



Adaptation de l'Agriculture et de l'Élevage au Changement Climatique au Mali

Résultats et leçons apprises au Sahel



Éditeurs scientifiques

N'Diaye Ibrahima, Aune Jens Bernt, Synnevåg Gry,
Yossi Harouna et Hamadoun Abdoulaye



**INSTITUT D'ÉCONOMIE RURALE
(IER)**

Adaptation de l'Agriculture et de l'Élevage au Changement Climatique au Mali

Résultats et leçons apprises au Sahel

Adapting Agriculture and Livestock to Climate Change in Mali

Results and lessons learned in the Sahel

Comité de lecture

Dr N'Diaye Ibrahima, Dr Yossi Harouna,
Dr Kouyaté Amadou Malé, Pr Aune Jens Bernt,
Pr Synnevåg Gry, Dr Dembélé Bourema,
Dr Hamadoun Abdoulaye, Dr Nantoumé Hamidou,
Dr Ouologuem Bara, Dr Djitèye Mahalmdane,
Dr Traoré Abdoul Karim, Dr Kodio Amadou,
Dr Coulibaly Dounanké et M. Maïga Aliou Dadda



IER©2020

Citation correcte

Institut d'Économie Rurale (IER), 2020. Adaptation de l'Agriculture et de l'Élevage au Changement Climatique au Mali - Résultats et leçons apprises au Sahel. Institut d'Économie Rurale (IER). Eds N'Diaye *et al.*, Bamako, Mali, 404 pages

Institut d'Économie Rurale (IER)

Centre Régional de Recherche
Agronomique de Sotuba
BP 262, Bamako, Mali

Comité de lecture	Institutions
N'Diaye Ibrahima, Dembélé Bourema, Hamadou Abdoulaye, Nantoumé Hamidou, Ouologuem Bara, Yossi Harouna, Coulibaly Dounanké, Maïga Aliou Dada	Institut d'Économie Rurale, Bamako, Mali
Aune Jens Bernt, Gry Synnevåg	Département des Études Internationales pour le Développement et l'Environnement, Noragric, Université des Sciences de la Vie, Ås, Norvège
Djitèye Mahalmadane	Titibougou, Bamako, Mali
Traoré Abdoul Karim	Boukassoumbougou, Bamako, Mali
Kodio Amadou	Sangarébougou, Bamako, Mali

Adaptation de l'agriculture et de l'élevage au changement climatique au Mali - Résultats et leçons apprises au Sahel / Institut d'Économie Rurale. - Bamako : PAO Bougou, 2020.- 404 p. : 247 ill. bibliogr. - 18 x 23,5 cm format

ISBN 978-99952-803-4-5

Ce(tte) œuvre est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.



Couverture

- Matrice de vulnérabilité établie avec les groupes socio-économiques (focus femmes)
- Culture du maïs de décrue à Yaguiné
- Placement mécanique de la semence et de l'engrais en microdoses, technique développée par l'IER
- Dégradation des berges des cours d'eau à Fougou et assèchement des mares observé à Yaguiné (zone de décrue de Yélimané)
- Dégradation des berges des cours d'eau à Fougou
- Dromadaires sur pâturage aérien dans le ranch à Niono
- Le semoir motorisé développé par l'IER sème et applique l'engrais NPK en microdoses
- Introduction de nouvelles espèces de caprins très productives en lait à Dougoubara et à Gory (zone de décrue de Yélimané)

Photos : IER

Relecture, Conception & Mise en page

Aïssata Sylla PAO Bougou
Bamako, Mali - +223 66 76 22 00

Sommaire

Auteurs	ix
Remerciements	xiii
<i>Acknowledgment</i>	xv
Préface	xvii
<i>Preface</i>	xviii
Introduction générale N'Diaye Ibrahima, Yossi Harouna	1
<i>General introduction</i>	7
Chapitre 1 : Variabilités Climatiques au Mali	13
Les changements climatiques au Mali et impacts Diarra Birama	15
Chapitre 2 : Perceptions et stratégies paysannes d'adaptation au changement climatique	37
Perceptions paysannes des impacts du changement climatique sur les ressources et les systèmes de production : cas du cercle de Yélimané au Mali Sissoko Penda, Gry Synnevåg, Sidibé Moro, Diarra Youssouf Madian, Konaté Laban, Traoré Fatou, Sangaré Mama, Dembélé Bakary Désiré, Togola Sadio, Tolo Aly, Ouologuem Sali	39
Stratégies d'adaptation à la variabilité climatique des exploitations agricoles de la zone du Système Faguibine au Mali Sissoko Penda, Diaby Mohamed, Gry Synnevåg, Kouriba Aly	51
Chapitre 3 : Options techniques agricoles d'adaptation dans le système de culture pluviale	63
L'Agriculture de Précision : une option d'amélioration de la productivité des terres et du travail en zone soudano-sahélienne de l'Afrique de l'Ouest Aune Jens Bernt, Coulibaly Adama et Kamkam Woumou	65
L'intensification agricole au Mali et au Soudan à travers l'amélioration de la fertilité du sol et la mécanisation Aune Jens Bernt, Tadesse Belachew Asalf, Coulibaly Adama, Borgvang Stig	87
Intensification de la culture du sorgho et du mil en zones sahélienne et soudano-sahélienne du Mali Coulibaly Adama, Aune Jens Bernt, Kamkam Woumou, Famanta Mahamoudou	107

Chapitre 4 : Le système de décrue de Yélimané en zone sahélienne au Mali	129
Caractéristiques physico-chimiques des horizons de surface des sols de décrue à Gory, Dougoubara et Yaguiné, cercle de Yélimané	131
Traoré Kalifa, Traoré Bouya, Aune Jens Bernt, Traoré Boubacar, Coulibaly Boubacar, Togo Daouda	
Caractérisation de l'entomofaune dans le système de décrue du cercle de Yélimané en zone sahélienne au Mali	147
Noussourou Moussa, Hamadoun Abdoulaye, Traoré Kalifa, Aune Bernt Jens, Coulibaly Boubacar	
Détermination des dépôts de terre et de nutriments par la crue dans la zone de Yélimané en zone sahélienne au Mali	159
Traoré Bouya, Traoré Kalifa, Aune Jens Bernt, Famanta Mahamoudou, Togo Daouda, Traoré Boubacar, Coulibaly Boubacar	
Chapitre 5 : Options techniques agricoles d'adaptation en agriculture de décrue	171
Amélioration de la productivité du sorgho de décrue par une meilleure installation des cultures dans le cercle de Yélimané	173
Traoré Kalifa, Traoré Bouya, Noussourou Moussa, Hamadoun Abdoulaye, Aune Jens Bernt, Traoré Boubacar, Coulibaly Boubacar, Togo Daouda, Yossi Harouna, N'Diaye Ibrahim	
Introduction de variétés de pomme de terre, de patate douce et de manioc dans les plaines de décrue des villages de Gory, Dougoubara et Yaguiné, cercle de Yélimané dans l'Ouest du Mali	191
Théra Aïssata Traoré, Traoré Kalifa, Diarra Alioune, Traoré Bouya, Coulibaly Boubacar, Traoré Boubacar, Togo Daouda	
Chapitre 6 : Protection des berges dans les systèmes de décrue	207
Identification d'espèces végétales appropriées pour la fixation des berges et la récupération des terres dégradées dans le système de décrue du cercle de Yélimané	209
Maïga Abdou Yéhiya, Timbély Dommo, Sénou Oumar, Kouyaté Amadou Malé, Maïga Abba Sékou, Keïta Moussa, Dembélé Fadiala, Coulibaly Dounanké, Yossi Harouna, Traoré Diakaridia, Bengaly MPIè, Kanté Salif	
Évaluation du volume de bois sur pied de la plantation de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> à Yélimané en zone sahélienne au Mali	227
Kouyaté Amadou Malé, Keïta Moussa, Dembélé Isaïe, Timbély Dommo, Sénou Oumar, Maïga Mahamane Halidou, Maïga Abdou Yéhiya	
Chapitre 7 : Conservation des sols, des eaux et de la végétation	239
Évaluation de l'impact des cordons pierreux et des demi-lunes associés ou non à la plantation d'espèces végétales dans la conservation des sols à Yélimané	241
Maïga Abdou Yéhiya, Timbély Dommo, Sénou Oumar, Maïga Abba Sékou, Keïta Moussa, Dembélé Fadiala, Coulibaly Dounanké, Yossi Harouna, Traoré Diakaridia, Bengaly MPIè, Kouyaté Amadou Malé	
Effet de la mise en défens sur la dynamique de la végétation en zone saharienne – Résultats préliminaires sur l'état de référence de la mise en défens de Kamaïna (Cercle de Goundam)	255
Maïga Abdou Yéhiya, Sénou Oumar, Goïta Oumarou, Soumaré Aly, Keïta Kibili Demba, Timbély Dommo	

Comportement de quatre variétés de palmier dattier (<i>Phoenix dactylifera</i> L.) dans les conditions agro-climatiques du cercle de Yélimané en zone sahélienne dans la région de Kayes au Mali	265
Maïga Abba Sékou, Timbély Dommo, Maïga Abdou Yéhia, Sénou Oumar, Keïta Moussa, Coulibaly Dounanké, Yossi Harouna, Maïga Mahamane Halidou	
Chapitre 8 : Le dromadaire au Mali : amélioration des connaissances	277
Diagnostic du système d'élevage du dromadaire dans la région de Kidal au Nord-est du Mali	279
Ouologuem Bara, Mohomoudou Moussa, N'Diaye Mohamed, Baradji Issa, Sissoko Penda, Boré Fanta Guindo, Nialibouly Ousmane, Coulibaly Lassine, Kouriba Aly, Soumaré Aly	
Évaluation de l'ingestion des fourrages par les dromadaires sur les pâturages sahélien et subhumide au Mali	293
Moussa Mohomoudou, Ouologuem Bara, Baradji Issa, Dao Samba, Nialibouly Ousmane, N'Diaye Mohamed, Kouriba Aly	
Le dromadaire peut contribuer à la résilience au changement climatique	307
Ouologuem Bara, Moussa Mohomodou	
Production de lait de la chamelle dans les conditions d'élevage sahélienne et subhumide du Mali	323
Ouologuem Bara, Mohomodou Moussa, Nialibouly Ousmane, Traoré Mamadou Demba, N'Diaye Mohamed	
Principales pathologies des dromadaires nouvellement introduits en zones sahélienne-Sud et subhumide du Mali	335
Baradji Issa, Ouologuem Bara, Cissé Youssouf Gaston, Dolo Amène Moussa, Moussa Mohomodou, Sidibé Satigui, Traoré Mamadou Demba, Nialibouly Ousmane, N'Diaye Mohamed	
Comportement reproductif des dromadaires femelles dans les conditions d'élevage sahélien et subhumide du Mali	351
Ouologuem Bara, Moussa Mohomodou, Dolo Moussa Amène, Nialibouly Ousmane, Traoré Mamadou Demba, N'Diaye Mohamed	
Comportement des dromadaires adultes sur pâturages sahélien et subhumide au Mali : Description des principales activités	361
Moussa Mohomodou, Ouologuem Bara, Coulibaly Lassine, Coulibaly Nouhoum, Nialibouly Ousmane, Baradji Issa, Dao Samba, Traoré Mamadou Demba, N'Diaye Mohamed et Aune Jens Bernt	
Concentration sérique du calcium, phosphore, magnésium, fer, sodium, potassium, chlore et protéine totale chez les dromadaires élevés en zones sahélienne et subhumide du Mali	375
Ouologuem Bara, Moussa Mohomodou, Traoré Fatoumata, Tangara Moussa	
Conclusion	391
N'Diaye Ibrahima, Yossi Harouna	
Conclusion	399



Institut d'Économie Rurale (IER)

L'Institut d'Économie Rurale (IER), créé en 1960, est une institution de recherche ayant pour mission de contribuer à la productivité agricole par des recherches mieux adaptées aux besoins du monde rural. Il vise aussi la préservation des ressources naturelles, l'accroissement de la sécurité alimentaire et nutritionnelle et l'amélioration des revenus des producteurs. Assurer un développement rural durable en faisant du secteur du développement rural, le moteur de la croissance économique du pays, fait également partie de ses missions.

