la monovariété est porteuse de risques biologiques. En effet, l'homogénéité favorise la virulence des agresseurs microbiens ou invertébrés (SERPANTIÉ *et al.*, 2016). Dans les autres bas-fonds, contrairement à ceux aménagés par la fondation Dreyer, les producteurs disposent d'une certaine flexibilité dans le choix des variétés. L'étude révèle que dans les bas-fonds aménagés par PABSO, environ 66 % des producteurs utilisent la TS 2, 28 % portent leur choix sur la NERICA FKR 62, contre 3 % des producteurs qui déclarent cultiver la FKR 19. Dans les bas-fonds mis en valeur par l'ONG italienne

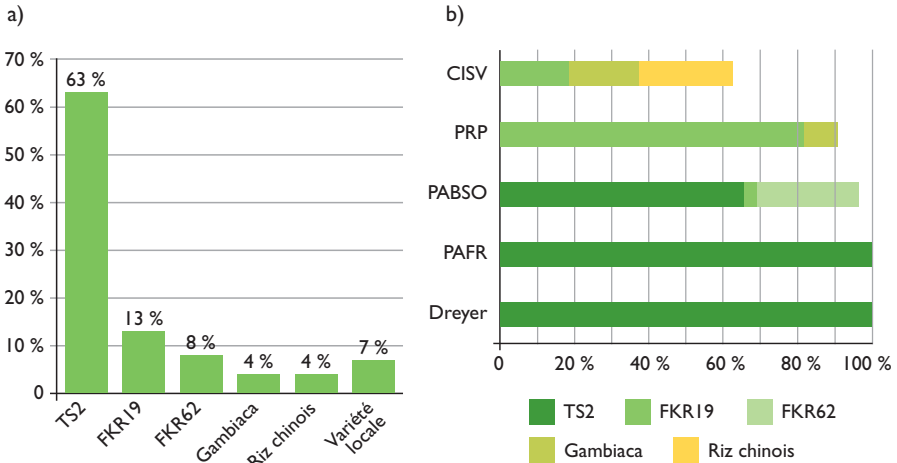


Figure 2.

Variétés de riz mises en culture dans les bas-fonds aménagés (a) et selon le type d'aménageur (b).

CISV : ONG italienne *Comunità Impegno Servizio Volontariata* ; PRP : *Projet Riz pluvial* ; PABSO : *Programme d'aménagement des bas-fonds dans le Sud-Ouest et la Sissili* ; PAFR : *Plan d'actions pour la filière riz*.

« Comunità Impegno Servizio Volontariata » (CISV), il ressort de l'étude que trois types de variétés sont cultivés, il s'agit de la FKR 19 (19 %), de la Gambiaca (19 %) et de la variété « riz chinois » (25 %). Par ailleurs, 37 % des producteurs utilisent toujours la variété locale.

Adoption des variétés par type de producteur

Les exploitants ont été regroupés en trois catégories (petites, moyennes et grandes exploitations), en fonction de la superficie de l'exploitation en hautes terres (respectivement moins de 3 ha, entre 3 et 6 ha et plus). Le graphique ci-dessous montre que l'utilisation des semences améliorées diffère selon le type d'exploitant. Ainsi, l'on constate une forte adoption de la TS 2 par les petits (77 %) et moyens producteurs (70 %), tandis que seulement 39 % des grands exploitants ont adopté cette variété. *A contrario*, environ 50 % des grands exploitants ont une préférence tournée vers les autres variétés, notamment la FKR 62 N. Pendant les discussions de groupe à Dadoné, les producteurs ont affirmé que le choix de la variété cultivée dans leur bas-fond a été motivé par le goût. En effet, avant l'adoption de cette variété, les producteurs ont été soumis à un test gustatif sur plusieurs variétés cuisinées pour la circonstance. C'est à l'issue de ce test que les producteurs ont convenu d'adopter cette variété, jugée plus douce que les autres.

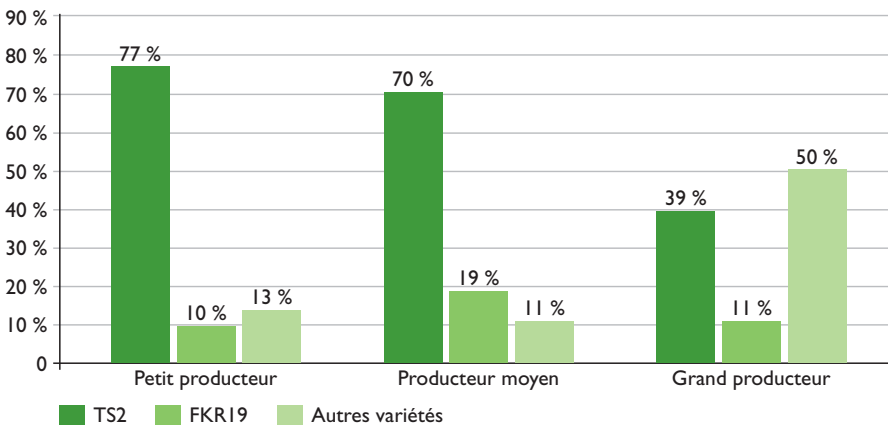


Figure 3.
Adoption des variétés par type de producteur.

Estimation économétrique

Comme indiqué plus haut, cinq variétés sont utilisées par les exploitants dans les dix bas-fonds enquêtés. Il s'agit de la FKR 19, de la TS 2, de la FKR 62 N (une espèce du NERICA), du gambiaca (une variété non homologuée au Burkina Faso) et d'une variété non identifiée par les producteurs et communément appelée « riz chinois ».

Seules la TS 2 et la FKR 19 ont été adoptées par au moins 10 % des enquêtés (fig. 2). Par conséquent, dans le modèle économétrique, nous avons retenu comme variables dépendantes l'adoption de la TS 2, de la FKR 19 et « Autres variétés », regroupant les variétés FKR 62 N, le gambiaca et la variété « riz chinois », dont le taux d'adoption individuel est inférieur à 10 %. Ces différentes variables dépendantes sont des variables binaires (0/1) indiquant l'adoption ou la non-adoption de la variété correspondante. Les résultats présentés dans le tableau 3 révèlent également l'existence d'un « effet du genre » dans les comportements des producteurs vis-à-vis des variétés TS 2 et FKR 19. En effet, de façon globale, la TS 2 a moins de chances d'être produite dans les parcelles appartenant aux hommes ; *a contrario*, les femmes sont moins susceptibles d'adopter la FKR 19. Les résultats indiquent en outre que les producteurs plus âgés ont davantage tendance à adopter la FKR 19, tandis que les producteurs plus jeunes sont plus susceptibles de produire la TS 2. Il ressort de cette analyse que les exploitants ayant beaucoup plus de personnes à charge sont moins susceptibles de produire la TS 2. Similairement aux résultats précédents (fig. 3), l'analyse des résultats du modèle probit multivarié révèle que comparés aux petits exploitants, les moyens exploitants ont moins tendance à produire les « Autres variétés ».

Tableau 3.
Résultats du modèle probit multivarié.

Variables	TS 2		FKR 19		Autres Variétés	
	Coef.	Std. Err.	Coef.	Std. Err.	Coef.	Std. Err.
Sexe	- 1,654***	0,454	3,229*	2,013	0,594	0,483
Âge	- 0,026**	0,013	0,045**	0,018	- 0,004	0,016
Charge	- 0,069*	0,042	0,036	0,039	0,036	0,036
Adhésion	0,324	0,356	-0,162	0,403	0,012	0,377
Superficie	- 0,156	0,510	1,343	0,937	- 1,376	1,929
Producteur Moyen	0,500	0,444	0,099	0,550	- 1,036*	0,603
Grand producteur	0,091	0,525	- 0,793	0,638	0,050	0,584
Constant	2,920***	0,920	- 6,509**	2,799	- 1,003	1,010

Conclusions, recommandations et limites de l'étude

Cette étude a exploré les facteurs qui influent sur les décisions de production des agriculteurs dans les bas-fonds. Des statistiques descriptives ont été utilisées pour analyser les caractéristiques socioéconomiques des agriculteurs, tandis que l'effet

des facteurs socioéconomiques sur l'adoption des variétés améliorées de riz dans les bas-fonds a été déterminé à l'aide d'un modèle probit multivarié. L'analyse statistique des résultats par sexe révèle un écart de rendement entre les parcelles exploitées par les hommes et celles mise en valeur par les femmes. L'étude a également révélé que l'adoption des semences améliorées varie selon la taille de l'exploitation : si les petits et moyens exploitants ont une préférence tournée vers la TS 2, la majorité des grands exploitants ont adopté la FKR 62 N. Les résultats de la régression économétrique montrent que quatre variables influencent significativement l'adoption des variétés améliorées de riz dans les bas-fonds étudiés : l'âge de l'exploitant, son genre, le nombre de personnes à charge et la taille de l'exploitation. Les résultats de cette étude devront être interprétés selon un certain nombre de limites : l'une des limitations concerne les méthodes de collecte de données utilisées (données transversales et auto-déclarées), l'utilisation de ces données pouvant avoir conduit à une surestimation des relations considérées. De même, le modèle multivarié a omis de prendre en compte l'effet de certains facteurs clés tels que la résistance de la variété aux maladies, le cycle de la variété, semis-maturité, l'accès aux services de vulgarisation et aux crédits agricoles. Ainsi, davantage de recherches intégrant l'évaluation physique de la production peuvent fournir des indications supplémentaires sur les facteurs de production et de consommation de riz dans les bas-fonds.

Références

DAMA - BALIMA M. M., 2013

Aménagement des bas-fonds au Burkina Faso : opportunités pour l'amélioration des conditions de vie des femmes rurales. *Rev. Géographie Université Ouagadougou*. Consultable : http://rgoburkina.org/wp-content/uploads/2015/11/3-TAP_11_DAMA_BALIMA.pdf.

DIAGNE A. et al., 2012

The impact of adoption of NERICA rice varieties in West Africa. *In SPIA*, Pre-conference workshop.

DRABO I., ILBOUDO F., TALLET B., 2003

Dynamique des populations, disponibilités en terres et adaptation des régimes fonciers: le Burkina Faso, une étude de cas. J.-Y. Marchal (éd.) CICRED (Comité international de coopération dans les recherches nationales en démographie), Ouagadougou, Burkina Faso, 115 p. Consultable : <http://www.cicred.org/Eng/Publications/pdf/MonoBurkina.pdf>.

FAO, 2009

Analyse de la compétitivité de la filière riz local au Burkina Faso. Consultable : http://www.passip.org/pdf/etudes/Analyse_Economique_Trois_Chaines_Valeurs_Riz_2009.pdf.

FAO, 2014

Analyse des incitations par les prix pour le riz au Burkina Faso. *Sér. Notes Tech.*, SAPAA.

GUISSOU R., ILBOUDO F., 2012

Analyse des incitations et pénalisations pour le riz au Burkina Faso. *Sér. Notes Tech.*, SPAAA ,FAO, Rome, 44.

KINKINGNINHOUN-MEDAGBE F. M.,

DIAGNE A., BONOU A., SECK P. A.,

AMOVIN-ASSAGBA E., 2013

Problématique semencière dans la riziculture africaine : accès et demande des semences améliorées par les producteurs et perspectives pour améliorer le système, (309-2016-5306), 17. doi:10.22004/ag.econ.161293

MAAH/DGPER, 2016

Stratégie de développement des filières agricoles au Burkina Faso.
Ministère de l'Agriculture et des Aménagements hydrauliques (MAAH), Direction générale de la promotion de l'économie rurale (DGPER), Ouagadougou, Burkina Faso.

NADIÉ G., 2008

Évaluation multilocale de nouvelles variétés de riz en conditions de bas-fonds et irriguées de l'ouest du Burkina Faso.
Mémoire de fin de cycle en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur en développement rural, 83 p.

OKAM C., YUSUF O., ABDULRAHMAN S., SULEIMAN A., 2016

Comparative analysis of profitability of rice production among men and women farmers in Ebonyi State, Nigeria.
Asian J. Agric. Ext. Econ. Sociol., 10 : 1-7.

OUÉDRAOGO M., DAKOUO D., 2017

Évaluation de l'adoption des variétés de riz NERICA dans l'ouest du Burkina Faso.
Afr. J. Agric. Resour. Econ., 12.

PALE S., DA D. E. C., 2016

Traditional Lowlands Water Management in Dano, South-Western Burkina Faso.
J. Water Resour. Prot., 08, 425. Consultable : <http://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=65434&#abstract>

SERPANTIÉ G., FUSILLIER J. L., LIDON B., TOROU B., YAMÉOGO B. T., 2016

Programme GENERIA-AGRICORA. Terrain Burkina : « Nouveaux risques et nouvelles opportunités des bas-fonds soudaniens », tournée de reconnaissance sur les bas-fonds agricoles du sud-ouest du Burkina.

SP/CONEDD, 2010

Troisième Rapport sur l'état de l'environnement au Burkina (REEB3). Secrétariat permanent du Conseil national de l'Environnement et du Développement durable (SP/CONEDD), Ouagadougou, Burkina Faso.

YAMÉOGO T. et al., 2018

Socio-Economic Factors Influencing Small-Scale Farmers' Market Participation: Case of Rice Producers in Dano.
Sustainability, 10 : 43-54.

L'aménagement de bas-fonds en diguettes sur courbes de niveau Défis posés à l'implantation dans la région Sud-Ouest du Burkina Faso

Yacouba YIRA, Aymar Y. BOSSA,
Jean HOUNKPÈ, Thomas YAMÉOGO, Bio M. TOROU

Introduction

Les bas-fonds représentent un grand potentiel pour l'intensification et la production durable du riz en Afrique de l'Ouest (ANDRIESSE *et al.*, 1994). Il est par ailleurs admis qu'une grande partie de la demande croissante de riz en Afrique de l'Ouest sera satisfaite par la production dans les bas-fonds, qui sont nombreux et relativement robustes en ce qui concerne l'intensification des cultures (BECKER et JOHNSON, 2001) et l'adaptation au changement et à la variabilité climatiques (SINTONDI *et al.*, 2016). Cependant, les performances de la production de riz dans les bas-fonds restent toujours en deçà des attentes (HAEFELE *et al.*, 2003), en raison de multiples contraintes (GIERTZ *et al.*, 2012 ; TOTIN *et al.*, 2012).

De nombreux bas-fonds aménagés sont sous-utilisés ou ont été simplement abandonnés du fait de ces contraintes (RODENBURG, 2013). Ces échecs sont souvent liés à la défektivité des infrastructures résultant d'une mauvaise conception et/ou implantation (DIAGBA *et al.*, 2014). Depuis plus de deux décennies, les aménagements de bas-fonds en Afrique de l'Ouest procèdent quasi systématiquement d'une démarche participative, associant les communautés bénéficiaires à la conception et à la réalisation de l'ouvrage (LIDON *et al.*, 1998). Le choix du type d'aménagement est basé sur son adéquation aussi bien avec les caractéristiques physiques du site qu'avec le contexte socioéconomique. La détermination de cette adéquation s'opère grâce à des indicateurs aux complexités de mesure variables.

Les indicateurs simples, ceux qui sont mesurables sur le terrain, ne constituent guère de grands défis techniques *per se*. Les difficultés en ce qui concerne ces indicateurs

porteront éventuellement sur leur intégration dans la conception de l'aménagement ; étant entendu qu'aménager un bas-fond suivant un *type* consiste à en adapter les standards aux conditions techniques et socioéconomiques du site (LIDON *et al.*, 1998). Pour les indicateurs dits « complexes », leur détermination pose des défis aussi bien d'ordre technique que pratique, comme cela a été révélé par des observations réalisées sur des bas-fonds aménagés en DCN dans la région Sud-Ouest du Burkina Faso. Les aménagements en DCN s'imposant actuellement comme type de référence au niveau national et dans la région Sud-Ouest, il s'avère nécessaire, au vu des difficultés observées dans la mise en œuvre de ce type d'aménagement dans la région, de déceler les écueils liés à son exécution dans le contexte qui est celui du Burkina Faso. Le présent travail, après avoir rappelé les prérequis de l'aménagement de bas-fond en DCN, met en lumière les difficultés (physiques) de sa mise en œuvre dans un contexte de rareté de données en partant du cas de Bankandi, avant de dégager des perspectives à même de guider l'actuelle tendance en matière d'aménagement de bas-fonds.

Principe de l'aménagement en DCN

La description des aménagements de bas-fond en DCN fournie par OOSTERBAAN *et al.* (1986) et LIDON *et al.* (1998) se prête bien à la région du Sud-Ouest du Burkina Faso. Ils définissent un aménagement en DCN comme étant composé de diguettes posées à travers la vallée, suivant les courbes de niveau. Les diguettes sont faites de terre compactée recouverte ou pas de géotextile protégé par des moellons. L'aménagement en DCN est assez répandu du fait des nombreux avantages qu'il offre (tabl. 1). Le drainage des eaux dans ce type d'aménagement demeure cependant une contrainte majeure, car d'une part il nécessite une coordination entre parcelles, et d'autre part il peut impliquer de disposer d'un ouvrage de déversement. L'essentiel des indicateurs physiques d'adéquation d'un bas-fond pour un aménagement en DCN est résumé dans le tableau 2.

Tableau 1.
Potentiels avantages et inconvénients des aménagements en DCN
(adapté de Oosterbaan *et al.*, 1986).

Avantages	Inconvénients
Conservation d'eau entre les diguettes permettant de faire face aux poches de sécheresse	Érosion à l'aval des diguettes et des puits
Élargissement de la zone exploitable avec l'étalement de la lame d'eau aux versants	Réduction de la zone exploitable liée à la présence des diguettes
Réduction des pics d'écoulement en aval du bas-fond par le stockage d'eau dans le bas-fond	Réallocation des parcelles
Contrôle partiel de la lame d'eau entre diguettes grâce au puits	Coordination du drainage des parcelles situées entre deux diguettes et entre diguettes successives

Tableau 2.
Indicateurs d'adéquation d'un bas-fond à l'aménagement en diguettes sur courbes de niveau
(adapté de Lidon et al., 1998).

Indicateurs	Diguettes déversantes en courbes de niveau	Diguettes déversantes en courbes de niveau avec ouvrage de déversement
Perméabilité des sols (ms^{-1})	$< 10^{-4}$	$< 10^{-4}$
Pente longitudinale (%)	< 1	< 1
Axe d'écoulement	Pas d'axe d'écoulement	Avec ou sans axe d'écoulement marqué
Débit de crue (l/s par mètre linéaire de largeur du bas-fond)	≤ 3	25

Défis de mise en œuvre des DCN

Dans le cadre du projet Generia, une enquête a été menée sur une dizaine de bas-fonds (dont sept aménagés en DCN) dans l'objectif de déceler les problèmes vécus par les producteurs dans leur mise en valeur. Parmi ces bas-fonds aménagés en DCN, quatre enregistraient des problèmes d'engorgement. Les exploitants relient cet engorgement à un mauvais emplacement des pertuis. Cette enquête a également révélé que le problème d'engorgement a été souvent observé après des années de mise en valeur du bas-fond. À partir de cette perception des exploitants sur les bas-fonds aménagés en DCN, deux hypothèses à même d'expliquer ce problème récurrent ont été formulées : (1) un dysfonctionnement résultant d'un changement des conditions hydro-climatiques des bas-fonds ; et (2) des malfaçons dans le dimensionnement et l'implémentation des ouvrages. Ces hypothèses ont ainsi été testées sur le bas-fond de Bankandi.

Le bas-fond de Bankandi

Le bas-fond de Bankandi est situé dans la province du Ioba, au sud-ouest du Burkina Faso (fig. 1). Il couvre environ 25 ha et a été aménagé en 2006 afin d'intensifier la production de riz. Il est aménagé en DCN munis de pertuis de vidange (fig. 1 d). Les diguettes sont faites de terre compactée, recouverte de géotextile et protégée par des moellons. Chaque diguette est équipée de 2 à 3 pertuis de drainage. Le bassin versant du bas-fond est d'environ 23 km² avec une pente moyenne de 6 %. La température moyenne annuelle est de 28,6 °C et les précipitations annuelles moyennes sont de 899 mm (1990-2015). Les types de sols rencontrés au sein du bas-fond appartiennent aux catégories *Haplic gleysols* (82 %) et *Haplic Plinthosol* (18 %) (HOUNKPATIN, 2017).

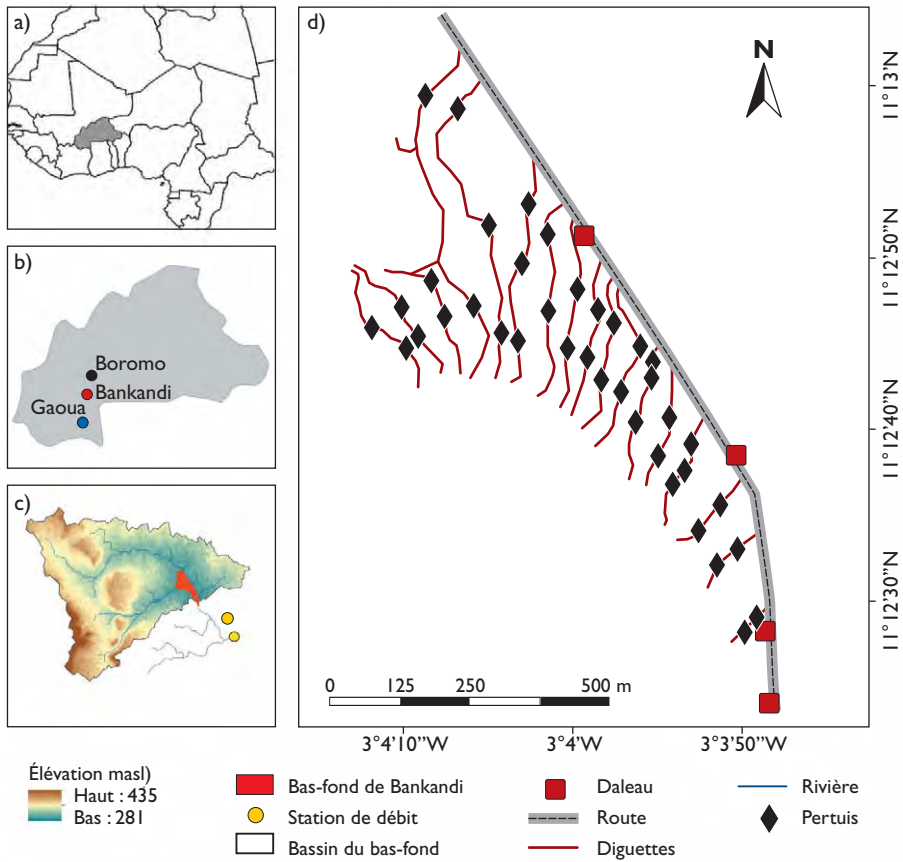


Figure 1.
 Description et localisation du bas-fond de Bankandi.
 a) Le Burkina Faso en Afrique de l'Ouest ;
 b) Bankandi au Burkina Faso ;
 c) bassin du bas-fond ;
 d) aménagement du bas-fond.

Méthodologie

ANALYSE DES CONDITIONS HYDROCLIMATIQUES ET DE LEUR ÉVOLUTION DANS LE TEMPS

L'évolution des conditions hydroclimatiques peut introduire de la non-stationnarité dans le régime hydrologique d'un bas-fond et de sa zone de drainage (XIONG *et al.*, 2018). Ce changement peut entraîner une augmentation des afflux d'eau dans le bas-fond, engendrant un problème d'inondation ou d'engorgement jadis inexistant. Afin de relier ou de dissocier le problème d'engorgement du bas-fond à un changement de conditions hydroclimatiques (précipitations et débit), le modèle hydrologique conceptuel HBV (SEIBERT et VIS, 2012) a été calé et les débits historiques du bas-fond

généérés pour l'analyse des conditions hydrologiques. Des tests, notamment celui de Pettit et Buishand (BOYER, 2002) pour la détection de ruptures de série et celui de Mann-Kendall (SALMI *et al.*, 2002) pour l'estimation des tendances, ont été utilisés pour cette analyse des conditions hydroclimatiques historiques de la zone d'étude.

DIAGNOSTIC DE LA CONCEPTION ET DE L'IMPLANTATION DES OUVRAGES DE L'AMÉNAGEMENT

Un modèle numérique de terrain (MNT) dérivé de levés topographiques a été utilisé comme référence en vue d'évaluer la précision de l'emplacement des pertuis de vidange et des diguettes en courbe de niveau tels qu'implantés dans le bas-fond de Bankandi. L'étude topographique a été réalisée avec un GPS-Différentiel (Promak D-GPS) et l'outil « hydrologie » (ArcGIS) a été utilisé pour générer le réseau hydrographique (chemins d'écoulement) du bas-fond. Les intersections entre courbes de niveau et chemins d'écoulement permettent de générer les emplacements des pertuis assurant un drainage optimal. Ces pertuis ainsi générés ont été comparés avec ceux actuellement implantés afin d'analyser la précision de leur emplacement ainsi que leur nombre.

Résultats

LES CONDITIONS HYDROCLIMATIQUES DU BAS-FOND DE BANKANDI ET LEUR ÉVOLUTION DANS LE TEMPS

Le modèle hydrologique s'est vite révélé capable de reproduire les débits observés à l'aval du bas-fond (les coefficients NSE, KGE et R^2 étaient tous supérieurs à 0,7 aussi bien en phase de calibration que de validation, fig. 2). Le modèle validé a servi à générer les débits de la période 1970-2017 (fig. 3). Rappelons que le bas-fond fut aménagé en 2006 et que le problème d'engorgement serait survenu dans le courant de l'année 2008. L'observation des débits historiques ainsi générés montre une forte variabilité interannuelle. Aucun changement apparent n'est observable entre les débits avant et après l'année d'aménagement du bas-fond (2006). Cela est confirmé par le test de Pettit et Buishand qui n'a détecté aucune rupture dans les séries chronologiques de débit et de précipitations ($\alpha = 0,05$). Le test de Mann-Kendall a montré

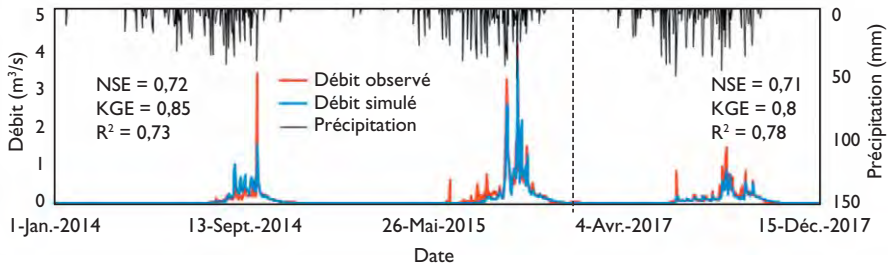


Figure 2.

Débits observés et simulés à l'aval du bas-fond de Bankandi en calibration (2014-2015) et validation (2017).

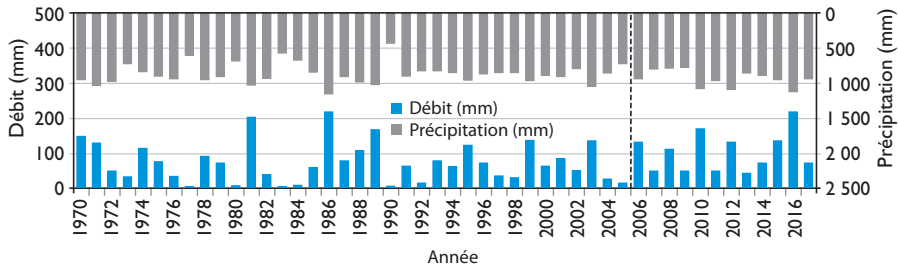


Figure 3.

Pluie et débit à l'aval du bas-fond sur la période 1970-2017.

une tendance positive entre 1970 et 2017, mais cette tendance s'avère non significative ($\alpha = 0,05$) aussi bien pour les débits que pour les précipitations. Précipitations et débits de la zone de drainage du bas-fond sont donc restés assez semblables avant et après son aménagement.

CONCEPTION ET IMPLANTATION DES OUVRAGES DE L'AMÉNAGEMENT

Les jonctions entre diguettes et chemins d'écoulement conduisent à générer 49 pertuis, contre 38 effectivement implantés. L'étude topographique a très vite révélé que les diguettes de l'aménagement de Bankandi ne sont pas rigoureusement implémentées sur des courbes de niveau (des différences d'élévation entre sections d'une même courbe de niveau sont notées). Par ailleurs, les pertuis de vidange ne sont pas situés sur les chemins d'écoulement, alors que le planage n'est pas apparent dans le

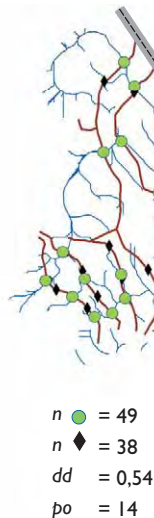


Figure 4.

Comparaison entre pertuis implantés sur le terrain (noir) et pertuis suggérés par le modèle numérique de terrain (vert).

bas-fond. De plus, des débits atteignant 7 m³/s sont souvent enregistrés à l'aval du bas-fond ; ce qui correspond à un débit de crue par mètre linéaire de largeur du bas-fond de 1 346 et 112 l/s respectivement pour la diguette la plus courte et la plus longue de l'aménagement. Soit plus de 4 fois l'indicateur de crue décennale pour un aménagement en DCN.

DÉFIS RENCONTRÉS

Plusieurs problèmes liés à la mise en œuvre des aménagements en DCN ont pu être observés. Ils ont tous essentiellement pour origine la volonté d'aménager *vite et à moindre coût*. Il en découle que les études hydrologiques « pré-aménagement » ne sont que très sommaires ou simplement pas réalisées. La résultante majeure est sans conteste l'incapacité à déterminer la crue décennale et le respect de l'indicateur d'adéquation lié à cette crue décennale. Ce problème vient surtout du fait que les bassins versants de petite taille ne sont en général pas jaugés, alors qu'ils représentent le type de bas-fonds qui se prête à l'aménagement en DCN. La non-prise en compte de cet indicateur entraîne, comme constaté sur le terrain, une forte érosion à l'aval aussi bien des diguettes que des ouvrages de déversement.

L'autre défi lié à l'aménagement en DCN dans la région est la topographie complexe des bas-fonds. L'exploitation traditionnelle des bas-fonds dans la région se faisait par confection de buttes sur lesquelles étaient produits des céréales et des légumes. Le riz était cultivé dans les inter-buttes et des casiers. Les buttes occupent en général une part importante du bas-fond, d'où cette topographie complexe des bas-fonds constituée de parcelles en buttes, de parcelles non exploitées, de casiers et de bosquets ; cela rend les levés topographiques particulièrement complexes. De là résultent les malfaçons dans le tracé des courbes de niveau.

Deux types de confection de diguettes en courbes de niveau sont actuellement observés dans la région : (1) les diguettes faites de terre compactée simple ; et (2) celles en terre compactée recouverte de géotextile et enrochée. La durée d'exploitation est réputée plus longue pour les secondes. Les contraintes de maintenance sont assez différentes pour ces deux types de diguette. Les diguettes en terre compactée simple nécessitent un entretien régulier tout au long de la saison de production. Les entretiens et réfections sont cependant réalisables et sont pris en charge par les exploitants des bas-fonds. Les diguettes en terre compactée recouverte de géotextile et enrochée ne nécessitent pratiquement pas d'entretien, ce qui explique le choix presque généralisé d'aller vers ce type de diguette. Le problème étant, en cas de besoin de réfection de sections endommagées d'une diguette de ce type, l'incapacité des exploitants à prendre en main une telle activité.

Conclusion et perspectives

Le succès dans la conception et l'implantation d'un aménagement de bas-fond exige un respect strict des principes qui gouvernent chaque type d'aménagement. Il existe fort

heureusement plusieurs outils de soutien éprouvés à l'aménagement des bas-fonds en DCN en Afrique de l'Ouest. Au regard des contraintes rencontrées sur l'échantillon de bas-fonds aménagés en DCN enquêté dans le cadre du projet Generia, le problème d'engorgement apparaît le plus récurrent. Malgré une forte variabilité interannuelle des conditions hydroclimatiques, il s'avère sur la base de l'étude du cas de Bankandi que cette variabilité ne saurait expliquer ce problème. Le cas de Bankandi révèle par contre, d'une part, des manquements dans le respect des indicateurs d'adéquation du site au type DCN et, d'autre part, des malfaçons dans l'implantation des diguettes. L'ensemble de ces manquements peut être évité par la conduite d'une étude hydrologique d'avant aménagement.

Cependant, il existe des défis objectifs de mise en œuvre d'aménagements de bas-fond en DCN dans la région. Il s'agit notamment du non-jaugeage des bassins versants de petite taille, de la topographie complexe des bas-fonds et de la faible capacité de prise en charge de la maintenance des diguettes en terre compactée renforcée. Les deux derniers défis peuvent être respectivement surmontés par la réalisation d'un modèle numérique de terrain précis du bas-fond et par le renforcement de capacités des exploitants sur la maintenance des ouvrages. Pour le premier défi, les solutions qui peuvent être explorées incluent : (1) une fois les sites potentiels sélectionnés, d'observer une période de mesure de débit avant l'implantation de l'aménagement. Et sur la base de ces observations et au moyen d'approches diverses, d'estimer la crue décennale et de déterminer ainsi l'adéquation du site avec l'aménagement ; (2) en se basant sur le savoir et les observations des exploitants, de déterminer pour une section amont bien marquée du bas-fond les hauteurs d'eau maximales observées et ainsi estimer la crue décennale au moyen de formules empiriques. Cette approche, aux résultats *a priori* très approximatifs, est celle utilisée pour les aménagements des bas-fonds en casier-arroseurs-drains (CAD) dans la région. Le constat établi atteste d'un certain succès de cette approche pour les aménagements CAD.

Références

- ANDRIESE W., FRESCO L. O., VAN DUIVENBOODEN N., WINDMEIJER P. N., 1994**
Multi-scale characterization of inland valley agro-ecosystems in West Africa. *NIAS Wageningen journal of life sciences*, 42 : 159-179.
- BECKER M., JOHNSON D. E., 2001**
Improved water control and crop management effects on lowland rice productivity in West Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 59 : 119-127.
- BOYER J. F., 2002**
Chronostat software for statistical analysis of time series. IRD UR2, Program 21.
- DJAGBA J. F., RODENBURG J., ZWART S. J., HOUNDAGBA C. J., KIEPE P., 2014**
Failure and Success Factors of Irrigation System Developments: A Case Study from the Ouémé and Zou Valleys in Benin. *Irrig. and Drain.*, 63 : 328-339.

**GIERTZ S., STEUP G.,
SCHÖNBRODT S., 2012**

Use and constraints on the use of inland valley ecosystems in central Benin: Results from an inland valley survey. *Erdkunde*, 66 : 239-253.

**HAEFELE S. M.,
WOPERIS M. C. S., NDIAYE M. K.,
KROPFF M. J., 2003**

A framework to improve fertilizer recommendations for irrigated rice in West Africa. *Agricultural Systems*, 76 : 313-335.

HOUNKPATIN O. K. L., 2017
Digital soil mapping using survey data and soil organic carbon dynamics in semi-arid Burkina Faso.

PhD Thesis, University of Bonn, Bonn, Germany.

**LIDON B., LEGOUIL J.-C.,
BLANCHET F., SIMPARA M.,
SANOGO I., 1998**

Le diagnostic rapide de pré-aménagement (Diarpa) : Un outil d'aide à l'aménagement des zones de bas-fonds. *Agriculture et développement*, 20 : 61-80.