Principale institution de recherche Agricole au Mali, l'Institut d'Économie Rurale met en œuvre la politique nationale de recherche agricole. L'IER facilite la communication entre chercheurs, paysans, vulgarisateurs et autres parties prenantes.

The Institute of Rural Economy

The Institute of Rural Economy (Institut d'Économie Rurale - IER), created in 1960, is a research institution whose mission is to contribute to agricultural productivity through research activities which are more responsive to the needs of the rural populations. It also aims to preserve natural resources, increase food and nutritional security and improve producers' incomes. Its mission also includes ensuring sustainable rural development by making the rural development sector the engine of the country's economic growth.

As the main agricultural research institution in Mali, the Institute of Rural Economy implements the national agricultural research policy. In so doing, IER facilitates communication between researchers, farmers, extension workers and other stakeholders.

Auteurs

Auteurs	Institutions
Aune Jens Bernt, Stig Borgvang, Belachew Asalf Tadesse, Gry Synnevåg	Département des Études Internationales pour le Développement et l'Environnement, Noragric, Université des Sciences de la Vie, Ås, Norvège
Baradji Issa, Boré Fanta Guindo, Coulibaly Adama, Coulibaly Boubacar, Coulibaly Lassine, Dembélé Bakary Désiré, Dembélé Isaïe, Diaby Mahamadou, Diarra Alioune, Dolo Moussa Amène, Kamkam Woumou, Keïta Moussa, Konaté Laban, Mohomoudou Moussa, N'Diaye Ibrahima, Noussourou Moussa, Ouologuem Bara, Ouologuem Sali, Sangaré Mama, Sénou Oumar, Sidibé Moro, Sissoko Penda, Togo Daouda, Tolo Aly, Traoré Aïssata, Traoré Boubacar, Traoré Bouya, Traoré Fatou, Traoré Kalifa, Yossi Harouna	Institut d'Économie Rurale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba, Bamako, Mali
Bengaly MPiè, Hamadou Abdoulaye, Kouriba Aly, Maïga Abdou Yéhia, N'Diaye Mohamed, Timbély Dommo, Togola Sadio	Institut d'Économie Rurale, Direction Scientifique, Bamako, Mali
Cissé Youssouf Gaston	Laboratoire Central Vétérinaire, Bamako, Mali
Coulibaly Dounanké, Diarra Youssouf Madian	Institut d'Économie Rurale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Kayes, Mali
Dao Samba	Direction régionale des services vétérinaires de Ségou, Mali
Dembélé Fadiala, Famanta Mahamoudou, Traoré Diakaridia	Institut Polytechnique Rural/de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou, Koulikoro, Mali
Diarra Birama	Météorologie Nationale du Mali, Bamako, Mali
Goïta Oumarou, Maïga Abba Sékou	Institut d'Économie Rurale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Gao, Mali
Salif Kanté	Institut d'Économie Rurale, Station de Recherche Agronomique de Cinzana, Mali
Keïta Kibili Demba, Maïga Mahamane Halidou	Institut Supérieur de Formation et de Recherche Appliquée ISFRA, Bamako, Mali
Kouyaté Amadou Malé	Institut d'Économie Rurale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Sikasso, Mali
Nialibouly Ousmane, Traoré Mamadou Demba	Institut d'Économie Rurale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Niono/Station du Sahel, Mali
Soumaré Aly	Institut d'Économie Rurale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Mopti, Mali
Traoré Fatoumata	Société de Distribution de Matériel Avicole (SEDIMA), Bamako, Mali

À la mémoire des regrettés :

- Dr Bino Témé, ex-Directeur Général de l'IER ;
- Dr Abdou Yéhia Maïga, ex-Chef de la Composante Fixation des Berges ;
- Dr Issa Baradji, Chargé des recherches sur les pathologies animales ;
- Monsieur Abdoulaye Djiré, Chef Comptable du Project ACC ;
- Dr Ibrahima N'Diaye, ex-Directeur Scientifique de l'IER, qui a été le moteur principal de la confection de ce livre, depuis l'assemblage et la correction des manuscrits jusqu'à l'impression finale ; bref sans lui ce livre n'allait pas voir le jour.

Que leurs familles respectives trouvent ici l'expression de notre profonde compassion.

In memory of the late:

- *Dr Bino Témé, former Director General of IER;*
- *Dr Abdou Yéhia Maïga, former Head of the Component Fixation of Banks;*
- *Dr Issa Baradji, Research Officer on Animal Pathologies;*
- *Mr. Abdoulaye Djiré, Chief Accountant of ACC Project;*
- *Dr Ibrahima N'Diaye, former Scientific Director of IER, who has been the main driving force behind the making of these proceedings, from data gathering and correction of the manuscripts to the final printing; in a word, without him, this book would never have been realized.*

May their respective families find here the expression of our deep compassion.

Remerciements

Cet ouvrage collectif est une contribution de la recherche Agricole à l'amélioration de la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations et de leurs revenus dans un contexte de changement climatique aigu au Sahel. Il constitue une synthèse des résultats de travaux de recherche sur l'adaptation de l'agriculture et de l'élevage aux effets néfastes du changement climatique. Les résultats rapportés, outre ceux d'autres institutions du secteur du développement Agricole, concernent essentiellement les résultats de résilience obtenus au Mali, en zone sahélienne et subhumide, par l'Institut d'Économie Rurale dans le cadre de la Phase I du Projet Adaptation de l'Agriculture et de l'Élevage au Changement Climatique (Projet ACCI), financée de 2011 à 2016, par le Royaume de Norvège et la République du Mali. Les technologies mises au point ont montré leur grande potentialité pour l'augmentation de la productivité et de la production Agricoles au Sahel et ouvrent la réflexion par rapport aux stratégies à mettre en œuvre pour leur diffusion et utilisation durables dans les exploitations agricoles. L'équipe de l'IER composée de chercheurs et de techniciens de plusieurs disciplines, et de personnel administratif et d'appui (administration générale et secrétariat, services financiers et comptables, chauffeurs, bergers et autres appuis) tient à remercier le Royaume de Norvège pour le financement des activités et son maintien en dépit des difficultés d'ordre sécuritaire que rencontre le Mali depuis 2012. Elle a apprécié l'appui des conseillers de l'Ambassade du Royaume de Norvège dont les actions successives et complémentaires ont donné de l'impulsion au Projet et contribué grandement à l'atteinte des objectifs visés. Elle saisit l'occasion pour adresser ses vifs remerciements à la conseillère de l'Ambassade, Mme Alida Jay Boy, cosignataire de l'Accord de financement du Projet entre le Ministère des Affaires étrangères de la Norvège et le Gouvernement de la République du Mali, pour sa grande disponibilité. L'équipe remercie aussi les partenaires comprenant l'administration locale, les organisations et associations paysannes, les services d'appui technique du secteur du développement rural, les ONG pour leur appui qui a été déterminant dans la réalisation des activités sur le terrain. L'équipe a beaucoup apprécié la relecture et les améliorations apportées au contenu de l'ouvrage par Dr Mahalmadane Djitéye, spécialiste en pastoralisme, ancien chercheur de l'IER, Dr Abdoul Karim Traoré, Agronome, anciennement Coordinateur scientifique des recherches sur les cultures pluviales à l'IER, Directeur de recherche,

Dr Dounanké Coulibaly, Zootechnicien, spécialiste en nutrition animale, Directeur de recherche, Dr Bouréma Dembélé, ex-Directeur Général de l'IER, spécialiste de malherbologie, Directeur de recherche, Dr Abdoulaye Hamadou, spécialiste en entomologie, Gestionnaire du Projet, Directeur de recherche, actuellement Directeur Général de l'IER. Elle exprime également sa profonde reconnaissance à Noragric pour sa contribution au financement de l'ouvrage et notamment à travers les Professeurs Gry Synnevåg et Jens Bernt Aune pour le suivi scientifique et technique régulier au Mali et les orientations pertinentes tout au long de l'exécution du Projet et pour la conception des productions scientifiques.

La gestion administrative, scientifique et technique de la Phase I du Projet ACC, au sein de l'IER, a été assurée par : Feu Dr Bino Témé (Directeur Général de l'IER, premier responsable administratif et financier du Projet), Dr Bouréma Dembélé (Directeur Scientifique, premier coordinateur national du Projet, puis Directeur Général de l'IER), Dr Abdoulaye Hamadou (Directeur du Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba, actuellement Directeur Général de l'IER), Dr Amadou Kodio (Directeur Général adjoint de l'IER, membre du Comité scientifique du Projet), Dr Aly Kouriba (Directeur Scientifique de l'IER), Dr Ibrahima N'Diaye (Directeur Scientifique de l'IER), Dr Hamidou Nantoumé (actuellement Directeur Scientifique de l'IER), Dr Harouna Yossi (Directeur du Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba), Dr Adama Coulibaly (Chef de la Composante Développement d'options techniques pour l'adaptation de l'agriculture au changement climatique), Dr Bara Ouologuem (Chef de la Composante Développement de la Filière lait de dromadaire), Dr Kalifa Traoré (Chef de la Composante Production durable des cultures en systèmes de décrue pour une sécurité alimentaire dans les régions Nord du Mali), Dr Feu Abdou Yéhia Maïga (Chef de la Composante Fixation des berges des canaux désensablés du Système Faguibine), Dr Penda Sissoko (Chef de la Composante Socio-économie), M. Oumarou Samassékou (Directeur des Ressources Financières de l'IER), Mme Traoré Martine Samaké (Chef Comptable).

Au niveau national, un Comité de pilotage placé sous la présidence du Ministre de l'Agriculture a été l'organe principal de suivi, d'orientation et de pilotage du Projet. Que ses membres trouvent ici l'expression de nos sincères remerciements.

L'équipe du Projet

Acknowledgment

This collective work is a contribution of Agricultural Research to the improvement of the food and nutritional security and income of populations in a context of acute climate change in the Sahel. It is a synthesis of the results of research on the adaptation of agriculture and livestock to the negative effects of climate change. The results reported, in addition to those of other institutions relating to agricultural development, mainly include the resilience results achieved in Mali, in the Sahelian and sub-humid zones by the Institut d'Économie Rurale (Institute of Rural Economy) through Phase I of the project for Adapting Agriculture and Livestock to Climate Change (ACC I), funded by the Kingdom of Norway and the Republic of Mali from 2011 to 2016. The technologies developed have shown their great potential for increasing agricultural productivity and production in the Sahel and are opening up reflection on the strategies to be implemented for their dissemination and sustainable use on farms. The IER team, made up of scientists and technicians from several fields, as well as administrative and support staff (general administration and secretariat, financial and accounting services, drivers, shepherds and other support) would like to thank the Kingdom of Norway for the funding of activities and its maintenance despite security challenges facing Mali since 2012. We appreciated the support of advisors from the Embassy of the Kingdom of Norway, whose successive and complementary actions have given impetus to the project and greatly contributed to the achievement of its objectives. The team would like to take this opportunity to express its heartfelt thanks to Mrs. Alida Jay Boy, Counselor of the Embassy of the Kingdom of Norway and co-signer, with the Ministry of Foreign Affairs of Norway, of the Project Financing Agreement between her country and the Government of the Republic of Mali, for being so generous with her time. The team also thanks the partners, including the local administration, farmers' organizations and associations, the technical support services of the rural development sector and NGOs for their support which was instrumental in field activities. We also greatly appreciated the proofreading and improvements made to the content of this publication by Dr. Mahalmadane Djitèye, Pastoralism Specialist, former IER Researcher; Dr. Abdoul Karim Traoré, Agronomist, former Scientific Coordinator of Research on Rainfed Crops at the IER, Research Director; Dr. Dounanké Coulibaly, Zootechnician, Animal Nutrition Specialist, Research Director; Dr. Bouréma Dembélé,

former Director General of the IER, Weed Science Specialist, Research Director; Dr. Abdoulaye Hamadoun, Entomologist, Project Manager, Research Director, currently Director General of the IER. The team would also like to express its deep appreciation to Noragric for its contribution to the funding of the work, especially through Professors Gry Synnevåg and Jens Bernt Aune for their regular scientific and technical monitoring in Mali and their relevant guidance throughout the implementation of the project and for the design of scientific productions.