LANÇON F., ERENSTEIN O., 2002
« Potential and prospects for rice production in West Africa ».

In : Sub-Regional Workshop on Harmonization of Policies and Co-Ordination of Programmes on Rice in the ECOWAS Sub-Region, Accra, Ghana : 5-6.

**OOSTERBAAN R. J., GUNNEWEG H. A.,
HUIZING A., 1986**

« Water control for rice cultivation in small valleys of West Africa ».

In : Annual Report, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI) : 30-49.

RODENBURG J., 2013

« Inland valleys:

Africa's future food baskets ».

In : Realizing Africa's Rice Promise, CAB International, Wallingford, UK : 276-293.

**SALMI T., MÄÄTTÄ A., PIA A.,
TUJJA R.-A., AMNEL T., 2002**

Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates - the Excel template application MAKESENS.

Finnish Meteorological Institute, Helsinki.

SEIBERT J., VIS M. J. P., 2012

Teaching hydrological modeling with a user-friendly catchment-runoff-model software package.

Hydrol. Earth Syst. Sci., 16 : 3315-3325.

**SINTONDI L. O., HUAT J., DOSSOU-YOVO E.,
FUSILLIER J. L., AGBOSSOU E., DJAGBA J.,
GBAGUIDI F., 2016**

Lessons withdrawn from the diversity of inland valleys cultivation at a regional scale: A case study of Mono and Couffo departments in south Benin.

SRE, 11 : 221-229.

**TOTIN E., VAN MIERLO B., SAÏDOU A.,
MONGBO R., AGBOSSOU E.,
STROOSNIJDER L., LEEUWIS C., 2012**

Barriers and opportunities for innovation in rice production in the inland valleys of Benin.

NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences [Diagnosing the scope for innovation: Linking smallholder practices and institutional context], 60 : 57-66.

**XIONG B., XIONG L., CHEN J.,
XU C.-Y., LI L., 2018**

Multiple causes of nonstationarity in the Weihe annual low-flow series.

Hydrol. Earth Syst. Sci., 22 : 1525-1542.

Les défis de l'organisation des producteurs de bas-fonds aménagés et de l'insertion dans une filière riz (Province du Ioba, Burkina Faso)

Jean-Louis FUSILLIER,
Mariam Myriam DAMA BALIMA,
Sandrine TRAORÉ

Introduction

Les bas-fonds et petites plaines inondables bordant des cours d'eau saisonniers constituent, dans les régions soudano-sahéliennes soumises à une grande variabilité climatique, un milieu de plus en plus attractif pour l'agriculture car il concentre les ressources en eau et les sols y sont plus fertiles (WINDMEIJER *et al.*, 2002). Dans les années 1970 et 1980, l'apparition des grandes sécheresses a conduit à une attention particulière pour la mise en valeur de ces zones plus humides. De nombreux projets d'aménagement des bas-fonds ont alors été lancés afin de sécuriser des cultures vivrières face aux aléas climatiques (JAMIN, 1998). Dans les années 2000, les bas-fonds ont fait l'objet d'un intérêt renouvelé pour développer une riziculture plus intensive et réduire ainsi la dépendance à l'égard des importations. En effet, le riz est devenu au Burkina Faso un aliment de base dans les villes dont les trois quarts de l'approvisionnement sont assurés par les importations. La crise sur le marché international du riz de 2008 a souligné la vulnérabilité de l'approvisionnement des villes et la nécessité de développer une production locale pour la sécurité alimentaire. Dans le même temps, le dynamisme du marché domestique du riz fait de cette culture une opportunité économique d'intérêt pour des producteurs agricoles souvent en manque de débouchés solvables et sécurisés. Le riz est ainsi devenu également un levier de développement rural. Compte tenu des potentialités limitées du pays pour le développement de la grande irrigation en plaine alluviale ou de la riziculture pluviale, l'aménagement des bas-fonds constitue une composante majeure de la politique publique de promotion de la riziculture. Des années 1970 à 2015, les

projets d'aménagement de bas-fonds ont touché au Burkina une surface d'environ 40 000 ha (FAO, 2016), ce qui représente plus de deux fois la surface aménagée pour la riziculture irriguée en maîtrise totale de l'eau.

Les aménagements de bas-fonds mis en œuvre par des projets étatiques ou des ONG consistent à réaliser des ouvrages hydrauliques sommaires, principalement des diguettes en courbes de niveau, en terre ou enrochées. Les projets s'adressent à des collectifs, généralement à une échelle villageoise. Ils comportent donc également un volet d'organisation des producteurs bénéficiaires qui doivent se structurer en groupement afin d'assurer l'interface avec l'opérateur aménageur et de gérer ultérieurement l'aménagement et d'éventuels services pour l'approvisionnement en intrants ou la collecte des produits.

Ce chapitre analyse les conditions de mise en place et de fonctionnement des groupements de producteurs de bas-fonds rizicoles aménagés dans la province du Ioba dans la région Sud-Ouest. Cette province, richement dotée en bas-fonds, a reçu près d'une centaine de projets d'aménagements avec divers opérateurs des années 2000 à 2016. Elle est également le siège de deux opérateurs riziers qui souhaitent développer une filière riz intégrée basée sur une association avec des « groupements bas-fonds » selon un modèle de type coopératif. Dans quelle mesure ces formes d'organisation en groupements, issues d'initiatives externes, projets étatiques ou ONG, peuvent-elles être appropriées par les communautés villageoises ? Sur quels services peuvent-elles durablement se positionner ? Quelles sont leurs perspectives d'insertion comme acteurs de base d'une filière riz intégrée ? On discutera ici de ces questions majeures pour l'accompagnement des projets d'aménagement de bas-fonds.

Cadre d'analyse : gouvernance des biens communs et des chaînes de valeur

Les projets d'aménagement hydraulique basés sur des petites unités familiales, que ce soit en grand périmètre irrigué public ou petit périmètre villageois, y compris à maîtrise partielle de l'eau comme dans les bas-fonds, accordent depuis longtemps, avec les principes de transfert de gestion aux usagers, une place importante à l'organisation collective des producteurs (KUPER *et al.*, 2009). Les modalités de ces actions collectives peuvent être analysées selon deux cadres conceptuels. Celui de la gestion des biens communs (OSTROM, 1992), appliqué en particulier à l'irrigation, traite des règles et arrangements formels ou informels de gestion collective. L'injonction faite aux groupements de producteurs de s'insérer dans les filières de production, du riz en l'occurrence, nous conduit à compléter le cadre d'Ostrom par une approche économique. On utilisera à cette fin le cadre de la gouvernance des

chaînes de valeur (PORTER, 1982 ; GEREFFI *et al.*, , 2005), ou filières de production. Ce dernier s'intéresse aux liens entre le pilotage de la fourniture d'un produit, notamment sa qualité, et la distribution des compétences et de la valeur ajoutée au sein d'une filière. Ce cadre apparaît pleinement approprié à notre objet d'étude, car au-delà de l'organisation interne des groupements de producteurs, c'est leur relation aux opérateurs amont (aménageurs, services d'encadrement) et aval (transformateurs riziers) qui nous intéresse. En effet, les projets visent aussi une vocation économique des groupements de producteurs de bas-fonds, appelés à devenir des coopératives de base pour fournir une filière riz régionale structurée autour de riziers intégrateurs. L'avantage attendu d'un schéma de filière riz intégrée basée sur des coopératives de producteurs est de structurer des producteurs de petite taille et dispersés pour réduire les coûts de transaction de la collecte et des services d'approvisionnement en intrants. Un processus d'« upgrading » des producteurs (HUMPHREY, 2004) est ainsi attendu d'une contractualisation donnant un accès aux intrants et revalorisant le produit par une démarche qualité.

Suivant ce cadre de la gouvernance des communs et des chaînes de valeur, l'étude a donc porté sur : (1) la structure et les principes de fonctionnement des groupements ; (2) leur fonctionnement concret d'après les règles appliquées et les réalisations accomplies durant les deux campagnes 2017 et 2018 ; (3) les relations avec leur environnement : opérateur de filière intégrateur et autres services d'appui ou tutelle (DPA) ; (4) les perceptions de membres des bureaux et membres de base sur l'intérêt du groupement, les contraintes et perspectives d'évolution.

Caractéristiques structurelles des groupements de bas-fonds aménagés et échantillon enquêté

L'étude est basée sur une enquête auprès d'un échantillon raisonné de 14 groupements de producteurs de bas-fonds aménagés de la province du Ioba. Cette province a vu la réalisation de 82 aménagements de bas-fonds et la constitution d'autant de groupements par des projets étatiques et ONG de 1990 à 2017. La surface aménagée cumulée est de près de 2 000 ha avec environ 7 000 producteurs bénéficiaires (sources : Direction provinciale de l'Agriculture du Ioba 2018 et fondation Dreyer). Dans leur grande majorité, les villages du Ioba ont ainsi été équipés d'un aménagement, et parfois des mêmes sites ont été repris par des aménageurs différents pour une réhabilitation ou reconversion. Avec une surface totale en bas-fonds estimée pour la province à 13 000 ha (4 % du territoire d'après ROBIN, 2017), les aménagements auraient ainsi touché environ 15 % des surfaces de bas-fonds.

Le choix de l'échantillon de groupements/aménagements a été raisonné de façon à couvrir la diversité de situations du Ioba : opérateur de projet, ancienneté de l'aména-

gement, type d'ouvrage, dimension du groupement, affiliation à l'opérateur de filière. L'échantillon a privilégié les groupements considérés comme fonctionnels, sachant que la DPA estime que la majorité des groupements de plus de cinq ans d'ancienneté n'ont plus d'activité réelle. Les caractéristiques structurelles de l'échantillon et sa représentativité sont données dans le tableau suivant :

Tableau 1.
Caractéristiques de l'échantillon et de l'ensemble des groupements de bas-fonds aménagés de la Province du Ioba.

Source : enquête S.Traoré 2018 (Generia).

		Échantillon de groupements* Enquête Generia 2018 n = 14		Total Groupements Ioba Stats DPA, F. Dreyer N = 83	
		Nombre de groupements	% de la surface aménagée	Nombre de groupements	% de la surface aménagée Ioba
Surface					
de l'aménagement	< 10 ha	3	8 %	10	3 %
	10 à 25 ha	10	81 %	34	34 %
	> 25 ha	1	10 %	30	63 %
Effectif					
du groupement	< 50 membres	2		16	
	50 à 150	7		29	
	> 150	4		8	
Ancienneté					
de l'aménagement	1990- 99	2	14 %	8	9 %
	2000-09	2	20 %	20	26 %
	2010-17	9	65 %	45	64 %
Aménageur					
	PABSO	2	12 %	20	33 %
	PAPSA	3	30 %	19	23 %
	PAFR	1	10 %	10	14 %
	PRP	1	10 %	7	15 %
	Autres État	1	2 %	3	8 %
	Fondation Dreyer	3	19 %	11	8 %
	Autres ONG	3	17 %	5	3 %

Bas-fonds aménagés de Pontieba, Lofing, Danopari Bontioli, Bavoulé, Kpélegane, Gbagba, Yabogane, Manzour, Mounyoupélé (commune de Dano), Gorgane (commune de Koper), Wahablé, Bankandi, Bisséréké, Ganymé (commune d'Oronkoua)

Les bas-fonds aménagés du Ioba se caractérisent par une grande dispersion des producteurs. D'une part, les sites aménagés sont de dimension modeste, en moyenne une vingtaine d'hectares par site (entre 5 et 40 ha). D'autre part, les parcelles attribuées ont une faible superficie, avec 10 à 20 ares par producteur. Cette atomisation implique des coûts de transactions plus élevés pour collecter les produits ou fournir les intrants, ce qui devrait accroître l'intérêt d'un regroupement des producteurs.

Les aménagements ont été réalisés par une série de projets publics des années 1990 à 2010. Chaque projet suit un seul concept d'ouvrage, les deux principaux étant les diguettes simples en terre (PAPSA, PRP) et les diguettes en courbes de niveau revêtues avec géotextile et perré et puits de vidange (PABSO, PAFR, PDA GIZ). À partir de 2015, un opérateur ONG, la fondation Dreyer, a pris la relève en aménageant des bas-fonds suivant un nouveau schéma technique, celui des casiers avec arroseurs-drains originaire des zones soudano-guinéennes plus arrosées. Le rythme de création d'aménagements dans la province s'est fortement intensifié ces dernières années, il est passé de 50 ha par an dans la décennie 2000 à 150 ha/an depuis 2010. Si les modèles techniques diffèrent selon les projets, les formes d'organisation sont assez similaires, basées sur des groupements d'usagers producteurs, appelés à devenir des coopératives.

Conditions de mise en place des groupements de producteurs

Les bas-fonds de la région Sud-Ouest du Burkina font traditionnellement l'objet de cultures diversifiées sur de petites surfaces en sorgho et maïs précoces, en tabac sur des buttes ou en bas de versant et en riz dans les franges basses plus inondées. Des petits aménagements tels que des buttes, fossés, mares, puisards, murs de jardins sont réalisés par les paysans, il s'agit essentiellement d'ouvrages individuels gérés par la famille exploitant la parcelle. Ce sont donc les projets portés par l'État ou des ONG qui ont développé des aménagements collectifs d'envergure dans les bas-fonds. Une vocation culturelle des terres aménagées est généralement affirmée dans les projets : il s'agit d'abord du riz pour les aménagements en casiers, culture considérée par l'État comme d'intérêt stratégique. Le maraîchage est également promu dans des petits périmètres avec une vocation plus sociale de développement local, notamment pour les femmes et les jeunes.

Les projets d'aménagement s'adressent à des collectifs au niveau généralement du village, la constitution d'un groupement d'usagers étant un préalable à leur intervention. Le regroupement est exigé pour la réalisation des ouvrages et la gestion du foncier aménagé, ainsi que pour faciliter l'organisation des actions d'accompagnement comme la formation et l'approvisionnement en intrants. Mais l'organisation de la production de riz ou du maraîchage au sein de l'aménagement reste dévolue aux individus tributaires des parcelles, qui exploitent donc dans le cadre habituel de leur unité de production familiale.

Si la création des groupements relève essentiellement d'une initiative extérieure, la proposition d'aménagement et de regroupement exprimée par les projets reçoit généralement une forte adhésion des paysans. En effet, bénéficier d'un projet d'aménagement présente plusieurs intérêts. L'intérêt principal attendu (annoncé par les projets) est la revalorisation de terres à bon potentiel mais difficiles à travailler,

sujettes aux inondations. On verra plus loin que cette attente est en fait souvent déçue, car la maîtrise de l'eau apportée demeure très partielle face à la grande variabilité climatique. D'autres avantages à court terme paraissent tout autant – sinon davantage – décisifs. Les projets demandent généralement la participation des bénéficiaires aux travaux de construction, en partie rémunérés (manutention de moellons, creusement de canaux). Le travail rémunéré ainsi fourni au village est attractif, car il intervient en contre-saison, à une période où il y a peu d'opportunité d'activités. Des actions d'appui à la mise en valeur suivent aussi les aménagements durant deux ou trois années, elles fournissent des intrants à crédit et de la formation. Enfin, un autre avantage tient à la redistribution foncière qui accompagne les projets d'aménagement. Les terres aménagées sont en principe purgées des droits fonciers anciens et tous les participants aux travaux de construction, adhérents au groupement, peuvent théoriquement bénéficier d'une parcelle. L'aménagement permet ainsi un accès à la terre à une grande partie des villageois, notamment des catégories dépendantes comme les femmes et les jeunes. Cet enjeu foncier constitue souvent une motivation à entrer dans le groupement.

L'engouement des paysans à rejoindre les groupements pose fréquemment un problème pour l'allocation des parcelles. Les projets ont des normes de dimension des parcelles, généralement une surface de 0,25 ha par producteur, correspondant à un certain objectif de niveau de production et de revenu considéré comme incitatif pour le producteur. Avec un quart d'hectare, une culture de riz à vocation commerciale est envisageable, la production espérée peut atteindre 1 tonne de paddy par producteur, soit un surplus à vendre d'environ 0,7 t apportant une rémunération brute de 100 000 FCFA. Un excès d'adhérents au groupement par rapport à la surface disponible entraîne alors un morcellement des parcelles qui ne permet plus d'atteindre ces objectifs. Dans notre échantillon, la moyenne des parcelles allouées est de 0,15 ha par producteur au lieu des 0,25 ha prévus. Cette insuffisance de taille des parcelles motive souvent des extensions d'aménagements, pas toujours bien raisonnées sur des critères d'aptitude des terres, ce qui peut conduire à toucher des zones moins favorables à la riziculture.

Des principes formels d'organisation et de missions des groupements inadaptés

Les groupements sont constitués des producteurs tributaires de parcelles qui ont participé aux travaux de construction de l'aménagement. L'adhésion est donc liée au foncier, tout détenteur d'une parcelle dans l'aménagement devient membre du groupement et en a même l'obligation. Ainsi ces groupements, de par leur constitution et objet initial, s'apparentent d'abord à une forme de syndicat d'usagers plutôt qu'à des coopératives au sens traditionnel où prévaut un principe de libre adhésion (PEDROZO, 1995). Il s'agit d'une transposition aux bas-fonds du modèle issu d'organisations

d'usagers des périmètres irrigués publics. Cependant, on constate une hybridation des groupements de bas-fonds avec le modèle des coopératives d'approvisionnement/collecte spécialisées, en l'occurrence dédiées à la production de riz. Cette orientation est promue par des opérateurs riziers qui souhaitent développer des stratégies d'intégration de filière, et peuvent s'adosser à des projets traitant des organisations paysannes tel que le ProCIV (Projet Centre d'Innovation Verte) dans le Sud-Ouest.

Les groupements sont structurés en comités chargés de mettre en œuvre les diverses missions dévolues qui combinent donc des activités de gestion d'aménagements et d'intermédiation pour l'approvisionnement d'une filière riz. Dans notre échantillon de groupements, l'organisation proposée par les projets est basée sur cinq comités : trois comités de direction et contrôle (comité de gestion qui réunit président, secrétaire et trésorier, comité de surveillance et comité des sages) et deux comités opérationnels : le comité « irrigation » qui gère les aménagements, la redevance, la coordination du calendrier de culture ; et le comité « crédit-intrants » qui gère l'approvisionnement en intrants mais également le groupage du paddy pour le recouvrement des crédits aux intrants.

L'ambiguïté sur la fonction des aménagements transparaît dans la dénomination du comité « irrigation ». Les aménagements de bas-fonds ne permettent pas une maîtrise totale de l'eau, ils visent à mieux répartir l'eau, à drainer, mais en aucun cas à garantir une irrigation. On a là une source de malentendus avec les producteurs, qui vont considérer comme défaillance de l'aménagement un fonctionnement normal contraint par des capacités limitées pour faire face aux inévitables aléas hydrologiques. Ces déceptions peuvent être à l'origine du désengagement des producteurs vis-à-vis du groupement.

La fonction d'approvisionnement à crédit des intrants et de collecte comprend deux composantes : d'une part, une logistique pour la prise de commande, la distribution des intrants, le groupage du paddy ; d'autre part, une composante comptable et financière pour gérer les comptes des membres tributaires et les mouvements d'argent associés. Cette dernière est complexe et apparaît très lourde à assumer directement pour des producteurs peu enclins aux tâches administratives, et largement occupés dans des activités très diversifiées, agricoles et autres. Le grand nombre de membres tributaires, souvent plus d'une centaine, accroît la charge de travail de cette gestion des intrants et produits. De plus, le fait de dédier cette gestion à la seule production de riz qui occupe une place très secondaire dans les exploitations pose question.

La délégation de cette gestion administrative à un prestataire de service apparaît la solution incontournable. De fait, ces tâches sont d'abord assurées par les projets lors des premières années d'accompagnement, mais on doit s'interroger sur la capacité de l'activité rizicole du groupement à dégager des moyens pour rémunérer des services d'appui. La faible dimension économique des groupements constitue un handicap. En moyenne, on peut estimer le potentiel économique du surplus commercialisable d'un groupement moyen du Ioba à 50 t de paddy (20 ha x 2,5 t/ha commercialisé), ce qui représente un chiffre d'affaires de 7,5 millions de FCFA.

Les opérateurs de filières peuvent-ils être une voie de recours pour fournir ces services ?

Une tentative d'intégration des producteurs dans une filière riz à base contractuelle

La province du Ioba ne constitue pas un bassin de production rizicole majeur au Burkina ; cependant, à la faveur des nombreux projets d'aménagement de bas-fonds, la riziculture s'est fortement développée et deux acteurs se sont positionnés comme opérateurs structurants d'une filière rizicole régionale, la fondation Dreyer à Dano et la Copsac à Founzan. Ces opérateurs contrôlent trois facteurs stratégiques pour piloter la filière : l'unité de décortiquage (de type mini-rizerie), des moyens logistiques (véhicules de transport pour la fondation Dreyer, magasins de stockage dans les villages pour la Copsac) et un fonds de roulement permettant le financement des campagnes (fourniture d'intrants et achat du paddy).

Deux stratégies différentes sont suivies par ces opérateurs. La fondation Dreyer est engagée dans une stratégie d'intégration de la filière riz et intervient sur les divers maillons (aménagement des bas-fonds, services d'approvisionnement en intrants, formation-conseil aux producteurs, collecte et transformation). L'organisation en filière intégrée est basée ici sur une spécialisation dans la seule production de riz et sur une relation contractuelle à moyen terme (5 ans) entre l'opérateur « intégrateur » (rizier et fournisseur d'intrants) et le groupement de producteurs. L'intégrateur s'engage à fournir les intrants (semences, engrais), éventuellement à crédit, et à collecter la production de paddy à un prix fixé (150 FCFA /kg). Le groupement s'engage à suivre un cahier des charges de production (imposant la variété de riz), à coordonner les distributions d'intrants et récoltes des membres, et à livrer une part fixée de la production globale de l'aménagement. Le bas-fond aménagé est considéré en tant qu'appareil de production du riz à la base de cette filière intégrée.

Une autre stratégie, suivie par la Copsac, est la fourniture de services multiples en stockage, warrantage (crédit adossé à la mise en garantie d'un stock), fournitures d'intrants, collecte et transformation pour un ensemble de productions diversifiées, en l'occurrence les grains stockables (céréales, oléagineux et légumineuses). La relation nouée avec les producteurs ne s'établit pas de façon privilégiée autour de l'aménagement de bas-fond mais autour du magasin de stockage du village, qui constitue l'équipement structurant. Le groupement des producteurs du bas-fond constitue alors un partenaire non exclusif ; la gestion du magasin et des services associés donne souvent lieu à un regroupement de producteurs dans un périmètre plus large que le bas-fond. La relation entre le groupement « bas-fond » et l'opérateur prestataire de services s'établit sur une base commerciale classique de type vente « spot » ou ne concerne qu'une petite fraction de la production de riz engagée dans le système du warrantage (peu intéressant pour le riz, car ses variations saisonnières de prix sont faibles).

La stratégie d'intégration dans une filière spécialisée offre l'intérêt de permettre une certaine sécurisation des transactions, pour l'approvisionnement du rizier et le débouché du producteur. Cependant, elle bute sur deux écueils majeurs dans le contexte de production de riz du Ioba.

D'abord, les contrats d'intégration sont passés par des groupements qui ont, en fait, très peu de prise sur leurs membres de base, donc sur la production. L'engagement des membres lors de la constitution du groupement concerne la participation aux travaux d'aménagement, la mise en culture de la parcelle, mais pas la conduite des façons culturales ni la destination des récoltes. L'engagement du producteur dans un contrat d'approvisionnement en intrants contre livraison de paddy est généralement pris sur du court terme et ne concerne qu'une minorité de producteurs. Pour l'un des plus anciens groupements de la fondation Dreyer, celui de Lofing, considéré à l'origine comme un modèle, on note en 2018 – soit 5 ans après sa création – que moins de 20 % des producteurs sont passés par la filière intégrée (groupement et fondation) pour s'approvisionner en intrants ou commercialiser leur paddy (le volume total livré n'étant que de 7,5 t pour un aménagement de 20 ha).

Ensuite, la dimension des parcelles de bas-fond attribuées par producteur (moins d'un quart d'hectare) apparaît trop faible pour constituer un enjeu économique susceptible de motiver les producteurs à s'investir dans leur groupement, en assurer la gestion et s'intégrer dans une filière spécialisée. Le riz de bas-fond a une double vocation d'autoconsommation et de vente, mais le surplus commercialisable dépasse rarement la moitié de la production. Ainsi, le riz de bas-fond ne représente généralement que moins de 10 % des revenus monétaires des exploitations (DORÉ, 2017).

Le niveau d'activité des groupements constaté durant ces deux dernières campagnes révèle cette grande fragilité des groupements.

Le fonctionnement des groupements en 2017 et 2018

Les activités de 8 groupements de l'échantillon ont fait l'objet d'un suivi, détaillant le niveau de réalisation en 2017 et 2018 de leurs principales missions (tabl. 2). Il en ressort une forte dépendance des groupements à l'égard des projets ou des opérateurs riziers et un faible engagement des membres de base.

Trois situations doivent être distinguées selon l'ancienneté du groupement et l'appui reçu : (1) les groupements en phase de lancement, appuyés par un projet d'aménagement ; (2) ceux de plus de trois ans, en phase post-aménagement, engagés auprès d'un opérateur de filière ; (3) ceux post-aménagement sans engagement dans une filière et sans autre appui que les services de vulgarisation agricole ordinaires.

Les missions accomplies par les groupements au cours des deux dernières campagnes sont globalement très modestes et révèlent une faible capacité d'initiative du groupement ou de mobilisation des adhérents. Les groupements appuyés par les projets pour les nouveaux aménagements, ou par un opérateur de filière, interviennent dans la logistique d'approvisionnement en intrants et de collecte du paddy pour un volume globalement faible. Et ces volumes traités vont généralement en diminuant au fil du

Tableau 2.
 Activités réalisées par les groupements de bas-fonds aménagés en 2017 et 2018.

Source : Enquête S. Traoré, Genéria, 2018.

	Phase	Nouveau groupement appui projet n = 3	Groupement post-projet appui contrat filière n = 2		Groupement post-projet sans contrat n = 3
Missions		Kpélégame-Bavoulé 2015, Manzour 2017, Mouyoupélé 2016	Lofing 2013, Danopari-Bontiouri 2012		Ganymé 2013, Bisséré 2016, Yabogane 2015
Entretien de l'aménagement	2017 2018	sans objet	seulement Lofing Aucun		aucun quelques réparations pour 2 groupements/3
Gestion de la redevance	2018	néant	seulement Danopari		néant
		3 groupements	Lofing	Danopari	3 groupements
Approv. semences tonnage/groupemt	2017 2018	0,25 à 0,35 t 0 à 0,7 t	0,6 t 0,7 t	0,14 t 0,14 t	0 à 0,2 t 0 à 0,1 t
Approv. engrais tonnage/groupemt	2017 2018	1 à 2 t 1 à 5 t	2,6 t 1 t	1 t 1,6 t	0 0,6 à 1,5 t
Collecte paddy tonnage/groupemt	2017 2018	0 à 16 t 0 à 22 t	16 t 10 t	3,3 t 3 t	0 0
Formation-conseil	2018	Technique culturale riz, gestion de l'eau	Règles de fonctionnement des coopératives & contrats		Néant

temps après l'aménagement. Cette activité se concentre sur une minorité des adhérents (moins de 1/5^e à Lofing après 5 ans) malgré les contrats d'engagement avec l'opérateur de filière. Ainsi, on constate un processus de sélection des membres qui restent actifs dans le groupement.

Dans les groupements ne bénéficiant d'aucun d'appui en dehors de l'action de la DPA (distribution de quantités d'intrants subventionnés très rationnées), les activités se limitent à quelques actions de maintenance de l'aménagement. Une certaine capacité d'organisation se manifeste pour des actions ponctuelles comme des réparations, reposant sur une mobilisation en travail sans engendrer de dépenses monétaires. On comprend dans ces conditions que les membres des groupements peuvent se contenter d'un fonctionnement informel. La très faible participation aux réunions de formation et de sensibilisation au règlement des coopératives (application de la loi OHADA) illustre le désintérêt des producteurs pour des structures formelles régies par des procédures bureaucratiques. Notamment, le système de paiement de redevances annuelles au groupement est quasi unanimement rejeté. Pour l'ensemble de la province du Ioba,

aucun groupement bas-fond ne dispose encore du fonds de roulement constitué lors de l'aménagement, après 5 ans d'existence (source : comm. pers., DPA du Ioba). Ce constat de faible fonctionnalité des groupements n'est pas spécifique aux producteurs des bas-fonds rizicoles ; l'étude d'ONATE (2012) conclut également que pour l'ensemble du Burkina « la plupart des organisations de producteurs (hors coton) n'ont pas été en mesure de développer des services économiques importants à leurs membres ».

Conclusion

La mise en place des groupements de producteurs par les projets d'aménagement de bas-fonds rizicoles répond à deux logiques qui apparaissent difficiles à concilier. Les projets affirment une vocation sociale et de développement local en ouvrant la distribution des terres à l'ensemble de la population villageoise pourvu qu'elle participe aux travaux. Ce mode d'intervention présente l'intérêt pour l'État de réduire la charge des aménagements en faisant contribuer en nature les bénéficiaires. Il permet également à des populations défavorisées d'obtenir un accès aux terres de bas-fond. Mais il conduit généralement à un morcellement élevé des terres qui ne permet pas aux producteurs d'atteindre une taille suffisante pour dégager des surplus importants et être sensibles aux incitations économiques. Les groupements doivent alors gérer une grande masse de petits adhérents dont la parcelle de riz de bas-fond, très secondaire dans leur exploitation, est orientée vers l'autoconsommation.

Par ailleurs, les projets visent aussi un objectif économique d'approvisionnement du pays en riz dans des conditions compétitives par rapport au riz importé. Les groupements sont appelés à jouer un rôle d'intermédiation pour réduire les coûts de transactions entre producteurs et riziers et accroître la valorisation du produit pour les producteurs. Ils doivent également contribuer à une intensification de la culture en assurant un relais pour la fourniture d'intrants. Pour s'intégrer dans une filière riz structurée avec accès aux intrants subventionnés et relations contractuelles, les groupements devraient adopter un statut de coopérative. L'expérience du Ioba montre que l'accès à un tel statut, avec ses règles de fonctionnement contraignantes, suppose le recours à un prestataire de services pour assurer les fonctions comptables et financières. Aucun des groupements enquêtés n'était en mesure d'être autonome pour de telles fonctions. Un processus de sélection des participants au groupement va également s'établir, car l'enquête montre que seule une minorité de producteurs est prête à s'engager dans un groupement formel comme une coopérative, avec ses obligations financières de versement de parts sociales et cotisations annuelles. Des opérateurs riziers tels que la fondation Dreyer dans le Ioba apparaissent prêts à assumer la fonction d'intégrateur de filière en fournissant les services aux groupements inscrits dans une logique de coopérative spécialisée en riz. Mais se pose alors la question du devenir des attributaires de parcelles du bas-fond qui n'adhéreraient pas à la coopérative riz. Une évolution possible paraît la dissociation des groupements de producteurs

de bas-fonds en deux entités : l'une structurée autour de l'aménagement et de sa maintenance avec l'ensemble des attributaires initiaux, et une seconde engagée dans la filière riz. Il conviendrait d'évaluer les effets sociaux d'une telle évolution vers des groupements à deux vitesses. L'incitation à la production de riz encouragée par l'intégrateur peut conduire à une reprise du foncier par les membres les plus actifs du groupement engagés dans la filière riz. Mais il reste à savoir dans quelle mesure une telle dynamique de concentration du foncier est socialement acceptable.

Références

DORÉ A., 2017

Gérer les nouveaux risques dans les bas-fonds soudanais (Dano, Burkina Faso).
Mémoire d'Ingénieur, option RESAD,
Montpellier SupAgro, 84 p.

FAO, 2016

Les impacts sociaux et économiques de l'aménagement de trois bas-fonds rizicoles dans la région Nord au Burkina Faso.
48 p.

**GEREFFI G., HUMPHREY J.,
STURGEON T., 2005**

The governance of global value chains.
Review of international political economy,
12 (1) : 78-104.

HUMPHREY J., 2004

Upgrading in global value chains.
Working Paper n°28,
International Labor Office, Geneva, 41 p.

JAMIN J. Y., 1998

Un outil d'aide à la décision pour la mise en valeur des bas-fonds.
Conseil ouest et centre africain pour la recherche et le développement agricoles (Coraf),
Action n° 9, octobre-décembre.

**KUPER M., ERRAHJ M., FAYSSE N.,
CARON P., DJEBBARA M., KEMMOUN H., 2009**
Autonomie et dépendance des irrigants en grande hydraulique : observations de l'action organisée au Maroc et en Algérie.
Natures Sciences Sociétés, 17 : 248-256.

ONATE S., 2012

Les organisations de producteurs en Afrique de l'Ouest et du Centre : attentes fortes, dures réalités, le cas du Burkina Faso.
Fondation pour l'agriculture et la ruralité dans le monde (FARM), 135 p.

OSTROM E., 1992

Crafting Institutions for Self-Governing Irrigation Systems.
San Francisco, Institute for Contemporary Studies.

PEDROZO E. A., 1995

Cadre conceptuel pour le management des Coopératives agricoles : l'Économie des conventions, la systémique et la complexité.
Thèse de Doctorat, Institut national polytechnique de Lorraine.

PORTER M., 1982

Choix stratégiques et concurrence.
Paris, Economica, 426 p.

**WINDMEIJER P. N., DUGUÉ M. J.,
JAMIN J. Y., VAN DE GIESEN N. (éd.), 2002**

Présentation des caractéristiques hydrologiques de la mise en valeur des bas-fonds.
Bouaké, ADRAO, 64 p.
Atelier scientifique du consortium bas-fonds, 2, 1997-06, Bouaké (Côte d'Ivoire).

Partie III

Les pratiques agroécologiques pour lutter contre le changement climatique



© IRD/J.-C. Poussin

Champ de sorgho de décrue dans la cuvette de Podor.

Le épis de sorgho sont protégés des oiseaux avec ici des morceaux de moustiquaires, de tissus et aussi des sacs plastiques.

Introduction

Moussa SANON

Face à une augmentation insuffisante de la production agricole en Afrique de l'Ouest, et pour satisfaire la demande alimentaire croissante de la population dans un contexte de variabilité spatio-temporelle de la pluviométrie et de changement climatique, l'intensification écologique des agrosystèmes par le biais de la combinaison judicieuse de systèmes de cultures et d'itinéraires techniques est une option pertinente. En effet, elle pourrait permettre de valoriser les processus biologiques, d'assurer leur adaptation aux risques climatiques et ainsi de contribuer à l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre pour aboutir à une situation d'équilibre socioéconomique et environnemental.

Cette partie de l'ouvrage présente les résultats du projet « ECOFERTCLIM » sur la thématique de l'« intensification écologique ». Cette recherche s'est appuyée sur les dispositifs de recherche existants et sur des résultats disponibles, notamment le DP ASAP « Systèmes agro-sylvo-pastoraux en Afrique de l'Ouest » en zones de savane au Burkina Faso, en Côte d'Ivoire et au Mali, ainsi que sur d'autres projets conduits en Afrique de l'Ouest (OID-CORAF, Fertipartenaires, ABACO) ; ces dispositifs et projets ont produit des résultats sur la conception de systèmes de poly-culture-élevage innovants, répondant aux principes de l'intensification écologique pour améliorer la production et la durabilité *via* une diversité d'options associant expérimentations en milieu paysan et modélisation selon une démarche de recherche en partenariat. Des techniques permettant de protéger les terres et d'améliorer la valorisation de l'eau pluviale ont été développées par l'IER et l'INERA et sont en phase de diffusion au Mali et au Burkina Faso. Elles permettent de lutter contre l'érosion hydrique des sols, et l'apport de fumure organique au champ participe

significativement à l'amélioration de la fertilité des sols. Des modèles de développement de sorghos sensibles à la photopériode établis au Mali et au Burkina Faso ont permis d'améliorer l'adéquation des principaux modèles de culture (Samara et DSSAT). Il en est de même pour le modèle (Celsius) en développement. Fort de ces acquis, le projet ECOFERTCLIM a pris en compte la diversité des exploitations, et a combiné de manière optimale les résultats de la recherche agricole : sur les choix variétaux face aux contraintes climatiques, sur l'aménagement des terres et sur l'économie en eau, sur la gestion de la fertilité du milieu.

Les travaux ont été conduits dans des agrosystèmes contrastés aux systèmes d'exploitation divers : en zone sèche aux systèmes céréaliers associés au petit élevage (centre-nord du Burkina Faso, 600 mm) à faible niveau d'intrants, et dans deux zones à plus forte utilisation d'intrants, une zone humide aux systèmes de polyculture-élevage avec une rotation principale coton/maïs (ouest du Burkina Faso, 1 100 mm) et une zone aux rotations coton/céréales sèches (centre du Mali, 800 mm).

En premier lieu, un diagnostic participatif et une analyse de la diversité des systèmes de culture ont été réalisés dans chaque zone en vue d'identifier et de co-construire avec les producteurs des options de production innovantes et adaptées. Ensuite, suivant les zones, le projet a évalué avec les acteurs l'effet des options innovantes sur l'efficience d'utilisation des ressources.

Après deux années climatiquement contrastées de mise en œuvre d'options techniques co-sélectionnées avec les producteurs et d'activités de recherches complémentaires pour mieux adapter les modèles de productions végétales, d'importants résultats ont été acquis. Cette partie de l'ouvrage rassemble les chapitres qui synthétisent les principaux résultats des deux années de mise en œuvre. Elle passe en revue les résultats issus : des diagnostics posés, des évaluations des options de production avec les producteurs en milieu paysan, des déterminations des coefficients biophysiques pour la modélisation, des évaluations d'une partie des options retenues par les modèles de simulation de production végétale avec des données climatiques historiques et des scénarios climatiques. Compte tenu de l'indisponibilité de certaines données complémentaires aujourd'hui en cours d'acquisition, les évaluations des options retenues seront présentées dans de prochains articles.

Analyse des flux d'eau dans les systèmes de culture à base de sorgho dans un contexte de changement climatique (N'Tarla, Mali)

Fagaye SISSOKO, Amadou TRAORE,
Baba OUATTARA, Souleymane OUÉDRAOGO

Dans les régions arides, l'eau est, par définition, le facteur limitant le plus courant de la production alimentaire. Au Mali, la zone cotonnière est située en zone soudano-sahélienne, entre les isohyètes 800 et 1 200 mm (FAO, 2001). Dans la zone dite sèche (900 mm), les cultures vivrières sont principalement le sorgho et le mil (BAZILE *et al.*, 2000). Les besoins en eau du sorgho varient entre 500 et 850 mm en fonction de la longueur du cycle (GANDAH, 1991). Le cumul enregistré pendant l'année est très souvent supérieur aux besoins en eau de la culture, mais il ne semble pas être un bon indicateur de la disponibilité de l'eau pour les cultures.

L'efficacité d'utilisation de l'eau pour le sorgho dans la zone cotonnière est en moyenne de $0,96 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ (CMDT, 2018). Les raisons sont en partie dues à une faible disponibilité de l'eau pour les cultures, liée à des pertes d'eau de pluie.

LE BISSONNAIS *et al.* (1995) ont montré que, sur sol sec, les pluies de 15 à 45 mm peuvent avoir des taux de ruissellement de 30 à 70 % en début de campagne. Les ruissellements peuvent être importants pendant toute la saison des pluies, et atteignent 30 % du cumul annuel (GIGOU *et al.*, 2006), voire 40 à 50 % dans des parcelles labourées (DIALLO *et al.*, 2004).

Sur ces sols sableux, l'évaporation est forte, ce qui représente une deuxième cause de perte d'eau de pluie pour les cultures.

La probabilité d'apparition de périodes sèches après l'installation des cultures est élevée, mais plus la saison avance, plus cette probabilité est faible (SIVAKUMAR, 1992). PÉREZ (1994), lors de ses travaux au Sénégal, a montré que 37 % du cumul pluviométrique était concentré sur le mois d'août.

Dans cette étude, nous expérimentons l'insertion du niébé fourrager dans la parcelle de sorgho afin d'améliorer l'humidité du sol.

Matériel et méthodes

Zone d'étude

Le climat de la zone d'étude est de type soudano-sahélien (fig. 1). La pluviométrie moyenne annuelle varie entre 800 et 1 000 mm (TRAORÉ *et al.*, 2013). La zone d'étude N'Tarla (12°35 N, 5°42 W, 302 m) est située dans la région de Koutiala. Les systèmes de cultures les plus pratiqués sont des systèmes mixtes agrosylvopastoraux axés autour de la culture du coton en rotation avec des céréales comme le sorgho, le mil, le maïs et des légumineuses.

Les sols du site expérimental (tabl. 1) sont fortement altérés et classés dans la catégorie des Lixisols (BALLO, 1997 ; TRAORÉ *et al.*, 2013).

Tableau 1.
Caractéristiques physico-chimiques du sol de N'Tarla.

Source : BALLO (1997).

Horizon en cm	Épaisseur en cm	pH eau	pH kcl	Granulométrie (%)		
				Argiles	Limons	Sables
0-25	25	5,4	4,3	3,8	30,4	65,8
25-60	35	6,2	4,8	17,7	30,7	51,5
60-110	50	5,8	4,6	29,4	23,4	47,3

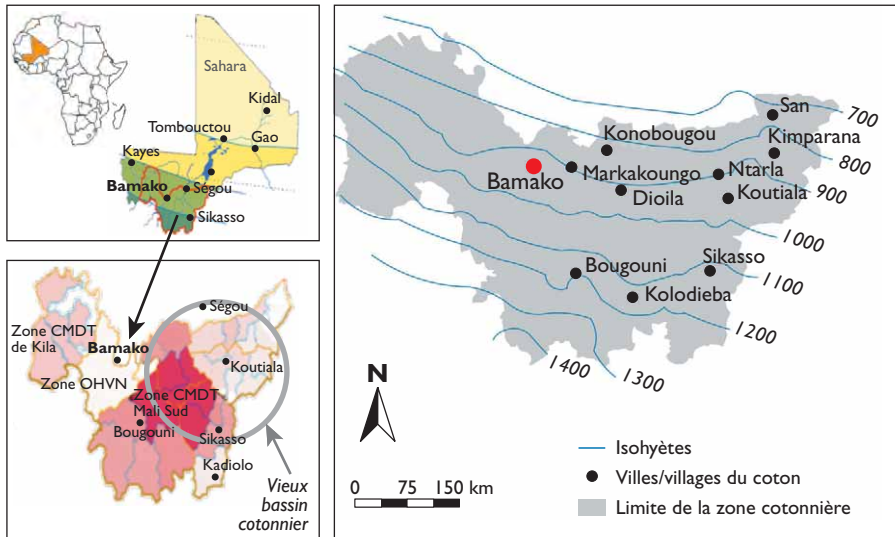


Figure 1.
Localisation et limite pluviométrique de la zone d'étude.

Source : TRAORÉ *et al.* (2013).

Dispositif expérimental utilisé pour la conduite de l'étude

L'expérimentation a été mise en place en 2017 et 2018 à la station de recherche agronomique de N'Tarla. Le dispositif expérimental a été un split-split-plot en 4 répétitions.

FACTEURS ÉTUDIÉS EN STATION

Trois variétés de sorgho : locale (Tiémarifing) et deux variétés améliorées (Grinka et Tiandougoucouira).

Deux périodes de semis du sorgho : une précoce (1^{er} au 30 juin : D1) et une tardive (1^{er} au 31 juillet : D2).

Trois systèmes de culture ont été utilisés : la culture pure de sorgho (SC1), niébé et mucuna, l'association sorgho/niébé (SC2).

MESURE DU TAUX D'HUMIDITÉ

Au total, 20 tubes de 180 cm ont été installés. La sonde « diviner 2000 » a été utilisée pour mesurer l'humidité dans les différents tubes. L'humidité a été mesurée chaque 10 cm. Au total, 50 mesures ont été effectuées dans chaque tube.

Résultats

Évolution de la pluviométrie moyenne annuelle de 1999 à 2018

La pluviométrie moyenne des vingt dernières années a été de 885 mm (1999 à 2018) en 65 jours, avec un minimum de 677 mm en 50 jours enregistré en 2016 et un maxi-

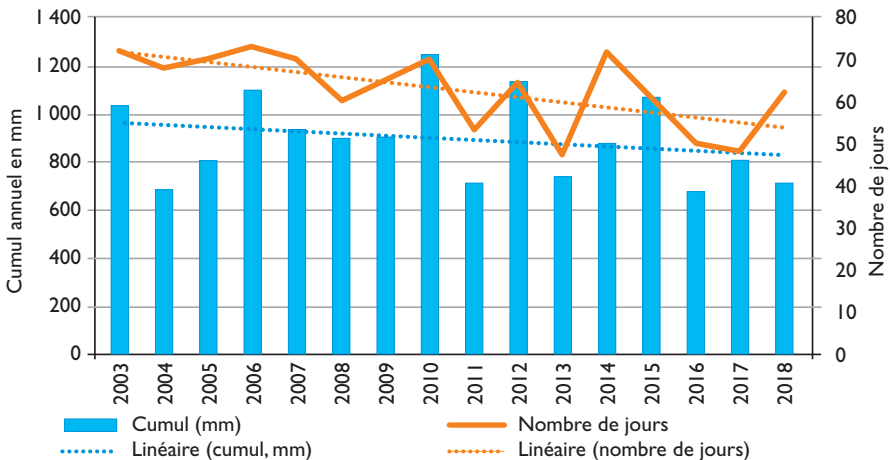


Figure 2.

Pluviométrie et nombre de jours de pluie enregistrés à N'Tarla de 1999 à 2018.

mm de 1 249 mm en 70 jours en 2010 (fig. 2). Les travaux de KOURESSY *et al.* (2019) ont montré que la pluviométrie moyenne de la zone de Koutiala de 1951 à 1980 a été de 994 mm, contre une moyenne de 853 mm pour la période 1981 à 2010. En 2018, dix-neuf évènements pluvieux ont eu un cumul inférieur à 5 mm. Ces petites quantités de pluie sont vite évaporées sur les sols sableux. Cette situation oblige les agronomes à réfléchir à d'autres stratégies de mise en place des cultures.

Pluviométrie de la campagne 2018-2019

Le cumul a été de 712 mm en 62 jours de pluie. Aucune pluie n'a été enregistrée au cours de la première décennie du mois de juin, seulement 16 mm la deuxième décennie, et 36 mm pendant de la troisième décennie (fig. 3). Le début de la saison des pluies se

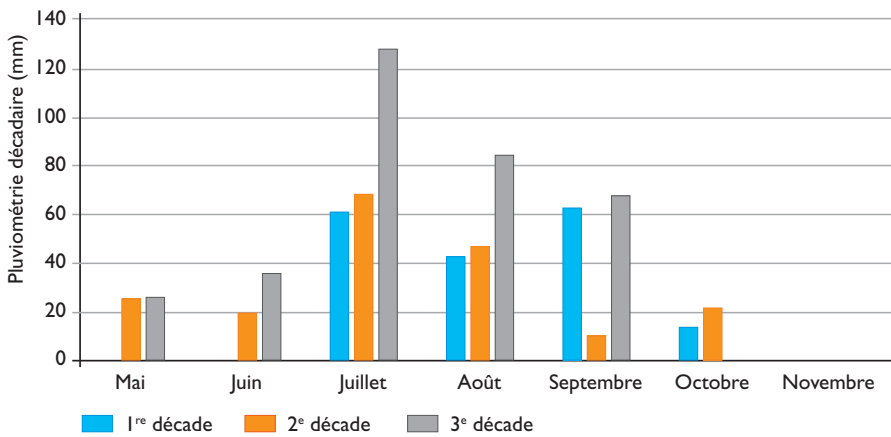


Figure 3.
Pluviométrie décadaire enregistrée à N'Tarla en 2018.

situe aux environs du 5 juin avec un écart-type de 12 jours (KOURESSY *et al.*, 2019).

Mesures de l'humidité dans les parcelles de sorgho en culture pure (SC1) et de sorgho associé au niébé (SC2) avant la 1^{re} date de semis

Quatre mesures d'humidité ont été réalisées dans les parcelles SC1 (fig. 4 a). La première mesure a été réalisée le 18 juin, le taux d'humidité a été très faible (3 %) dans l'horizon de surface (0-10 cm). La deuxième mesure a été réalisée le 20 juin après une pluie de 13 mm le 18 juin, le taux d'humidité dans l'horizon de surface a été de 6 %. Après deux jours sans pluie, un dessèchement a été constaté. La quatrième mesure a été effectuée le 25 juin, après une pluie de 25 mm le 23 juin et 3 mm le 24 juin. Dans les dix premiers centimètres, l'humidité a atteint 12 %. Certes, le

taux d'humidité a été faible en surface, mais le profil est resté humide au-delà de 60 cm de profondeur pour toutes les dates de mesure. Le taux d'humidité a atteint 24 % à la profondeur de 120 cm.

Dans les parcelles SC2 (fig. 4 b), l'humidité a été mesurée quatre fois. Le 18 juin, l'humidité a été inférieure à 3 % (0-10 cm). Elle a oscillé entre 6 et 10 % (20-60 cm). Pour la deuxième (20 juin) et la troisième (22 juin) date de mesure, l'évolution de

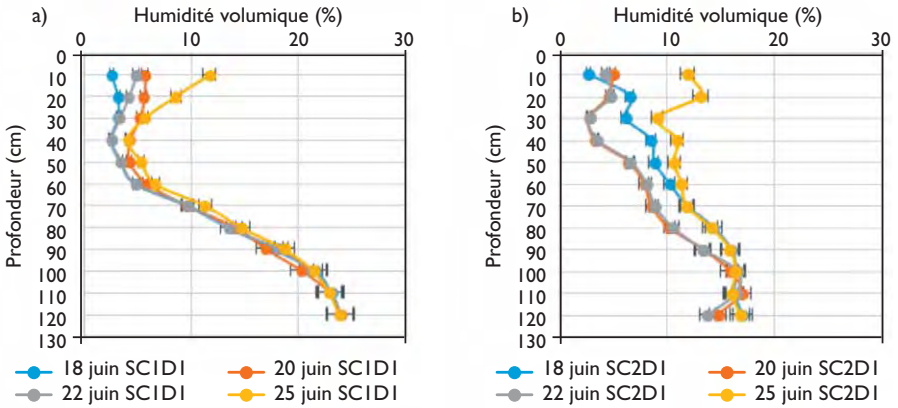


Figure 4.

Humidité mesurée dans les parcelles SC1 (a) et dans les parcelles SC2 (b) avant le semis du 26 juin à N'Tarla en 2018-2019.

l'humidité a été identique. À la quatrième date de mesure, le profil a été rechargé jusqu'à 70 cm. Le taux d'humidité a été de 12 % dans l'horizon 0-10 cm et 13 % dans l'horizon 10-20 cm.

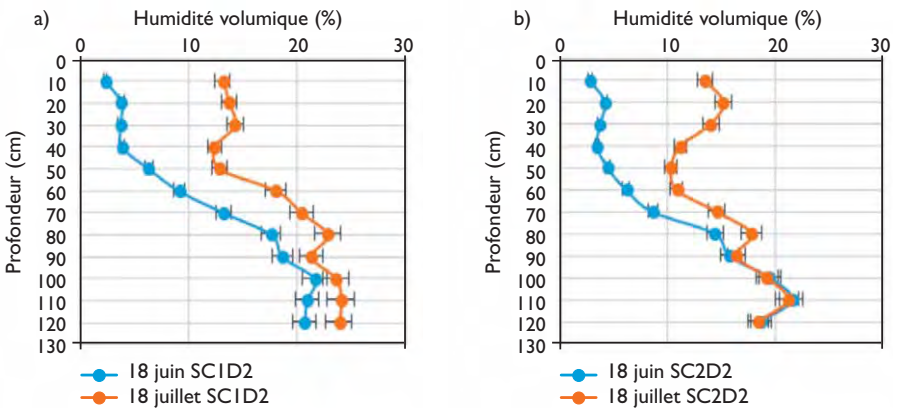


Figure 5.

Humidité mesurée dans les parcelles SC1 (a) et dans les parcelles SC2 (b) après le semis du 26 juin à N'Tarla en 2018-2019.

Mesures de l'humidité dans les parcelles SC1 et SC2 avant la 2^e date de semis

Les semis ont été réalisés le 20 juillet. La mesure de l'humidité réalisée le 18 juillet (fig. 5) montre que le taux d'humidité dans l'horizon (0-10) a été très proche dans les deux systèmes (13,2 % pour SC1 et 13,5 % pour SC2). Une diminution de l'humidité a été constatée dans l'horizon 30-50 cm et une augmentation dans l'horizon 60-110 cm.

Effet des systèmes de culture sur la conservation de l'humidité des parcelles semées lors de la 1^{re} date de semis (26 juin)

Une bonne couverture du sol a été observée dans les parcelles SC2D1. Son effet a été perceptible dans les 60 premiers centimètres (fig. 6 b). La couverture végétale a

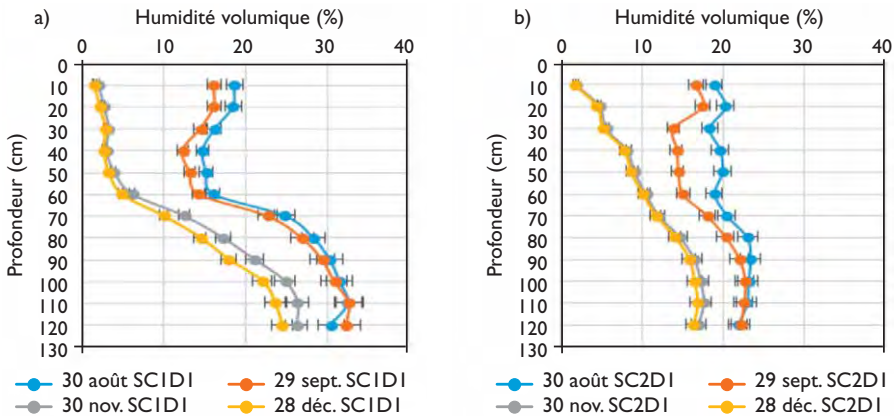


Figure 6.

Humidité mesurée dans les parcelles SC1 (a) et dans les parcelles SC2 (b) en cours de végétation et en fin de cycle de la première date de semis à N'Tarla en 2018-2019.

réduit le ruissellement et l'évaporation. Au-delà de 70 cm, l'humidité est meilleure dans les parcelles SC1D1 (fig. 6 a).

Le 29 septembre, une réduction du taux d'humidité a été constatée dans les parcelles des deux systèmes de culture, mais plus marquée dans les parcelles SC2 (fig. 6 b).

Effet des systèmes de culture sur la conservation de l'humidité des parcelles semées lors de la 2^e date de semis (20 juillet)

Le 30 août 2018, le profil a été rechargé dans les deux systèmes de culture (fig. 7 a

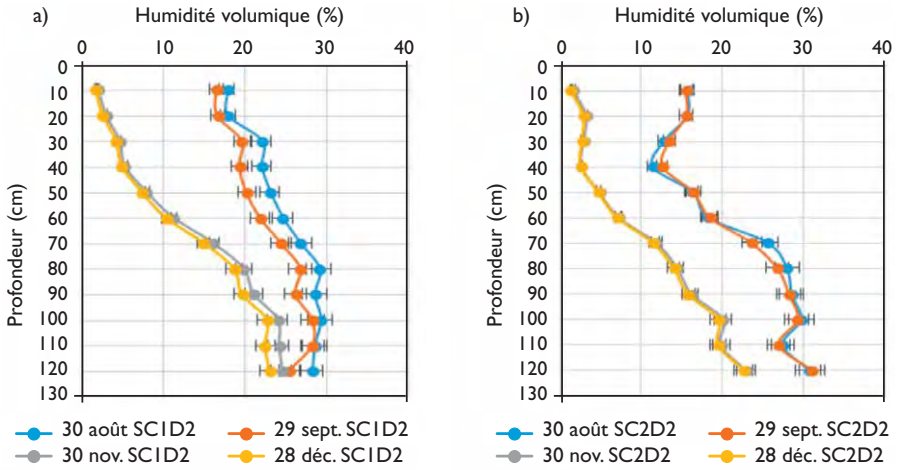


Figure 7. Humidité mesurée dans les parcelles SC1 (a) et dans les parcelles SC2 (b) en cours de végétation et en fin de cycle de la deuxième date de semis à N'Tarla en 2018-2019.

et b).

Le 29 septembre, une réduction du taux d'humidité a été constatée tout le long du profil dans les parcelles SC1D2 (fig. 7 a), contrairement à l'évolution du taux d'humidité dans les parcelles SC2D2 (fig. 7 b). La couverture du sol a permis de maintenir l'humidité dans les parcelles SC2. L'assèchement du profil a été identique dans les deux systèmes de culture à la date du 30 novembre et du 28 décembre.

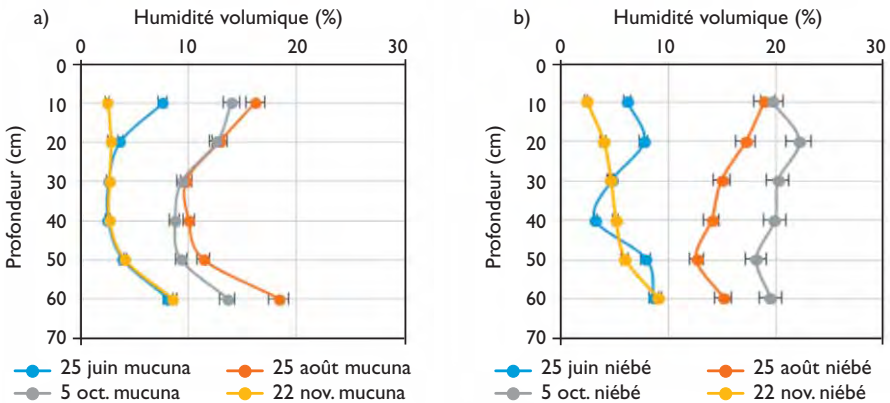


Figure 8. Humidité mesurée dans les parcelles de mucuna (a) et de niébé (b) à N'Tarla en 2018-2019.

Effet du mucuna et du niébé en culture pure sur la conservation de l'humidité

Les deux légumineuses ont été semées le 26 juin, l'humidité dans l'horizon (0-10 cm) a été de 8 % pour le mucuna et de 6 % pour le niébé. Deux mois après le semis, période correspondant à la pleine floraison, le profil était bien humide. La figure 8 montre que le profil a été plus humide dans l'horizon (0-10 cm) dans les parcelles de niébé. Une réduction du taux d'humidité a été constatée dans l'horizon 10-20 cm.

Le 5 octobre, le profil était encore plus humide dans les parcelles de niébé (fig. 8 b). L'humidité dans l'horizon 20-40 cm a varié de 22,2 à 19,9 % pour le niébé contre 12,7 à 8,8 % pour le mucuna. À la profondeur de 60 cm, l'écart a été moins grand, mais le taux d'humidité est resté plus élevé dans les parcelles de niébé : 19,5 % (fig. 8 b) contre 13,7 % pour les parcelles de mucuna (fig. 8 a).

Discussion

Le changement climatique aura généralement des impacts négatifs sur l'agriculture et menacera la sécurité alimentaire au niveau mondial (NELSON *et al.*, 2009). Dans les pays en développement, le changement climatique aura un effet négatif sur les rendements de la majorité des céréales, avec une variabilité régionale très grande dans l'ampleur des réductions de ces rendements (IPCC, 2014). L'irrégularité et la mauvaise répartition des pluies compromettent la sécurité des moyens de subsistance des pauvres.

Les études réalisées par FAYE *et al.* (2018) ont montré qu'il existe une grande variabilité entre les rendements du sorgho pour la même zone. Le cumul de la pluviométrie annuelle ne détermine pas à lui seul la faiblesse ou l'importance des rendements agricoles. D'autres facteurs, comme la répartition spatio-temporelle des pluies, influencent l'évolution des rendements. DJOHY *et al.* (2015) ont montré que le retard dans l'installation des pluies, des poches de sécheresse en pleine saison pluvieuse ou un prolongement de saison entraînent un bouleversement du calendrier agricole, et par conséquent une baisse des rendements agricoles. Les pertes d'eau liées au ruissellement peuvent être importantes et atteindre 30 % du cumul annuel (GIGOU *et al.*, 2006 ; SISSOKO, 2009), voire 40 à 50 % dans des parcelles labourées (DIALLO *et al.*, 2004). Pour réduire les pertes d'eau, le développement des cultures en association avec des légumineuses rampantes peut être une alternative. Elles réduiront l'arrachage des particules de terre, et constitueront une barrière physique à l'écoulement de l'eau sur le sol (OUATTARA *et al.*, 2018). Des résultats similaires ont été rapportés par SCOPEL *et al.* (2005) et SISSOKO *et al.* (2013), qui expliquent que la protection permanente du sol avec une couverture vivante ou morte est une méthode efficace pour contrôler le ruissellement.

La couverture végétale abondante observée dans les parcelles de sorgho associé au niébé a réduit de beaucoup la température du sol, donc l'évaporation de l'eau de surface. Les micro-organismes en forant des galeries dans le sol favorisent l'infiltration des eaux de pluie (SISSOKO, 2009). Cet effet de la couverture sur le gain d'humidité du sol a été également confirmé par SCOPEL *et al.* (2005) qui rapportent une réduction de l'évaporation de 10 à 20 %.

L'analyse de la pluviométrie montre que les poches de sécheresse en début de campagne affectent le taux d'humidité du sol en surface et peuvent retarder la mise en place des cultures. Une bonne distribution spatio-temporelle des pluies est un élément essentiel pour la croissance et la productivité des plantes cultivées (FAYE *et al.*, 2018).

Conclusion

L'étude a permis de montrer l'avantage de la culture associée sorgho/niébé par rapport aux cultures pures (sorgho, niébé et mucuna) sur la conservation de l'humidité dans le sol. Pendant la période de pleine floraison et vers la fin de la campagne, il a été constaté que le dessèchement du profil a été plus rapide dans les parcelles en culture pure.

Dans le contexte actuel de changement climatique, l'amélioration des systèmes de cultures par une meilleure conservation de l'humidité peut permettre aux variétés améliorées de sorgho de mieux exprimer leur potentiel de production. Même les variétés locales qui sont plus rustiques et ne nécessitent pas autant de soins ont besoin d'une certaine quantité d'humidité pour produire.

Des efforts doivent être fournis pour maîtriser la gestion de l'eau et les systèmes de cultures associées en combinant la densité, la date de semis, le cycle de culture et la fertilité du sol pour optimiser la production dans un contexte de changement climatique. D'autres essais sont nécessaires pour étudier l'arrangement spatial des cultures associées et le choix des légumineuses à couverture rapide du sol.

Références

BALLO D., 1997

Effet des pratiques culturales sur le statut organique des sols ferrugineux tropicaux du Mali.

Mémoire de DEA, École nationale supérieure agronomique, Montpellier.

BAZILE D.,

SOMARÉ M.,

DEMBELÉ J., 2000

Conserver l'agro-biodiversité pour la stabilité de la production agricole.

FAO.

CMDT, 2018

Annuaire statistique 17/18.
Résultats de l'enquête agricole permanente.
19 p.

**DIALLO D., BARTHÈS B.,
ORANGE D., ROOSE E., 2004**

Comparaison entre stabilité des agrégats
ou des mottes et risques de ruissellement
et d'érosion en nappe mesurés sur parcelles
en zone soudanienne du Mali.
Sécheresse, 15 (1) : 57-64.

**DJOHY G. L., EDJA A. H.,
NOUATIN G. S., 2015**

Variation climatique et production vivrière :
la culture du maïs dans le système agricole
péri-urbain de la commune de Parakou
au Nord-Bénin.
Afrique Science, 11 (6).
<http://www.afriquescience.info/document.php?id=5564>. ISSN 1813-548X.

FAO, 2001

Situation météorologique et état des cultures.
Rapport Sahel n°2.

**FAYE M., FALL A., FAYE G.,
HECKE E. V., 2018**

La variabilité pluviométrique et ses incidences
sur les rendements agricoles dans la région
des Terres Neuves du Sénégal oriental.
Revue belge de géographie, Beigeo 1/2018.

GANDAH M., 1991

« Synthèse des études sur le bilan hydrique
au Niger ». In : *Soil Water Balance
in the Sudano-Sahelian Zone*
(Proceedings of the Niamey Workshop,
February 1991), IAHS Publ. n° 199.

**GIGOU J., TRAORE K.,
GIRAUDY F., COULIBALY H., SOGOBA B.,
DOUMBIA M., 2006**

Aménagement des terres et maîtrise
des ruissellements : la culture en courbes
de niveau, point de départ d'une gestion
paysanne de la fertilité des terres
de savane cotonnières.
Cahiers Agricultures, 15 : 116-122.

IPCC, 2014

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, Cambridge University
Press, Cambridge, United Kingdom
and New York, NY, USA.

**KOURESSY M., SULTAN B., VAKSMANN M.,
BELIÈRES J.-F., CLAESSENS L.,
DINGKUNH M., TÊMÉ N., 2019**

Climate Change and Cereal Production
Evolution Trend in the Sahel:
Case Study in Mali from 1951 to 2010.
Sustainable Agriculture Research, 8 (2).
ISSN 1927-050X, E-ISSN 1927-0518,
published by Canadian Center of Science
and Education.

**LE BISSONNAIS Y., RENAUX B.,
DELOUCHE H., 1995 –**

Interactions between soil properties
and moisture content in crust formation,
runoff and interrill erosion
from tilled loess soils.
*CATENA Experimental Geomorphology
and Landscape Ecosystem Changes*,
Proceedings Memorial Symposium
Prof. Jan Ploey, 25 (1-4) : 33-46.

**NELSON G. C., ROSEGRANT M. W.,
KOO J., ROBERTSON R., SULSER T.,
ZHU T., RINGLER C., MSANGI S.,
PALAZZO A., BATKA M., MAGALHAES M.,
VALMONTE-SANTOS R., EWING M.,
LEE D., 2009**

Climate change: Impact on agriculture
and costs of adaptation.
Food Policy Report 21, Washington D.C.,
International Food Policy Research Institute
(IFPRI).
<http://www.ifpri.org/publication/climate-change-1>

**OUATTARA B., COULIBALY K.,
KOHIO E., DOUMBIA S., OUÉDRAOGO S.,
NACRO H. B., 2018**

Effets du Système de Culture sous couverture
Végétale (SCV) sur les flux hydriques d'un sol
ferrugineux à l'ouest du Burkina Faso.
Int. J. Biol. Chem. Sci., 12 (4) : 1770-1783.

PÉREZ P., 1994

*Genèse du ruissellement sur les sols cultivés
du sud Saloum (Sénégal).*
Du diagnostic à l'aménagement de parcelle.
Doctorat en Sciences agronomiques, Thésis,
École nationale supérieure agronomique
de Montpellier, Montpellier, 252 p.

**SCOPEL E., DOUZET J. M.,
DA SILVA F. A. M., CARDOSO A.,
MOREIRA J. A. A., FINDELING A.,
BERNOUX M., 2005**
Impacts des systèmes de culture
en semis direct avec couverture végétale
(SCV) sur la dynamique de l'eau,
de l'azote minéral et du carbone du sol
dans les cerrados brésiliens.
Cah. Agr., 14 (1) : 71-75.

SISSOKO F., 2009
*Analyse des flux d'eau
dans les systèmes de culture
sous couverture végétale
en zone soudano-sahélienne :
cas du coton semé après une culture
de sorgho/Brachiaria au sud du Mali.*
Thèse de doctorat de Sup Agro,
Montpellier, 169 p.

**SISSOKO F., AFFHOLDER F., AUTFRAY P.,
WERY J., RAPIDEL B., 2013**
Wet years and farmers' practices may
offset the benefits of residue retention
on runoff and yield in cotton fields
in the Sudan-Sahelian zone.
Agricultural Water Management, 119 : 89-99.

SIVAKUMAR M. V. K., 1992
Empirical analysis of dry spells for
agricultural applications in West Africa.
Journal of Climate, 5 : 532-539.

**TRAORÉ B., CORBEELS M.,
VAN WIJK M. T., RUFINO M. C.,
GILLER K. E., 2013**
Effects of climate variability
and climate change on crop production
in southern Mali.
European Journal of Agronomy, 49 : 115-125.

Perceptions du changement climatique et stratégies paysannes d'adaptation (zones soudaniennes du Burkina Faso et du Mali)

*Tionyéfé FAYAMA,
Der DABIRÉ,
Alassane BA*

Introduction

Le changement climatique (CC), phénomène très ancien et inéluctable (TOMTEPAMBO, 2013), ne cesse de prendre de l'ampleur et constitue une préoccupation actuelle majeure pour l'humanité. L'Union africaine, citée par TOMTEPAMBO (2013), considère que « si les changements climatiques se poursuivaient en l'absence de tout contrôle, ils empêcheraient de plus en plus de nourrir une population croissante et en l'absence de mutations radicales avant la fin du siècle, le monde ne serait plus en mesure de nourrir la population actuelle ». De ce fait, il importe de trouver des solutions idoines pour s'adapter aux effets de ces changements.

C'est dans ce cadre que s'inscrit ce chapitre sur la problématique des perceptions des producteurs en lien avec le CC et leurs stratégies d'adaptation face à ce phénomène. Les populations du Burkina Faso et du Mali vivent majoritairement de l'agriculture et sont soumises à une forte dépendance envers les ressources naturelles. Par conséquent, elles sont vulnérables face au phénomène du CC, car ses effets affectent le secteur agricole plus que n'importe quel autre (ZONGO, 2016). Cependant, il existe peu d'informations concernant le système de pensée et d'action de ces populations vulnérables face au changement climatique. Or cette connaissance a un rôle fondamental à jouer dans la conception d'un système de production climato-intelligent. C'est ce qui justifie l'intérêt de cette étude dont les résultats sont rapportés dans ce chapitre. Après cette introduction, le lecteur pourra découvrir successivement (1) la méthodologie utilisée, (2) les principaux résultats analysés et discutés, et (3) la conclusion avec quelques pistes pour les travaux futurs.