Within the IER, Phase I of the ACC project was administratively, scientifically and technically managed by: the late Dr. Bino Témé (Director General of the IER, first Administrative and Financial Manager of the project); Dr. Bouréma Dembélé (Scientific Director, first National Coordinator of the project, and then Director General of the IER); Dr. Abdoulaye Hamadoun (Director of the Regional Agronomic Research Center of Sotuba, currently Director General of the IER); Dr. Amadou Kodio (Deputy Director General of the IER, member of the Scientific Committee of the project); Dr. Aly Kouriba (Scientific Director of the IER); Dr. Ibrahima N'Diaye (Scientific Director of the IER); Dr. Hamidou Nantoumé (currently Scientific Director of the IER); Dr. Harouna Yossi (Director of the Regional Agronomic Research Center of Sotuba); Dr. Adama Coulibaly (Head of the Component on “Developing Technical Options for the Adaptation of Agriculture to Climate Change”); Dr. Bara Ouologuem (Head of the Component on “Developing the Dromedary Milk Value Chain”); Dr. Kalifa Traoré (Head of the Component on “Sustainable Crop Production in Recession Systems for Food Security in the Northern Regions of Mali”); the late Dr. Abdou Yéhia Maïga (Head of the Component on the “Fixation of the Banks of the Dredged Channels of the Faguibine System”); Dr. Penda Sissoko (Head of the Socio-Economic Component); Mr. Oumarou Samassékou (Director of Financial Resources of the IER); Mrs. Traoré Martine Samaké (Chief Accountant).

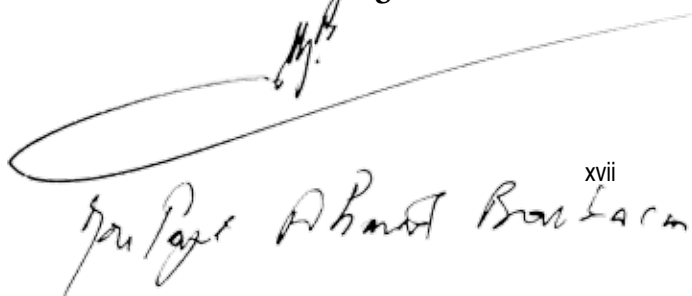
At the national level, a Steering Committee chaired by the Minister of Agriculture was the responsible for monitoring, guiding and steering the project. May its members find here the expression of our sincere gratitude.

The Project Team

Préface

Le défi pour l'agriculture du Mali est d'avoir la capacité d'assurer la sécurité alimentaire et nutritionnelle de la population malienne gage de paix sociale et de développement durable dans un contexte de changement climatique. En effet, la production agricole provenant des exploitations agricoles familiales prédominantes reste essentiellement pluviale. En conséquence elle est fortement tributaire des risques climatiques engendrés par le réchauffement du climat, que sont, entre autres, les températures en hausse, la baisse des précipitations atmosphériques, le retard dans l'installation des pluies en début de campagne agricole, les poches de sécheresse, l'arrêt précoce des pluies, les vents forts, les inondations. L'adaptation des producteurs aux risques climatiques est une stratégie pour faire face à cette contrainte majeure de développement. Aussi, le Projet Adaptation de l'Agriculture et de l'Élevage au Changement Climatique, dénommé Projet ACC, a-t-il été conçu et mis en œuvre dans les zones Centre et Nord du Mali, sur financement du Royaume de Norvège et de la République du Mali, dans le cadre d'un partenariat scientifique et technique entre l'Institut d'Économie Rurale, une structure de recherche agricole du Mali et Noragric, une structure de recherche de l'Université des sciences de la vie de Ås, Oslo en Norvège, de 2011 à 2016. Ainsi, le présent ouvrage pluridisciplinaire qui est une synthèse de résultats saillants des équipes de recherche du Projet ACC et de partenaires scientifiques d'autres institutions sur le changement climatique, ses effets sur le domaine agricole, les perceptions et solutions paysannes du phénomène, les technologies simples et performantes de résilience est une contribution de qualité à l'atteinte des objectifs de sécurité alimentaire et nutritionnelle visés dans le cadre de nos politiques et stratégies et une réponse à l'insécurité par le développement du secteur agricole. Ces technologies, en cours de diffusion par les services techniques agricoles et les organisations paysannes, et d'utilisation par les populations seront davantage accessibles aux producteurs et productrices pour une amélioration significative de leurs conditions de vie à travers des actions appropriées de nos départements concernés.

Ministre de l'Agriculture du Mali



Souleymane Bamba

Preface

The challenge for Mali's agriculture is to have the capacity to ensure the food and nutritional security of the Malian population, which would guarantee social peace and sustainable development in a context of climate change. Indeed, agricultural production from predominantly family farms remains mostly rainfed. As a result, it is highly dependent on the climate risks caused by global warming, including rising temperatures, lower atmospheric rainfall, delayed rainfall at the beginning of the growing season, pockets of drought, early cessation of rains, strong winds and floods. The adaptation of producers to climate risks is a strategy to cope with this major development constraint. Therefore, the Adaptation of Agriculture and Livestock to Climate Change project, known as the ACC Project, was designed and implemented in the Central and Northern zones of Mali, with funding from the Kingdom of Norway and the Republic of Mali, as part of a scientific and technical partnership between the Institute of Rural Economy (Institut d'Économie Rurale), an agricultural research facility in Mali, and Noragric, a research facility at the University of Life Sciences in Ås, Oslo, Norway, from 2011 to 2016. Thus, this multidisciplinary work, which is a synthesis of salient results from the research teams of the ACC Project and scientific partners from other institutions on climate change, its effects on agriculture, farmers' perceptions of and solutions to the phenomenon, simple and effective resilience technologies, is a valuable contribution to achieving food and nutrition security objectives within the framework of our policies and strategies and a response to insecurity through the development of the agricultural sector. These technologies, currently being disseminated by the agricultural technical services and farmers' organizations and used by the populations, will be more accessible to producers for a significant improvement of their living conditions through appropriate actions of our concerned departments.

Minister of Agriculture, Mali

Introduction générale

N'Diaye Ibrahima¹, Yossi Harouna¹

¹Institut d'Économie Rurale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba - BP 262, Bamako, Mali

Constats et manifestations des changements climatiques

Le Mali, pays sahélien de l'Afrique de l'Ouest à vocation agro-sylvo-pastorale, subit depuis quelques décennies, les effets des changements climatiques à travers des phénomènes récurrents de diminution de la pluviosité, d'installation tardive des pluies et de leur arrêt précoce, et des inondations fréquentes liées, entre autres, à l'intensité et à la violence des pluies (Diarra, 2017). Les manifestations sont aussi l'élévation de la température moyenne ambiante et le déplacement du Nord au Sud, sur plus de 200 km, du front des isohyètes (Diarra, 2017). La pluviosité sera aléatoire les prochaines années (Tékété et Siwakumar, 1995 ; Sultan et Janicot, 2004), tandis que l'augmentation de la température est presque une certitude (Shwartz et Randall, 2003). Il ressort des résultats des études du NCCAP (Programme Néerlandais d'Assistance aux études sur les changements climatiques) que la température moyenne augmentera de 30,5°C sur la période (1961-1990) à 32,5°C en 2050 et 34,5°C en 2100 (PANA, 2006).

Impacts sur le secteur agricole

Cette situation pourrait être préjudiciable à la croissance et au développement des cultures (Konaté, 1984 ; PANA, 2006) et ainsi affecter l'agriculture notamment dans les petites exploitations agricoles familiales, la forme dominante d'exploitation du domaine agricole au Mali comptant quelques 1 359 453 exploitations agricoles familiales (CPS/SDR, 2017) caractérisées par leur faible résilience aux effets des changements climatiques. Les activités agricoles, au Mali, ont représenté à elles seules 39,54% du PIB et occupé 75,5% de la population (INSTAT, 2014). L'économie du Mali est donc fortement tributaire des performances du secteur agricole reposant en grande partie sur une agriculture de type pluvial, sensible aux changements climatiques (FAO, 2009). Il s'agit essentiellement d'une agriculture de subsistance basée sur la culture du mil et du sorgho dans les régions du Centre et du Nord, et d'une agriculture commerciale dominée par la culture du coton et du riz dans les régions du Sud et du Centre du

pays. Depuis l'indépendance en 1960, les cultures de rente telles que le riz et le coton, plus encadrées par les services d'appui technique, ont connu des augmentations considérables de rendement (riz 3,33 t/ha et coton 1,03 t/ha en 2017), tandis que les rendements des cultures vivrières pluviales (mil 0,88 t/ha et sorgho 0,89 t/ha en 2017 etc.) ont évolué timidement au cours des 50 dernières années, bien qu'elles soient la base de l'alimentation de plus de 80 % de la population (CPS, 2018).

Politiques et stratégies de développement du secteur agricole

Aussi, pour mieux répondre et s'adapter aux effets des changements climatiques en vue d'une agriculture résiliente et une sécurité alimentaire durable, le Gouvernement du Mali a-t-il conçu et mis en œuvre des politiques et stratégies en matière de développement du secteur rural et de la gestion des ressources naturelles telles que la Politique Nationale de Protection de l'Environnement (PNPE, 1998), la Loi d'Orientation Agricole (LOA, 2006), la Politique Nationale sur les Changements Climatiques (PNCC, 2011), la Politique de Développement Agricole (PDA, 2013).

Actions de développement du secteur agricole

Les politiques et stratégies sont sous-tendues par des actions contribuant à l'atteinte des objectifs visés. En ce qui concerne l'adaptation des producteurs aux effets des changements climatiques à travers une amélioration accrue de leur résilience et du revenu dans les exploitations agricoles familiales, il était apparu essentiel de mettre au point des technologies appropriées d'amélioration de la productivité agricole pour une sécurité alimentaire et nutritionnelle durables des populations rurales.

Projet ACC

Le Projet sur le thème «Adaptation de l'Agriculture et de l'Élevage au Changement Climatique», Projet ACC, a été réalisé de 2011 à 2016 en vue de définir et de mettre en œuvre des stratégies appropriées de recherche et de développement dans les régions Centre et Nord du Mali pour une sécurité alimentaire et l'amélioration des conditions socioéconomiques des populations garantes d'une stabilité sociale. Il est le fruit de la collaboration scientifique et technique de l'Institut d'Économie Rurale du Mali (IER) et de l'Université des Sciences de la vie de Ås (Noragric), Oslo, en Norvège. Le projet a été financé conjointement par le Royaume de Norvège et la République du Mali. Un collectif pluridisciplinaire de chercheurs et d'appuis à la recherche, d'enseignants-chercheurs, d'agents de services d'appui technique du secteur agricole, d'ONG, a mené des activités de recherche, de formation académique, de renforcement de capacités des producteurs, de valorisation des résultats de recherche et d'expertise. Les actions

entreprises ont privilégié les recherches à caractère appliqué visant la mise au point de technologies simples et performantes accessibles aux producteurs dont le semoir motorisé approprié dans le système pluvial pour le placement simultané de la semence et de la microdose d'engrais minéral et le semoir manuel pour le système de décrue.

Des recherches plus fondamentales ont été également réalisées. Elles ont abouti à des connaissances originales sur la biologie du dromadaire, ses pathologies, son comportement au pâturage, la caractérisation du système de décrue et son fonctionnement en vue d'une efficacité d'utilisation de ce système agricole de culture séculaire.