Méthodologie

Présentation des sites

L'étude a été menée dans les villages de Koumbia et Yilou au Burkina Faso (BF), et de Béguéné au Mali. Le village de Koumbia est situé à l'ouest du BF, à 65 km de Bobo Dioulasso dans la province du Tuy (Houndé). Le climat est du type soudanien, avec une pluviométrie allant de 900 à 1 000 mm par an. La densité de la population est estimée à 40 hab./km². Les groupes ethniques présents sont les Bwaba, les Peuls et les Moose. La population totale est de 7 728 habitants (MTDS, 2013). Le village de Yilou est situé dans la partie nord du plateau central au BF. Il est distant de la capitale Ouagadougou de 75 km. Yilou relève de la province du Bam (Kongoussi). Son climat est du type sahélien et sa pluviométrie excède rarement 700 mm dans l'année. La population est estimée à 3 693 habitants avec une densité de 70 hab./km², et elle est composée principalement de Moose et de Peuls (MTDS, 2013).

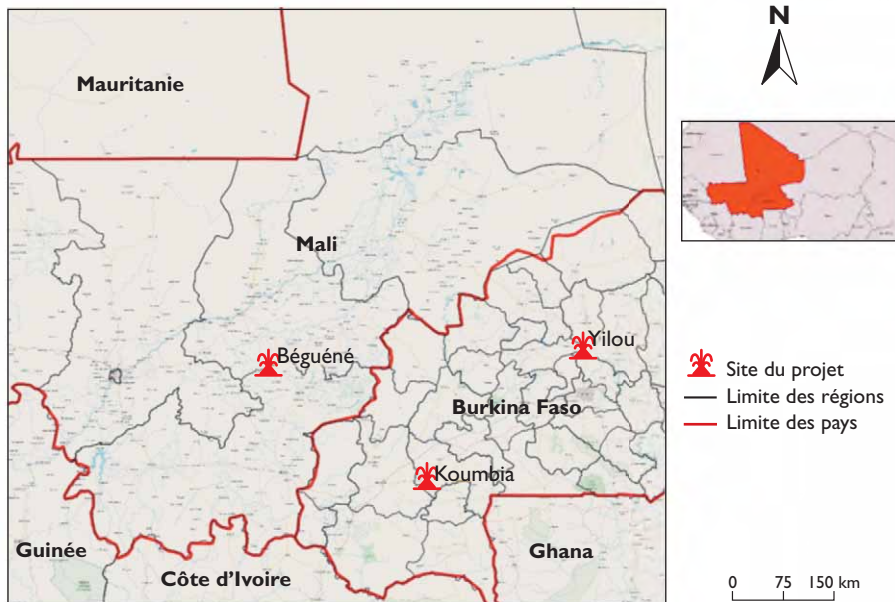


Figure 1.
Situation des villages d'étude.

Le village de Béguéné est un village du Mali situé à une dizaine de kilomètres de la ville de Bla. Il relève administrativement de la région de Ségou, cercle de Bla. Il est le chef-lieu de ladite commune rurale. La population de Béguéné était de 1 453 habitants en 2014. Les Bambara sont l'ethnie majoritaire, suivis des Sarakolé (BA *et al.*, 2017).

Collectes et analyse des données

Les données utilisées dans cette étude ont été collectées dans le cadre d'une opération de recherche-action en partenariat (FAURE *et al.*, 2010 ; DABIRE *et al.*, 2012 ; VALL et CHIA, 2014) basée sur la Méthode accélérée de recherche participative (MARP). Les outils utilisés sont d'abord l'entretien collectif, qui a concerné 92 producteurs à Yilou, 90 producteurs à Koumbia et 193 producteurs et productrices à Béguéné, tous membres des comités de concertation villageois (CCV) (DABIRE *et al.*, 2017 a; DAVIES *et al.*, 2017 ; DABIRE *et al.*, 2017 b ; KOUTOU *et al.*, 2012). En outre, deux focus groups homogènes et un focus group mixte (KITZINGER *et al.*, 2004) ont été mis en place dans chaque village selon le sexe et l'âge. Pour l'analyse des données, nous avons appliqué la méthode de QUIVY et CAMPENHOUDT (1995).

Résultats et discussion

Perceptions du CC par les producteurs

Le CC et ses risques constituent une réalité bien connue des producteurs, même s'ils s'observent différemment. Le CC est causé par l'action de l'homme, qui se trouve être lui-même victime de ce phénomène. Cependant, selon le Haut Conseil de la Santé Publique (HCSP, 2015), le CC n'est pas uniquement imputable aux activités humaines. Les facteurs naturels, comme l'activité du soleil et des volcans, la variation des circulations atmosphérique et océanique sont aussi à la base du phénomène (HCSP, 2015). Les différents témoignages rapportés lors de l'assemblée avec les producteurs confirment l'existence de phénomènes qui sont en rapport avec le CC. Dans les différents sites étudiés, les manifestations du CC s'observent sur l'évolution et la répartition des précipitations dans l'espace et dans le temps, sur les températures maximales et minimales ainsi que sur la vitesse du vent, sur la durée des saisons de culture et sur l'état des ressources naturelles.

PRÉCIPITATIONS

En ce qui concerne les précipitations, les populations des villages de Yilou et Koumbia constatent de plus en plus la présence de formations orageuses venant de toute part, et une mauvaise répartition des pluies dans le temps et dans l'espace. Ces pluies sont très souvent accompagnées de vents violents, et les périodes de début et de fin de ces pluies sont aléatoires.

Au-delà, les producteurs de Béguéné ont constaté qu'autrefois la durée de l'hivernage se situait entre 6 et 7 mois. Les pluies étaient bien réparties dans le temps et dans l'espace. Ce qui fait que le parc arboré de leur terroir était très dense. Les zones de pâturage pour les animaux étaient étendues et bien fournies en fourrage.

De nos jours, le constat global pointe une réduction de la durée de l'hivernage (3 à 4 mois de pluie), une mauvaise répartition de la pluviométrie dans le temps et dans

l'espace, avec des inondations récurrentes. Les poches de sécheresse sont plus longues pendant la saison des pluies. Des études similaires menées au Bénin ont montré que les populations béninoises observent les mêmes effets du CC (AGOSSOU *et al.*, 2012 ; GNANGLE *et al.*, 2012 ; SABAÏ *et al.*, 2014).

La perception du CC par les populations se fonde sur ses conséquences ou manifestations (TOMTEPAMBO, 2013). Dans le même registre, DELILLE (2011) identifie les perceptions des manifestations du CC avec le raccourcissement de la saison des pluies, la diminution des moyennes pluviométriques toute l'année – sauf éventuellement sur une période très courte –, la chaleur plus élevée à cause de l'absence de pluies, la succession de plusieurs années de sécheresse, des vents plus violents et la perturbation du calendrier agricole. Les conclusions des travaux de TOMTEPAMBO (2013) aboutissent aux mêmes formes de perception que celles relevées sur les trois sites étudiés.

TEMPÉRATURES

S'agissant des manifestations au niveau des températures, les populations de Yilou et Koumbia ont une bonne perception du réchauffement de leur environnement et d'un écart de plus en plus important de l'amplitude thermique entre le jour et la nuit. Les populations de Béguéné quant à elles font le constat de l'augmentation des températures journalières à la suite du CC. On constate qu'il y a certes des bouleversements induits par le CC, mais ceux-ci ne se manifestent pas de la même manière selon les zones.

VENTS

Pour ce qui est des vents, les paysans dans leur ensemble (Burkina Faso et Mali) estiment que les vents deviennent de plus en plus violents. Ce qui a un effet dévastateur sur les cultures.

RESSOURCES NATURELLES

Au niveau des ressources naturelles, les populations de Yilou et Koumbia notent la diminution de la production des arbres et la disparition de certains d'entre eux. Le couvert végétal aussi se dégrade de jour en jour. Le temps d'écoulement des cours d'eau se raccourcit. En outre, les populations observent la dégradation des sols et la baisse du niveau de la nappe phréatique. Les producteurs de Béguéné constatent une dégradation des ressources naturelles entraînant l'ensablement des champs, à la suite du transport de la partie fertile des champs vers les mares, ce qui diminue le potentiel productif des sols cultivés.

Système de prévision du climat et pratiques d'adaptation au CC

Dans l'optique de mieux se préparer aux effets du CC, les populations des trois sites ont inclus dans leurs habitudes (méthodes de prévision) l'observation minutieuse de plusieurs éléments naturels et des comportements des animaux et des plantes. L'observation des éléments naturels concerne essentiellement : 1) la température des mois de mars-avril ; 2) la direction du vent ouest-est ; 3) l'état de la saison précédente.

Au niveau des comportements, l'observation porte sur des animaux et des plantes : 1) la période de maturité du raisin et du karité ; 2) la direction de migration des oiseaux sud-nord ; 3) l'état de production des arbres en quantité ; 4) la direction de fructification des arbres est-ouest ; 5) la période d'apparition des crapauds.

À partir de ces observations, les producteurs ont énuméré des indicateurs d'appréciation des saisons :

- à travers l'observation des étoiles, les producteurs peuvent prédire si la saison sera bonne ou pas ;
- si les petits oiseaux (moineaux) font leurs nids sur les branchages les plus proches du sol, cela signifie que l'hivernage ne sera pas bon ;
- la mauvaise fructification de la plante *Lannea microcarpa* (raisinier Mpekou) avant l'hivernage indique une mauvaise pluviométrie de la campagne suivante ;
- la destruction des feuilles de *Piliostigma reticulatum* (Niama) par les insectes indique la prolifération des prédateurs de la campagne suivante ;
- la survenue de rêves en lien avec la pluie indique une bonne saison des pluies.

Stratégies et pratiques d'adaptation au CC

Face aux effets du changement climatique, les producteurs des trois villages ont recours à une diversité de stratégies et de pratiques basée sur une combinaison de savoirs endogènes et de savoirs scientifiques (fig. 2). Les pratiques endogènes sont les suivantes : le zaï, le paillage, la jachère, les semences des variétés traditionnelles à cycle court, l'épandage de fumure organique dans les champs de case et le contrat de parcage. Les pratiques actuelles d'adaptation au phénomène recommandées par

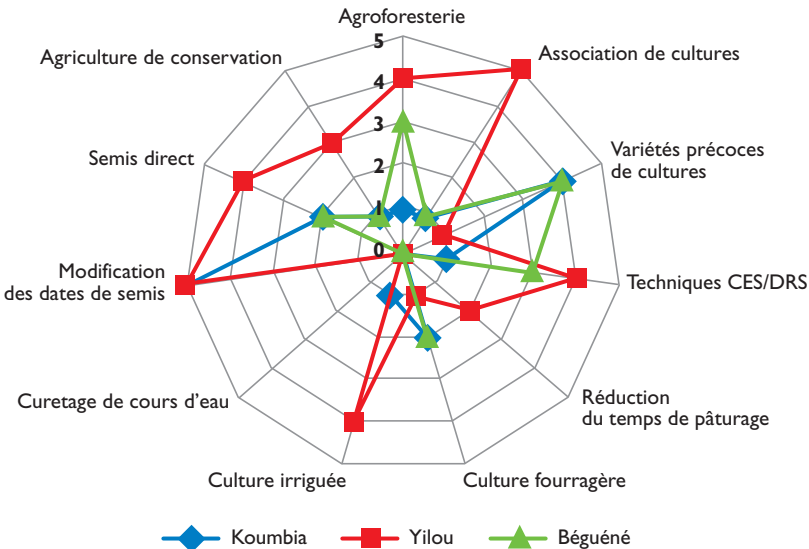


Figure 2. Répartition des stratégies et pratiques paysannes d'adaptation au CC par village d'étude.

les scientifiques sont : l'usage des diguettes antiérosives, du zaï amélioré, de la demi-lune, des bandes enherbées, de la régénération naturelle assistée (RNA), de la mise en défens, de la haie vive, des semences améliorées, des fosses fumières, des compostières, des biodigesteurs, des engrais chimiques et le recours aux pesticides (ZONGO, 2016 ; TOMTEPAMBO, 2013).

En ce qui concerne les stratégies utilisées par les paysans béninois en vue de s'adapter au CC, AGOSSOU *et al.* (2012) et DELILLE (2011) soulignent entre autres l'abandon de certaines cultures au profit de l'introduction de nouvelles cultures et/ou variétés, le déplacement de cultures d'une unité de paysage à une autre (gestion spatiale des cultures), la modification des emblavures et le changement d'itinéraire technique. Pour BEYE *et al.* (2010), les pratiques mises en œuvre à Thiès (Sénégal) telles que les dates de semis, les techniques de culture utilisées, les travaux du sol pratiqués paraissent aujourd'hui inappropriées face aux nouvelles conditions climatiques.

Les effets adverses du climat ont bouleversé les prévisions des producteurs et ont rendu inadaptées les anciennes recommandations des chercheurs en matière de bonnes pratiques agricoles. Il faut donc revisiter les itinéraires techniques de production pour les adapter à la situation actuelle que nous impose le climat, afin de permettre à la ressource « terre » d'exprimer son potentiel (TOMTEPAMBO, 2013).

Dans le nord du Bénin, GNANGLE *et al.* (2012) énumèrent comme stratégies adoptées par les producteurs « le changement de cultures, l'augmentation du nombre de sarclages, la fumure minérale et le re-semis ». Des pratiques magico-religieuses sont aussi mises en œuvre, notamment en ce qui concerne les poches de sécheresse. En parallèle aux producteurs du Nord-Bénin, DIPAMA (2016) relève que les populations d'Arbollé et de Bounou au Burkina Faso s'adonnent à des pratiques magico-religieuses similaires.

L'adoption de ces stratégies diffère selon le niveau économique des producteurs. C'est dans ce sens que SABAI *et al.* (2014) affirment : « Les contraintes financières sont donc les principales barrières à l'adaptation. » À l'opposé des perceptions, sur lesquelles l'âge avait une influence, il ne semble pas en avoir, au niveau des stratégies d'adaptation, sur l'adoption de telle ou telle stratégie. Cependant, « l'expérience des paysans en matière d'agriculture » influe sur le choix de la stratégie d'adaptation (GNANGLE *et al.*, 2012 ; SABAI *et al.*, 2014).

Conclusion

Le CC se définit comme la modification des éléments associés au climat et des ressources naturelles. L'homme est à la fois en grande partie responsable et entièrement victime du CC. Celui-ci a des conséquences néfastes sur la survie des hommes, en ce sens qu'il est à l'origine de famines récurrentes, d'inondations, de sécheresses, de l'exode rural des jeunes, de la perte du cheptel, de maladies. Les hommes ont développé un système endogène de prévision du climat (observation du comportement des animaux, plantes, oiseaux, insectes), leur permettant de mieux s'adapter au CC.

Les stratégies d'adaptation face aux effets du CC sont plurielles et diffèrent d'une localité à une autre, d'un producteur à un autre. Pour être plus efficaces, ces stratégies requièrent une mise en commun des expériences à tous les niveaux. Au demeurant, et comme le souligne ZONGO (2016) : « Une piste innovante et prometteuse d'adaptation à la variabilité et au CC est l'application de l'information climatique produite à partir d'une adaptation des modèles climatiques régionaux à l'échelle locale. » L'essentiel de ces stratégies et pratiques repose sur la maîtrise et la bonne gestion des ressources naturelles.

Références

- AGOSSOU D. S. M., TOSSOU C. R., VISSOH V. P., AGBOUSSO K. E., 2012**
Perception des perturbations climatiques, savoirs locaux et stratégies d'adaptation des producteurs agricoles béninois.
African Crop Science Journal, 20 (s2) : 565-588.
- BA A., KOURESSY M., TRAORE A., SISSOKO S., NOUHOU O. K., BAYOKO A., KONE A. K., 2017**
Rapport du diagnostic participatif du village de Béguéné.
Institut d'économie rurale, CRRRA de Sikasso, Mali, 35 p.
- BEYE G., SALL A., THIAO I. P., 2010**
Un observatoire régional pour l'adaptation des producteurs aux changements climatiques à Thiès, Sénégal.
Aperçu sur l'adaptation, 9, 4 p.
- CHIA E., 2004**
Principes, méthodes de la recherche en partenariat : une proposition pour la traction animale.
Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux, 57 : 233-240.
- DABIRE D., ANDRIEU N., TRIOMPHE B., 2012**
« Bilan des dispositifs de recherche en partenariat au Burkina Faso ». In Vall E., Andrieu N., Chia E., Nacro H. B. (éd.) : *Partenariat, modélisation, expérimentations : quelles leçons pour la conception de l'innovation et l'intensification écologique ?*
- Actes du séminaire Asap, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 15-17 novembre 2011, Cirad, 13 p.
- DABIRE D., LODOUN T., GUEL H., SOALA R., DOUZET J. M., SANON M., SANGARE M., 2017 a**
Diagnostic initial des systèmes de production agricole et stratégies paysannes d'adaptation au changement climatique dans le village de Yilou.
Rapport MARP, Projet ECO-FERT-CLIM, CIRDES/Bobo, 19 p.
- DABIRE D., FAYAMA T., LODOUN T., KOUAKOU P., GUEL H., TRAORE I., SOALA R., TRAORE A., DOUZET J. M., SANON M., SANGARE M., 2017 b**
Éléments de perceptions et pratiques paysannes d'adaptation au changement climatique : cas des producteurs des villages de Koumbia et Yilou au Burkina Faso.
Communication au Symposium International sur la Science et la Technologie (SIST), Ouagadougou, Burkina Faso, 10 p.
- DAVIES J., MARU Y., HALL A., KOLLO A. I., ADEGBIDI A., CARBERRY P., DORAI K., AMA ENNIN S., MAXWELL ETWIRE P., MCMILLAN L., NJOYA A., OUEDRAOGO S., TRAORE A., TRAORE-GUE N. J., WATSON I., 2017**
Understanding innovation platform effectiveness through experiences from west and central Africa.
Agricultural Systems, 165, 11 p.

DELILLE, H., 2011

Perceptions et Stratégies d'adaptation aux changements climatiques à Madagascar. Rapport Agronomes Vétérinaires Sans Frontières, 108 p.

DIPAMA J-M., 2016

Changement climatique et agriculture durable au Burkina Faso : stratégies de résilience basées sur les savoirs locaux. Rapport d'étude IED-PRESA, 36 p.

FAURE G., GASSELIN P., TRIOMPHE B.,

TEMPLE L., HOCDE H. (éd.), 2010
Innovier avec les acteurs du monde rural : la recherche-action en partenariat. Paris, Quae, 224 p.

FAYAMA T., KOUAKOU P.,

TRAORE A., TRAORE I., 2017
Rapport de la MARP. Synthèse du diagnostic participatif du village de Koumbia. Projet ECO-FERT-CLIM, INERA/Farakoba, Bobo, 9 p.

GNANGLE P. C., EGAH J.,

BACO M. N., GBEMAVO C. D. S. J.,

KAKAÏ R. G., SOKPON N., 2012
Perceptions locales du changement climatique et mesures d'adaptation dans la gestion des parcs à karité au Nord-Bénin.

Int. J. Biol. Chem. Sci., 6 (1) : 136-149.

HCSP, 2015

Impacts sanitaires de la stratégie d'adaptation au changement climatique. Paris, Documentation française, 137 p.

KITZINGER J., MARKOVÁ I.,

KALAMPALIKIS N., 2004

Qu'est-ce que les focus groups?
Bulletin de psychologie, 57 (3)/471 : 237-243.

KOUTOU M., VALL E., CHIA E.,

ANDRIEU N., TRAORE K., 2012

« Leçons de l'expérience des comités de concertation villageois pour la conception des innovations : le cas du projet Fertipartenaires au Burkina Faso ». In Vall E., Andrieu N., Chia E., Nacro H. B. (éd.) : *Partenariat, modélisation,*

expérimentations : quelles leçons pour la conception de l'innovation et l'intensification écologique ?

Actes du séminaire Asap, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso, 15-17 novembre 2011.

Ministère de l'Administration territoriale, de la Décentralisation et de la Sécurité (MATDS), 2013

Répertoire des villages administratifs et des secteurs de communes du Burkina Faso. MATDS, Ouagadougou, 241 p.

QUIVY R., CAMPENHOUDT L. V., 1995

Manuel de recherche en sciences sociales. Paris, Dunod, 287 p.

RENOUARD G., MONTOUSSE M., 2001

100 fiches pour comprendre la sociologie. Bréal, 234 p.

SABAÏ K., DAGBENONBAKIN G. D.,

AGBANGBA C. E., DE SOUZA J.-F.,

KPAGBIN G., AZONTONDÉ A., OGOUWALÉ E., TINTÉ B., SINSIN B., 2014

Perceptions locales de la manifestation des changements climatiques et mesures d'adaptation dans la gestion de la fertilité des sols dans la Commune de Banikoara au Nord-Bénin.

J. Appl. Biosci., 82 : 7418-7435.

TOMTEPAMBO A., 2013

Perceptions et Stratégies d'adaptation aux changements climatiques dans la commune rurale de Banh.

Mémoire de Master, Université de Ouagadougou, Burkina Faso, 86 p.

VALL E., CHIA E., 2014

« Co-construire l'innovation : la recherche-action en partenariat ». In Sourisseau (éd.) : *Agricultures familiales et mondes à venir*, Paris, Quae : 239-256.

ZONGO B., 2016

Stratégies innovantes d'adaptation à la variabilité et au changement climatiques au Sahel : Cas de l'irrigation de complément et de l'information climatique dans les EA du Burkina Faso.

Thèse doct., Université de Liège-Gembloux, Agro-Bio Tech., Belgique, 257 p.

Stratégies d'adaptation au changement climatique par l'utilisation de variétés améliorées d'arachide (zone Ouest du Burkina Faso)

*Alimata A. BANDAOGO,
Adama TRAORE,
Fatimata SABA*

Introduction

Au Burkina Faso, l'agriculture constitue la principale source de nourriture et de revenus et emploie 85 % de la population. Elle contribue pour environ 33 % au PIB du pays (MAHRH, 2011). Malgré son importance, ce secteur ne parvient pas à fournir une production capable d'assurer la sécurité alimentaire du pays. Cette agriculture est caractérisée par la faible productivité des systèmes de production, qui sont sous la dépendance de la pluviométrie, très aléatoire dans le temps et dans l'espace. Souffrant de cette dépendance, le secteur agricole est durement touché par les périodes de sécheresses et d'inondations. Le secteur agricole du pays est l'un des moins productifs du continent (PANA, 2006). Les conditions pédoclimatiques défavorables (pauvreté naturelle des sols en sels minéraux et insuffisance de la pluviométrie) et la dégradation des sols réduisent considérablement les rendements agricoles. Ces contraintes naturelles se doublent de contraintes techniques et financières qui se traduisent par la pratique d'une agriculture extensive de subsistance, utilisant très peu de moyens de production. Majoritairement constitués de petits exploitants, les producteurs burkinabés comptent parmi les 750 millions de petits exploitants agricoles travaillant dans l'agriculture dans le monde (OLINTO *et al.*, 2013). La FAO (2017) estime que ce nombre impressionnant de petits agriculteurs justifie que l'on s'intéresse spécialement aux menaces que le changement climatique fait peser sur leurs moyens d'existence, car ils sont extrêmement vulnérables. Il est donc particulièrement important d'améliorer leur résilience non seulement aux effets de l'évolution du climat, mais aussi au niveau des systèmes de production pour une sécurisation alimentaire. WIEBE *et al.* (2015)

estiment que les impacts du changement climatique entraîneront une sous-alimentation qui concernera 40 millions de personnes dans le monde à l'horizon 2050.

Malgré la complexité de la mise en place de politiques d'adaptation, plusieurs études, dont celles de STERN (2006) et PARRY *et al.* (2009) ont démontré qu'il était nécessaire d'agir dès maintenant, dans la mesure où les coûts des impacts du changement climatique seront supérieurs sans mise en place de mesures d'adaptation.

Pour répondre aux défis auxquels fait face la majorité des producteurs vulnérables au Burkina, la recherche de mesures d'adaptation et d'atténuation est une nécessité. Le développement et le transfert de technologies appropriées font partie intégrante des efforts déployés par l'Afrique pour s'adapter et atténuer les incidences du changement climatique sur le continent (AMCEN, 2014). Dans le domaine du transfert de technologies, on note la mise à disposition par les structures de recherches des variétés de cultures améliorées à hauts rendements, résistantes à la sécheresse et aux maladies. La FAO (2016) estime au vu des millions d'hectares de légumineuses cultivées et des tonnes d'azote fixées que les légumineuses contribueraient à une utilisation plus rationnelle des fertilisants, réduisant ainsi les émissions de gaz à effet de serre. En outre, RUSSEL (2015) indique que les variétés de légumineuses améliorées seront d'une importance cruciale, notamment pour les systèmes de production agricole à faible niveau d'intrants. En outre, leur intégration dans les systèmes alimentaires peut être un élément fondamental pour renforcer la résilience face au changement climatique (FAO, 2016).

La présente étude a pour objectif de favoriser l'introduction de nouvelles variétés d'arachide en les comparant avec les variétés locales dans les systèmes de production agricole de la commune rurale de Koumbia, située en zone sud-soudanienne du Burkina Faso. Si ces nouvelles variétés se montrent plus performantes, leur adoption va renforcer les stratégies d'adaptation au changement climatique des producteurs.

Matériel et méthodes

Site d'étude

L'étude a été conduite pendant la campagne agricole en 2018 dans la commune rurale de Koumbia dans la zone sud-soudanienne du Burkina Faso (fig. 1). La commune de Koumbia est située à 12° 42' 20" de latitude Nord, 4° 24' 01" de longitude Est, à une altitude de 290 m. Koumbia est située à 67 km à l'est de Bobo-Dioulasso. L'emprise agricole est estimée à 35 % de la surface du territoire villageois, et les systèmes de production sont principalement composés de céréaliculture, de culture du coton et d'élevage bovin (DIALLO, 2006). La typologie des unités de production de Koumbia, réalisée par BLANCHARD (2005), a mis en évidence trois principaux types de producteurs : les éleveurs (9 %), les agriculteurs (84 %) et les agro-éleveurs (7 %).

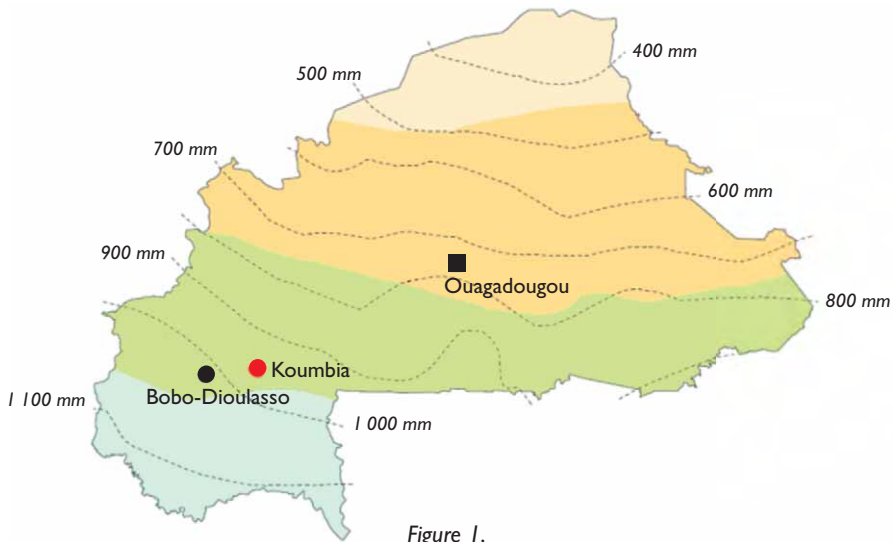


Figure 1.
Localisation du village de Koumbia (adapté par Semporé, 2010).

Échantillonnage

L'échantillonnage a concerné 17 productrices et 4 producteurs soit un total de 21 producteurs d'arachide. Le critère fondamental de sélection des producteurs a porté sur la pratique de la production d'arachide. L'accent a été mis sur les femmes qui s'adonnent majoritairement à la production d'arachide utilisée pour l'autoconsommation et/ou comme source de revenu dans la zone.

Dispositif des tests

Les exploitations individuelles ont été utilisées pour la mise en place des 21 parcelles d'arachide. Sur chaque exploitation, deux parcelles de 400 m² (20 m x 20 m) chacune ont été délimitées, séparées d'une allée de 1 m. Il s'agit de la parcelle technologique (PT) de 400 m² utilisée pour mettre en place la variété améliorée avec l'itinéraire technique de production recommandée, comparée à l'autre parcelle en pratique paysanne (PP) de 400 m² laissée au producteur avec sa variété locale comme témoin.

Les fumures

Pour répondre aux exigences de la culture de l'arachide, de la fumure organique et minérale NPK (de la formulation 14-23-14+6S+1B) a été apportée sur les parcelles technologiques (PT). La fumure organique, constituée majoritairement de fumier de bovin, a été apportée au moment des semis à la dose de 2 t/ha. La fumure minérale a été apportée 15 jours après semis à la dose de 100 kg/ha.

Variétés

Deux variétés améliorées ont été utilisées par les producteurs. Il s'agit des variétés E-104 et Fleur 11. Les choix ont été effectués de manière participative par

les producteurs au vu des différentes caractéristiques. La E-104 a un cycle semis-maturité court de 75-80 jours avec un rendement potentiel gousse de 1,5 à 2 t/ha. Avec un cycle semis-maturité relativement plus long de 90 jours, la variété Fleur 11 a un rendement potentiel de 4 à 5 t/ha avec une résistance à la sécheresse. En ce qui concerne la variété locale utilisée par les producteurs, les semences sont achetées directement sur les marchés locaux ou issues d'anciens stocks de production des années antérieures. Les critères de choix de la variété locale sont généralement fonction du nombre de mois de culture semis-maturité (3 mois ou 4 mois).

Semis

Les semis en pratique technologique (PT) ont été effectués à raison d'une graine par poquet aux écartements de 0,40 m entre les lignes et 0,40 m entre les poquets. La densité de semis en pratique paysanne (PP) est effectuée selon les pratiques locales. Les semis en PP ne suivent pas souvent des lignes régulières et ont des écartements plus ou moins larges que ceux recommandés. Les parcelles PT et PP de chaque producteur ont été semées le même jour.

Entretiens culturaux

Les entretiens culturaux ont consisté à désherber les parcelles. Ces opérations ont été effectuées par les producteurs selon ce qui était nécessaire sur les deux parcelles. Les herbicides chimiques ne sont pas autorisés dans les tests.

Évaluation des rendements

À maturité de l'arachide au champ, 5 carrés de rendement de 4 m² ont été placés dans chaque parcelle PT et PP. Les arachides ont ensuite été égoussées et séchées à l'air libre par chaque producteur et les poids gousses et fanes ont été mesurés à l'aide de balance électronique.

Analyse des données

Les données collectées ont été saisies sur Excel et les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel XLSTAT 2014.5.03. Les moyennes ont été séparées par la méthode de Newman-Keuls au seuil de confiance de 95 %.

Résultats

Effet des variétés sur le rendement gousses d'arachide

Les rendements gousses de chaque parcelle des tests sont mentionnés dans le tableau 1.

Tableau 1.
Rendements gousses d'arachide par variété.

Variétés	Rendement gousses (kg/ha)
Fleur 11	1 652 a ±474
E-104	1 333 a ±158
Locale	711 b ±302
Probabilité	$P < 0,001$
Signification	HS

Les chiffres portant les mêmes lettres dans une colonne ne sont pas significativement différents au seuil de probabilité 5 %. HS : hautement significatif

Il ressort des analyses statistiques une différence hautement significative entre les différentes variétés. Les variétés améliorées Fleur 11 et E-104 enregistrent les meilleurs rendements gousses, avec respectivement 1 652 kg/ha et 1 333 kg/ha, soit 232 % et 187 % supérieurs aux variétés locales. Les variétés locales ont été les moins performantes, donnant un rendement gousse moyen de 711 kg/ha.

Effet des variétés sur le rendement en fanes d'arachide

Les rendements en fanes d'arachide par variété sont consignés dans le tableau 2. Les analyses statistiques montrent également des différences hautement significatives avec une meilleure performance des variétés améliorées qui donnent les meilleurs rendements en fanes. Avec des augmentations de rendements de 259 % pour la E-104 et 253 % pour la fleur 11 par rapport aux variétés locales, les variétés améliorées donnent les plus importantes quantités de biomasse sèche.

Tableau 2.
Rendements fanes d'arachide par variété.

Variétés	Rendement fanes (kg/ha)
Fleur 11	2346 a ±673
E-104	2400 a ±284
Locale	925 b ±393
Probabilité	$P < 0,001$
Signification	HS

Les chiffres portant les mêmes lettres dans une colonne ne sont pas significativement différents au seuil de probabilité 5 %. HS : hautement significatif

Discussion

Les résultats des analyses des tests ont montré des différences hautement significatives entre les variétés améliorées utilisées et les variétés locales d'arachide dans la

commune rurale de Koumbia. Cette performance des variétés améliorées s'explique, d'une part, par leurs potentiels de rendement et, d'autre part, par l'itinéraire technique de production qui a été respecté par les producteurs testeurs. Il faut mentionner que les variétés améliorées sont obtenues après un processus systématique et scientifique de sélection par lequel les sélectionneurs modifient les caractéristiques des plantes afin d'obtenir les caractéristiques souhaitées et accroître leur valeur (FAO, 2016). Cette amélioration ne peut qu'octroyer de nombreuses qualités à ces nouvelles variétés par rapport aux écotypes locaux dont elles sont issues dans la plupart des cas. Selon la DGPV (2007), la semence améliorée contribue pour près de 40 % à l'accroissement des rendements. Mais les variétés améliorées ne pourraient donner à elles seules le potentiel en rendement escompté sans une fertilisation et un entretien adéquats. L'apport de la fumure organique et minérale sur les variétés améliorées a permis de réaliser les meilleurs rendements obtenus par rapport aux variétés locales, qui sont issues de stocks destinés pour la plupart à la consommation et ne répondant pas aux critères de semences. Les variétés locales utilisées par les producteurs sont souvent achetées sur les marchés locaux, avec pour seul critère d'achat le nombre de mois semis-maturité. Ces graines ou semences vendues sont les mêmes graines que celles destinées à la consommation domestique achetées par les transformatrices. On ne peut donc pas attribuer à ces graines une quelconque caractéristique technique, en ce sens qu'elles n'ont pas été produites en tant que semence. Ces graines locales sont gardées depuis plusieurs décennies par leurs détenteurs en passant d'une génération à l'autre. En outre, dans la pratique paysanne, l'arachide n'est pas fertilisée par les producteurs, au risque d'avoir plus de biomasse aérienne que de gousses. Cette manière de procéder des producteurs tient à la nature légumineuse de l'arachide, moins exigeante en azote, mais aussi à leur méconnaissance des itinéraires techniques de production de l'arachide. L'utilisation comme semences de variétés locales aux cycles et potentiels de rendements inconnus et leur production sans apport de fertilisants organiques ou minéraux ne peuvent assurer de meilleurs rendements que ceux apportés par les variétés améliorées.

Des études similaires ont été réalisées par TRAORÉ (2011) dans 2 villages au Burkina Faso, dans lesquels l'utilisation de deux variétés améliorées de maïs (Barka et Espoir) et de sorgho (Sariasso 01 et Sariasso 02) et d'une variété améliorée de niébé (KVX 396-4-5-2D) a conduit à des rendements supérieurs à ceux de leurs écotypes locaux. GNOUMOU (2016) a également montré dans deux villages de la province du Bam au Burkina Faso que la semence améliorée de sorgho Sariasso 11 s'adapte mieux au changement climatique que l'écotype local en pratique paysanne.

Conclusion

Les impacts du changement climatique sur l'agriculture et la production agricole font peser sur la sécurité alimentaire une lourde menace qui ne cesse de prendre de l'ampleur.

Les possibilités d'adaptation sont multiples, mais il est impératif d'intensifier l'action engagée si l'on veut réduire la vulnérabilité à l'égard du changement climatique. En attendant les mesures qui devront être prises pour réduire les répercussions de l'évolution et de la variabilité du climat sur nos sociétés, les stratégies d'adaptation doivent être davantage développées au profit des populations et des couches les plus vulnérables en termes de sécurisation alimentaire. Les variétés améliorées d'arachide Fleur 11 et E-104 choisies et testées par les producteurs dans la commune rurale de Koumbia ont permis d'augmenter les rendements de l'arachide par rapport aux variétés locales couramment utilisées. Dans les mêmes conditions climatiques, ces variétés ont atteint des rendements de 1,5 à 2 fois plus élevés que ceux des variétés locales.

Remerciements

Les auteurs expriment leur gratitude :

– au Programme GRN/SP de l'Institut de l'environnement et de recherches agricoles/Station de recherches de Farako-Bâ pour son soutien multiforme à la réalisation de cette étude ;

– au ministère français des Affaires étrangères et du Développement international (MAEDI) à travers le projet ECOFERTCLIM pour le financement des activités.

Références

AMCEN, 2014

Stratégie africaine sur les changements climatiques. Conférence ministérielle africaine sur l'environnement, 84 p.

ANDRIEU N., DUGUE P., LE GAL P. Y., SCHALLER N., 2009

Modéliser le fonctionnement d'exploitations agricoles de polyculture élevage pour une démarche de conseil. Cas de la zone cotonnière de l'ouest du Burkina Faso. Colloque « Savanes africaines en développement : innover pour durer », Garoua, Cameroun, 20-24 avril 2009, 12 p.

BLANCHARD M., 2005

Relations agriculture élevage en zone cotonnière : territoire de Koumbia et Waly, Burkina Faso. Mémoire DESS, Créteil, université Paris-XII, 63 p. + annexes.

DGPV, 2007

Semences améliorées vulgarisées au Burkina Faso. Direction générale de la protection des végétaux, Burkina Faso, 62 p.

FAO, 2016

Les légumineuses et le changement climatique. 2 p.

FAO, 2017

La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture : changement climatique, agriculture et sécurité alimentaire. 40^e session, Conférence de Rome, 3-8 juillet 2017, 17 p.

GNOUMOU N. X., 2016

Adaptation aux changements climatiques : l'impact du zaï et des semences améliorées

sur le rendement du sorgho dans les villages de Loaga et Sika (province du Bam), Burkina Faso.

Mémoire de fin de cycle Ingénieur en vulgarisation, Institut du développement rural (IDR), Université Polytechnique de Bobo, Burkina Faso, 57 p.

MAHRH, 2011

Stratégie Nationale de Développement de la Riziculture.

Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources halieutiques (MAHRH), Ouagadougou, Burkina Faso, 43 p.

OLINTO P., BEEGLE K., SOBRADO C., UEMATSU H., 2013

THE state of the poor: where are the poor, where is extreme poverty harder to end, and what is the current profile of the world's poor? *Economic Premise*, 125, Washington, Banque mondiale.

PANA, 2006

Programme d'Action National d'Adaptation à la variabilité et aux changements climatiques (PANA du Burkina Faso). 76 p.

PARRY M. N., ARNELL P., BERRY D., DODMAN S., FANKHAUSER C., HOPE S., KOVATS R., NICHOLLS D., SATTERTHWAITE R., TIFFIN, WHEELER T., 2009

Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change: A Review of the UNFCCC and Other Recent Estimates. London, International Institute for Environment and Development and the Grantham Institute for Climate Change, Imperial College.

RUSSEL N., 2015

Beans that can beat the heat (disponible sur <https://ciat.cgiar.org/position-crops/beans-that-can-beat-the-heat>).

SEMPORÉ W. A., 2010

Validation d'un modèle de simulation du fonctionnement de l'exploitation coton-céréales-élevage dans l'ouest du Burkina Faso.

STERN N., 2006

The Economics of Climate Change [The Stern Report]. Cambridge, Cambridge University Press.

TRAORÉ A., 2011

Adaptation de variétés améliorées de sorgho, maïs et niébé cultivées dans des conditions pédologiques favorables et dans un contexte de changement climatique en zone périurbaine de Bobo-Dioulasso. Mémoire de DEA, Université Polytechnique de Bobo, 54 p.

WIEBE K., LOTZE-CAMPEN H., SANDS R., TABEAU A., VAN DER MENSBRUGGHE D., BIEWALD A., BODIRSKY B., ISLAM S., KAVALLARI A., MASON-D'CROZ D., MÜLLER C., POPP A., ROBERTSON R., ROBINSON S., VAN MEIJL H., WILLENBOCKEL D., 2015

Climate change impacts on agriculture in 2050 under a range of plausible socioeconomic and emissions scenarios. *Environmental Research Letters*, 10 (08) : 1-15.

Effet de la période d'application du compost sur les rendements du sorgho et la productivité de l'eau de pluie (zone soudanienne du Burkina Faso)

Souleymane OUÉDRAOGO,
Baba OUATTARA, Alimata A. BANDAOGO,
Patrice KOUAKOU, Fagaye SISSOKO

Introduction

Au Burkina Faso, le secteur agricole occupe plus de 86 % de la population active et contribue à environ 40 % au PIB. Malgré cette importance et sa forte domination par les cultures céréalières, il peine à nourrir la population burkinabée du fait de sa très faible productivité. Les principales céréales cultivées sont le sorgho, le mil, le maïs et le riz. Elles constituent l'aliment de base de la population. Les faibles rendements de ces cultures sont souvent dus aux conditions pluviométriques défavorables, à la pauvreté des sols et à la mauvaise gestion de leur fertilité (BADO, 2002). En effet, l'installation tardive, les interruptions temporaires ou les fins précoces des pluies occasionnent des pertes de 11 % du bilan céréalier annuel du Burkina Faso (DGPER, 2013). En outre, la dégradation des terres, qui est un phénomène de plus en plus inquiétant dans la zone Ouest du pays, accentue l'instabilité de la production agricole. L'effet des apports d'engrais a tendance à plafonner les rendements du fait de la faible teneur en matière organique des sols. Selon BERGER *et al.* (1987), après 12 à 15 ans de culture continue, le taux de matière organique chute à 0,6 %, qui est le seuil de non-réponse du sol aux engrais minéraux. Selon la MAAH/DGESS (2017), la part du sorgho (blanc et rouge confondu) était de 43 % des superficies cultivées en céréales et de 36 % de la production céréalière pour la campagne agricole 2016/2017.

L'utilisation de faibles quantités d'engrais associée à la fumure organique permet d'obtenir des rendements plus ou moins stables et plus élevés que ceux obtenus avec les fumures exclusivement minérales (LOMPO *et al.*, 1993). Il est alors urgent de

trouver des alternatives pour restaurer la structure de nos sols dégradés. Au vu de cela, nous devons inclure la fertilisation organique pour une bonne structure de nos sols. La fertilisation raisonnée permettra de restaurer le sol et d'apporter aux plantes les éléments nécessaires dont elles auront besoin au bon moment et en quantité suffisante. Toutefois, les capacités de production de matière organique dans les exploitations agricoles restent faibles au regard des besoins très élevés, ce qui implique une utilisation efficiente de celle-ci. Cette efficacité de l'utilisation de la MO se traduit par les doses apportées, les modes d'application, mais aussi les périodes d'application. Ce chapitre vise à étudier l'effet de la période d'application d'un compost de bonne qualité sur le développement des plants et les rendements agricoles du sorgho en zone soudanienne du Burkina Faso.

Nous formulons l'hypothèse qu'avec le niveau de fertilité actuel des sols au Burkina Faso, la période d'application du compost influence le développement des plants et les rendements agronomiques du sorgho.

Matériel et méthode

Matériel

SITE D'ÉTUDE

La présente étude a été conduite à la station de recherches de Farako-Bâ au Burkina Faso (Afrique de l'Ouest). La station de Farako-Bâ est située à 10 kilomètres au sud-ouest de la ville de Bobo-Dioulasso, à 11°06 de latitude Nord, 4°20 de longitude Ouest et à 405 m d'altitude. Le climat y est de type tropical soudanien (GUINKO et FONTÈS, 1995). La saison des pluies s'étale en moyenne entre mi-mai et mi-octobre. La pluviométrie annuelle est variable d'une année à l'autre. Ainsi, au cours des deux années d'étude, elle a été de 744,6 mm en 51 jours en 2017 et 1303,7 mm en 70 jours en 2018. La moyenne des températures varie de 25 °C en janvier à 32 °C en avril avec une variation de la température jour-nuit de 20 °C. L'humidité relative de l'air varie de 6 % en saison sèche à 95 % en saison des pluies (BADO, 2018).

LES SOLS

Les sols de Farako-Bâ, à l'instar des sols de l'ouest du Burkina-Faso, sont essentiellement des sols ferrugineux tropicaux peu lessivés. Ils se développent sur des matériaux riches en argile de type kaolinite et se caractérisent par une richesse en oxydes et hydroxydes de fer et de magnésium qui leur donne une couleur rouge ou ocre. D'épaisseur moyenne, leur horizon de surface gris clair est pauvre en matière organique. Ces sols ont souvent une texture sableuse et sont appauvris en éléments chimiques. Un troisième horizon argileux, rouge où le fer s'accumule en taches ou nodules, apparaît plus bas. Ces sols sont pauvres en calcium, potassium et phosphore assimilables par les plantes. Ils ont une mauvaise structure et sont sensibles à l'érosion.

Leur profondeur moyenne varie de 40 à 100 cm (ZERBO, 1995). L'analyse de l'échantillon composite du sol en début d'expérimentation a donné les caractéristiques présentées dans le tableau 1.

MATÉRIEL VÉGÉTAL

Pour cette étude, des semences de sorgho de la variété Sarioso 01 ont été utilisées. Sarioso 01 est une variété composite de sorgho de 120 jours avec une photosensibilité prononcée. Ces semences ont été fournies par les sections de sélections sur le maïs et le sorgho de la station de Farako-Bâ.

FERTILISANTS

Des engrais chimiques composés NPKSB (14-23-14-6-1) et de l'urée à 46 % N ont été utilisés avec un compost à base de tiges de sorgho aux caractéristiques présentées dans le tableau 1.

Tableau 1.
Caractéristiques chimiques du sol de l'étude (horizon 0-20 cm)
et du compost utilisé.

Paramètres	Sol initial	Compost
pH eau	5,86	8,39
Carbone (%)	0,24	22,51
Matière organique	0,41	38,81
N total (%)	0,02	1,22
C/N	10,86	18,38
P total (%)	92,33	0,37
P assimilable (%)	7,25	-
K total	1 196,97	1,75
K disponible (%)	48,29	-

Dispositif expérimental

L'expérimentation a été conduite à la station de Farako-Bâ sur un terrain précédemment en jachère. L'essai a été mis en place selon un dispositif en bloc raisonné à quatre (04) traitements en quatre (04) répétitions, soit un total de seize (4 x 4 = 16) parcelles élémentaires. L'essai a une superficie de 357,2 m² (19 m x 18,8 m) et les parcelles élémentaires ont chacune 12,8 m² (4 m x 3,2 m). Les parcelles élémentaires (PE) ont été séparées par des allées de 2 m et les répétitions par des allées de 1 m. Ces dispositions ont été prises pour éviter au maximum l'effet de ruissellement. Les traitements ont été : T0 = témoin absolu sans aucune fumure, T1 = fumure minérale seule, T2 = fumure minérale + compost à base de résidu de sorgho apporté au semis, T3 = fumure minérale + compost à base de résidu de sorgho au 15^e jour après semis.

Données collectées

Les données collectées ont concerné le développement des plants (hauteur, diamètre au collet, nombre de feuilles), le rendement en biomasse et en grains. Pour cela, dix plants ont été marqués par parcelle élémentaire pour être régulièrement suivis. La hauteur et le diamètre au collet des plants ont été mesurés toutes les deux semaines à partir du 21^e jour après semis (JAS). Le nombre de feuilles par plant a été compté au même pas de temps. À la maturité complète, les panicules et les tiges des trois lignes centrales de chaque parcelle élémentaire ont été récoltées (panicules et pailles) en laissant deux poquets de semis de part et d'autre pour minimiser l'effet bordure. Pour la biomasse, deux échantillons de 1 kg de paille par traitement ont été prélevés, séchés au soleil pendant dix jours puis placés à l'étude à 105 °C pendant 48 heures pour déterminer la teneur en matière sèche (% MS). Ces données ont été utilisées pour calculer le rendement en grains et en pailles.

Calcul du rendement en grains et en pailles

Les rendements en grains (Rdt G) et en pailles (Rdt P) ont été calculés à l'aide des formules suivantes :

$$\text{Rdt G} = \frac{\text{Production en grains de la parcelle utile (kg)}}{\text{Superficie parcelle utile (m}^2\text{)}} \times 10\,000$$

$$\text{Rdt P} = \frac{\text{Production de biomasse de la parcelle utile (kg)}}{\text{Superficie parcelle utile (m}^2\text{)}} \times \% \text{ MS} \times 10\,000$$

Détermination de l'indice de récolte et de la productivité de l'eau de pluie

L'indice de récolte (IR) et la productivité de l'eau de pluie (PEP) ont été calculés à partir des formules suivantes (OUATTARA *et al.*, 2018) :

$$\text{IR} = \frac{\text{Rendement grains}}{\text{Rendement grains} + \text{rendement pailles}}$$

$$\text{PEP grains (kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Rendement grains (kg/ha)}}{\text{Quantité d'eau (mm)}}$$

$$\text{PEP biomasse (kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Rendement pailles (kg MS/ha)}}{\text{Quantité d'eau (mm)}}$$

La quantité d'eau de pluie utilisée est celle correspondant aux pluies tombées du semis à la maturité de chaque culture.

Analyse statistique

Les données collectées ont été saisies sur micro-ordinateur à l'aide du logiciel Excel version 2016. Elles ont été ensuite soumises à une analyse de variance à l'aide du logiciel XLSTAT version 2016.07.39465. Les moyennes des différents traitements ont été séparées par le test LSD de Fisher au seuil de 5 % pour comparer leurs effets.

Résultats

Effet des traitements sur les paramètres de développement des plants de sorgho

Le tableau 2 présente les résultats de l'effet des traitements sur les paramètres de développement des plants de sorgho.

Les facteurs Année, Traitement et leur interaction (Année * Traitement) ont eu des effets significatifs ($P < 0,05$) sur les paramètres de développement des plants de sorgho, sauf pour le cas de l'effet de l'année sur le diamètre au collet des plants de sorgho ($P = 0,159$).

Tableau 2.
Paramètres de développement des plants de sorgho en fonction des traitements.

Année	Traitement	Hauteur plants (cm)		Diamètre au collet (cm)		Nb feuilles	
		Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
2017	T0	223 ^b	32	1,8 ^b	0,3	10 ^b	2
	T1	312 ^f	25	2,2 ^d	0,3	13 ^e	2
	T2	287 ^{cde}	36	2,0 ^{bc}	0,3	12 ^d	2
	T3	275 ^{cd}	32	2,0 ^c	0,2	12 ^{de}	2
2018	T0	167 ^a	47	1,5 ^a	0,5	8 ^a	2
	T1	269 ^c	60	2,2 ^d	0,6	11 ^{bc}	2
	T2	296 ^{def}	46	2,3 ^d	0,5	12 ^{cd}	3
	T3	300 ^{ef}	54	2,3 ^d	0,5	11 ^{bcd}	2
Effet des facteurs							
Sources de variation				Pr>F			
Année		0,005		0,159		< 0,0001	
Traitement		< 0,0001		< 0,0001		< 0,0001	
Année * Traitement		< 0,0001		0,000		0,030	

En 2017, on note que l'application du compost (T2 et T3) n'a pas amélioré le développement des plants de sorgho comparativement à l'application de la fumure minérale seule (T1). En 2018, cette application du compost a permis d'obtenir des plants plus hauts (T2 = 296 cm ; T3 = 300 cm) comparés au traitement T1 (269 cm) et au témoin qui a enregistré des plants moins hauts (167 cm), les autres paramètres n'ayant pas été différenciés.

Effet des traitements sur les rendements grains et pailles et l'indice de récolte

Les résultats de l'effet des facteurs étudiés sur les rendements en grains et en pailles ainsi que l'indice de récolte sont résumés dans le tableau 3. Les facteurs Année et Traitement ont influencé significativement les rendements grains et pailles ainsi que l'indice de récolte, alors que l'interaction Année * Traitement n'a pas eu d'effet significatif sur ces variables ($P = 0,691$; $0,297$; $0,611$).

En 2017 et en 2018, la période d'application du compost (T2 et T3) n'a pas affecté significativement les rendements en grains par rapport à la fertilisation minérale seule (T1). Mais les rendements en grains de ces trois traitements ont été statistiquement supérieurs au témoin (T0).

Pour le rendement en pailles, les résultats ont montré que l'application du compost au 15^e JAS a enregistré des valeurs statistiquement plus élevées au cours de l'étude (8,9 t MS/ha et 10,6 t MS/ha respectivement pour 2017 et 2018). Pendant qu'en 2017, les rendements en pailles des traitements T0, T1 et T2 n'ont pas significativement varié, en 2018, le traitement T2 (8 t) a été significativement supérieur aux traitements T0 (5 t) et T1 (5 t) qui sont restés similaires.

Quant à l'indice de récolte, l'application du compost au 15^e JAS a enregistré les plus faibles valeurs sur la période de l'essai (T3 = 0,18 pour 2017 et 0,17 pour 2018).

En année moins pluvieuse (700 mm), les indices de récolte des traitements T0, T1 et T2 ont été supérieurs de l'ordre d'une fois et demie au traitement T3.

Tableau 3.
Effets des traitements sur les rendements en grains et en pailles du sorgho.

Année	Traitement	Rendement en grains (kg/ha)		Rendement en pailles (kg MS/ha)		Indice de récolte (IR)	
		Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
2017	T0	1 258 ^{ab}	290	3 879 ^a	2 543	0,28 ^d	0,11
	T1	1 791 ^d	336	4 451 ^a	804	0,29 ^d	0,01
	T2	1 796 ^d	119	5 246 ^a	566	0,26 ^{cd}	0,03
	T3	1 980 ^d	182	8 850 ^b	741	0,18 ^{ab}	0,02
2018	T0	1 023 ^a	177	4 909 ^a	849	0,17 ^{ab}	0,00
	T1	1 393 ^{bc}	376	5 154 ^a	791	0,21 ^{bc}	0,03
	T2	1 670 ^{cd}	149	8 010 ^b	713	0,17 ^{ab}	0,00
	T3	1 646 ^{cd}	147	10 592 ^c	622	0,13 ^a	0,02
LSD		350		1 650		0,061	
Effet des facteurs							
Sources de variation				Pr>F			
Année		0,004		0,001		< 0,0001	
Traitement		< 0,0001		< 0,0001		0,002	
Année * Traitement		0,691		0,297		0,611	

Effet des traitements sur la productivité de l'eau de pluie

Le résultat de l'effet des traitements sur la productivité en grains et pailles de l'eau de pluie est présenté au tableau 4.

Les facteurs Année et Traitements ont eu un effet très hautement significatif sur la productivité en grains et en pailles de l'eau de pluie. Par contre, leur interaction (Année * Traitement) n'a eu d'effet significatif que sur la productivité en pailles de l'eau de pluie.

En 2017, le traitement témoin (T0) a enregistré la productivité en grains de l'eau de pluie la plus faible (3,31 kg.ha⁻¹.mm⁻¹). La période d'application du compost n'a pas distingué significativement la productivité en grains de l'eau de pluie d'avec celle de l'application de l'engrais minéral seul. Mais, l'application du compost à 15 JAS a accru significativement la productivité en pailles de l'eau de pluie (9,53 kg.ha⁻¹.mm⁻¹) par rapport aux autres traitements qui sont restés statistiquement comparables.

En 2018, les traitements n'ont pas distingué significativement la productivité en grains de l'eau de pluie alors que la période d'application du compost a significativement différencié la productivité en pailles de l'eau de pluie. L'application du compost à 15 JAS a mieux valorisé l'eau de pluie en biomasse (27,89 kg.ha⁻¹.mm⁻¹) suivie de son application au semis (21,09 kg.ha⁻¹.mm⁻¹) qui est elle-même supérieure à la fertilisation minérale seule (13,57 kg.ha⁻¹.mm⁻¹). Le témoin a enregistré la plus faible productivité (12,93 kg.ha⁻¹.mm⁻¹).

On observe cependant un contraste entre la productivité en grains et en pailles de l'eau de pluie entre les deux années. Ainsi, tandis que la productivité en grains de l'eau de pluie a été réduite de trois fois environ de 2017 à 2018, celle en pailles a augmenté de près de 3 à 4 fois entre les mêmes années.

Tableau 4.

Productivité de l'eau de pluie en grains et en biomasse en fonction de l'année et des traitements.

Année	Traitement	PEP en grains (kg/ha/mm)		PEP biomasse (kg/ha/mm)	
		Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
2017	T0	3,31 ^b	0,76	4,18 ^a	2,74
	T1	4,72 ^c	0,88	4,79 ^a	0,87
	T2	4,73 ^c	0,31	5,65 ^a	0,61
	T3	5,21 ^c	0,48	9,53 ^b	0,80
2018	T0	1,10 ^a	0,19	12,93 ^c	2,24
	T1	1,50 ^a	0,40	13,57 ^c	2,08
	T2	1,80 ^a	0,16	21,09 ^d	1,88
	T3	1,77 ^a	0,16	27,89 ^e	1,64
LSD		0,719		2,569	
Effet des facteurs					
Sources de variation		Pr>F			
Année		< 0,0001		< 0,0001	
Traitement		0,004		< 0,0001	
Année * Traitement		0,096		< 0,0001	

Effet des traitements sur la fertilité résiduelle du sol

Les résultats de l'analyse des échantillons du compost utilisé et du sol avant la mise en place de l'essai et après la récolte en 2018 sont présentés dans le tableau 5. L'analyse de l'effet des facteurs étudiés sur les caractéristiques chimiques résiduelles du sol en fin d'expérimentation n'a révélé aucune différence significative au seuil de

5 %. Toutefois, on note une tendance à l'amélioration de ces caractéristiques avec l'application du compost au semis et à 15 JAS par rapport au témoin et à la fertilisation minérale seule.

Tableau 5.
Caractéristiques chimiques du sol en fonction des traitements.

Traitement	Ph eau	Mat. organique (C*1,724 en %)	N total (%)	P total (mg/kg)	P_Bray I (mg/kg)	K-total (mg/kg)	K-dispo (mg/kg)
Compost	8,39	38,81	1,22	0,37	-	1,75	-
Sol initial	5,86	0,41	0,022	92,33	7,25	1 196,97	48,29
Résiduel T0	5,65	0,55	0,027	57,79	4,04	880,51	53,79
Résiduel T1	5,74	0,58	0,028	55,00	5,48	822,58	52,64
Résiduel T2	5,95	0,65	0,033	58,49	3,93	892,10	60,95
Résiduel T3	6,04	0,66	0,033	61,27	4,88	903,68	61,41

Discussion

En année moins pluvieuse (2017), malgré l'application du compost (T2 et T3) qui devrait favoriser une meilleure nutrition hydrique et minérale des plants, il n'a pas été observé un effet bénéfique du compost. Des contraintes d'autres natures que l'alimentation et les nutriments pourraient expliquer ce constat. En année de bonne pluviométrie (2018), le compost appliqué au semis ou à 15 JAS a donné des plants d'un niveau de développement similaire, mais supérieur à la fertilisation minérale seule et au témoin. Le compost a donc permis un meilleur développement des plants de sorgho par son effet positif sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, nécessaires à la nutrition des plantes. Nos résultats sont en conformité avec ceux trouvés par LOMPO *et al.* (1993) et ANNABI *et al.* (2007) qui ont conclu que l'effet de la fertilisation organo-minérale sur le développement des cultures était meilleur que celui de la fertilisation minérale simple.

Les rendements obtenus indiquent que l'application du compost à 15 JAS a tendance à améliorer le rendement en grains du sorgho en année de faible pluviométrie (380 mm en 28 jours du semis à la récolte en 2017). En année de bonne pluviométrie (928 mm en 45 jours du semis à la récolte en 2018), c'est plutôt l'application du compost au semis qui a tendance à améliorer le rendement en grains par rapport aux autres traitements. Mais, quelle que soit l'année, l'application du compost a toujours amélioré le rendement en grains. Toutefois, les rendements grains observés ont été meilleurs en 2017 qu'en 2018. Cette différence s'expliquerait par les attaques de la chenille légionnaire apparues en 2017 et plus virulentes en 2018.

Quant au rendement biomasse, l'application du compost à 15 JAS a permis un accroissement de 99 % et de 60 % environ par rapport à T1 et T2 en 2017. En 2018, cet accroissement a été de 100 % et 32 % respectivement pour les traitements T1 et T2.

Les rendements en grains et biomasse observés (1 023 à 1 980 kg/ha et 3 900 à 10 600 kg MS/ha) sont comparables aux valeurs de 500 à 1 900 kg/ha et 5 000 à 12 000 kg/ha trouvées par NDIAYE *et al.* (2018) lors de l'évaluation de différents écotypes de sorgho dans deux environnements au Sénégal.

Les indices de récolte calculés ont montré que l'application du compost à 15 JAS donnait toujours des valeurs plus faibles, surtout en 2018. Cela pourrait s'expliquer par des facteurs limitant la conversion de la biomasse en grains autres que les éléments majeurs (N P K S B), l'eau et le rôle biologique du compost dans la fertilité du sol. Les valeurs observées ont varié entre 0,13 et 0,29 en fonction des années et des traitements. Ces valeurs sont comparables aux valeurs de 0,09 à 0,36 obtenues par GANYO *et al.* (2018) au Sénégal.

La tendance à l'amélioration de la productivité en grains de l'eau de pluie a été observée avec l'application du compost. En année de faible pluviométrie où l'eau est une contrainte à la production, l'apport du compost à 15 JAS a mieux valorisé l'eau de pluie, tandis qu'en année de bonne pluviométrie, c'est plutôt l'application du compost au semis qui a permis une meilleure valorisation de l'eau de pluie. Le décalage de 15 jours dans l'application du compost paraît être un déterminant dans la composition du rendement grains en année sèche.

La tendance à l'amélioration des caractéristiques chimiques du sol des parcelles ayant bénéficié de l'application du compost à 15 JAS traduirait un effet résiduel de cet apport sur la fertilité du sol malgré les fortes productions de grains et de biomasse observées.

Conclusion

Les résultats obtenus ont montré l'effet positif de l'application du compost à 15 JAS sur l'amélioration du développement des plants de sorgho, sur le rendement en grains et en pailles ainsi que sur les indices de récolte en année de faible pluviométrie. Un gain de 200 à 250 kg/ha de grains de sorgho a été relevé avec l'application du compost au semis et à 15 JAS. Ce dernier traitement permet une augmentation du rendement en biomasse de 32 % à 69 % par rapport à l'application du compost au semis sur les deux années d'expérimentation, et 100 % pour la fertilisation minérale seule. Les rendements obtenus en grains ont été assez intéressants. Les importants rendements en biomasse peuvent permettre d'augmenter la production de compost, qui demeure insuffisante par rapport aux besoins. En année moins pluvieuse comme en année de bonne pluviométrie, la période d'application du compost n'influence pas la productivité en grains de l'eau de pluie. En revanche, elle améliore la productivité en biomasse de l'eau de pluie dans des conditions de bonne comme moins bonne pluviométrie.

Ces résultats permettraient de recommander l'application du compost à 15 JAS en vue d'une meilleure gestion des amendements organiques pour améliorer le fonctionnement

du sol et par conséquent le rendement. Pour mieux cerner le rôle de la période d'application du compost sur le rendement en grains et en biomasse du sorgho, il y a nécessité de poursuivre cette étude dans deux zones agroclimatique différentes en y considérant, en plus, une période d'apport à 30 JAS.

Références

- ANNABI M., HOUT S., FRANCOU C., POITRENAUD M., LE BISSONNAIS Y., 2007**
Soil Aggregate Stability Improvement with Urban Composts of Different Maturities. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 71(2) : 413-423. doi : 10.2136/sssaj2006.0161
- BADO B. V., 2002**
Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéenne et soudanienne du Burkina Faso.
Thèse de Doctorat de troisième cycle, université de Laval, Québec, 166 p.
- BADO B. V., SEDOGO M., LOMPO F., LAMINOU S. M. M., 2018**
Biological nitrogen fixation by local and improved genotypes of cowpea in Burkina Faso (West Africa): Total nitrogen accumulated can be used for quick estimation. *Advances in Agriculture*, 2018, 8 p. doi.org/10.1155/2018/9441923.
- BERGER M., BELEM P. C., DAKOUO D., HIEN V., 1987**
Le maintien de la fertilité des sols dans l'ouest du Burkina Faso et la nécessité de l'association agriculture-élevage. *Coton et Fibres Tropicales*, 42 : 201-207.
- DGPER, 2013**
Résultats définitifs des campagnes agricoles et de la situation alimentaire et nutritionnelle, 2012-2013. 43 p.
- GANYO K. K., MULLER B., GAGLO E. K., GUISSÉ A., CISSÉ N., ADAM M., 2018**
Optimisation du NPK et urée basée sur les informations climatiques pour accroître la production du sorgho en zones soudano-sahéliennes du Sénégal. *J. Appl. Biosci.*, 131 : 13293-13307. doi.org/10.4314/jab.v13i11.5.
- FONTES J., GUINKO S., 1995**
Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso.
Note explicative, Toulouse, ministère de la Coopération française, 33 p.
- LOMPO F., BONZI M., BADO B. V., GNANKAMBARY Z., OUANDAOGO N., SEDOGO M. P., ASSA A., 1993**
Effets à long terme des fumures minérales et organo-minérales sur la dynamique du phosphore dans un lixisol au Burkina Faso. *Agronomie Africaine*, 20 (2) : 165-178 (2008).
- MAAH/DGESS, 2017**
Résultats définitifs de l'enquête permanente agricole (EPA) 2016/2017.
60 p. + annexes.
- NDIAYE M., ADAM M., MULLER B., GUISSÉ A., CISSÉ N., 2018**
Performances agronomiques et stabilité phénotypique de génotypes de Sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) au Sénégal : une étude des interactions génotypes-environnement. *J. Appl. Biosci.*, 125 : 12617-12629. doi.org/10.4314/jab.v125i1.10.
- OUATTARA K., SERMÉ I., BONGOUNGOU S., ZOMBRÉ P., 2018**
Soil and water conservation, and soil fertility management effects on rain water productivity of maize hybrid in Burkina Faso. *African Journal of Agricultural Research*, Vol. 12 (12) : 1014-1021. DOI: 10.5897/AJAR2016.11976, Article Number: 1ADFDD63287
- ZERBO L., 1995**
Caractérisation des sols des stations de recherche de l'INERA. 147 p.

Pratiques agricoles et déterminants de l'adoption du sorgho dans un contexte de changement climatique (sud du Mali)

*Alassane BA, Bandiougou DEMBELE,
Doubangolo COULIBALY, Amadou TRAORE,
Fagaye SISSOKO, Tidiane DIARISSO*

Introduction

L'agriculture domine l'économie des pays en voie de développement et constitue le moteur de leur développement économique. Les pays subsahariens comme le Mali connaissent une situation alimentaire fragile, en raison de la forte dépendance de la production agricole aux précipitations. L'accroissement de la variabilité et des effets du changement climatique constitue une menace sur le secteur agricole et représente un frein pour atteindre l'autosuffisance alimentaire et pour réduire la pauvreté en milieu rural (ALI et ERENSTEIN, 2017 ; DOUXCHAMPS *et al.*, 2017). Le secteur du développement rural occupe une place prépondérante dans l'économie du Mali ; il a contribué à hauteur de 40 % au PIB en 2014 (INSTAT, 2015). Sur la période 1999-2013, l'agriculture a représenté environ 43 % du PIB du secteur primaire, l'élevage 39 %, la pêche et la sylviculture 18 % (INSTAT, 2015).

Les céréales, principalement le maïs, le sorgho et le mil, constituent la base de l'alimentation des populations dans les zones rurales au Mali. La production céréalière de la campagne agricole 2015-2016 au Mali est estimée à 8 045 669 tonnes, toutes céréales confondues. Le sorgho vient en 4^e position (après le maïs, le riz et le mil) avec 1 444 770 tonnes, soit 18 % de la production céréalière nationale (MA, 2016).

Le développement par la recherche agronomique de paquets technologiques pour faire face aux effets du changement climatique a permis d'améliorer la production des principales céréales et les revenus des exploitations agricoles (CORAF, 2018).

Les exploitations agricoles (EA) conçoivent différentes stratégies pour atténuer les effets du changement et de la variabilité climatiques en adoptant une diversité de cultures et de combinaisons de pratiques agricoles (DUGUÉ, 2018). L'utilisation de nouvelles variétés de sorgho résistantes à la sécheresse et à la variabilité climatique permettrait de garantir la sécurité alimentaire, le bilan fourrager et d'améliorer les revenus des producteurs (KOURESSY *et al.*, 2008). Plusieurs auteurs ont montré l'influence des facteurs socio-économiques sur l'adoption des innovations agricoles (KOUTOU *et al.*, 2016 ; MABAH *et al.*, 2013 ; LEVASSEUR *et al.*, 2009 ; HAMADOU *et al.*, 2005 ; CHIA, 2004). Toutefois, les travaux sur les déterminants d'adoption de la culture du sorgho par les EA pour faire face aux effets du changement climatique sont peu documentés.

Ce chapitre a pour objectif de présenter les pratiques agricoles et les déterminants de l'adoption du sorgho par les EA pour s'adapter aux effets de la variabilité et du changement climatiques dans la zone cotonnière du Mali.

Matériel et méthodes

Zone d'étude

L'étude a été menée dans le village de Béguéné situé à une dizaine de kilomètres de la ville de Bla dans le vieux bassin cotonnier (fig. 1). Béguéné relève administrativement de la région de Ségou, cercle de Bla. Il est le chef-lieu de la commune rurale de Béguéné. Il est localisé entre $5^{\circ} 53' 20''$ et $5^{\circ} 50' 40''$ de longitude Ouest et $12^{\circ} 46' 40''$ et $12^{\circ} 50' 40''$ de latitude Nord. Sa pluviométrie varie entre 700 et 900 mm.an⁻¹.

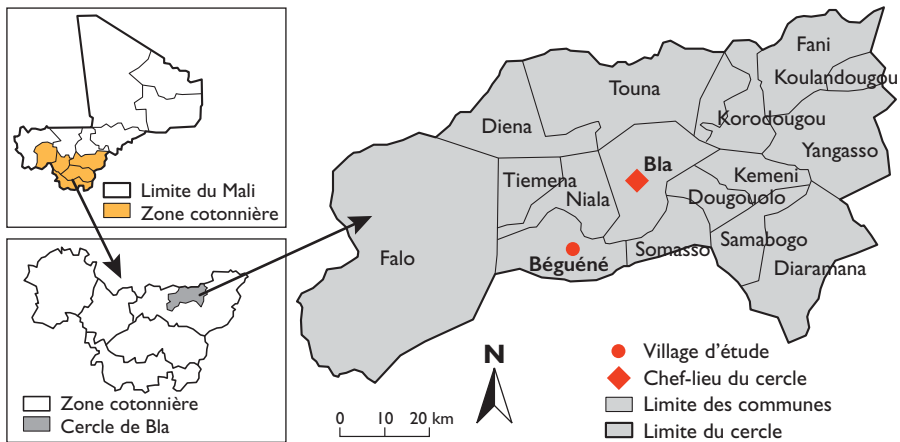


Figure 1.
Localisation du terroir de Béguéné.