Le projet a aussi permis la réalisation d'une cinquantaine de productions scientifiques, comprenant des articles scientifiques, des rapports de recherche, des fiches techniques, des posters et d'une dizaine de thèses de doctorat; il a été également un important cadre de formation et d'encadrement de plus d'une centaine d'étudiants et d'élèves du secteur du développement agricole. Les résultats du projet Adaptation de l'Agriculture et de l'Élevage au Changement Climatique ACC Phase I, ont fait l'objet d'un atelier national de restitution tenu du 21 au 23 novembre 2016 à Bamako sous la présidence du Ministère de l'Agriculture et de l'Ambassade du Royaume de Norvège représentée par Madame la Conseillère Inger Naess. Dix-huit (18) communications orales et dix (10) posters ont été présentés.

Une deuxième phase de cinq ans (2018-2022) pour la mise à échelle des résultats de cette première phase du projet a été financée par le Royaume de Norvège et la République du Mali.

Présentation de l'ouvrage

L'ouvrage comprend huit (8) chapitres.

CHAPITRE 1 : Variabilités climatiques au Mali

L'analyse a porté sur l'évolution des situations climatiques au Mali au cours des 70 dernières années (1941-2010) montrant une décroissance régulière de la quantité de pluie avec une variation spatiotemporelle, la persistance à partir des années 1970 de larges épisodes de sécheresse, la survenue fréquente d'inondations, des fortes variations de température, des vents forts. Les scénarios climatiques prévoient une diminution de la pluviosité, et une augmentation de la température aux horizons temporels 2015-2100. Les impacts au plan socio-économique ont été aussi analysés. Enfin, des propositions

de solutions ont été faites pour améliorer la qualité des services météorologiques et la résilience des acteurs.

CHAPITRE 2 : Perceptions et stratégies paysannes d'adaptation au changement climatique

À travers deux études réalisées au Mali en zone de décrue dans le cercle de Yélimané dans la région de Kayes et dans le système Faguibine à Tombouctou, les perceptions et les stratégies paysannes d'adaptation aux effets des changements climatiques ont été analysées. Les manifestations sont bien perçues par les communautés depuis les années de grande sécheresse au Sahel, de même que les impacts sur les ressources, les systèmes de production et la sécurité alimentaire des exploitations agricoles. Les contraintes sont cernées par les communautés et des stratégies d'adaptation ont été développées par les populations.

CHAPITRE 3 : Options techniques agricoles d'adaptation dans le système de culture pluviale

Pour améliorer la productivité des cultures pluviales dans les petites exploitations agricoles dans un contexte de changement climatique en zone sahélienne et soudano-sahélienne, ce chapitre fait la synthèse des résultats de recherches sur l'Agriculture de Précision, une approche visant à accroître l'efficacité de l'utilisation des ressources, en pratique surtout dans les exploitations commerciales, à travers, entre autres, le traitement des semences, le microdosage des intrants, la gestion de la matière organique, le captage de l'eau de pluie, l'utilisation des prévisions météorologiques. Il aborde aussi l'intensification agricole au Mali et au Soudan par le biais de l'amélioration de la fertilité des sols et la mécanisation du semis en traction animale ou motorisée, et l'intensification de la culture du sorgho et du mil au Mali dont le degré varie selon la culture et les conditions de pluviosité.

CHAPITRE 4 : Le système de décrue de Yélimané en zone sahélienne au Mali

Le système de décrue a été décrit par rapport aux caractéristiques physicochimiques des horizons de surface des sols et des dépôts alluvionnaires et aux caractéristiques de l'entomofaune au niveau des cultures en vue de fournir des éléments d'informations pour une gestion de la fertilité des sols et une gestion intégrée des nuisibles.

CHAPITRE 5 : Options techniques agricoles d'adaptation en agriculture de décrue

Les options techniques utilisées pour l'amélioration du rendement des cultures de sorgho dans le système de décrue sont le repiquage des plants produits en pépinière et le trempage des semences dans l'eau. Des variétés de patate douce, de pomme de terre et de manioc ont été aussi introduites pour améliorer la résilience face aux changements climatiques et le revenu des producteurs.

CHAPITRE 6 : Protection des berges dans les systèmes de décrue

Les berges des cours d'eau sont déboisées. Le chapitre présente l'analyse des résultats de recherche sur l'identification d'espèces végétales pour leur fixation et la récupération des terres dégradées dans le système de décrue de Yélimané en zone sahélienne au Mali et sur l'évaluation du volume de bois sur pied de plantations de *Eucalyptus camaldulensis* sur les berges de cours d'eau reboisées.

CHAPITRE 7 : Conservation des sols, des eaux et de la végétation

L'impact de dispositifs anti-érosifs associés ou non à des espèces végétales plantées est évalué dans le système de décrue de Yélimané pour la restauration des sols et de la végétation. Le chapitre analyse aussi les résultats relatifs à l'état de référence dans le cadre de la mise en défens à Kamaïna dans le système Faguibine à Goundam dans la région de Tombouctou. Le comportement en plantation de quatre variétés de palmier dattier a été évalué durant trois ans dans le cercle de Yélimané à travers le taux de survie et les paramètres de croissance des plants de dattier.

CHAPITRE 8 : Le dromadaire au Mali : amélioration des connaissances

En vue du développement de l'élevage du dromadaire, des connaissances et des technologies ont été générées. L'analyse des résultats dans ce chapitre porte sur le diagnostic du système d'élevage du dromadaire dans la région de Kidal au Mali, la biologie de l'animal, les principales pathologies rencontrées, l'ingestion des fourrages sur les pâturages en zone sahélienne et subhumide, les activités au pâturage et la contribution du dromadaire à la résilience au changement climatique.

Références

- CPS/SDR, 2017. Enquête Agricole de conjoncture. Cellule de planification et de Statistique du Secteur de Développement Rural, Ministère de l'Agriculture Mali, 86p.
- CPS/SDR, 2018. Enquête Agricole de conjoncture. Cellule de planification et de Statistique du Secteur de Développement Rural, Ministère de l'Agriculture Mali, 10p.
- Diarra B., 2017. Les changements climatiques et le pastoralisme au Mali. Communication à l'atelier de lancement du projet FAO « Intensifier la résilience aux changements climatiques à travers une gestion agricole et pastorale intégrée dans la zone sahélienne dans le cadre de l'approche gestion durable des terres (GCP/MLI/038/LDF) ». Bamako, 14p.
- FAO (Food and Agricultural Organization), 2009. La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture, 202 p. ISSN 0251-1460.
- INSTAT-Mali (Institut National de la Statistique), 2010. Enquête par grappes à indicateurs multiples | mics, 159. Rapport final, juillet 2013.
- INSTAT (Institut National de la Statistique), 2014. Rapport d'analyse premier passage 2014, 76p.
- Konaté M., 1984. Etude de l'environnement avec référence spéciale au climat des zones de culture du sorgho et du mil des régions tropicales semi-arides d'Afrique occidentale. In Agro meteorology of Sorghum and Millet in the Semi-Arid Tropics. Proceedings of the International Symposium, ICRISAT Center Patancheru, India 15-20 Nov., 1982.
- PANA, 2006. Programme d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques, Juillet 2007, 100p.
- Shwartz P. et Randall D., 2003. Climate Change Scenario and Its Implications for United States National Security. October 2003 By Peter Schwartz and Doug Randall. An Abrupt Climate Change, 22p.
- Sultan B. et Janicot S., 2004. La variabilité climatique en Afrique de l'Ouest aux échelles saisonnière et intra-saisonnière : I. Mise en place de la mousson et variabilité intra-saisonnière de la convection. Sécheresse 14 (4) : 1-10.
- Tékété A. et Sivakumar M.V.K., 1995. Analyse de la longueur de la saison culturale en fonction de la date de début des pluies au Mali. Compte rendu des travaux No. 3, Division du sol et agroclimatologie. Direction nationale de la météorologie, Bamako, Mali et ICRISAT Centre Sahélien, Niamey, Niger, 52p.

General introduction

N'Diaye Ibrahima¹, Yossi Harouna¹

¹Institut d'Économie Rurale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba - BP 262, Bamako, Mali

Findings and Manifestations of Climate Change

As a Sahelian country located in West Africa with agro-sylvo-pastoral potential, Mali has been suffering, for decades, from the effects of climate change in the form of recurrent phenomena such as decreasing rainfall levels, late onset and early ending of rains, as well as frequent floods associated with high-intensity and violent rainfall, among others (Diarra, 2017). The manifestations of climate change effects also include the rise in average ambient temperature and the displacement of the front of the isohyets from North to South, over 200 km (Diarra, 2017). Rainfall will be unpredictable in the coming years (Tékété and Siwakumar, 1995; Sultan and Janicot, 2004), while the rise in temperature is quite certain (Shwartz and Randall, 2003). The results of studies conducted by the Netherlands Climate Change Studies Assistance Program (NCCAP) show that the average temperature will rise from 30.5° C over the period 1961-1990 to 32.5° C in 2050 and 34.5° C in 2100 (PANA, 2006).

Impacts on the Agricultural Sector

This situation could be detrimental to the growth and development of crops (Konaté, 1984; NAPA, 2006) and thus affect agriculture, especially in smallholder family farms, which are the dominant form of farming in Mali involving about 1,359,453 family farms (CPS/SDR, 2017) characterized by their low resilience to climate change effects. Agriculture alone accounted for 39.54% of the GDP of Mali and employed 75.5% of the population (INSTAT, 2014). Mali's economy is therefore highly dependent on the performance of the agricultural sector, which is largely based on rainfed agriculture and thus sensitive to climate change (FAO, 2009). It is mostly millet- and sorghum-based subsistence agriculture in the Center and the North of the country, and commercial agriculture predominated by cotton and rice production in the South and the Center. Since independence in 1960, cash crops such as rice and cotton, more supervised by

technical support services, have experienced considerable increases in yield (rice: 3.33 t/ha and cotton: 1.03 t/ha in 2017), while the yields of rainfed staple crops (millet: 0.88 t/ha and sorghum: 0.89 t/ha in 2017, etc.) have evolved slightly over the last 50 years, although they are the staple food for more than 80% of the population (CPS, 2018).

Agricultural Sector Development Policies and Strategies

Also, to better respond to and adapt to climate change effects for resilient agriculture and sustainable food security, the Government of Mali has developed and implemented policies and strategies for rural sector development and natural resource management, including the National Environmental Protection Policy (PNPE, 1998), the Agricultural Orientation Law (LOA, 2006), the National Climate Change Policy (PNCC, 2011) and the Agricultural Development Policy (PDA, 2013).

Agricultural Sector Development Actions

The policies and strategies are underpinned by actions contributing to the achievement of the objectives set. With regard to producers' adaptation to climate change effects through a better enhancement of their resilience and income in family farms, it appeared crucial to develop appropriate technologies to improve agricultural productivity so as to ensure sustainable food and nutritional security for rural populations.

ACC Project

The project entitled "Adapting Agriculture and Livestock to Climate Change" (ACC Project), was carried out from 2011 to 2016 in order to develop and implement appropriate research and development strategies in the Central and Northern regions of Mali to achieve food security and improve the socio-economic conditions of populations, with a view to ensuring social stability. It is the result of scientific and technical collaboration between the Institut d'Économie Rurale du Mali (IER) of Mali and the Ås University of Life Sciences (Noragric), Oslo, Norway. The project was jointly funded by the Kingdom of Norway and the Republic of Mali. A multidisciplinary team of Researchers and Research Assistant, Teacher-Researchers, technical support staff from the Agricultural Sector and representatives of NGOs carried out research activities, academic training, capacity building of producers, and the leveraging of research results, and also provided expertise. The actions undertaken have given priority to applied research aimed at developing simple and efficient technologies accessible to producers, including the appropriate motorized seeder in the rainfed system for the

simultaneous placement of seed and microdose of mineral fertilizer and the manual seeder for the flood-recession system.

Further basic research was also conducted. This work resulted in original knowledge on the biology of the dromedary, its pathologies, its behavior on pasture, the characterization of the flood recession system and its functioning with a view to an efficient use of this century-old farming system.

The project has also generated some fifty scientific papers, including scientific articles, research reports, datasheets, posters and around ten doctoral dissertations; it also provided an important training and mentoring platform for more than one hundred students and pupils in the agricultural development sector. The results of the Project “Adapting Agriculture and Livestock to Climate Change” ACC Phase I were the subject of a national restitution workshop held from November 21 to 23, 2016 in Bamako under the auspices of the Ministry of Agriculture and the Embassy of the Kingdom of Norway represented by Counselor Inger Naess. Eighteen (18) oral communications and ten (10) posters were presented.

A second five-year phase (2018-2022) for the scaling-up of the results of this first phase of the project was funded by the Kingdom of Norway and the Republic of Mali.

Outline

This paper has eight (8) chapters.

CHAPTER 1: Climate Variability in Mali

The analysis focused on the evolution of climatic conditions in Mali over the past 70 years (1941-2010) showing a regular decrease in the amount of rain with a spatiotemporal variation, the persistence from the 1970s of long episodes of drought, frequent floods, large temperature fluctuations and strong winds. The climate scenarios predict a decrease in rainfall and a rise in temperature over the 2015-2100 period. The socio-economic impacts were also analyzed. Finally, solutions were suggested to improve the quality of meteorological services and the resilience of stakeholders.

CHAPTER 2: Farmers’ Perceptions and Climate Change Adaptation Strategies

Farmers’ perceptions on climate change effects and strategies for adapting to them were analyzed through two studies conducted in Mali, in the flood recession area of

the cercle of Yélimané, in the region of Kayes and the Faguibine system in Timbuktu. The manifestations have been well perceived by communities since the years of severe drought in the Sahel, as have the impacts on resources, production systems and farmers' food security. The constraints have been identified by communities and adaptation strategies have been developed by the population.

CHAPTER 3: Agricultural Adaptation Options in the Rainfed System

In a view to improving the productivity of rain-fed crops on smallholder farms in the context of climate change in the Sahelian and Sudano-Sahelian zone, this chapter synthesizes the results of research on Precision Agriculture, an approach aimed at enhancing the efficiency of the use of resources in practice, especially in commercial farms, through seed treatment, micro-dosing of inputs, organic matter management, rainwater harvesting and the use weather forecast, among others. It also addresses the issue of agricultural intensification in Mali and Sudan through the improvement of soil fertility and mechanization of sowing using animal or motorized traction, and the intensification of sorghum and millet production in Mali, whose level varies according to the crop and rainfall conditions.

CHAPTER 4: The Yélimané Flood Recession System in the Sahelian Zone in Mali

The flood recession system has been described in relation to the physicochemical characteristics of the surface horizons of soils and alluvial deposits and to the characteristics of entomofauna at crop level in order to inform soil fertility management and integrated pest management.

CHAPTER 5: Agricultural Adaptation Options in Recession Farming

The technical options used to improve the yield of sorghum in the flood recession system are transplanting seedlings produced in a nursery and priming seeds in water. Varieties of sweet potato, potato and cassava have also been introduced to improve farmers' resilience to climate change and income.

CHAPTER 6: Bank Protection in Flood Recession Systems

*Rivers banks are deforested. This chapter presents the analysis of research results on the identification of plant species for their fixation and the recovery of degraded land in the Yélimané flood recession system in the Sahelian zone of Mali, as well as on the assessment of the volume of standing timber in plantations of *Eucalyptus camaldulensis* on reforested rivers banks.*

CHAPTER 7: Soil, Water and Vegetation Conservation

The impact of anti-erosion systems – combined or not with planted species – is assessed in the Yélimané flood recession system for the restoration of soils and vegetation. The chapter also analyzes the outcomes the Kamaïna “grazing prohibition” in the Faguibine system in Goundam, in the region of Timbuktu, against the baseline situation. The behavior of four varieties of date palm in plantation growing conditions was assessed over three years in the cercle of Yélimané through the survival rate and growth parameters of date palm plants.

CHAPTER 8: Improving Knowledge on the Dromedary in Mali

Knowledge and technologies have been generated in order to develop dromedary farming. Result analysis in this chapter focuses on a diagnosis of the dromedary farming system in the region of Kidal, in Mali, the biology of the animal, its main pathologies, fodder ingestion on pasture in the Sahelian and sub-humid zones and grazing activities, as well as its contribution to climate change resilience.

CHAPITRE 1 : **Variabilités Climatiques au Mali**

Les changements climatiques au Mali et impacts

Climate Change and Its Impacts in Mali

Diarra Birama

Agence Nationale de la Météorologie du Mali (MALI-METEO), Bamako, Mali – BP 237

E-mail : biramadia@yahoo.fr

Résumé

Le Mali est un vaste pays sahélien avec un climat de type tropical sec caractérisé par une période humide de 4 à 3 mois et une période sèche de 6 à 9 mois.

L'économie du pays repose sur des ressources provenant essentiellement de l'agriculture, de l'élevage, des formations forestières naturelles et de la pêche, d'où l'extrême vulnérabilité de ce pays et de son économie au climat et à ses variabilités et ses changements potentiels.

L'environnement et les ressources naturelles ont connu au Mali, ces dernières décennies, une forte dégradation en relation avec l'augmentation importante de la population conjuguée à la persistance de conditions climatiques défavorables et à des systèmes d'exploitation pour la plupart extensifs et inadaptés.

Au cours des 70 dernières années (1941-2010), la pluviosité a diminué dans tout le pays par rapport à la période de référence de 1941 à 1970 avec un déficit global entre 10 et 28 %. Il faut noter que l'isohyète 1 200 mm n'existe plus au Mali. La température a évolué de 0,2°C à 0,8°C depuis la fin des années 1970 et cette hausse se poursuit.

Par ailleurs, le Mali dispose de ressources en eau de surface non pérennes importantes pour les régions éloignées des fleuves. Elles permettent de prolonger la durée ou de retarder le tarissement des nappes, d'augmenter par épandage d'eau les surfaces irriguées, de constituer des réserves pour les besoins humains et du cheptel, de faciliter le maraîchage de contre-saison. D'après les scénarios climatiques, on assisterait à une diminution de la pluviosité qui se traduirait par un déplacement des isohyètes vers le Sud et les températures seraient par contre en hausse dans toutes les localités du Mali. Les risques climatiques restent très importants avec la persistance de la sécheresse et les impacts seront davantage perceptibles sur la majorité des activités socio-économiques avec une réduction significative de plus de 30 % du niveau d'eau des fleuves, surtout pour le fleuve Niger à Koulikoro. Des propositions de solutions sont faites pour pallier les risques des effets de changements climatiques notamment à travers l'adaptation.

Mots-clés : changement climatique, pluviosité, sécheresse, Mali.

Abstract

Mali is a vast Sahelian country with a dry tropical climate characterized by a 3-to-4-month rainy season and a 6-to-9-month dry season.

The country's economy relies on resources mainly derived from agriculture, livestock and fisheries. Therefore, Mali and its economy are extremely vulnerable to climate and its variability and potential changes.

In the past few decades, Mali's environmental conditions and natural resources have experienced a sharp decline in relation to the significant increase in population, combined with the persistence of adverse climatic conditions and largely extensive and unsuitable farming systems.

Over the last 70 years (1941-2010), rainfall levels have declined throughout the country, compared with the baseline levels of 1941-1970, with an overall deficit estimated at 10-28%. It should be noted that the 1200 mm isohyet no longer exists in Mali. The temperature has been rising from 0.2° C to 0.8° C since the late 1970s and continues to soar.

In addition, Mali has significant non-perennial surface water resources in areas remote from rivers. These allow for the extension of the duration of aquifers or the delay of their drying up, the expansion of irrigated areas through water spreading and the creation of water reserves for human and livestock needs, and facilitate off-season market gardening. Climate scenarios predict a decrease in rainfall, resulting in a southward displacement of isohyets, while the temperatures would be rising in all the localities of Mali. Climatic risks remain very high with the persistence droughts and their impacts will be more perceptible on a majority of socio-economic activities, due to a significant decline (by more than 30%) of river water levels, especially in the Niger River in Koulikoro. Some solutions are suggested to mitigate the risks associated with climate change effects, particularly through adaptation.

Key words: *climate change, rainfall, drought, Mali.*

Introduction

Le Mali est un vaste pays sahélien d'une superficie de 1 241 238 km², situé entre les 10° et 25° parallèles de latitude nord et entre les 4° de longitude est et 12° de longitude ouest. Il est un pays enclavé, au cœur de l'Afrique de l'Ouest, entouré de plus de 7 000 km de frontière avec sept (7) pays limitrophes. Il représente une zone de transition entre l'Afrique du Nord et l'Afrique subsaharienne.

Le climat du Mali est de type tropical sec. En fonction des quantités des précipitations moyennes annuelles (pluviosités moyennes annuelles), on distingue quatre types de climat à savoir :

- le climat saharien au Nord du pays où la pluviosité moyenne annuelle est inférieure à 200 mm ;
- le climat sahélien au Centre du pays avec une pluviosité annuelle moyenne comprise entre 200 mm et 600 mm ;
- le climat soudanien dans le Sud avec une pluviosité annuelle moyenne comprise entre 600 mm et 1 000 mm ;
- le climat soudano-guinéen dans l'extrême Sud du pays où la pluviosité annuelle moyenne est supérieure à 1 000 mm.

Le climat du Mali est caractérisé par une période humide de quatre (4) à trois (3) mois concentrée sur une seule saison entre juin et octobre (hivernage) avec des vents humides venant du Golfe de Guinée (mousson) soufflant du sud-ouest au nord-est, alternant avec une période sèche de huit (8) à neuf (9) mois où souffle l'harmattan (vent chaud et sec venant du Sahara) du nord-est au sud-ouest (Figures 1, 2).

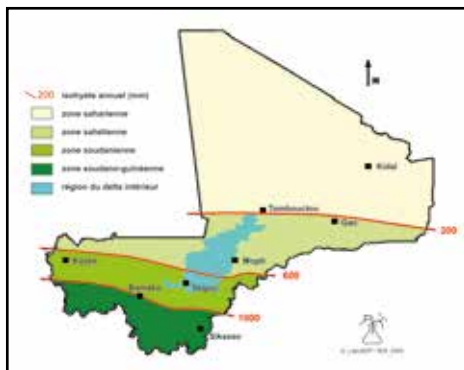


Figure 1 : Principales unités agro-écologiques du Mali

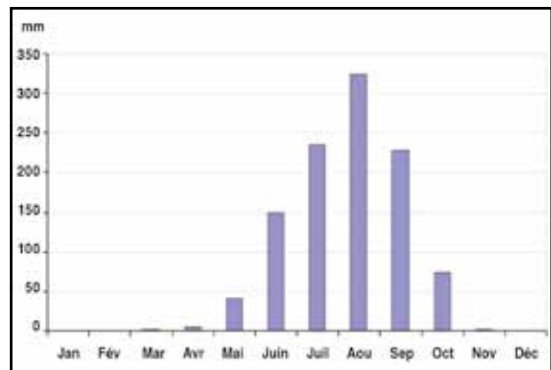


Figure 2 : Pluviométrie moyenne mensuelle (mm), 1971-2000, Kéniéba

Le régime pluviométrique du Mali, de type intertropical continental, se caractérise par une décroissance régulière des précipitations et de la durée de la saison pluvieuse du sud vers le nord (de plus de 1 000 mm à moins de 200 mm), une distribution irrégulière des précipitations dans l'espace et dans le temps.

Les températures moyennes annuelles connaissent une légère augmentation du sud-ouest vers le nord-est (de 26 à 29°C). La température maximale sous abri varie entre 34 et 37°C et la minimale entre 21 et 23°C. Les températures maximales de l'année dépassent parfois les 45°C et les températures minimales sont souvent en dessous de 10°C au nord.