Échantillonnage des exploitations agricoles

L'échantillonnage est basé sur la stratification des types d'exploitations agricoles adoptée par la Compagnie malienne de développement des textiles (CMDT) (KEBE *et al.*, 1999) :

- type A : EA bien équipée en traction animale (TA) : au moins 2 paires de bœufs, un équipement complet (au moins 2 charrues, 1 multicultureur, 1 semoir et 1 charrette), troupeau de plus de 10 bovins (y compris 4 bœufs de labour) ;
- type B : EA ayant au moins 1 paire de bœufs, 1 unité culture attelée, un troupeau de bovins (moins de 10 têtes, avec bœufs de labour) ;
- type C : EA disposant seulement d'un équipement incomplet pour la culture attelée, mais sachant conduire un attelage (location) ;
- type D : EA en culture manuelle, connaissant peu ou pas la culture attelée.

Aujourd'hui on peut ajouter à ces 4 types quelques exploitations agricoles motorisées équipées de tracteurs constituant un groupe particulier, issues du type A.

La formule de Yamane (1967) a été utilisée pour choisir les exploitations agricoles à enquêter de façon aléatoire.

$$n = \frac{N}{1 + N(e)^2}$$

n = taille de l'échantillon à enquêter

N = nombre total d'exploitations agricoles familiales

e = niveau de signification à 0,05 d'intervalle de confiance

1 = la valeur constante

Soixante-trois exploitations agricoles ont été enquêtées sur un total de 75 exploitations agricoles dans le village (tabl. 1).

Tableau 1.
Typologie et nombre d'exploitations agricoles enquêtées à Béguéné en 2018.

Nombre d'exploitations	Nombre par type d'exploitation agricole				Total
	A	B	C	D	
Nombre total d'exploitations	30	24	8	13	75
Échantillon	25	20	7	11	63

Collecte des données

La collecte des données a eu lieu en janvier 2018 à l'aide d'un questionnaire fermé. Les exploitations agricoles enquêtées (au nombre de 63) ont été choisies de façon aléatoire à partir d'une base de sondage (liste exhaustive des exploitations agricoles de Béguéné) tout en prenant en compte la représentativité de chaque type d'exploitation dans ce village (tabl. 1). Des interviews individuelles (face à face) ont été réalisées auprès des exploitants agricoles de Béguéné échantillonnés. Les informations collectées ont concerné : l'exploitation agricole et ses activités, la perception de la variabilité climatique par les producteurs, les impacts socioéconomiques et

environnementaux liés à la variabilité et au changement climatiques, les pratiques agricoles et productions des cultures y compris le sorgho, les stratégies et pratiques d'adaptation face aux effets de la variabilité et du changement climatiques, et enfin la gestion des terres.

Analyse et traitement des données

Les données ont fait l'objet d'analyses descriptives (moyenne, écart-type, pourcentage) et de régression multiple ou *Ordinary Least Squares (OLS)*

Les analyses descriptives ont porté sur les pratiques agricoles. Le test statistique d'indépendance de χ^2 a été utilisé pour comparer les pourcentages au seuil de 5 % et de 1 %.

Pour l'identification des déterminants de l'adoption du sorgho (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), la régression multiple a été utilisée. Elle montre une relation entre la variable dépendante et les variables explicatives. Dans le cadre de cette étude, la variable dépendante est le rendement de sorgho. Les variables explicatives sont : l'âge du chef d'EA, le niveau d'éducation, le nombre de personnes, la superficie totale, le cheptel, le revenu agricole, les équipements (charrue et charrette) et la perception par les producteurs du niveau de fertilité des sols (qui prend la valeur 1 s'il y a un problème de fertilité des sols et 0 s'il n'y a pas de problème). Ces variables explicatives sont considérées dans cette étude comme déterminants de l'adoption du sorgho par les EA pour s'adapter aux effets de la variabilité et du changement climatiques. Cette régression multiple estime les effets des variables explicatives sur la variable dépendante (GREENE, 2002). La formule générale est donnée par l'équation :

$$Y_i = \alpha_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 \dots \varepsilon$$

où Y_i est la variable dépendante, c'est-à-dire le rendement sorgho ;

$X_1 ; X_2 \dots$ constituent les variables socio-économiques ;

$\alpha_0 ; \beta_1 ; \beta_2 \dots$ sont les paramètres à estimer ;

ε est le terme d'erreur.

Le test statistique de facteur de l'inflation de variance ou *variance inflation factor* (VIF) a été utilisé pour détecter le problème de multi-colinéarité entre les variables utilisées dans le modèle économétrique. La VIF mesure la présence de multi-colinéarité entre les variables indépendantes.

Résultats et discussions

Des exploitations agricoles à base de coton et de céréales

Les principales cultures dans la zone cotonnière du Mali sont le coton, le maïs, le sorgho et le mil. La rotation culturale est de type biennale (coton/maïs ou sorgho) ou triennale (coton/maïs/sorgho ou mil). En fonction de la zone, l'importance des

cultures du maïs, du sorgho et du mil varie d'une EA à une autre. Ainsi, les valeurs de Chi² (χ^2) montrent une différence hautement significative entre les différents types d'EA à 1 % de probabilité pour le maïs, le sorgho et le mil. Le mil est la principale culture à Béguéné avec 34 % des superficies cultivées (tabl. 2), suivi du coton (33 %), du maïs (18 %) et du sorgho (7 %). La part du coton dans l'assolement est proche des chiffres d'auteurs dans la même zone qui varient de 30 % à 46 % (BAZILE *et al.*, 2008 ; DEMBELE *et al.*, 2018). Le reste des 8 % des superficies de l'assolement est occupé par les autres cultures (riz, arachide, niébé, etc.).

Tableau 2.
Part des principales cultures dans l'assolement selon les types d'exploitation.

Culture	Type EA	Pourcentage dans l'assolement	Chi ² (χ^2)	P-value
Sorgho	A	5	42,600***	0,000
	B	4		
	C	20		
	D	9		
	Total	7		
Mil	A	37	12,121***	0,007
	B	30		
	C	27		
	D	41		
	Total	34		
Maïs	A	17	10,564***	0,014
	B	21		
	C	20		
	D	18		
	Total	18		
Coton	A	36	1,955	0,582
	B	36		
	C	21		
	D	26		
	Total	33		

Note : *** = niveau de signification à 1 %

Des assolements différents selon les types d'exploitations agricoles

Le mil est la principale céréale à Béguéné avec 34 % des superficies emblavées ; il est cultivé en moyenne sur 3,65 ha (tabl. 3). Cela s'explique par l'importance qu'accordent les EA aux types de cultures dans leurs stratégies d'amélioration de la sécurité alimentaire et de la fertilité des sols. Ces superficies sont comparables à celles établies en 2013 par KEITA *et al.* (2018) dans le même village. L'analyse de la variance de la superficie des principales cultures montre qu'il y a une différence significative entre les différents types d'EA à 1 % de probabilité.

Une variabilité (tabl. 3) a également été observée en ce qui concerne la superficie moyenne emblavée par type de cultures et par type d'EA. Par exemple pour le coton, l'analyse statistique montre qu'il y a une différence significative entre les types d'EA à 1 % de probabilité. Les types A emblavent plus de superficie en coton que les types B, C et D. C'est une culture de rente qui assure l'accès aux intrants agricoles (engrais, pesticides, équipement agricole, etc.).

Les EA de type A, quelle qu'en soit la culture, occupent toujours la superficie cultivée la plus grande (tabl. 3).

Tableau 3.
Superficie moyenne des principales cultures par type d'exploitation agricole (EA)
en 2017 à Bégouéré.

Cultures	Type EA	Moyenne	Écart-type	F-statistique
Sorgho	A	0,74	0,61	3,58**
	B	0,28	0,44	
	C	1	1,12	
	D	0,41	0,44	
	Total	0,56	0,65	
Mil	A	5,94	2,83	17,79***
	B	2,18	1,31	
	C	1,42	0,80	
	D	2,34	1,20	
	Total	3,65	2,76	
Maïs	A	2,49	1,22	9,49***
	B	1,45	0,69	
	C	1,08	0,58	
	D	1	0,58	
	Total	1,75	1,10	
Coton	A	6,09	3,66	12,04***
	B	2,64	1,54	
	C	1,6	0,89	
	D	1,52	0,91	
	Total	3,77	3,21	

Note : ** ; *** = niveau de signification à 5 % et 1 % respectivement

Stratégies d'adaptation et perception des producteurs face aux effets du changement climatique

Pour faire face aux effets du changement climatique, les producteurs ont développé des pratiques et stratégies d'adaptation parmi lesquelles les associations de cultures, l'adoption de variétés améliorées, les techniques de conservation des eaux, les techniques d'agriculture de conservation, etc. Pour les associations de cultures, 41 % des EA pratiquent l'association maïs/niébé, 32 % les associations maïs/niébé et sorgho/niébé (fig. 2). Les nouvelles innovations agricoles introduites par la recherche agronomique (association maïs/niébé, maïs/mucuna et sorgho/mucuna) sont pratiquées par 14 % des EA. Ces associations de cultures entrent dans le cadre de la gestion de

la fertilité des sols et de la production de fourrage de qualité pour l'alimentation des animaux, surtout en saison sèche. Ces combinaisons de stratégies sont pratiquées par les producteurs pour faire face aux effets de la variabilité climatique et lutter contre l'insécurité alimentaire.

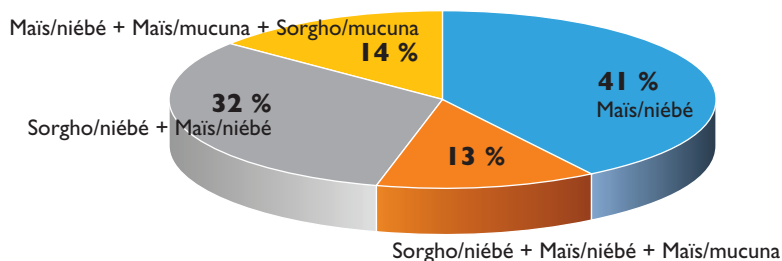


Figure 2.

Associations de cultures pratiquées par les 63 exploitations agricoles de Béguéné en 2017.

Par rapport au passé, 75 % des producteurs pensent aujourd'hui que la période de semis des cultures est tardive, 19 % trouvent qu'elle est plus précoce (ce sont des jeunes), et 6 % ne voient pas de changement (tabl. 4). Le coton et le maïs sont les premiers semés à être réalisés en raison de leur cycle végétatif et de leur exigence en eau. Le mil et le sorgho sont semés en dernière position car ils sont moins exigeants en eau. La densité de semis des cultures a augmenté par rapport au passé selon 72 % des producteurs, et ce pour faire face aux effets de la variabilité et du changement climatiques.

En matière de superficies cultivées, 78 % des producteurs pensent qu'il y a une augmentation par rapport au passé, 10 % évoquent une diminution et 13 % pensent qu'il n'y a pas eu de changement. Cette augmentation des superficies est liée à la

Tableau 4.

Perceptions des producteurs face aux effets de la variabilité et du changement climatiques.

Stratégies d'adaptation	Modalités	Pourcentage
Période de semis	Précoce	19
	Sans changement	6
	Tardive	75
Densité de semis	Augmentation	72
	Réduction	14
	Sans changement	14
Superficie cultivée	Augmentation	78
	Diminution	9
	Sans changement	13
Rendements des cultures	Augmentation	51
	Diminution	49

fois à l'augmentation du taux d'équipement des EA et à l'orientation des produits agricoles vers le marché. Pour plus de la moitié des producteurs interrogés (51 %), le rendement des cultures a augmenté par rapport au passé, les autres producteurs (49 %) pensent le contraire. L'augmentation des rendements est due principalement à l'adoption de technologies agricoles telles que l'utilisation de fertilisants chimiques et organiques, de variétés améliorées, d'itinéraires techniques adaptés, etc.

Actions pour faire face aux effets du changement climatique

Le tableau 5 présente les différentes actions menées par les producteurs pour atténuer les effets de la variabilité et du changement climatiques sur les conditions de vie en milieu rural. L'analyse statistique des actions menées par les producteurs contre la sécheresse et pour l'amélioration de la fertilité des sols en fonction des types d'EA montre que les valeurs de χ^2 sont significatives à 1 % de probabilité (tabl. 5). La combinaison des actions aménagement à courbe de niveau (ACN), nouvelles variétés (VAR) et haie vive ou morte (HAIE) est pratiquée davantage par le type B, beaucoup moins par le type A, et encore moins par les types C-D. La combinaison des actions cordons pierreux (CP), ACN, VAR et HAIE est surtout pratiquée par les EA du type A, les autres types la pratiquant peu. On constate que les types A qui disposent d'une main-d'œuvre importante et d'équipements agricoles ont la facilité de combiner plusieurs stratégies. La stratégie CP + VAR est pratiquée davantage par les EA des types C-D, moins par les EA du type B, et très peu par les EA du type A. L'adoption de variétés améliorées (VAR) est pratiquée davantage par les EA des types B, C-D et très peu par les EA du type A. Les actions entreprises par les producteurs pour améliorer la fertilité des sols sont diverses et différentes d'un type d'EA à un autre. Cependant, les types A occupent une place prépondérante en raison de leur capacité de production agricole (ressources financières importantes, équipement et main-d'œuvre disponibles, jachère) et de production de fumure organique.

Tableau 5.
Actions contre la sécheresse et la baisse de la fertilité des sols
en fonction des types d'exploitation agricole.

Action	Modalités	A	B	C + D	Chi ² (χ^2)	P-value
Actions contre la sécheresse	ACN+VAR+HAIE	35	50	15	27,59***	0,001
	CP+ACN+VAR+HAIE	73	9	18		
	CP+VAR	9	27	63		
	VAR	10	50	40		
Actions pour améliorer la fertilité des sols	FO+FM+AM	50	42	8	24,422***	0,004
	FO+FM+LEG	38	38	23		
	Tout	68	16			
	FO+FM	5	37			

Note : *** = niveau de signification à 1 %

ACN : Aménagement à courbe de niveau ;

HAIE : Haie vive ou morte ;

FO : Fumure organique ;

AM : Aménagement antiérosif ;

Tout : Combinaison de toutes les stratégies

VAR : Nouvelle variété

CP : Cordons pierreux

FM : Fumure minérale

LEG : Légumineuse

Les déterminants d'adoption du sorgho par les EA

STATISTIQUE DESCRIPTIVE DES VARIABLES UTILISÉES DANS LE MODÈLE DE RÉGRESSION LINÉAIRE

Le tableau 6 présente la statistique descriptive de la variable dépendante et des variables explicatives utilisées dans le modèle de régression multiple. Le rendement moyen pour le sorgho est de 477 kg/ha. L'âge moyen du chef d'EA est de 57 ans. La taille moyenne de la famille est de 20 personnes et les familles avec une main-d'œuvre suffisante ont la possibilité de s'engager sur plusieurs travaux agricoles. Le nombre des équipements moyens est de 1 charrette asine et de 2 charrues par EA. La moyenne de la superficie totale disponible, soit 16 ha par EA, permet aux producteurs d'entreprendre plusieurs pratiques du système de cultures, même si elles requièrent la mise en culture d'une portion de terre pendant une certaine période. Cependant, les producteurs qui ne disposent pas d'une superficie suffisante ne peuvent pas adopter certains types d'innovations. Le cheptel joue un rôle important dans l'amélioration des conditions de vie des producteurs en milieu rural. Les animaux fournissent de la fumure organique, de l'énergie (labour, transport entre autres) pour les cultures et servent aussi à générer du revenu.

Tableau 6.
Statistique descriptive de la variable dépendante et des variables explicatives du modèle.

Variable	Moyenne	Écart-type
Rendement sorgho (kg/ha)(variable dépendante)	477,24	460,54
Âge du chef d'EA (an)	57	13,76
Niveau d'étude	0,13	0,34
Revenu agricole (FCFA)	1 241 704	1494349
Taille de la famille (nombre de personnes)	20	15,43
Cheptel (UBT)	12,97	15,08
Superficie totale disponible (ha)	15,85	10,15
Charrette asine (nombre)	1	0,52
Niveau de fertilité des sols	1	0,51
Charrue (nombre)	2	1,29

Selon AKINWANDE *et al.* (2015) la valeur du facteur de l'inflation de variance (VIF) doit être comprise entre 5 et 10, ce qui indique une forte corrélation entre les variables. Le résultat d'analyse du VIF de notre étude (tabl. 7) montre qu'il n'y a pas de forte corrélation entre les variables qui ont une valeur inférieure à 5. Les neuf variables explicatives utilisées dans le modèle n'indiquent pas de forte corrélation entre elles.

Tableau 7.
Test de facteur de l'inflation de variance pour la régression multiple.

Variable	VIF	1/VIF
Charrue (nombre)	4,04	0,247299
Taille de la famille (nombre de personnes)	3,51	0,284813
Revenu agricole (FCFA)	2,41	0,414305
Cheptel (UBT)	2,31	0,433354
Superficie totale disponible (ha)	2,25	0,444301
Charrette asine (nombre)	1,54	0,648938
Niveau de fertilité des sols	1,47	0,680826
Âge du chef d'EA (an)	1,31	0,765750
Niveau d'études	1,23	0,812818
Moyenne VIF	2,23	

ANALYSE DES DÉTERMINANTS DE L'ADOPTION DU SORGHO PAR LES EA

Les résultats de la régression multiple (tabl. 8) montrent que la valeur de la probabilité est de 0,03, ce qui signifie que le modèle de régression multiple choisi est significatif et correspond bien aux neuf variables indépendantes utilisées. Quatre se sont montrées significatives (superficie totale disponible, taille du cheptel, nombre de charrues, niveau de fertilité du sol). Les variables âge du chef d'EA, niveau d'étude, revenu agricole, taille de la famille, nombre de charrettes asines ne se sont pas montrées significatives donc n'ont pas d'influence sur l'adoption de la culture du sorgho face au changement climatique.

La superficie totale disponible a un coefficient positif et statistiquement significatif à 5 %. Cela indique qu'il y a une relation positive entre la superficie totale disponible et le rendement sorgho. Autrement dit, la disponibilité de terres permet la diversité des cultures et la possibilité d'allouer une portion de terre aux technologies proposées pour l'adaptation au changement climatique.

La taille du cheptel (en Unité Bétail Tropical) de l'EA a un signe négatif et significatif à 5 % avec le rendement de sorgho. Plus le nombre d'animaux augmente (grande exploitation), plus la superficie allouée pour le sorgho diminue. Le sorgho est cultivé par les petites exploitations agricoles pour la sécurité alimentaire. Les petites exploitations cultivent moins de coton, donc disposent de moins d'intrants pour le maïs (réduction des superficies en maïs, et plus de superficie en sorgho, moins exigeant que le maïs en intrants).

Le nombre de charrues en traction animale a un effet positif avec le rendement de sorgho. Elle est significative à 10 % de probabilité. La disponibilité de la charrue permet à l'exploitation de labourer à temps en début de saison des pluies plus de superficies des différentes cultures.

Le niveau de fertilité des sols a un effet positif et significatif à 5 % de probabilité sur le rendement de sorgho, culture peu exigeante en fertilisants, qui s'adapte à presque toutes les zones agroécologiques de la zone cotonnière du Mali. Le coût de production du sorgho est moins élevé que celui des autres céréales qui sont plus exigeantes en intrants.

Tableau 8.
Résultats de l'analyse de régression multiple.

Rendement sorgho	Coefficient.	Standard. Err.	P>t
Âge du chef d'exploitation	6,266	4,442	0,164
Superficie totale disponible	16,134**	7,906	0,046
Niveau d'études	-13,273	176,762	0,940
Revenu agricole (FCFA)	-7,31	0,0006	0,896
Taille de la famille (nombre de personnes)	-2,978	6,496	0,648
Cheptel (UBT)	-11,100**	5,388	0,044
Charrette asine	-149,996	126,858	0,242
Charrue traction animale	139,489*	83,159	0,099
Niveau de fertilité des sols	256,015**	127,604	0,050
Constante	-196,759	253,276	0,441

Note : * ; ** = niveau de signification respectivement à 10 % et 5 %
UBT : Unité Bétail Tropical (un animal pesant 250 kg de poids vif)

Conclusion

Dans le village de Béguéné, les producteurs mettent en œuvre différentes stratégies pour atténuer les effets de la variabilité et du changement climatiques : diversification des cultures (céréales, coton, autres cultures), association de cultures et combinaison de différentes pratiques agricoles. Les associations maïs/niébé et sorgho/niébé + maïs/niébé sont les plus importantes dans le village de Béguéné. Elles sont suivies par les associations introduites par la recherche (maïs/niébé + sorgho/mucuna + maïs/mucuna) pour s'adapter aux effets de la variabilité et du changement climatiques.

Les producteurs ont développé des actions d'adaptation aux effets du changement climatique. Les grandes exploitations agricoles pratiquent à hauteur de 73 % la combinaison CP + ACN + VAR + HAIE. Les EA moyennes (type B) pratiquent la combinaison ACN + VAR + HAIE. Quant aux petites exploitations agricoles (types C et D), elles combinent CP + VAR.

Sur les neuf variables explicatives utilisées dans le modèle, quatre se sont montrées significatives, c'est-à-dire déterminantes dans l'adoption du sorgho par les EA (la

superficie totale disponible, le nombre d'UBT total, la charrue traction animale et le niveau de fertilité des sols). Les variables âge du chef d'EA, niveau d'éducation, revenu agricole, taille de la famille, nombre de charrettes asines n'ont pas d'influence sur l'adoption du sorgho face au changement climatique.

Références

- AKINWANDE M. O., DIKKO H. G., SAMSON A., 2015**
Variance Inflation Factor: As a Condition for the Inclusion of Suppressor Variable(s) in Regression Analysis. *Open Journal of Statistics*, 5 : 754-767. <http://dx.doi.org/10.4236/ojs.2015.57075>
- ALI A., ERENSTEIN O., 2017**
Climate Risk Management Assessing farmer use of climate change adaptation practices and impacts on food security and poverty in Pakistan. *Climate Risk Management*, 16 : 183-194. <http://doi.org/10.1016/j.crm.2016.12.001>
- BAZILE D., DEMBÉLÉ S., SOUMARÉ M., DEMBÉLÉ D., 2008**
Utilisation de la diversité variétale du sorgho pour valoriser la diversité des sols au Mali. *Cahiers Agricultures*, 17 (2) : 86-94. <https://doi.org/10.1684/agr.2008.0172>
- CHIA E., 2004**
Principes, méthodes de la recherche en partenariat : une proposition pour la traction animale. *Elev. Med. Vet. Pays Trop.*, 57 (3-4) : 233-240.
- CORAF, 2018**
Impact de l'adoption des variétés améliorées de maïs sur l'amélioration du bien-être et la réduction de la pauvreté des maïsiculteurs de la zone UEMOA. Document d'orientation politique.
Conseil Ouest et Centre-Africain pour la Recherche et le Développement Agricoles/West and Central African Council for Agricultural Research for Development, Dakar, Sénégal, 21 p.
- DEMBELE B., BETT H. K., KARIUKI I. M., Le BARS M., OUKO K. O., 2018**
Factors influencing crop diversification strategies among smallholder farmers in cotton production zone in Mali. *Advances in Agricultural Science*, 6 (03) : 1-16.
- DOUXCHAMPS S., DEBEVEC L., GIORDANO M., BARRON J., 2017**
Monitoring and evaluation of climate resilience for agricultural development – A review of currently available tools. *World Development Perspectives*, 5 : 10-23. <http://doi.org/10.1016/j.wdp.2017.02.001>
- DUGUÉ M.-J., 2018**
Caractérisation des stratégies d'adaptation au changement climatique en agriculture paysanne.
Agronomes et Vétérinaires Sans Frontières, Lyon, France, 50 p.
- GREENE W. H., 2002**
Econometric analysis.
New York University, 1 024p.
- HAMADOU S., KAMUANGA M., ABDOULAYE A. T., LOWENBERG-DEBOER J., 2005**
Facteurs affectant l'adoption des cultures fourragères dans les élevages laitiers périurbains de Bobo-Dioulasso (Burkina Faso). *Tropicicultura*, 23 (1) : 29-35.
- INSTAT, 2015**
Comptes économiques du Mali de 1999 à 2013.
Institut national de la statistique, Bamako, Mali, 82 p.
- KÉBÉ D., FOMBA B., SIDIBÉ M. C., DJOUARA H., 1999**
Le conseil de gestion aux exploitations agricoles: un outil de vulgarisation. IER, ESPGRN, Sikasso, Mali, 25 p.

**KEITA A., LE BARS M.,
PENOT E., LE GRUSSE P., SOUMARE M.,
KONÉ B., HAVARD M., 2018**

Diversification des pratiques agricoles
et des revenus en zone cotonnière au Mali.

Le cas de Béguéné.

Systèmes alimentaires/Food Systems, 3 :
115-137.

DOI : 10.15122/isbn.978-2-406-08722-9.p.0115

**KOURESSY M., TRAORÉ S.,
VAKSMANN M., GRUM M.,
MAIKANO I., SOUMARÉ M.,
TRAORÉ P. S., BAZILE D.,
DINGKUH M., SIDIBÉ A., 2008**

Adaptation des sorghos du Mali
à la variabilité climatique.

Cahiers Agricultures, 17 (2) : 95-100.

<https://doi.org/10.1684/agr.2008.0189>

**KOUTOU M., HAVARD M.,
OUÉDRAOGO D., SANGARÉ M.,
TOILLIER A., THOMBIANO T.,
VODOUHE D. S., 2016**

Facteurs d'adoption des innovations
d'intégration agriculture-élevage :

cas du *Mucuna pruriens* en zone cotonnière
ouest du Burkina Faso.

Tropicultura, 34 (4) : 424-439.

**LEVASSEUR V., OLIVIER A.,
FRANZEL S., 2009**

Facteurs d'adoption de la haie vive
améliorée au Mali.

Cah. Agric., 18 (4) : 350-355.

MA, 2016

Plan de campagne agricole 2016-2017.

Ministère de l'Agriculture, Bamako, Mali,
111 p.

**MABAH T. G. L., HAVARD M., TEMPLE L.,
2013**

Déterminants socio-économiques
et institutionnels de l'adoption d'innovations
techniques concernant la production de maïs
à l'ouest du Cameroun.

Tropicultura, 31 (2) : 137-142.

YAMANE T., 1967

Statistics: An Introductory Analysis.

New York, Harper and Row, 2nd edition,
919 p.

Utilisation des fourrages de céréales-mucuna dans l'alimentation des bœufs de trait (sud du Mali)

Alassane BA, Bandiougou DEMBELE,
Doubangolo COULIBALY,
Yousseuf KANADJIGUI

Introduction

Dans la zone cotonnière du Mali, l'intensification durable des systèmes de culture et d'élevage passe par l'intégration agriculture-élevage. Le maintien de la fertilité des sols cultivés et l'alimentation des troupeaux posent des problèmes aux agro-éleveurs (COULIBALY *et al.*, 2017 a). L'alimentation des animaux en saison sèche est devenue un problème de plus en plus important à la suite de la diminution et de la détérioration des parcours naturels. Cette situation est due aux effets du changement climatique et à la pression anthropique. Cette dernière se manifeste par l'extension des superficies emblavées et l'augmentation des effectifs du cheptel. Les producteurs rencontrent des difficultés en particulier pour l'alimentation des bœufs de trait (BdT). Le mauvais état physique des BdT en début de saison des pluies ne permet pas un travail optimal de leur part au moment des travaux de sol (COULIBALY *et al.*, 2017 b). Cette contrainte rend difficile une mise en place précoce des cultures.

L'objectif de ce chapitre est de présenter les résultats des pratiques de supplémentation des BdT en saison sèche et de l'usage de la fumure organique (FO) produite en stabulation nocturne de 90 jours. L'étude a été menée dans six villages de la zone cotonnière représentant la diversité des régions (fig. 1).

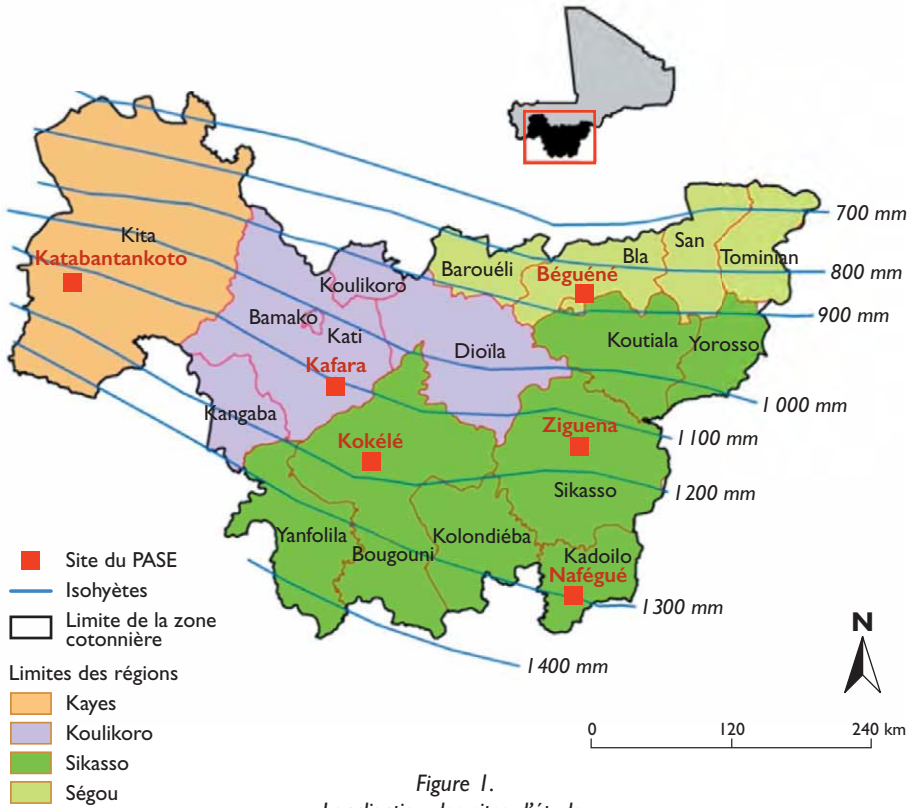


Figure 1. Localisation des sites d'étude.

Matériel et méthode

Matériel

Le matériel végétal est constitué de résidus de culture (tiges de maïs, riz, mil) et de fanes de mucuna et de niébé produites lors des campagnes agricoles 2015-2016 et 2016-2017 par les agroéleveurs. Le tourteau de coton a été utilisé comme aliment concentré.

Le matériel animal est constitué de 240 bœufs de trait, dont 120 têtes en 2016 et 120 autres têtes en 2017. La répartition des bœufs de trait par village est consignée dans le tableau 1. Le critère de choix était qu'au préalable les agroéleveurs produisent du fourrage de mucuna pendant l'hivernage. Les producteurs qui ont ainsi produit et conservé le fourrage de mucuna jusqu'au démarrage des activités de supplémentation ont été retenus.

Tableau 1.
Effectif des bœufs de trait pour l'expérimentation
en 2016 et 2017.

Village	2016		2017	
	Témoin	Expérimentation	Témoin	Expérimentation
Nafégué	10	10	2	2
Ziguéna	10	10	0	0
Béguéné	10	10	18	18
Kafara	13	13	21	21
Kokélé	7	7	8	8
Katabantankoto	10	10	11	11
Total	60	60	60	60

Méthode

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

L'objectif de l'alimentation des BdT était d'utiliser les fourrages de mucuna en complément des résidus de culture dans les rations de supplémentation. Les essais d'alimentation ont été conduits chez 30 producteurs en 2016 et 2017.

La durée de l'essai d'alimentation est de 90 jours et comporte 2 phases : une phase d'adaptation de 15 jours ; une phase d'expérimentation de 75 jours. Pour l'année 2016, elle s'est déroulée du 10 février au 25 avril 2016 et pour l'essai d'alimentation de 2017, du 25 février au 10 mai 2017.

La ration journalière distribuée par BdT au retour des pâturages était constituée de :
– 4 à 5 kg matières sèches (MS) de paille de céréale + 1 kg de tourteau de coton + 2 kg de fanes séchées de mucuna ;

– apport minéral : 1 pierre à lécher par BdT.

Cette ration a été distribuée par animal pendant la durée de 90 jours de l'expérimentation.

Tous les animaux ont été vaccinés et déparasités au début de l'expérimentation.

PARAMÈTRES MESURÉS

- Quantité des types d'aliment (pesée journalière) ;
- poids des BdT au début et à la fin de l'expérimentation (barymétrie) ;
- quantité de fumure organique (pesée) tous les 15 jours par animal.

ANALYSE DES DONNÉES

Les données ont été analysées à l'aide du logiciel STATA. Elles ont fait l'objet d'une analyse descriptive (moyenne, écart-type) et de tests statistiques, c'est-à-dire le t-test et ANOVA-statistique.

CALCUL DE LA MARGE BRUTE

L'étude a pris également en compte le revenu généré par les producteurs pour cette activité de conditionnement des bœufs de trait. Ce revenu est calculé en termes de marge brute (MB), qui est la différence entre le revenu total (RT) et les charges variables totales (CVT). La formule est donnée comme suit :

$$MB(\pi) = \Sigma RT - \Sigma CVT = \Sigma PQ - \Sigma PX$$

où Q correspond à la quantité (Bdt), X correspond aux inputs et P correspond aux prix.

Résultats et discussion

Évolution pondérale des bœufs de trait conditionnés

Les tableaux 2 et 3 présentent les résultats de l'évolution pondérale des BdT lors des essais d'alimentation en saison sèche des exploitations agricoles en 2016 et 2017. Les BdT supplémentés ont enregistré un gain moyen quotidien (GMQ) de 360 à 513 g/j en 2016 et de 236 à 434 g/j en 2017. Les BdT nourris en pratique paysanne ont au contraire perdu du poids. Ces pertes de poids oscillent entre -184 à -382 g/j en 2016 et -161 à -426 g/j en 2017 dans 6 villages en 2016 et dans 5 villages en 2017. Une différence hautement significative a été observée entre les animaux supplémentés et les animaux non supplémentés durant les 2 années d'expérimentation dans tous les villages et sur l'ensemble des animaux.

Tableau 2.
Gain moyen quotidien (GMQ) des bœufs de trait
en expérimentation en 2016.

Village	Témoin		Expérimentation		t-test
	Effectif	GMQ (g/jour)	Effectif	GMQ (g/jour)	
Nafégué	10	-309 (157)	10	513 (28)	-16,334***
Ziguéna	10	-374 (182)	10	467 (237)	-8,895***
Béguéné	10	-382 (278)	10	394 (167)	-7,567***
Kafara	13	-184 (210)	13	479 (75)	-10,711***
Kokélé	7	-195 (138)	7	360 (132)	-7,682***
Katabantankoto	10	-368 (129)	10	497 (49)	-19,861***
Total	60	-301 (203)	60	458 (138)	-23,9729
Écart-type = ()					

Tableau 3.
Gain moyen quotidien (GMQ) des bœufs de trait
en expérimentation en 2017.