L'humidité relative maximale oscille entre 31 et 75 % et la minimale entre 11 et 38 %. L'humidité relative moyenne annuelle est inférieure à 50 % sauf dans la zone soudanienne. Elle est minimale en février-mars et maximale de juin à octobre.

L'évaporation et l'évapotranspiration sont importantes même dans les régions humides et ce en relation avec les températures élevées, les faibles humidités relatives et l'effet desséchant de l'alizé continental (l'harmattan).

La végétation au Mali est influencée directement par les types de climats et leur pluviosité. Aussi, les principaux types de végétation fluctuent du Nord semi-aride au Sud humide (Figure 3) :

- la zone subsaharienne ou désertique du Nord qui couvre 57 % du territoire abrite des steppes épineuses et des steppes herbeuses ;

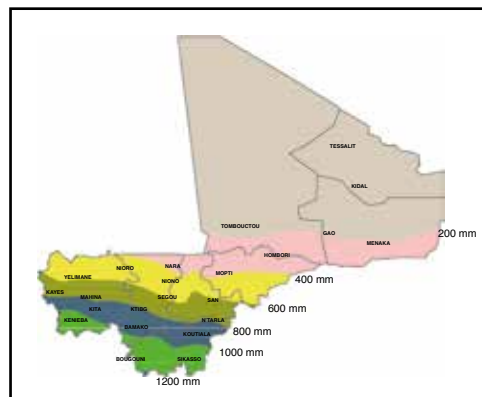


Figure 3: Pluviométrie annuelle moyenne (mm), 1971-2000

- la zone sahélienne couvrant 18 % du territoire est le domaine des steppes arbustives ;
- les plaines inondables du fleuve Niger, notamment le Delta Intérieur contiennent des prairies aquatiques à graminées vivaces ;
- la zone soudano-sahélienne comporte des savanes arbustives et des parcs arborés ;
- la zone soudanienne, qui couvre environ 25 % du pays intègre des savanes arborées ;
- la zone soudano-guinéenne au Sud du pays est le domaine des forêts claires avec des formations dominées par des espèces ligneuses.

La population du Mali était estimée en 2016 à 18 343 000 habitants (INSTAT-Mali, 2016). La population malienne devrait doubler en moins de 20 ans. L'espérance de vie à la naissance est de 61,6 ans. La population est essentiellement rurale avec près des trois quarts qui résident en milieu rural. Ces dernières années, on note une augmentation du rythme de la croissance urbaine due, entre autres, à l'exode rural (MEA, 2010 a). La densité des populations y est très hétérogène: une faible densité inférieure à 2 habitants/km² dans les régions du Nord et qui dépasse 25 habitants/km² dans les régions du Centre et du Sud. Le découpage administratif du pays comprend les régions administratives subdivisées en cercles constitués de communes et un district urbain, la capitale Bamako.

L'économie du Mali repose sur des ressources provenant essentiellement de l'agriculture, de l'élevage et de la pêche, d'où l'extrême vulnérabilité de ce pays et de son économie au climat et à ses variabilités et ses changements potentiels. Le secteur primaire (agriculture, élevage et pêche) occupe plus de 80 % de la population active et représente 45 % du Produit Intérieur Brut (PIB) alors que le secteur secondaire (industrie) ne représente que 16 % du PIB et le secteur tertiaire (commerce, services) 39 %. Parallèlement aux ressources agricoles, le Mali a d'autres potentialités énergétiques, touristiques et artisanales, de même que minières. L'or occupe la troisième place au niveau des ressources destinées à l'exportation (après le coton et le bétail). L'économie du Mali est, de par sa nature actuelle, très exposée aux risques climatiques. Dans le budget de l'État, 15 % sont octroyés à l'Agriculture et 46 % sont des dotations à des secteurs vulnérables aux changements climatiques et donc à risque.

L'environnement et les ressources naturelles ont connu au Mali, ces dernières décennies, une forte dégradation en relation avec l'augmentation importante de la

population conjuguée à la persistance de conditions climatiques défavorables et à des systèmes d'exploitation pour la plupart extensifs et inadaptés. Cela s'est traduit par une pression démographique sur les ressources pour répondre à l'accroissement des besoins, notamment en produits agricoles, d'élevage, en produits ligneux et en équipements/infrastructures. Ainsi, en de nombreux endroits/secteurs, on assiste à une rupture de l'équilibre entre les utilisations et la conservation des ressources de l'environnement:

- au Nord, on observe une progression alarmante du processus de désertification sur une vaste étendue peu peuplée, avec un risque majeur d'ensablement du fleuve Niger et des mares et des lacs;
- au Sud et plus particulièrement autour des centres urbains, la pression sur les ressources encore disponibles s'accroît de manière inquiétante.

Pour faire face à ce défi, une politique environnementale est mise en place avec pour objectifs d'assurer une meilleure adéquation entre les besoins des populations et les ressources naturelles, la protection et la durabilité des ressources naturelles et une amélioration du cadre de vie des populations (MEA, 2010a).

La pauvreté au Mali est une préoccupation majeure avec en 2002 63,8 % de la population vivant dans la pauvreté et 21 % dans l'extrême pauvreté. La pauvreté qui était plutôt rurale gagne de plus en plus les grandes villes. Pour faire face à ce fléau, le Mali a fait du Cadre Stratégique de Lutte contre la Pauvreté (CSLP) un cadre unique de référence des politiques et stratégies de développement. Le troisième CSLP de 2012-2017 accorde une grande importance à la préservation de l'environnement et en particulier à la lutte contre les effets néfastes des changements climatiques en prenant en compte la Politique Nationale de Changement Climatique (PNCC) et la Stratégie Nationale de Changement Climatique (SNCC).

Évolution des situations climatiques au Mali

Au cours des 70 dernières années (1941-2010), la pluviosité a diminué dans tout le pays par rapport à la période de référence de 1941 à 1970. Au cours des 30 dernières années (normale 1981-2010 comparée à la normale 1971-2000), elle demeure plus faible depuis 1970. Le déficit global a varié entre 10 et 28 %. En plus, les isohyètes ont migré du Nord au Sud entre la période de référence de 1951-1980 et la période 1981-2010. Il faut noter que l'isohyète 1 200 mm n'existe plus au Mali. (Figure 4)

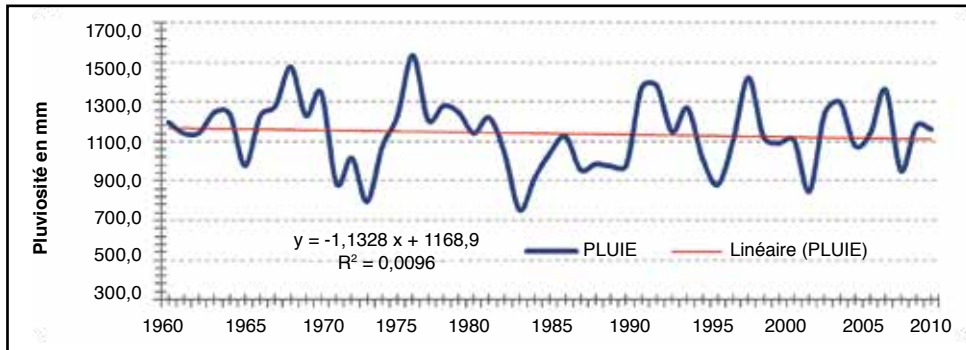


Figure 4 : Évolution de la pluviométrie enregistrée à la Station Météorologique de Sikasso au Mali
Source : Mali Météo

L'évolution du climat au Mali (Figure 5) s'est traduite durant les 50 dernières années par :

- une décroissance régulière de la quantité de pluie et une grande variation spatio-temporelle: 20 % de moins en précipitations en 1971-2000 par rapport à 1951-1970 avec un déplacement de 200 km vers le sud des isohyètes (MEA, 2010a) ;
- des lignes de grain caractéristiques du Sahel axées du nord au sud sur une distance de 500 à 750 km s'accompagnant souvent de vents forts et de pluies abondantes parfois catastrophiques ;
- une augmentation des températures du sud-ouest vers le nord-est avec des maximales relevées au cours de l'année pouvant atteindre ou dépasser les 45°C tandis que les minimales sont rarement en dessous de 10°C ;
- de fortes valeurs de l'évapotranspiration potentielle (ETP) en raison des températures élevées, des humidités relatives faibles et des vents forts ;
- la persistance de larges épisodes de sécheresses à partir des années 1970 entraînant des déficits pluviométriques assez importants durant certaines années.

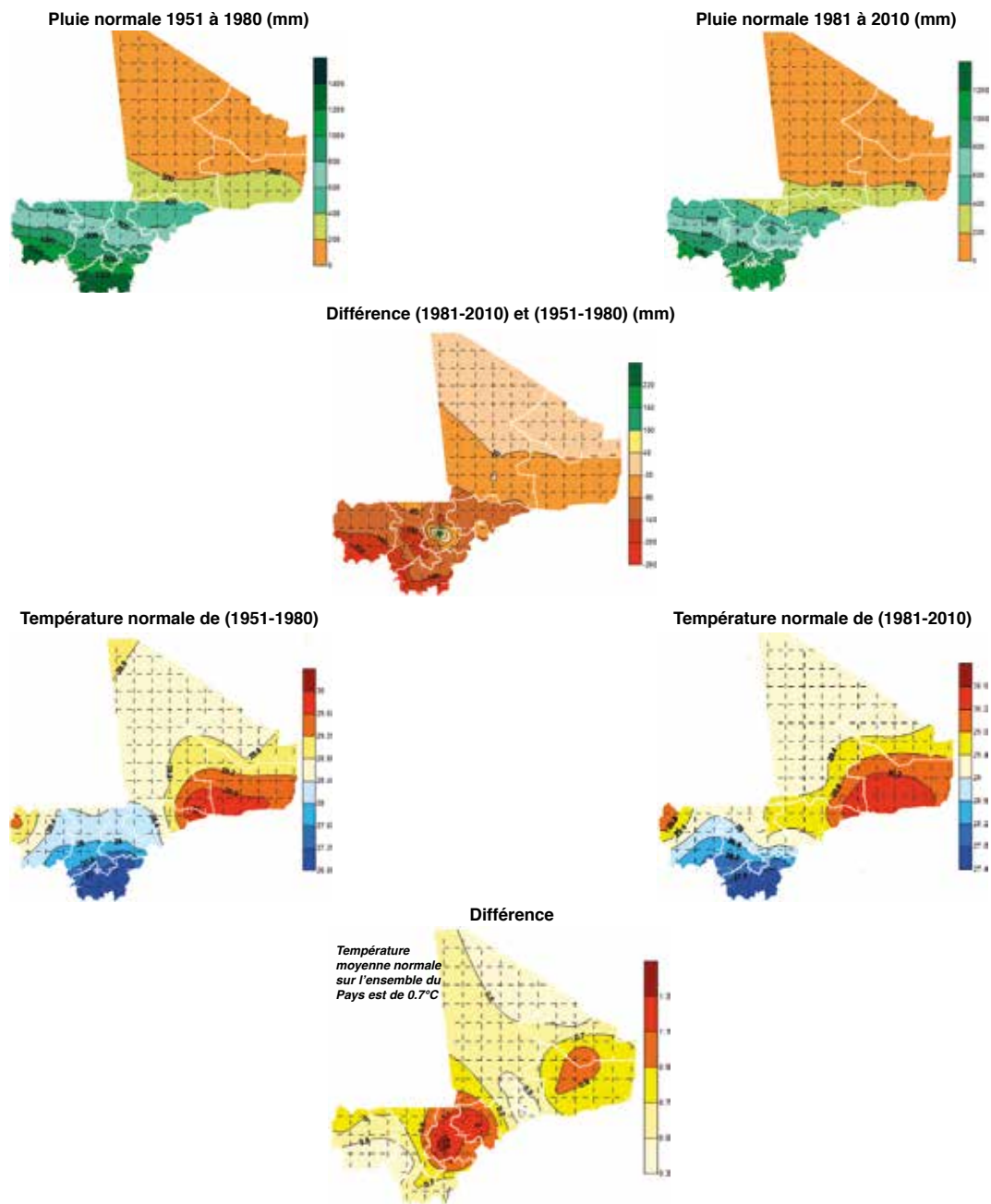


Figure 5: Évolution du climat au Mali de 1951 à 2010

Les données de températures relevées en Afrique de l'Ouest et particulièrement dans le Sahel indiquent un réchauffement plus rapide que la tendance mondiale, avec des augmentations allant de 0,2°C à 0,8°C depuis la fin des années 1970 (CEDEAO, 2009a). Les conditions climatiques connaissent des variations chroniques et de grande ampleur, surtout depuis le début des années 1970. La région a connu une rupture nette des séries pluviométriques et hydrométriques autour des années 1968-1972, avec 1970 comme année charnière (Figure 6). La baisse de la pluviosité moyenne annuelle avant et après 1970 va d'environ 15 % à plus de 30 % selon la zone (20 % pour le Mali). Cette situation a comme conséquence le glissement des isohyètes d'environ 200 km vers le sud.