Village	Témoin		Expérimentation		t-test
	Effectif	GMQ (g/jour)	Effectif	GMQ (g/jour)	
Nafégué	2	-161 (134)	2	294 (181)	-2,867
Béguéné	18	-332 (263)	18	236 (208)	-7,186***
Kafara	21	-389 (230)	21	434 (187)	-12,738***
Kokélé	8	-426 (141)	8	263 (122)	-10,428***
Katabantankoto	11	-370 (237)	11	403 (176)	-8,673***
Total	60	-366 (229)	60	342 (200)	-18,0146***

Sur l'ensemble des animaux, le GMQ moyen obtenu a été de 458 g/j en 2016 et de 342 g/j en 2017. En 2016, le GMQ le plus élevé pour les BdT supplémentés a été observé à Nafégué, où le pâturage de bas-fonds est plus abondant et offre une meilleure qualité fourragère (biomasse ligneuse et repousses herbacées) comparativement aux 5 autres villages. Durant les 2 années d'expérimentation, les villages de Kokélé et de Béguéné ont enregistré les GMQ les moins élevés pour les animaux supplémentés (tabl. 2 et 3).

Selon PEARSON et VALL (1998), au Zimbabwe, la complémentation de la ration de base des BdT en saison sèche avec de la paille d'arachide, à raison de 400 g/animal/j pendant 70 jours ou 800 g/animal/j pendant 35 jours, en comparaison avec des bœufs non complémentés, a conduit à une augmentation de 276 kg pour les bœufs non complémentés, à 301 kg et 312 kg pour les bœufs complémentés.

Cette étude ne s'est pas intéressée à la force de travail de ces bœufs de trait sur les parcelles des exploitations agricoles, contrairement aux études d'autres auteurs (BARTHOLOMEW, 1989).

Production de fumure organique (FO)

Les essais de conditionnement des BdT permettent de renforcer les capacités de production de fumure organique des exploitations agricoles comme l'a souligné également BADINI (1991). La stabulation nocturne des BdT supplémentés a permis de produire des quantités importantes de fumure organique pendant les 90 jours d'expérimentation dans les villages.

En moyenne, sur l'ensemble des villages, un bœuf de trait supplémenté a produit 333 kg de FO en 2016 et 323 kg de FO en 2017. L'analyse statistique a montré une différence significative entre les productions de FO des différents villages d'étude durant les 2 années d'expérimentation. La production de FO la plus élevée par BdT a été de 622 kg en 2016 et de 662 kg en 2017 dans le village de Béguéné. Les plus

faibles quantités de fumure organique ont été enregistrées dans le village de Katabantankoto en 2016 et 2017. La pratique de FO est moins mise en œuvre par les producteurs de ce village où est encore pratiquée la divagation des animaux en saison sèche. Les BdT recevant la ration au retour des pâturages ne restaient pas au parc toute la nuit.

Tableau 4.
Production de fumure organique lors des expérimentations
en 2016 et 2017.

Village	2016				2017			
	Production de fumure organique	Écart-type	F	Prob. > F	Production de fumure organique	Écart-type	F	Prob. > F
Nafégué	335	35	25,81***	0,000	406	30	107,99***	0,000
Ziguéna	444	82			0*	0*		
Béguéné	622	139			662	133		
Kafara	194	78			149	62		
Kokélé	376	51			268	37		
Katabantankoto	144	26			128	34		
Total	333	175			323	246		

*Il n'y a pas eu de conditionnement de bœufs de trait en 2017 à Ziguéna par manque de fourrages de mucuna. Les quantités produites ont été détruites par la pluie et les animaux.

Selon DUGUÉ (1994), la production annuelle de déjections d'un bœuf en stabulation est d'environ 1 t MS et l'étable fumière permet de doubler, voire de tripler cette production. L'auteur considère qu'un bœuf adulte peut produire 5 t de fumier par an à 45 % de MS. Les résultats présentés dans ce chapitre sont inférieurs à ceux donnés par DUGUÉ (1994). Cela s'explique par le fait que dans notre étude on n'apportait pas de résidus de culture pour la litière. Seuls les restes d'aliments non consommés étaient mélangés aux déjections des BdT.

Rentabilité économique du conditionnement des bœufs de trait

La marge brute obtenue par le conditionnement des BdT en saison sèche a varié de 175 470 à 246 085 FCFA en 2016. Pour l'année 2017, elle a varié de 159 405 à 225 105 FCFA. L'analyse statistique n'a pas montré de différence significative entre les marges brutes des différents villages. Pour l'ensemble des villages, la moyenne générale n'a pas beaucoup varié entre les années 2016 et 2017. Elle a été de 206 626 FCFA en 2016 et de 208 659 FCFA en 2017.

Tableau 5.
Rentabilité économique du conditionnement des bœufs de trait
en 2016 et 2017.

Village	2016				2017			
	Marge brute (FCFA)	Écart-type	F-test	P-value	Marge brute (FCFA)	Écart-type	F-test	P-value
Nafégué	190 857	35 343	1,84	0,120	194 544	58 787	1,9	0,124
Ziguéna	230 844	47 177			0*	0*		
Béguéné	246 085	76 576			207 596	49 725		
Kafara	192 142	41 265			225 105	58 755		
Kokélé	175 470	88 256			159 405	70 348		
Katabantankoto	199 360	73 036			217 387	64 634		
Total	206 626	62 869			208 659	60 688		

*Il n'y a pas eu de conditionnement de bœufs de trait en 2017 à Ziguéna par manque de fourrages de mucuna. Les quantités produites ont été détruites par la pluie et les animaux.

Conclusion

L'alimentation des bœufs de trait à base de résidus de céréales et de fanes de mucuna a permis d'obtenir un bon embonpoint des animaux. Ainsi, les bœufs de trait supplémentés ont enregistré un gain moyen quotidien (GMQ) de 360 à 513 g/j en 2016 et de 236 à 434 g/j en 2017. Les bœufs de trait en pratique paysanne ont au contraire perdu du poids de - 184 à - 382 g/j en 2016 et -161 à -426 g/j en 2017 au cours des périodes d'expérimentation dans les 6 villages en 2016 et dans les 5 villages en 2017. Les bœufs de trait supplémentés sont en condition physique, aptes à effectuer les travaux du sol dès les premières pluies tombées. Cette supplémentation constitue l'une des stratégies d'adaptation des pratiques agricoles au changement climatique.

La stabulation nocturne des bœufs de trait supplémentés a permis de produire des quantités importantes de fumure organique pendant les 90 jours d'expérimentation dans les villages. En moyenne, sur l'ensemble des villages, un bœuf de trait supplémenté a produit 333 kg de FO en 2016 et 323 kg de FO en 2017. Cette pratique contribue à la restauration de la fertilité des sols, sous culture continue depuis plus de 20 ans surtout dans le vieux bassin cotonnier du Mali.

En ce qui concerne la rentabilité économique, la marge brute obtenue du conditionnement des bœufs de trait en saison sèche a varié de 175 470 FCFA à 246 085 FCFA en 2016. Pour l'année 2017, elle a varié de 159 405 FCFA à 225 105 FCFA. La supplémentation améliore la valeur marchande des BdT souvent vendus par certains agroéleveurs. Elle est apparue aux yeux des agroéleveurs comme un moyen d'atténuation des effets du changement climatique, d'amélioration de la sécurité alimentaire et de lutte contre la pauvreté des populations.

Références

BADINI O., 1991

« Proposition de technologie en milieu réel : cas du conditionnement des bovins de trait en saison sèche au campement de Dogoma (région Ouest du Burkina Faso) ».

In Lawrence P. R. (ed.) : *Research for Development of Animal Traction in West Africa*, proceedings of the fourth Workshop of the West Africa Animal Traction Network, Kano, Nigeria, 9-13 July 1990, International Livestock Centre for Africa, Addis Ababa, Ethiopia : 257-260.

BARTHOLOMEW P., 1989

« Complémentation alimentaire et puissance de traction des bœufs de trait. Méthodes d'alimentation des bœufs de trait ». In : *Rapport annuel CIPEA 1989* : 79-81.

COULIBALY D., BA A., DEMBÉLÉ B.,

SISSOKO F., 2017 a

Développement des systèmes de production innovants d'association maïs/légumineuses dans la zone subhumide du Mali. *Agronomie Africaine Sp.*, 29 (1) : 1-10. <https://www.ajol.info/index.php/aga/article/viewFile/163158/152653>

COULIBALY D., BA A., DEMBÉLÉ B., 2017 b

Fiche technique : Conditionnement des bœufs de trait à base de fourrage de mucuna en saison sèche. Productions animales. Projet d'appui à l'amélioration de la gouvernance de la filière coton dans sa nouvelle configuration institutionnelle et à la productivité et à la durabilité des systèmes d'exploitation en zone cotonnière (PASE II), Volet Recherche et Développement (R&D), Direction scientifique de l'Institut d'économie rurale (IER), Bamako, Mali.

DUGUÉ, 1994 –

Amélioration de la production de fumure organique au niveau de l'exploitation agricole. Fiches techniques à l'usage des techniciens du développement rural, Institut sénégalais de recherche agricole (ISRA-secteur centre sud), Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad-SAR), 24 p.

PEARSON R. A., VALL E., 1998

Performances et conduite des animaux de trait en Afrique subsaharienne : une synthèse. *Revue Élev. Méd. vét. Pays trop.*, 51 (2) : 155-163.

Sélection du sorgho pour une intensification durable au Mali

Apports de la modélisation des cultures

*Mamoutou KOURESSY, Salifou SISSOKO, Mohamed L. TÉKÉTÉ,
Sékouba SANOGO, Sayon KAMISSOKO, Mohamed DOUMBIA,
Aliou SISSOKO, Korotimi THÉRA, Michael DINGKHUN, Aboubakary S. KONÉ,
Maimouna OUATTARA, Michel VAKSMANN, Niaba TÉMÉ*

Introduction

La forte croissance démographique du Mali entraîne un développement rapide de la demande alimentaire des populations rurales et urbaines. Jusqu'à présent, le renforcement de la production céréalière résulte principalement de l'expansion des surfaces cultivées. Toutefois, la saturation progressive des zones rurales limite cette évolution, et une augmentation durable de la productivité des systèmes de cultures sera nécessaire.

Le changement climatique affectera probablement la répartition des pluies au Mali. Les grandes sécheresses des années 1970 et 1980 au Sahel ont provoqué une diminution significative des précipitations, mais leurs effets sur la structure de la saison des pluies ont été faibles (LE BARBÉ et LEBEL, 1997 ; LODOUN *et al.*, 2013 ; TRAORÉ *et al.*, 2000). Les modèles climatiques ne permettent pas de prédire la distribution prochaine des précipitations africaines, mais une augmentation de la variabilité du climat et une succession de périodes de sécheresse et d'inondation sont attendues (THORNTON et GERBER, 2010 ; VISCHEL *et al.*, 2015). Les effets du changement climatique sur la production agricole sont difficiles à analyser car ils s'accompagnent de changements socio-économiques importants. Ainsi, malgré les sécheresses récurrentes, la production céréalière augmente au Mali, montrant la capacité de l'agriculture africaine à atteindre l'autosuffisance alimentaire grâce à l'intensification de la production agricole (KOURESSY *et al.*, 2019 ; VAN ITTERSUM *et al.*, 2016).

Les variétés locales de sorgho sont particulièrement bien adaptées aux stress biotiques et abiotiques mais possèdent un faible potentiel de rendement. La stabilité des

variétés locales réside en grande partie dans leur sensibilité à la photopériode qui provoque la synchronisation de la date de floraison avec la fin de la saison des pluies quelle que soit la date de semis. Les variétés adaptées fleurissent dans la période de 20 jours qui précède la fin de la saison des pluies (KOURESSY *et al.*, 2008 b ; TRAORÉ *et al.*, 2007). Cette condition assure un équilibre entre la satisfaction des besoins en eau et l'évitement de nombreuses contraintes biotiques. Le grain des variétés trop précoces est attaqué par les oiseaux et altéré par les moisissures et les insectes, tandis que les variétés tardives épuisent l'humidité du sol avant la fin du remplissage des grains.

Dans le sillon de la révolution verte, la sensibilité à la photopériode a été éliminée par les programmes de sélection afin de développer des variétés précoces ayant une adaptation géographique plus large (BONNEUIL et THOMAS, 2009). Cependant, le taux d'adoption des nouvelles variétés est faible (VOM BROCKE *et al.*, 2008), les agriculteurs africains cultivent encore essentiellement des variétés locales sensibles à la photopériode qui arrivent à maturité plus tard que les variétés modernes (KOURESSY *et al.*, 2008 a). De nos jours, le développement de variétés sensibles à la photopériode à haut rendement adaptées au climat soudano-sahélien est devenu une priorité des programmes de sélection des céréales des zones arides d'Afrique de l'Ouest (HAUSSMANN *et al.*, 2012 ; KOURESSY *et al.*, 1998 a ; VAKSMANN *et al.*, 2008). En outre, la sensibilité à la photopériode a récemment attiré l'attention des sélectionneurs pour augmenter le rendement de la biomasse et favoriser la production de biocarburants (OLSON *et al.*, 2012).

L'objectif de ce travail est d'identifier les contraintes génétiques à la mise en place d'une intensification durable du sorgho à travers la comparaison de deux variétés modernes et de trois variétés locales du Mali.

Matériel et méthodes

Zone d'étude

Les expérimentations sur la phénologie et la productivité ont été effectuées au Mali à la station de recherche de Sotuba (12° 39' N, 7° 56' W), située en zone de savane soudanienne. La pluviométrie de ce site suit une distribution mono-modale en été (de mai à novembre) avec une moyenne annuelle de 880 mm. La température moyenne mensuelle est de 33,7 °C pour la maximale et de 21,0 °C pour la minimale.

Matériel végétal

Pour étudier les solutions endogènes d'adaptation aux risques climatiques au Mali, une prospection des variétés de sorgho a été réalisée dans le village de Béguéné (12° 50' N, 5° 50' W). Trois variétés locales issues de cette prospection ont été choisies pour cette étude : *Gnognéfing*, *Télimani* et *N'Diécoura*. Elles sont de type botanique Guinéense et de grande taille (de 3 à 4,5 m). Deux variétés améliorées (*Grinkan* et *Wassalen*) ont été choisies pour représenter le matériel moderne développé par

l'Institut d'économie rurale du Mali. Les variétés améliorées sont de type botanique Caudatum/Guinéa. La variété Grinkan (02-SB-F4DT-275) a été homologuée en 2007. La variété Wassalen (C2_075-15) provient d'un programme de sélection assistée par les marqueurs moléculaires et a été homologuée en 2018. Les deux variétés améliorées sont de taille moyenne (de 1,5 à 2,5 m). Le gène de nanisme *dw3* a été principalement utilisé pour réduire la taille des variétés Grinkan et Wassalen (données non publiées).

Étude du développement

Un essai comportant trois dates de semis a permis d'étudier la phénologie des variétés sous différentes conditions de photopériode. Cet essai a été répété en 2017 et 2018. Le dispositif était constitué d'un split-plot à deux répétitions. Le facteur principal comportait les trois dates de semis (10 juin, 10 juillet et 10 septembre) et le facteur secondaire comportait les cinq variétés. Le stade phénologique suivi était la date d'apparition de la ligule de la dernière feuille ou feuille drapeau.

Étude de la croissance

Un essai comportant deux dates de semis a été mis en place à la station de Sotuba. Le dispositif expérimental était un split-plot à trois répétitions avec deux dates de semis comme facteur principal et cinq variétés comme facteur secondaire. Les dates de semis ont été les 12 juin et 10 juillet en 2017, et les 8 juin et 9 juillet en 2018. Ces dates encadrent la période normale de semis des paysans dans cette zone climatique. La densité vulgarisée de 53 333 plantes/ha a été utilisée.

La biomasse sèche des organes aériens (feuilles, tiges et panicules) a été mesurée à partir de prélèvements réalisés à cinq dates au cours du cycle : 15 et 30 jours après la levée ; à l'initiation paniculaire ; à la floraison et à la maturité du grain. Les organes aériens ont été partagés en trois fractions : d'abord les limbes des feuilles, puis les tiges et gaines des feuilles, et enfin les panicules. La biomasse sèche de chaque fraction a été évaluée après séchage à l'étuve (80 °C). Le rendement grain a été mesuré à maturité.

La surface spécifique des feuilles (SLA) a été mesurée régulièrement en divisant la surface des dernières feuilles ligulées par leur biomasse sèche. La SLA s'exprime en cm^2/g et permet de calculer l'indice de surface foliaire (LAI) en déduisant la surface des limbes à partir de leur poids de matière sèche. Les analyses de la variance ont été réalisées sur les biomasses mesurées à la maturité totale pour le grain et les tiges, et sur la valeur maximale de la biomasse des feuilles. Le LAI a été utilisé pour décrire la dynamique de mise en place de la surface foliaire.

Modélisation du développement

La réponse à la photopériode a été déterminée à partir du coefficient de photopériodisme K_p , qui correspond à la réduction de la durée allant du semis à l'apparition de la feuille drapeau (SFD) entre les semis de juin et juillet divisé par l'écart, en jours, entre les deux dates de semis (CLERGET *et al.*, 2007). Ce coefficient est utile pour comparer la sensibilité à la photopériode de variétés cultivées dans les mêmes

conditions, mais permet difficilement de prévoir le comportement de ces variétés lorsque l'environnement change (date de semis ou latitude). Pour prédire le comportement des variétés en interaction avec l'environnement, il est préférable d'utiliser des modèles de développement intégrant les effets propres de la température et de la photopériode (DINGKUHN *et al.*, 2008 ; FOLLARD *et al.*, 2004 ; KOURESSY *et al.*, 2008 a). La réponse à la photopériode a été décrite à l'aide du modèle Samara, qui considère que l'initiation florale se produit lorsque la photopériode descend en dessous d'un seuil de photopériode critique qui varie avec l'âge de la plante (DINGKUHN *et al.*, 2008). Le programme Ridev (DINGKUHN *et al.*, 2017), initialement rédigé pour le riz et récemment élargi au sorgho, a été utilisé pour calculer ces paramètres à partir des résultats obtenus sur trois dates de semis. Les températures cardinales utilisées ont été 11 °C pour la température de base, 34 °C pour la température optimale et 44 °C pour la température maximale (ABDULAI *et al.*, 2012). Le temps thermique nécessaire à l'initiation de la panicule est calculé en considérant que l'initiation se produit en moyenne 22 jours avant l'émission de la feuille drapeau.

En raison de divergences entre nos mesures et les prédictions du modèle Samara, nous en avons limité l'utilisation à la prédiction du développement. Des ajustements du modèle seront nécessaires pour mieux décrire la dynamique de mise en place des entre-nœuds sur la tige.

Délimitation des zones de culture optimales

La méthode utilisée permet d'identifier les zones pour lesquelles une variété peut être semée en minimisant les risques biotiques et abiotiques. Les informations sur la sensibilité à la photopériode, sur la variabilité climatique et les pratiques des agriculteurs sont combinées selon la méthode décrite par SISSOKO *et al.* (2018). Pour chaque station pluviométrique du Mali, le début et la fin de la saison des pluies ont été établis en utilisant un modèle simplifié de bilan hydrique (TRAORÉ *et al.*, 2000). La date de floraison a été prédite en utilisant le modèle Samara (DINGKUHN *et al.*, 2008). La différence en jours entre la date d'épiaison prédite et la fin de la saison des pluies donne un indice d'adaptation qui est calculé pour chaque variété sur les différents postes pluviométriques du Mali. Un système d'information géographique (Surfer® Golden Software) a été utilisé pour délimiter les zones pour lesquelles chaque variété épée dans les 20 jours précédant la fin moyenne de la saison des pluies (KOURESSY *et al.*, 2008 b). Les simulations ont été réalisées pour un semis dès l'installation de la saison des pluies et pour un semis effectué un mois plus tard. Cet étalement des semis correspond aux pratiques observées dans les champs des paysans.

Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont porté sur les biomasses tiges et grains à la récolte et sur la biomasse maximale des feuilles. L'analyse de la variance a été réalisée à partir du regroupement des essais de 2017 et 2018 comme indiqué par GOMEZ et GOMEZ (1984) pour un dispositif en split-plot. Le modèle utilisé pour le regroupement des essais était :

$$Y_{ghij} = \mu + E_g + R_{h(g)} + A_i + (AE)_{ig} + \delta_{h(g)i} + B_j + (BE)_{jg} + (AB)_{ij} + (ABE)_{ijg} + \epsilon_{h(g)ij}$$

où :

- Y_{ghij} est la mesure pour le i^{em} niveau du facteur A (semis en traitement principal) et j^{em} niveau du facteur B (variété en sous-bloc) pour le h^{em} bloc dans l'environnement g
- μ est la moyenne générale
- E_g est l'effet du g^{em} environnement (année)
- $R_{h(g)}$ est l'effet du bloc h dans l'environnement g
- A_i est l'effet du traitement A (semis)
- $(AE)_{ig}$ est l'effet de l'interaction entre le traitement A et l'environnement E
- $\delta_{h(g)i}$ est l'erreur pour le traitement A
- B_j est l'effet du traitement B (variété)
- $(BE)_j$ est l'interaction entre le traitement B et l'environnement
- $(AB)_{ij}$ est l'interaction entre les facteurs A et B
- $(ABE)_{ijg}$ est l'interaction entre les facteurs A, B et l'environnement
- $\epsilon_{h(g)ij}$ est l'erreur pour le facteur B.

Résultats

Étude du développement

La durée semis-feuille drapeau (SFD) de toutes les variétés varie fortement avec la date de semis (fig. 1). Entre les deux premiers semis, pour un décalage de semis de 30 jours (10 juin au 10 juillet), la durée SFD des variétés locales N'Diécoura et

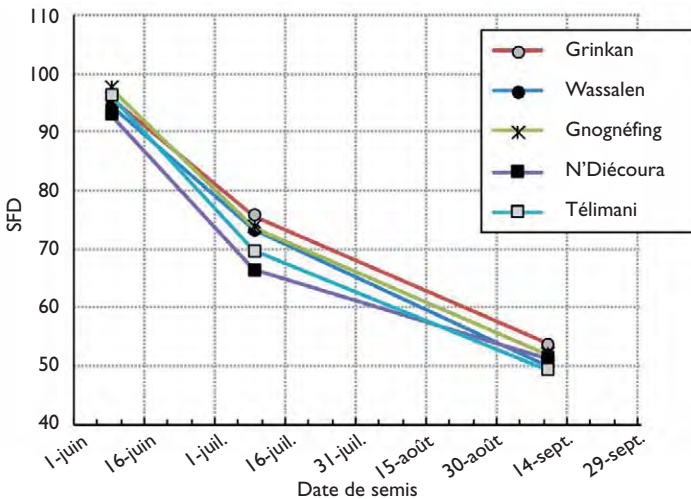


Figure 1.

Durée semis-feuille drapeau (SFD en jours) en fonction de la date de semis des cinq variétés étudiées à Sotuba en 2017 et 2018.

Télimani se raccourcit de 26 jours, ce qui correspond à un coefficient de photopériodisme K_p de 0,9. Les deux variétés améliorées (Grinkan et Wassalen) et la variété locale Gnognéning sont légèrement moins sensibles à la photopériode, SFD se raccourcit en moyenne de 20 jours ($K_p = 0,7$). Entre le second et le troisième semis (10 juillet-10 septembre), SFD est réduit en moyenne de 20 jours. Ces résultats ont permis de calculer les paramètres phénologiques du modèle Samara (BVP, PPsens et PPrct) à l'aide de l'outil Ridev.

Délimitation des zones de culture optimales

Les zones d'adaptation des 5 variétés étudiées sont présentées en figure 2. La zone d'adaptation correspondant à un semis précoce est en bleu, tandis que la zone d'adaptation correspondant à un semis tardif est en rouge. Le retard de semis entraîne un déplacement de la zone d'adaptation vers le sud. En raison de la sensibilité à la photopériode, il existe un chevauchement des deux zones (en violet) qui correspond à la zone de culture optimale dans laquelle la culture de la variété est possible quelle que soit la date de semis.

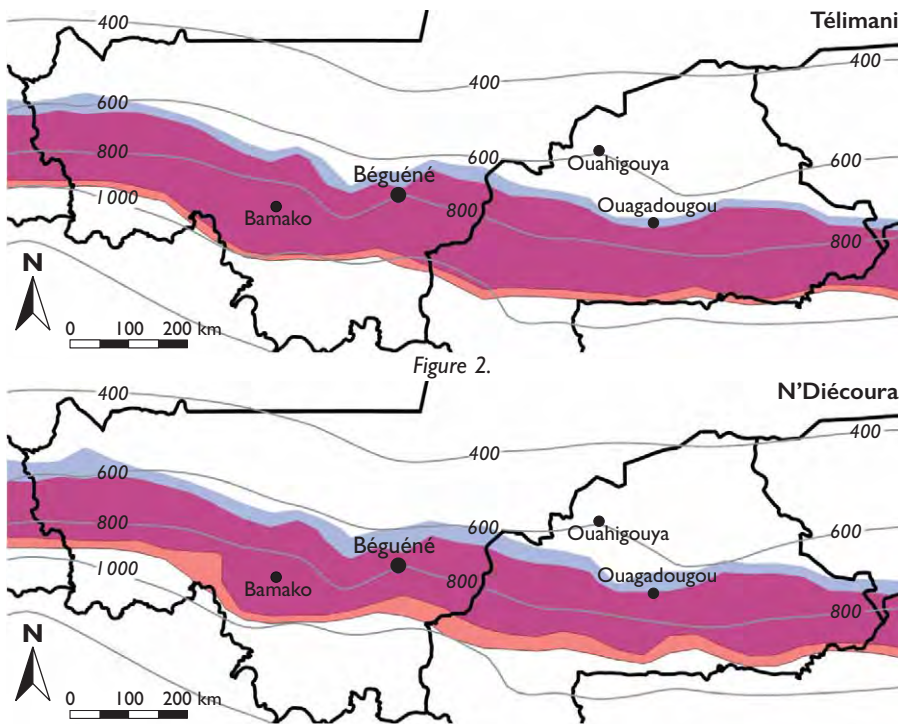


Figure 2.

Délimitation des zones optimales de culture pour les 5 variétés étudiées en 2017 et 2018.

La zone d'adaptation est en bleu pour un semis précoce
et en rouge pour un semis tardif.

La zone de culture optimale (le chevauchement des deux zones) apparaît en violet.

Les isohyètes sont indiquées pour la période normale (1981-2010).

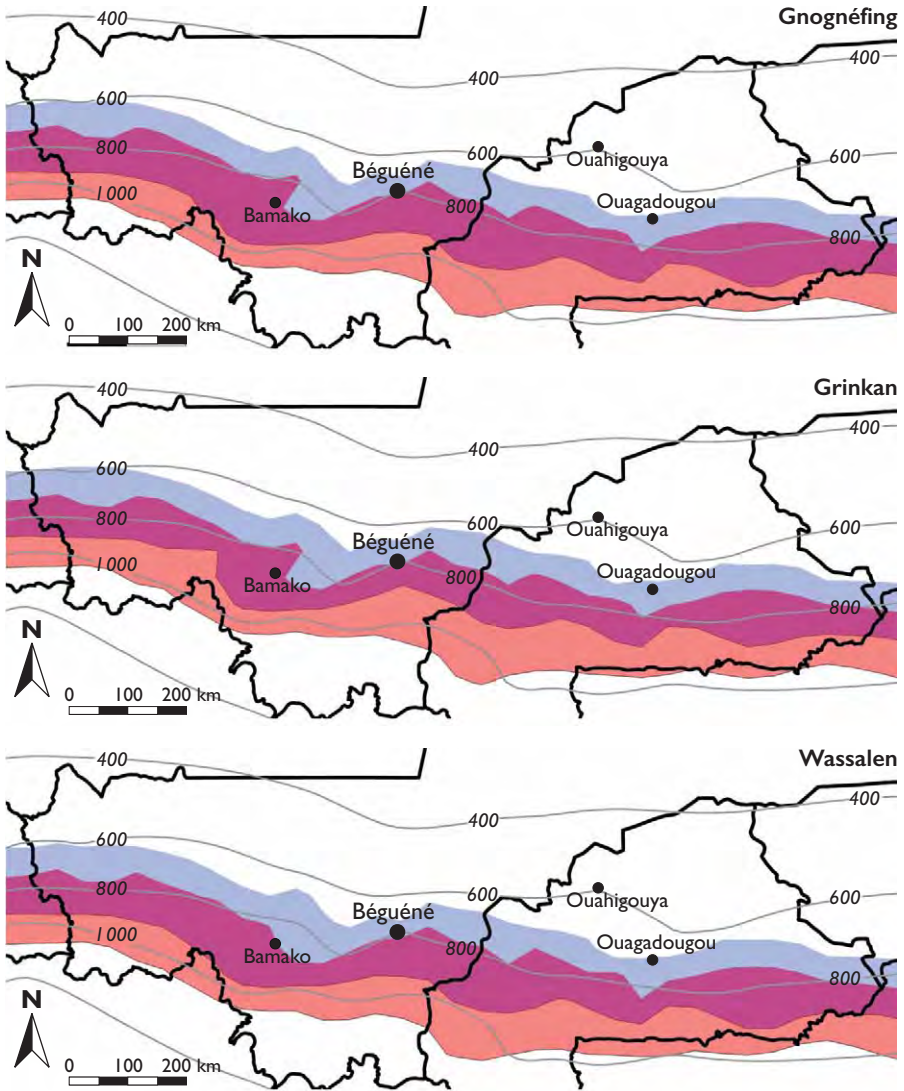


Figure 2 (suite).

Les variétés locales N'Diécoura et Télimani possèdent des zones optimales incluant ou proche de Bégouéné leur village d'origine. Les zones d'adaptation des deux variétés améliorées (Grinkan et Wassalen) et de la variété locale Gnognéning se situent légèrement plus au sud. En raison de leur plus forte sensibilité à la photopériode, les zones optimales de culture des variétés locales Télimani et N'Diécoura sont plus larges car leurs dates de floraison sont très peu affectées par la date de semis, et le chevauchement des deux zones est presque total. En conséquence, ces variétés disposent de zones optimales de culture plus larges que les deux variétés améliorées.

Productivité

BIOMASSE VÉGÉTATIVE

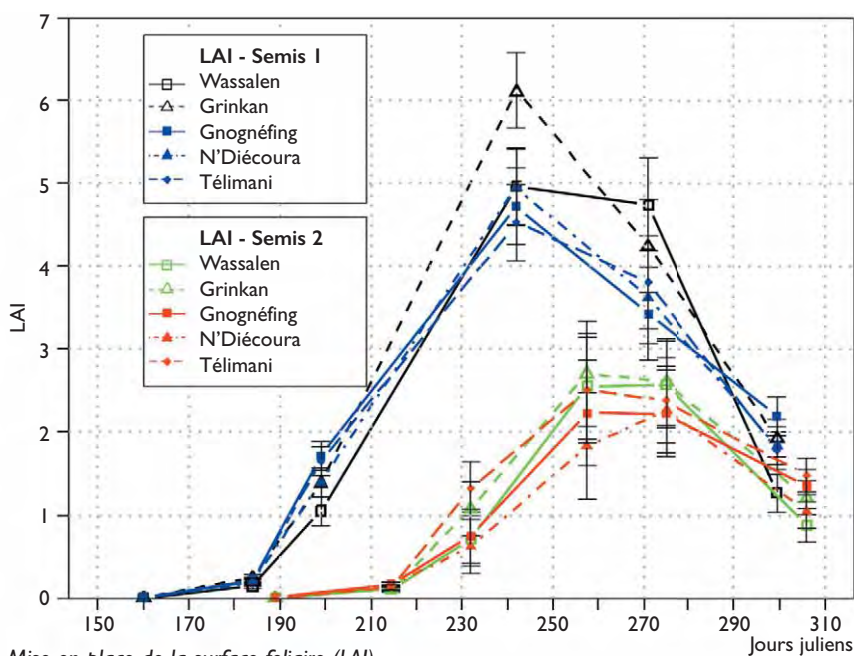
L'analyse de la variance du regroupement des essais montre que l'effet de l'année et les interactions entre les facteurs ne sont pas significatifs pour les productions de tiges et de feuilles. Ce résultat autorise la comparaison des effets moyens des variétés et de la date de semis (tabl. 1). Au niveau de l'analyse de variance, l'effet de la date de semis sur la production de feuilles est hautement significatif. La biomasse des feuilles passe de 2 794 kg/ha au premier semis à 1 494 kg/ha au second semis. En revanche, l'effet variétal sur la biomasse feuille n'est pas significatif. Il en ressort que toutes les variétés, qu'elles soient améliorées ou locales, développent des surfaces foliaires comparables.

Tableau 1.
Principaux résultats de production de biomasse végétative.
Comparaison des moyennes obtenues sur les deux années pour les 5 variétés
et les deux dates de semis.

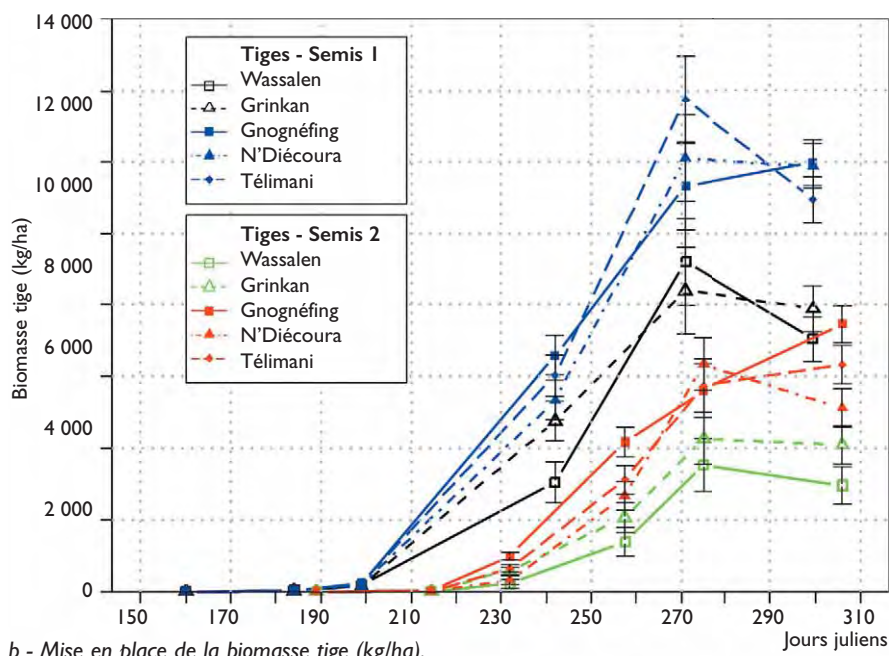
	Biomasse tige à maturité (kg/ha)				Biomasse feuille maximale (kg/ha)			
	Semis 1	Semis 2	moy.	HS	Semis 1	Semis 2	moy.	NS
Wassalen	7 050	2 959	5 004	b	2 939	1 453	2 196	a
Grinkan	7 892	4 080	5 986	b	3 380	1 520	2 450	a
N'Diéoura	11 882	5 128	8 505	a	2 565	1 380	1 972	a
Télimani	10 944	7 569	9 256	a	2 584	1 443	2 014	a
Gnognéning	11 977	7 465	9 721	a	2 501	1 473	1 987	a
Moy.	9 949	5 440	HS		2 794	1 454	HS	
	a	b			a	b		

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes par le test de la PPDS.
Matière sèche tige : effet des variétés et de la date de semis hautement significatifs ($P < 0.01$).
Matière sèche feuille : effet date de semis hautement significatif.
L'effet de l'année et les interactions ne sont pas significatifs ($P > 0.05$).

L'évolution de la surface foliaire au cours du temps suit une courbe en cloche (fig. 3 a). Au premier semis, le LAI augmente jusqu'à un maximum d'environ 5 avant la floraison, puis diminue régulièrement jusqu'à la récolte car la sénescence des feuilles âgées n'est plus compensée par l'apparition de nouvelles feuilles. La dynamique est semblable pour le second semis, mais le LAI maximum n'est que de 2,5. L'impact de la date de semis sur l'établissement de la surface foliaire et donc du potentiel de photosynthèse est particulièrement clair. Il n'y a pas de différences variétales sur le LAI maximum développé, mais une différence apparaît pour la mesure réalisée après la floraison. À ce stade, le LAI des variétés améliorées se maintient à un niveau significativement plus élevé ($P = 0,0242$) que celui des variétés locales, en raison probablement du retard de sénescence (caractère stay-green) recherché par les programmes de sélection.



a - Mise en place de la surface foliaire (LAI).



b - Mise en place de la biomasse tige (kg/ha).

Figure 3.

Dynamique de mise en place de la surface foliaire et de la biomasse des tiges.
 Les traits verticaux représentent l'erreur standard de la moyenne sur trois répétitions.

L'évolution de la matière sèche des tiges (fig. 3 b) montre les effets propres à la date de semis et au type variétal. La plus grande biomasse est atteinte après la floraison. La variation de biomasse tige observée après floraison peut être attribuée à l'échantillonnage. Le retard de semis diminue la production de matière sèche tige, qui passe de 9 950 kg/ha pour le premier semis à 5 440 kg/ha au second semis. La production de tiges des variétés améliorées est plus faible, elles produisent en moyenne 5 500 kg/ha de tiges tandis que les variétés locales atteignent 9 160 kg/ha.

PRODUCTION DE GRAINS

La production de grains a varié suivant les années, les dates de semis et les variétés. Les attaques d'oiseaux avant la récolte expliquent une grande part de la variabilité de la production en grains. Le rendement maximum a été obtenu pour la variété améliorée Wassalen (3 500 kg/ha) et le rendement le plus faible pour la variété Gnognéning (1 124 kg/ha). Pour éliminer l'interaction semis x variété, l'analyse a été réalisée séparément pour chaque semis en considérant les effets des deux années comme des environnements différents. Au premier semis, la productivité des variétés améliorées (2 560 kg/ha) est significativement supérieure à celle des variétés locales (1 416 kg/ha). Au deuxième semis, l'effet variétal est significatif mais ne dépend pas du type de variété (améliorées ou locales).

Discussion

Adaptation au climat

Les premières études sur le sorgho en Afrique subsaharienne reconnaissent le rôle incontournable du photopériodisme (CURTIS, 1968). Les grandes sécheresses des années 1970 et 1980 ont orienté les sélectionneurs vers le développement de variétés précoces pouvant boucler leurs cycles avec des saisons des pluies de durées réduites (DANCETTE, 1983). L'élimination de la sensibilité à la photopériode a été le principal moyen utilisé pour réduire la durée du cycle. Par la suite, la révolution verte, dont la précocité est un des paradigmes fondamentaux (BONNEUIL et THOMAS, 2009), a conforté les programmes de sélection dans le développement de variétés précoces.

La date de semis est certainement un des choix techniques qui impacte le plus la production de matière sèche, devant la fertilisation et le travail du sol. Les variétés précoces doivent souvent être semées en retard après le début de la saison agricole, ce qui entraîne une augmentation considérable du risque d'échec des cultures (ANDREWS, 1973). Le retard de semis provoque une réduction de moitié de la surface foliaire développée et une diminution de la biomasse des tiges pouvant dépasser 4 500 kg/ha, comme l'indiquent les résultats de cette étude. Les réductions de la durée du cycle, du nombre de feuilles et des entre-nœuds expliquent, en grande partie, la baisse de productivité des variétés avec le retard de semis. Toutefois, les semis tardifs

produisent des rendements faibles pour de nombreuses autres raisons : dégâts des parasites, lessivage des éléments azotés et minéraux, faible quantité de rayonnement, refroidissement du sol, inondations, concurrence des mauvaises herbes et agressivité des pluies (SISSOKO *et al.*, 2018). Cette multiplicité des causes biotiques et abiotiques ne facilite pas la modélisation de l'effet de la date de semis sur la production de grains. C'est pourquoi la comparaison entre la fin de la saison des pluies et la date de floraison reste la meilleure évaluation synthétique de l'adaptation variétale (COCHEMÉ et FRANQUIN, 1967 ; SOUMARÉ *et al.*, 2008).

Même si un semis précoce est souhaité par les paysans, l'étalement des semis est une caractéristique de l'agriculture soudano-sahélienne. Les champs peuvent rarement être semés simultanément, des précipitations irrégulières au début de la saison entraînent des vagues successives de semis. Les contraintes de l'exploitation, le manque de main-d'œuvre ou de matériel agricole obligent aussi les paysans à échelonner les semis. Les modèles de développement sont des outils nécessaires à la conception d'idéotypes performants et adaptés. La démarche proposée permet de projeter simplement dans le temps et dans l'espace les conséquences d'un choix variétal. Pour systématiser cette approche au sein des programmes d'amélioration, il faudra développer des méthodes de mesure du photopériodisme sur de grandes populations et disposer d'outils informatiques simples pour coupler les modèles de développement aux bases de données météorologiques afin de fournir une représentation cartographique synthétique.

Intensification durable

On a longtemps pensé qu'il ne serait pas possible de réunir la sensibilité à la photopériode des variétés locales et la productivité des variétés modernes (HAUSSMANN *et al.*, 2012). Les résultats probants obtenus dans le développement d'hybrides (RATTUNDE *et al.*, 2013) ou par sélection assistée par les marqueurs moléculaires (SISSOKO *et al.*, 2018) montrent que le photopériodisme n'est pas un obstacle au développement de variétés productives. Toutefois, la réponse à l'intensification des variétés améliorées reste décevante (CLERGET, 2004), leurs rendements dépassent rarement 4 t/ha, même en agriculture intensive. Ces performances sont trop faibles pour que le sorgho devienne crédible face au maïs dans un système de culture intensifié. L'augmentation récente des besoins fourragers liée au développement d'un système d'élevage intensif a orienté les programmes d'amélioration vers le développement de sorghos à double usage (grain et fourrage). En valorisant économiquement la paille, il devient possible de contourner, en partie, la limite de productivité en grains et d'augmenter le revenu des cultivateurs de sorgho.

Pour une même surface foliaire, les variétés locales produisent jusqu'à 5 000 kg/ha de matière sèche de plus que les variétés modernes. Le matériel amélioré possède donc un potentiel de photosynthèse sous-utilisé (CLERGET, 2004). Pour prendre en compte ce déficit de photosynthèse, le modèle Samara ajuste la croissance en fonction de l'offre et de la demande (AKINSEYE *et al.*, 2017). Autrement dit, le modèle considère que la réduction du puits végétatif que constitue la tige entraîne une diminution de la photosynthèse, car il n'y a plus de débouchés pour les assimilats. Cet ajustement

du modèle reflète la réalité, mais il faut garder à l'esprit que la baisse de l'efficacité de la photosynthèse n'est pas la cause de la diminution de biomasse produite, mais la conséquence de la réduction de la taille des entre-nœuds. Ce déficit de photosynthèse est surtout le symptôme d'un déséquilibre dans la mise en place de la biomasse aérienne des variétés améliorées.

Pour valoriser pleinement le potentiel de photosynthèse du couvert végétal des sorghos photopériodiques, il faudrait donc canaliser l'excès de source de photosynthétats vers de nouveaux puits reproducteurs et végétatifs. Plusieurs voies de recherche peuvent être explorées pour atteindre cet objectif.

Des rendements élevés peuvent résulter de l'augmentation des densités de semis mais, jusqu'à présent, les résultats ont été décevants en raison de l'encombrement important du feuillage des variétés photopériodiques (SAPIN, 1983). Pour améliorer la tolérance aux fortes densités, à l'instar de ce qui a été fait pour le maïs depuis 1945 (LEE et TOLLENAAR, 2007), on pourrait introduire des essais sous stress de peuplement (fortes densités et semis précoces) dans le processus de sélection.

L'augmentation de la taille des tiges des nouvelles variétés permet d'augmenter la biomasse produite par le couvert végétal. La taille des tiges est aussi un facteur de rusticité, car les sorghos de grande taille sont plus compétitifs par rapport aux adventices (KOURESSY *et al.*, 1998 b), développent un enracinement plus dense (KOURESSY, 2007) et possèdent des réserves mobilisables en cas de stress (BLUM *et al.*, 1997). L'augmentation de la biomasse des tiges peut aussi améliorer la valeur double-usage si elle ne s'accompagne pas d'une baisse de la qualité fourragère en raison de plus fortes teneurs en lignines. Cette solution a déjà été mise en œuvre avec succès, puisque plusieurs hybrides diffusés au Mali sont de grande taille (KANTE *et al.*, 2017).

Plus simplement, une alternative consisterait à utiliser l'aptitude au tallage déjà présente chez de nombreux génotypes traditionnels, sauvages ou fourragers. Pour certaines variétés de sorgho, la contribution des talles au rendement grain total peut atteindre 78 % (LAFARGE *et al.*, 2002). Ce caractère est connu pour compenser naturellement d'éventuels déficits de peuplement mais il pourrait aussi compenser l'effet dépressif des semis tardifs. L'utilisation de l'aptitude au tallage interpelle les programmes de sélection du sorgho car, hormis pour le développement de sorghos purement fourragers, ce caractère a souvent été contre-sélectionné au profit de l'amélioration de l'indice de récolte.

Conclusion

En Afrique subsaharienne, l'augmentation rapide de la population et la saturation progressive des zones rurales forcent les paysans à intensifier la production agricole. L'augmentation de la productivité et de la valeur double-usage doit permettre au sorgho de trouver sa place dans les systèmes de cultures en voie d'intensification.

Les modèles seront des outils précieux pour orchestrer une démarche transdisciplinaire et faciliter les échanges entre physiologistes, généticiens et agronomes de façon à concevoir de nouveaux types variétaux performants et adaptés.

Les conditions nécessaires pour l'adaptation aux climats spécifiques de l'Afrique subsaharienne sont maintenant maîtrisées. Les modèles de développement permettent de projeter dans le temps et dans l'espace les conséquences d'un choix variétal pour concevoir des idéotypes prenant en compte la variabilité du climat ou les scénarios de changement climatique.

L'utilisation des modèles de croissance a permis de diagnostiquer le déséquilibre source/puits des variétés améliorées, qui possèdent un potentiel de photosynthèse sous-utilisé. La réduction de la taille des tiges des variétés améliorées n'a pas été compensée par une augmentation suffisante des densités de peuplement. Il faudrait parvenir à canaliser l'excès de source vers de nouveaux puits végétatifs et reproducteurs. Pour atteindre cet objectif, la modification de certains paradigmes issus de la révolution verte sera nécessaire : la rusticité des sorghos africains dépend surtout du photopériodisme, du tallage et de la haute taille des tiges, des caractères souvent négligés mais compatibles avec le développement de variétés performantes.

Ce travail constitue une première étape vers la sélection de variétés résilientes au changement climatique et adaptées à une intensification durable. Ces deux concepts sont étroitement liés, car l'amélioration de la gestion des risques climatiques fournira les bases nécessaires à une intensification durable.

Références

- ABDULAI A. L., KOURESSY M., VAKSMANN M., ASCH F., GIESE M., HOLGER B., 2012**
Latitude and date of sowing influences phenology of photoperiod-sensitive sorghums. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 198 (5) : 340-348.
- AKINSEYE F. M., ADAM M., AGELE S.O., HOFFMANN M. P., TRAORE P. C. S., WHITBREAD A. M., 2017**
Assessing crop model improvements through comparison of sorghum (sorghum bicolor L. moench) simulation models: A case study of West African varieties. *Field Crops Research*, 201 : 19-31.
- ANDREWS D. J., 1973**
Effects of date of sowing on photosensitive Nigerian Sorghums. *Exp. Agric.*, 9 : 337-346.
- BLUM A., GOLAN G., MAYER J., SINMENA B., 1997**
The effect of dwarfing genes on sorghum grain filling from remobilized stem reserves, under stress. *Field Crops Research*, 52 (1-2) : 43-54.
- BONNEUIL C., THOMAS F., 2009**
Gènes, pouvoirs et profits. FPH/Quae, 620 p.
- CLERGET B., 2004**
Le rôle du photopériodisme dans l'élaboration du rendement de trois variétés de sorgho cultivées en Afrique de l'Ouest. Thèse de doctorat Thesis, INA-PG, Paris, 103 p.

CLERGET B., RATTUNDE H. F. W., DAGNOKO S., CHANTEREAU J., 2007

An easy way to assess photoperiod sensitivity in sorghum: Relationships of the vegetative-phase duration and photoperiod sensitivity. *SAT eJournal*, 4 p.

COCHEMÉ J., FRANQUIN P., 1967

A study of the agroclimatology of the semi-arid area south of the Sahara in West Africa. FAO/UNESCO, 325 p.

CURTIS D. L., 1968

The relation between yield and date of heading in Nigerian sorghums. *Expl. Agric.*, 4 : 93-101.

DANCETTE C., 1983

Besoins en eau du mil au Sénégal. Adaptation en zone semi-aride tropicale. *Agronomie Tropicale*, 38 (4) : 267-280.

DINGKUH M., KOURESSY M., VAKSMANN M., CLERGET B., CHANTEREAU J., 2008

A model of sorghum photoperiodism using the concept of threshold-lowering during prolonged appetence. *European Journal of Agronomy*, 28 (2) : 74-89.

DINGKUH M., PASCO R., PASUQUIN J. M., DAMO J., SOULIÉ J.-C., RABOIN L.-M., DUSSERRE J., SOW A., MANNEH B., SHRESTHA S., BALDE A., KRETZSCHMAR T., 2017

Crop-model assisted phenomics and genome-wide association study for climate adaptation of indica rice. 1. Phenology. *Journal of Experimental Botany*, 68 (15) : 4369-4388.

FOLLIARD A., TRAORE P. C. S., VAKSMANN M., KOURESSY M., 2004

Modeling of sorghum response to photoperiod: a threshold-hyperbolic approach. *Field Crops Research*, 89 (1) : 59-70.

GOMEZ K. A., GOMEZ A. A., 1984

Statistical Procedures for Agricultural Research. New York, John Wiley & Sons, 2nd edition, 680 p.

HAUSSMANN B. I. G., FRED RATTUNDE H., WELTZIEN-RATTUNDE E., TRAORÉ P. S. C., VOM BROCKE K., PARZIES H.K., 2012

Breeding strategies for adaptation of pearl millet and sorghum to climate variability and change in West Africa. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 198 (5) : 327-339.

KANTE M., RATTUNDE H. F. W., LEISER W. L., NEBIÉ B., DIALLO B., DIALLO A., TOURÉ A. O., WELTZIEN E., HAUSSMANN B. I. G., 2017

Can Tall Guinea-Race Sorghum Hybrids Deliver Yield Advantage to Smallholder Farmers in West and Central Africa? *Crop Science*, 57 (2) : 833-842.

KOURESSY M., 2007

Adaptation agro-écologique et potentialités des sorghos photopériodiques à paille courte au Mali. Université Montpellier II, 161 p.

KOURESSY M., NIANGADO O., DEMBÉLÉ T., VAKSMANN M., TROUCHE G., REYNIERS F.-N., 1998 a

« La sélection de sorghos photopériodiques ». In Bacci L., Reyniers F.-N. (éd.) : *Le futur des céréales photopériodiques pour une production durable en Afrique tropicale semi-aride*, Florence, Italie, Cirad : 247-262.

KOURESSY M., NIANGADO O., VAKSMANN M., REYNIERS F. N., 1998 b

« Étude de la variabilité phénologique des mils du Mali et de son utilisation pour l'amélioration variétale ». In Bacci L., Reyniers F.-N. (éd.) : *Le futur des céréales photopériodiques pour une production durable en Afrique tropicale semi-aride*, Florence, Italie, Cirad : 59-75.

KOURESSY M., DINGKUH M., VAKSMANN M., HEINEMANN A. B., 2008 a

Adaptation to diverse semi-arid environments of sorghum genotypes having different plant type and sensitivity to photoperiod. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148 (3) : 357-371.

**KOURESSY M., TRAORÉ S. B.,
VAKSMANN M., GRUM M., MAIKANO I.,
SOMARÉ M., TRAORÉ P. S., BAZILE D.,
DINGKUHN M., SIDIBÉ A., 2008 b**

Adaptation des sorghos du Mali
à la variabilité climatique.
Cahiers Agricultures, 17 (2) : 95-100.

**KOURESSY M., SULTAN B.,
VAKSMANN M., BELIÈRES J.-F.,
CLAESSENS L., DINGKUHN M.,
TÉMÉ N., 2019**

Climate Change and Cereal Production
Evolution Trend in the Sahel:
Case Study in Mali from 1951 to 2010.
Sustainable Agriculture Research, 8 (2) :
68-89.

**LAFARGE T. A., BROAD I. J.,
HAMMER G. L., 2002**

Tillering in grain sorghum
over a wide range of population densities:
Identification of a common hierarchy
for tiller emergence, leaf area development
and fertility.
Ann. Bot., 90 (1) : 87-98.

LE BARBÉ L., LEBEL T., 1997

Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel
region during the years 1950-1990.
Journal of Hydrology, 188-189 : 43-73.

LEE E. A., TOLLENAAR M., 2007

Physiological Basis of Successful Breeding
Strategies for Maize Grain Yield.
Crop Sci., 47 (Supplement_3) : S-202-215.

**LODOUN T., GIANNINI A.,
TRAORÉ P. S., SOMÉ L.,
SANON M., VAKSMANN M.,
RASOLODIMBY J. M., 2013**

Changes in seasonal descriptors
of precipitation in Burkina Faso associated
with late 20th century drought
and recovery in West Africa.
Environmental Development, 5 : 96-108.

**OLSON S. N., RITTER K.,
ROONEY W., KEMANIAN A.,
MCCARL B. A., ZHANG Y., HALL S.,
PACKER D., MULLET J., 2012**

High biomass yield energy sorghum:
developing a genetic model for C4 grass
bioenergy crops.
Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 6 (6) :
640-655.

**RATTUNDE H. F. W.,
WELTZIEN E., DIALLO B.,
DIALLO A.G., SIDIBE M.,
TOURÉ A. O., RATHORE A., DAS R. R.,
LEISER W. L., TOURÉ A., 2013**

Yield of Photoperiod-sensitive Sorghum
Hybrids Based on Guinea-race Germplasm
under Farmers' Field Conditions in Mali.
Crop Sci., 53 (6) : 2454-2461.

SAPIN P., 1983

Le sorgho et son amélioration.
CNEARC/IRAT, 89 p.

**SISSOKO S., TÉKÉTÉ M. L.,
KOURESSY M., THERA K., DEMBÉLÉ Y.,
DOUMBIA M., SISSOKO A., SANOGO S.,
DIARRA Y., SAMAKÉ M., RAMI J. F.,
DIALLO A.G., VAKSMANN M.,
NIANGADO O., TÉMÉ N., 2018**

Combined agronomic and climatic approaches
for sorghum adaptation in Mali.
African Journal of Agricultural Research,
13 (35) : 1816-1827.

**SOMARÉ M., KOURESSY M., VAKSMANN M.,
MAIKANO I., BAZILE D., TRAORÉ P. S.,
TRAORÉ S., DINGKUHN M., TOURÉ A., VOM
BROCKE K., SOMÉ L., BARRO KONDOMBO C.
P., 2008**

Prévision de l'aire de diffusion des sorghos
photopériodiques en Afrique de l'Ouest.
Cahiers Agricultures, 17 (2) : 160-164.

THORNTON P. K., GERBER P. J., 2010

Climate change and the growth
of the livestock sector in developing countries.
*Mitigation and Adaptation Strategies
for Global Change*, 15 (2) : 169-184.

**TRAORÉ S. B., REYNIERS F.-N.,
VAKSMANN M., KONÉ B., SIDIBÉ A., YOROTÉ
A., YATTARA K., KOURESSY M., 2000**

Adaptation à la sécheresse des écotypes
locaux de sorghos du Mali.
Sécheresse, 11 (4) : 227-237.

**TRAORÉ P. C. S., KOURESSY M.,
VAKSMANN M., TABO R., MAIKANO I.,
TRAORÉ S., COOPER P., 2007**

« Climate Prediction and Agriculture:
What Is Different about Sudano-Sahelian
West Africa? » In Sivakumar M. V. K.,
Hansen J. (Eds) : *Climate Prediction and
Agriculture*, Springer, Berlin-Heidelberg :
189-203.

**VAKSMANN M., KOURESSY M.,
CHANTEREAU J., BAZILE D., SAGNARD F.,
TOURÉ A., SANOGO O., DIAWARA G.,
DANTÉ A., 2008**

Utilisation de la diversité génétique
des sorghos locaux du Mali.
Cahiers Agricultures, 17 (2) : 140-145.

**VAN ITTERSUM M. K., VAN BUSSEL L. G. J.,
WOLF, J., GRASSINI, P., VAN WART, J.,
GUILPART, N., CLAESSENS L., DE GROOT H.,
WIEBE K., MASON-D'CROZ D., YANG H.,
BOOGAARD H., VAN OORT P.A. J.,
VAN LOON M. P., SAITO K., ADIMO O.,
ADJEI-NSIAH S., AGALI A., BALA A.,
CHIKOWO R., KAIZZI K., KOURESSY M.,
MAKOI J. H. J. R., OUATTARA K.,
TESFAYE K., CASSMAN K. G., 2016**
Can sub-Saharan Africa feed itself?
*Proceedings of the National Academy
of Sciences*, 113 (52) : 14964-14969.

**VISCHEL T., LEBEL T.,
PANTHOU G., QUANTIN G., ROSSI A.,
MARTINET M., 2015**

« Le retour d'une période humide au Sahel ?
Observations et perspectives ».
In Sultan B., Lalou R., Amadou S. M.,
Oumarou A., Soumaré M. A. (éd.) :
*Les sociétés rurales face
aux changements climatiques
et environnementaux
en Afrique de l'Ouest*,
Marseille, IRD Éditions : 43-60.

**VOM BROCKE K., TROUCHE G.,
ZONGO S., ABDAMANE B.,
BARRO-KONDOMBO C.P., WELTZIEN E.,
CHANTEREAU J., 2008**

Création et amélioration de populations
de sorgho à base large avec les agriculteurs
au Burkina Faso.
Cahiers Agricultures, 17 (2) : 146-153.

Liste des auteurs

Alassane Ba

zootechnicien, Institut d'économie rurale,
Centre régional de la recherche agronomique de Sikasso, Sikasso, Mali

Bernard Bacyé

agropédologue, Laboratoire d'étude et de recherche sur la fertilité du sol (LERF),
Institut du développement rural (IDR), University Nazi Boni (UNB),
Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Jean-Claude Bader

hydrologue, IRD, UMR-G-eau, université de Montpellier, France

Aïssata Delphine Bama Nati

hydrologue, Centre national de la recherche scientifique et technologique,
Inera Ouagadougou, Burkina Faso

A. Alimata Bandaogo

agropédologue, Institut de l'environnement et de recherches agricoles (Inera),
Département gestion des ressources naturelles et systèmes de production (GRN/SP),
Farako-Bâ, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Bruno Barbier

économiste, Cirad, UMR-G-eau, université de Montpellier, France

Aymar Yaovi Bossa

hydrologue, West African Science Service Centre on Climate Change
and Adapted Land Use (WASCAL), Ouagadougou, Burkina Faso ;
Institut national de l'eau, université d'Abomey-Calavi, Bénin

Madiama Cissé

agronome, Isra/CRA, Saint-Louis, Sénégal

Halidou Compaore

écologue, Centre national de la recherche scientifique et technologique,
Inera, Ouagadougou, Burkina Faso

Doubangolo Coulibaly

zootechnicien, Institut d'économie rurale, Centre régional de la recherche agronomique de Sotuba, Bamako, Mali

Kalifa Coulibaly

agropédologue, Laboratoire d'étude et de recherche sur la fertilité du sol (LERF), Institut du développement rural (IDR), University Nazi Boni (UNB), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Arnold S. Da

hydraulicien, Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement – 2iE, Ouagadougou, Burkina Faso

Évariste D. Da

géographe, HDR, Professeur titulaire, université Joseph Ki-Zerbo, Ouagadougou, Burkina Faso

Der Dabiré

sociologue, USPAA/Cirdes/Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Ernest Dabire

Coopérative Riz de Lofing, Dano, Ioba, Burkina Faso

Nab Dabiré

agronome, IRD-IDR Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Elidaa K. Daku

agronome, Centre de compétence de WASCAL (West African Science Service Center on Climate Change and Adapted Land Use), Ouagadougou, Burkina Faso

Mariam Myriam Dama Balima

géographe, Centre national de la recherche scientifique et technologique, Inera Ouagadougou, Burkina Faso

Moise Damba MBoungou

socio-économiste, Laboratoire d'analyse quantitative appliquée au développement - Sahel (LAQAD-S), université Ouaga II, Burkina Faso

Bandiougou Dembele

agroéconomiste, Institut d'économie rurale, Centre régional de la recherche agronomique de Sikasso, Sikasso, Mali

Djiby Dia

géographe, ISRA-BAME, Dakar, Sénégal

Tidiane Diarisso

agronome, université de Ségou, Ségou, Mali

Mohamadou Dieye

géographe, Isra-BAME, Dakar, Sénégal

Michael Dingkhun
écophysiologiste, Bios, UMR Agap, Cirad, France

Abdou Ndiaye Diop
économiste, université Gaston-Berger, Saint-Louis, Sénégal

Augustine Dorée
agroéconomiste, IRD, UMR Gred, Montpellier SupAgro, France

Nadège I. P. Dossoumou
spécialiste génie rural et maîtrise de l'eau, école doctorale de WASCAL
(West African Science Service Center on Climate Change and Adapted Land Use) ;
université de Lomé, Togo

Manaka Douanio
agronome, IRD, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Mohamed Doumbia
sélectionneur, Institut d'économie rurale,
Centre régional de la recherche agronomique, Bamako, Mali

Cheickh Sadibou Fall
économiste, Isra-BAME, Dakar, Sénégal

Jean-Louis Fusillier
agronome, Cirad, UMR G-eau, Montpellier, France

Aïda Ganaba
chargée de projets, Centre de compétence de WASCAL
(West African Science Service Center on Climate Change and Adapted Land Use),
Ouagadougou, Burkina Faso

Aboudramane Guiro
mathématicien/modélisateur,
Unité de formation et de recherche en sciences et techniques,
University Nazi Boni (UNB), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Koufanou Hien
ingénieur agrométéorologue, Centre régional Agrhymet, Niamey, Niger

Séverin Hien
hydrologue, West African Science Service Centre on Climate Change
and Adapted Land Use (WASCAL), Lofing, Burkina Faso

Jean Houknpé
hydrologue, West African Science Service Centre on Climate Change
and Adapted Land Use (WASCAL), Ouagadougou, Burkina Faso ;
Institut national de l'eau, université d'Abomey-Calavi, Bénin

Sylvain Ibouido

toxicologue, Centre national de la recherche scientifique et technologique, IRSS, Ouagadougou, Burkina Faso

Sayon Kamissoko

ingénieur, Institut d'économie rurale, Centre régional de la recherche agronomique de Sikasso, Sikasso, Mali

Youssouf Kanadjigui

zootechnicien, Institut d'économie rurale, Centre régional de la recherche agronomique de Sikasso, Sikasso, Mali

Amadou Keita

hydraulicien, Institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement – 2iE, Ouagadougou, Burkina Faso

Aboubakary S. Koné

agronome, Institut national de la statistique du Mali, Bamako, Mali

Patrice Kouakou

agronome, Cirad, UMR Aida, Montpellier, France

Mamoutou Kouressy

écophysiologiste, Institut d'économie rurale, Centre régional de la recherche agronomique de Sikasso, Sikasso, Mali

Philippe Lavigne Delville

Socio-anthropologue, IRD, UMR Gred (IRD/UPV), Montpellier, France

Namo Zankli K. Lawson

assistante de recherche, Centre de Compétence de WASCAL (West African Science Service Centre on Climate Change and Adapted Land Use), Ouagadougou, Burkina Faso

Bruno Lidon

ingénieur hydraulicien, Cirad, Montpellier, France

Mamadou Ndiaye

agronome, Isra/CRA, Saint-Louis, Sénégal

Ramatoulaye Ndiaye

agropédologue, Isra/CRA, Saint-Louis, Sénégal

Houleymatou Ndong

géographe, Isra/CRA, Saint-Louis, Sénégal

Hassan B. Nacro

agropédologue, Laboratoire d'étude et de recherche sur la fertilité du sol (LERF), Institut du développement rural (IDR), University Nazi Boni (UNB), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Baba Ouattara

agronome environnementaliste, Institut de l'environnement et de recherches agricoles Inera/GRN-SP Ouest, Farako-Bâ/Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Maïmouna Ouattara

agronome, Compagnie malienne pour le développement du textile (CMDT), Bamako, Mali

Souleymane Ouédraogo

zootechnicien, Institut de l'environnement et de recherches agricoles, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Jean-Emmanuel Paturel

hydrologue, IRD, UMR 5569 HydroSciences Montpellier, France

Justine Robin

anthropologue indépendante

Fatimata Saba

agropédologue, Institut de l'environnement et de recherches agricoles (Inera), Département gestion des ressources naturelles et systèmes de production (GRN/SP), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso.

Seyni Salack

climatologue, Centre de compétence de WASCAL (West African Science Service Center on Climate Change and Adapted Land Use), Ouagadougou, Burkina Faso

Inoussa Abdou Saley

climatologue, Centre de compétence de WASCAL (West African Science Service Center on Climate Change and Adapted Land Use), Ouagadougou, Burkina Faso

Mamadou Sall

agro-hydrologue, Isra/CRA Saint-Louis, Sénégal

Safietou Sanfo

Économiste agricole, Laboratoire d'analyse quantitative appliquée au développement - Sahel (LAQAD-S), université Ouaga II, Burkina Faso / West African Science Service Center on Climate Change and Adapted Land Use (WASCAL), Burkina Faso

Sékouba Sanogo

ingénieur, Institut d'économie rurale, Centre régional de la recherche agronomique de Sikasso, Sikasso, Mali

Moussa Sanon

agronome, Institut de l'environnement et de recherches agricoles (Inera), Ouagadougou, Burkina Faso

Abdraïme Sawadogo

agronome, IRD - École polyvalente Matourkou, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Georges Serpantié

agronome, IRD, UMR Gred (IRD/UPV), Montpellier, France

Bassirou Sine

Écophysiologiste, Isra/CERAAS, Sénégal

Aliou Sissoko

ingénieur, Institut d'économie rurale, Centre régional de la recherche agronomique de Sikasso, Sikasso, Mali

Fagaye Sissoko

agronome, Institut d'économie rurale, Sikasso, Mali

Salifou Sissoko

agronome, Institut d'économie rurale, Centre régional de la recherche agronomique de Sikasso, Sikasso, Mali

Fabrice Somé

coopérative Riz de Lofing, Burkina Faso

Fourvouon Somé

géographe, université Joseph Ki-Zerbo, Ouagadougou, Burkina Faso

Benjamin Sultan

climatologue, IRD, UMR Espace-Dev, Montpellier, France

El Hadji Malick Sylla

géographe, université Gaston-Berger, Saint-Louis, Sénégal

Mohamed L. Tékété

écophysiologiste, Institut d'économie rurale,
Centre régional de la recherche agronomique de Sikasso, Sikasso, Mali

Niaba Témé, sélectionneur, Institut d'économie rurale, Centre régional de la recherche agronomique de Sikasso, Sikasso, Mali

Korotimi Théra

généticienne, Institut d'économie rurale,
Centre régional de la recherche agronomique de Sikasso, Sikasso, Mali

Fayama Tionyé

sociologue, GRN/SP/INERA/ Farako-Bâ, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Bio M. Torou

géographe, Département hydrologie et gestion des ressources en eau,
West African Science Service Centre on Climate Change and Adapted Land Use
(WASCAL), Ouagadougou, Burkina Faso ; université Joseph Ki-Zerbo,
Ouagadougou, Burkina Faso

Adama Traore

agropédologue, Institut de l'environnement et de recherches agricoles (INERA),
Département gestion des ressources naturelles et systèmes de production (GRN/SP),
Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Amadou Traore

agronome, Institut d'économie rurale,
Centre régional de la recherche agronomique de Sikasso, Mali

Mamadou Traoré

agropédologue, Laboratoire d'étude et de recherche sur la fertilité du sol (LERF),
Institut du développement rural (IDR), University Nazi Boni, Bobo-Dioulasso,
Burkina Faso

Sandrine Traoré

étudiante ingénieur, Institut du développement rural,
Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Michel Vaksman

agronome, Cirad, Bios, UMR Agap, Montpellier, France

Moussa Waongo

chef de filière Agrométéorologie, Centre régional Agrhymet, Niamey, Niger ;
Agence nationale de la météorologie (Anam), Ouagadougou, Burkina Faso

Omonlola N. Worou

agronome, Institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales
semi-arides, Bamako, Mali

Thomas B. Yameogo

socioéconomiste, West African Science Service Centre on Climate Change
and Adapted Land Use (WASCAL), Ouagadougou, Burkina Faso ;
Centre national de la recherche scientifique et technologique (INSS/CNRST),
Ouagadougou, Burkina Faso

Yacouba Yira

hydrologue, West African Science Service Centre on Climate Change
and Adapted Land Use (WASCAL), Ouagadougou, Burkina Faso ;
Institut de recherche en sciences appliquées et technologies, Ouagadougou,
Burkina Faso



Le futur de l'Afrique de l'Ouest dépend de la capacité du secteur de l'agriculture à s'adapter pour garantir la sécurité alimentaire dans un contexte de changement climatique et de croissance démographique. Pour faciliter cette adaptation, la recherche a déployé d'importants efforts pour améliorer les connaissances sur les mécanismes climatiques et leurs impacts sur les systèmes agropastoraux. Or, ces avancées issues de la recherche ne sont que rarement prises en compte dans la planification et la prise de décision.

Partant de ce constat, un projet de recherche « Agriculture et gestion des risques climatiques : outils et recherches en Afrique », soutenu par le ministère français des Affaires étrangères et du Développement international est mené entre 2016 et 2018 dans plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest. Il a pour objectif d'élaborer des outils efficaces de gestion du risque climatique pour les agriculteurs, en co-construisant avec des réseaux de chercheurs et d'acteurs directement impliqués dans l'accompagnement de l'agriculture des stratégies innovantes basées sur les résultats de la recherche.

Cet ouvrage restitue les principales avancées de cette recherche-action sur trois thématiques prioritaires : les services climatiques pour l'agriculture, la gestion des ressources en eau et l'intensification écologique. Il permet aux acteurs du secteur agricole (organisations paysannes, filières, secteur privé agricole, banques de développement agricole, fournisseurs d'intrants, services agricoles et de météorologie) de s'approprier de nouvelles connaissances et de nouveaux outils pour une meilleure prise en compte des risques climatiques dans la gestion des systèmes de production.

25 €