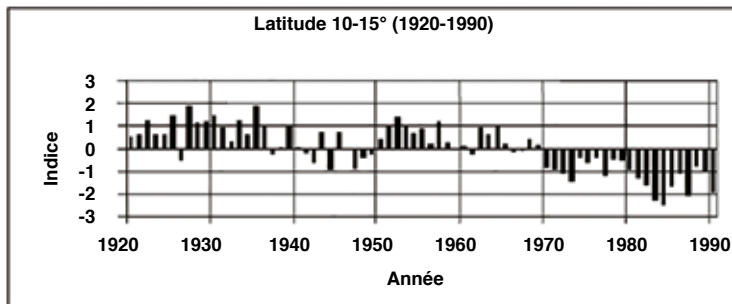


Figure 6 : Indice de variation de la pluviosité annuelle dans les hautes latitudes arides et semi-arides, Afrique de l'Ouest (Onibon, 2001; Andreini *et al.*, 2000)

Le Mali a connu une chute globale des précipitations au cours des dernières décennies. Pour l'ensemble du pays, on peut noter entre 1921 et 2001 trois périodes (Figure 7) :

- de 1921 à 1940, la pluviosité a été caractérisée par une moyenne voisine de 700 mm/an avec une tendance à la baisse vers 1941 ;
- de 1941 à 1971, il a été constaté une moyenne pluviométrique annuelle inférieure à celle des deux décades précédentes mais passant par un maximum vers les années 1955 ;
- de 1971 jusqu'aux années 2000 où la tendance à la baisse a continué pour connaître un minimum de 400 mm par an au cours des années 1980.

Depuis l'an 2000, on a noté une alternance de périodes humides et de périodes sèches avec un niveau de précipitations qui reste faible par rapport aux années d'avant 1960.

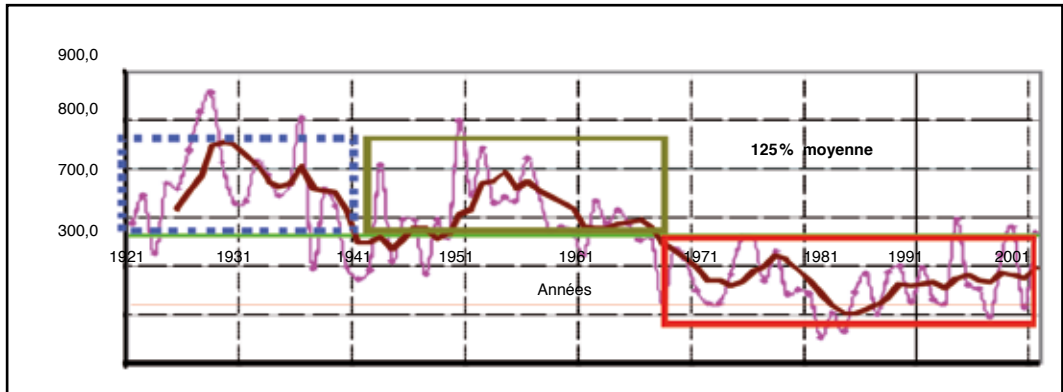


Figure 7 : Évolution de la pluviosité au Sahel – Mali (STP/CIGQE, 2008)

Par ailleurs, d'après le rapport IPCC, 2007 (*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) - Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC)), les événements climatiques extrêmes ont changé en fréquence et/ou en intensité au cours des 50 dernières années. En Afrique de l'Ouest, des inondations dévastatrices, des sécheresses, des tempêtes, des changements soudains de températures, se sont produits de façon répétée.

Les événements climatiques dont la fréquence et l'intensité ont particulièrement augmenté ces dernières décennies au Mali sont :

- les sécheresses ;
- les inondations ;
- les vents forts et les vents de sable ;
- les fortes variations de températures.

Le Mali dispose aussi de ressources en eau de surface non pérennes importantes pour les régions éloignées des fleuves. Elles permettent de prolonger la durée ou de retarder le tarissement des nappes, d'augmenter par épandage d'eau les surfaces irriguées, de constituer des réserves pour les besoins humains et du cheptel, de faciliter le maraîchage de contre-saison. Elles sont estimées à environ 15 milliards de m³.

Les eaux de surface pérennes contribuent pour environ 10 à 15 % en volume à l'alimentation en eau des populations, le reste des besoins étant couvert par les eaux souterraines. La figure 8 illustre sur un siècle de suivi, à Koulikoro, les fortes fluctuations annuelles des débits du fleuve Niger.

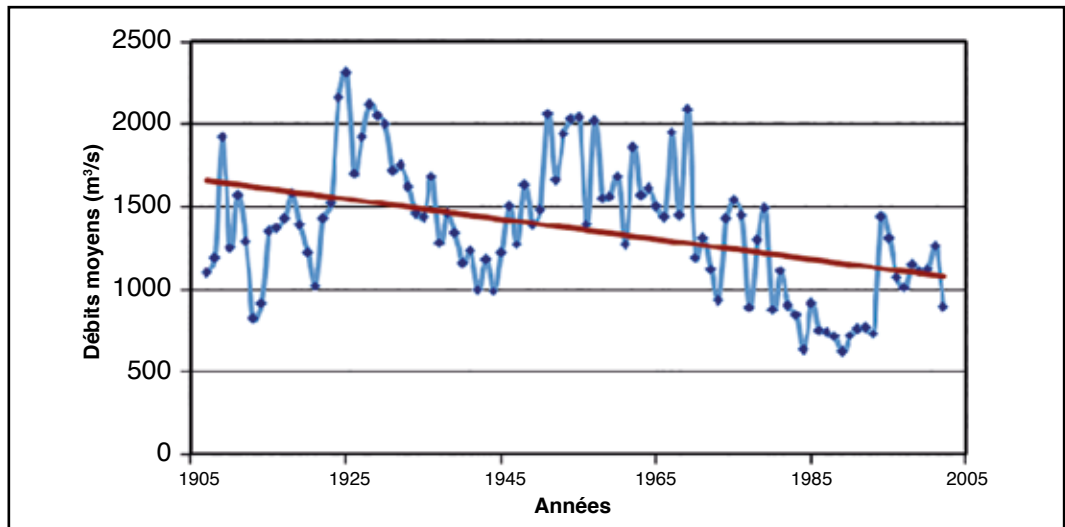


Figure 8 : Variations des débits annuels du fleuve Niger à Koulikoro (MMEE, 2006b)

Les ressources en eaux souterraines du Mali sont estimées à 2 700 milliards de m³ de réserves avec un taux annuel de renouvellement évalué à 66 milliards de m³ représentant la principale source pour l'alimentation en eau potable des populations.

Ainsi, le potentiel en ressources en eau renouvelables au Mali serait de l'ordre de 137 milliards de m³/an. En ce qui concerne la disponibilité des ressources en eau douce par tête d'habitant, elle serait de 11 417 m³/habitant/an (MMEE, 2006b). On est très loin du niveau de stress hydrique de 1 000 m³/habitant/an. Mais en réalité cette estimation est à relativiser dans ce cas précis car :

- le niveau de mobilisation de ces eaux reste très faible alors que le calcul de la disponibilité par tête d'habitant (11 417 m³/habitant/an) se base sur les eaux mobilisables et non déjà mobilisées ;
- ces ressources en eaux sont très mal réparties spatialement et l'accès des populations aux ressources reste limité ;
- la forte évaporation des eaux limite vite les disponibilités réelles au niveau des eaux de surface.

Même si le Mali dispose potentiellement d'importantes ressources en eau de surface et souterraines, certains handicaps et faiblesses actuels de ce secteur risqueraient d'être exacerbés par les effets des changements climatiques.

Scénario des changements climatiques au Mali

La méthodologie utilisée pour ces scénarios exploite les outils MAGICC et SCENGEN du GIEC.

Les résultats obtenus sont les valeurs escomptées sur l'ensemble du pays des paramètres climatiques aux horizons temporels compris entre 2015 et 2100 pour la pluviosité et la température.

Pour toutes les localités du Mali, le scénario climatique le plus plausible prévoit une diminution de la pluviosité dont les taux de pertes par rapport à la normale sont reportés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Scénarios de diminution de la pluviosité au Mali de 2020 à 2100

Année	2020	2025	2030	2050	2100
Perte en %	1 à 5	2 à 6	5 à 8	5 à 10	22

Les résultats de cette étude ont montré que pour toutes les localités, on assisterait à une diminution de la pluviosité qui se traduirait par un déplacement des isohyètes vers le Sud (Figure 9).

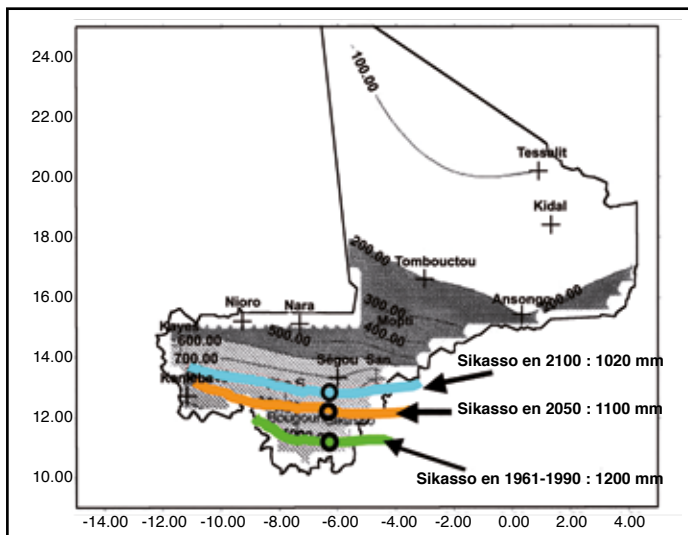


Figure 9 : Diminution de la pluviosité et déplacement des isohyètes vers le Sud dans la localité de Sikasso entre 1960 et 2100

Les températures seraient par contre en hausse dans toutes les localités du Mali (Tableau 2).

Tableau 2 : Scénarios de hausse des températures au Mali de 2020 à 2100

Année	2020	2025	2030	2050	2100
Augmentation de la température	0,5°C	1°C	1,5°C	1,7°C	3°C

Selon l'analyse des événements extrêmes durant la période très humide du mois de juillet au Mali, la température maximale qui était de 30,5°C pour la période 1961-1990 serait pour le même mois de : i) 32,5°C en 2050 et l'occurrence des températures supérieures à cette valeur serait de 40 % ; ii) 34,5°C en 2100 et l'occurrence des températures supérieures à cette valeur serait de 36 %. L'analyse effectuée a montré une augmentation de cette probabilité entre 2025 et 2100.

En conclusion :

- la température moyenne augmentera de 30,5°C au cours de la période 1961-1990, à 32,5°C en 2050, et 34,5°C en 2100 ;
- une baisse de 10 à 15 % des précipitations serait observée, y compris un déplacement des isohyètes actuels vers le sud ;
- une baisse de 35 % des ressources en eau vers 2025 est prévue pour les eaux de surface et de 13 % pour les aquifères renouvelables, comparativement à la moyenne de 1961-1990 ;
- une hausse de la fréquence des inondations et des phénomènes météorologiques extrêmes serait observée avec de réels impacts sur les conditions de vie des populations, surtout en termes d'accès à l'eau potable, à la santé et de satisfaction des besoins de sécurité alimentaire ;
- les sécheresses dans la première moitié de l'hivernage, de mai à juillet vers 2025 voire, dès 2020.

Des situations de sécheresse seraient constatées sur la première moitié de l'hivernage (mois de mai, juin et juillet) à partir de l'horizon 2025 sur toutes les stations du pays pour une sensibilité climatique moyenne. Les mêmes situations pourraient s'installer dès l'horizon 2020 si la réaction du climat aux perturbations devenait plus rapide.

Suite à ces déficits pluviométriques, les sources d'approvisionnement naturelles en eau des communautés, constituées par les eaux de surface et les eaux souterraines superficielles seraient affaiblies dans une certaine proportion.

Risques climatiques et inondations observés au Mali

Les différentes études réalisées sur les changements climatiques au Mali montrent que les principaux défis climatiques auxquels le pays est exposé sont entre autres : les sécheresses, les inondations, les vents forts, les fortes variations de température et les pollutions atmosphériques.

Persistance de la sécheresse

Deux tiers (2/3) du territoire du Mali sont constitués de zones désertiques (arides et semi-arides) dans le Nord, subissant une sécheresse chronique depuis 1970. En 30 ans (1980-2010), le Mali a connu cinq (5) épisodes majeurs de sécheresse dont celles des années 1980 et 2005.

Intensification des évènements d'inondations

Le Mali a subi 15 inondations en moins de quarante ans (1980-2014). Les principales zones à risques d'inondations se trouvent dans le Delta Intérieur du fleuve Niger (64 000 km²) qui est un écosystème particulier lié à l'hydrographie, s'étalant en bande le long du fleuve. Outre Bamako la capitale, les régions de Tombouctou, Gao, Mopti, Ségou, Kayes, Koulikoro et Sikasso figurent parmi les plus exposées (PANA, 2007).

Diminution de la pluviosité couplée à une forte variabilité inter annuelle et intra-saisonnière des précipitations

Le régime pluviométrique au Mali est très affecté par la variabilité et les changements climatiques. Au cours des 70 dernières années (1941-2010), la pluviosité a diminué dans tout le pays par rapport à la période de référence de 1941 à 1970. Même si, en certains endroits tels que Bamako, Bougouni, Kayes, Mopti, Nioro et Ségou, la pluviosité a légèrement augmenté au cours des 30 dernières années (1981-2010 comparativement à 1971-2000), elle demeure plus faible depuis 1970. Le déficit d'ensemble varie entre 10 et 28 % avec l'exception de Tessalit qui a connu de récentes inondations en 2012 et 2013. En plus, les isohyètes ont migré du nord au sud entre la période de référence de 1951-1970 et la période 1971-2000. Il faut noter que l'isohyète 1 200 mm n'existe plus au Mali.

L'étude des risques climatiques menée a analysé les données disponibles depuis 1951 au niveau des stations météorologiques du pays sur la pluviosité et la température. Les résultats ont montré une variabilité inter annuelle entre les périodes 1951-1970 et 1971-2000. Il existe également une grande variabilité intra-saisonnière de la pluviosité à l'intérieur de chacune des quatre zones climatiques.

Toutes ces variations indiquent clairement une réduction de la pluviosité moyenne annuelle et une alternance persistante entre les années sèches et les années humides au niveau de toutes les stations, rendant difficile la gestion des risques climatiques. Néanmoins, pour les trois régions concernées à savoir Kayes, Koulikoro et Sikasso sur les dix dernières années, il y a une tendance à une hausse de la pluviosité à Kayes et Koulikoro au Nord, et une tendance à la baisse à Sikasso au Sud (Figure 9).

Augmentation de la température moyenne

Le Mali est également caractérisé par une grande variabilité spatiale de la température et de la pluviosité. En temps normal, la température augmente du sud-ouest vers le nord-est avec des maximales relevées au cours de l'année pouvant atteindre ou dépasser les 45°C tandis que les minimales sont rarement en dessous de 10°C. Depuis la fin des années 1970, l'évolution du climat au Mali s'est traduite également par un réchauffement rapide avec des augmentations de températures allant de 0,2°C à 0,8°C (CEDEAO, 2009a).

Impacts des changements climatiques sur les domaines socio-économiques au Mali

La majorité des activités socio-économiques est d'ores et déjà affectée par les impacts observés des changements climatiques. Il est à prévoir que ces impacts soient exacerbés dans le futur et constitueront des facteurs limitatifs pour le développement des régions cibles très sensibles aux variations de la pluviosité, où la plupart des ménages tirent 70 % de leurs revenus des secteurs de l'agriculture, de l'élevage et des forêts. Ils sont par conséquent les plus vulnérables aux effets des changements climatiques.

Les effets de la variabilité et des changements climatiques, tels que l'incertitude de la pluviosité, la hausse des températures, les longues périodes de sécheresse et la succession des inondations aux sécheresses ont rendu l'activité agricole de plus en plus précaire. Les tendances à la baisse des précipitations, la variabilité pluviométrique, et la hausse des températures conduiront à une forte évaporation-transpiration qui pourrait aggraver les pénuries d'eau dans les régions et réduire l'utilisation de l'eau dans les systèmes de production.

La diminution de l'accès à l'eau pourrait vraisemblablement accroître la compétition pour l'eau avec des risques de conflits. La plupart des lacs autrefois pérennes en période humide sont devenus intermittents ou temporaires à cause de la sécheresse. Ce changement est une perturbation majeure pour les populations rurales. Par exemple,

dans le Gourma, au cours des années 1980, seule la mare de Banzéna demeurait pérenne. Tous les autres plans d'eau se sont asséchés deux mois seulement après l'hivernage.

Aussi, on note une réduction significative de plus de 30 % du niveau d'eau des fleuves, surtout pour le fleuve Niger à Koulikoro.

Les effets socio-économiques de la perte de ces mares sont désastreux et leur réduction a amplement contribué à réduire la qualité de vie pour beaucoup de gens. Les femmes et les enfants, par exemple, doivent fréquemment marcher une journée entière pour chercher de l'eau potable. À l'avenir, les distances à parcourir à la recherche de l'eau vont probablement augmenter au fur et à mesure que les effets des changements climatiques continueront de se manifester. Le temps requis pour chercher de l'eau par ces groupes vulnérables a aussi un impact économique négatif dans la mesure où ces chercheurs d'eau ne peuvent pas contribuer à la productivité agricole. La possibilité de cultures de contre-saison pourrait être compromise.

L'élevage constitue un moyen d'existence important pour nombre de personnes particulièrement, dans les régions du Nord. Cette activité pourrait être affectée par les changements dans les régimes pluviométriques et l'augmentation des températures avec la diminution possible des fourrages et l'assèchement des mares. Les conséquences socio-économiques des impacts des changements climatiques sur le secteur de l'élevage sont les suivantes : i) la forte augmentation des prix du cheptel et de la viande suite à la réduction de l'offre en raison de la mortalité animale causée par la sécheresse ; ii) les changements dans les activités de subsistance pour un grand nombre de nomades vers des activités sédentaires ; iii) une réduction des recettes fiscales sur les animaux en pâturage ; iv) les changements dans la composition des troupeaux avec le remplacement progressif des bovins par de petits ruminants et des camelins et des possibilités d'aggravation des conflits.

En ce qui concerne les événements extrêmes, en 30 ans (1981-2010), les catastrophes naturelles incluant la sécheresse, les inondations et les épidémies (paludisme, maladies hydriques) ont affecté près de trois (3) millions de personnes et tué près de 3 300 personnes au Mali. Les plus importants épisodes de sécheresse en 1980-1981 et 2005 ont affecté respectivement 1,5 millions et 1 million de personnes avec des conséquences économiques importantes. Les sécheresses ont engendré une dégradation de l'environnement et des ressources naturelles comme le tarissement des points d'eau, l'abaissement du niveau de la nappe phréatique, la perturbation de la biodiversité, la baisse de la productivité et de la production. La persistance de la sécheresse a également

entraîné une forte migration des populations du nord vers le sud du pays, mais aussi la pratique de l'agriculture pluviale dans les bas-fonds et dans les vallées inondables des fleuves et des marigots, particulièrement pour la riziculture (PANA, 2007). La sécheresse a également des impacts sur l'environnement : on note une avancée du désert au rythme de 15 km par an, ce qui a un impact négatif sur les ressources naturelles à partir desquelles au moins 70 % des populations les plus vulnérables tirent leurs moyens de subsistance.

En 2003, les inondations ont provoqué près de 20 décès, la destruction de 6052 habitations, 12 000 ha de champs ont été inondés et des routes et des ponts ont été détruits (Sanogo, 2007). Si en 2003, les inondations ont affecté près de 10 000 personnes, en 2007 elles ont affecté près de 88 000 personnes (OFDA/CRED). En 2010, il y a eu près de 111 décès, 12 000 habitations détruites, 20 000 hectares de champs inondés et la destruction de routes et de ponts dans le pays. Le 28 août 2013, les inondations ont occasionné 56 décès avec beaucoup de dégâts matériels à Bamako. Les conséquences sanitaires des inondations sont souvent importantes. Elles se traduisent par une augmentation du risque épidémique de choléra, de méningite, de paludisme et des maladies hydriques et autres maladies climato-sensibles.

Les inondations sont généralement dues au débordement et aux crues des fleuves et cours d'eau mais aussi à la défaillance des systèmes de drainage. Elles font suite en général à de fortes précipitations et sont souvent liées, à la base, à une défaillance de l'aménagement du territoire et de la maîtrise de l'occupation du sol, avec une occupation non maîtrisée des bas-fonds inondables, des lits et des bassins des fleuves et des cours d'eaux et de leurs affluents. Les problèmes de dégradation de l'environnement et des sols avec des érosions et des ensablements faisant suite à la déforestation et aux feux de brousse constituent des facteurs de risques sous-jacents majeurs. Des pertes importantes en terres arables de l'ordre de 6,5 tonnes/ha/an, variant de 1 tonne au Nord à plus de 10 tonnes au Sud ont été observées.

La sécheresse, la température et le vent sont également des facteurs climatiques favorables au développement du criquet pèlerin. Si l'invasion concerne tout le territoire, le développement des criquets concerne des zones spécifiques appelées « aires grégariques » qui sont les lieux de régénération et les espaces vitaux habituels du criquet pèlerin, à savoir principalement : l'Adrar des Iforas (région de Kidal), Timetrine (frontière avec l'Algérie), le Tamesna (frontière avec le Niger) (Actu Criquet – Site web du Ministère de l'Agriculture), Tombouctou Nord-est et la Vallée de Tilemsi. L'invasion de 2004 a compromis les objectifs de production agricole de 30,2 % par rapport aux prévisions et occasionné pour le pays une dépense budgétaire supplémentaire de

7 milliards de F CFA (MEA, 2010a) ou environ 16 279 070 USD pour 1 USD = 430 F CFA (Dia, 2009).

Les changements climatiques vont causer d'importantes pertes dans la production agricole avec une réduction des rendements de coton estimée à 1 500 tonnes en 2005 et probablement jusqu'à 3 500 tonnes d'ici à 2025 (PANA, 2007). De même, la production de mil et de sorgho a baissé de 1 500 tonnes en 2005 et pourrait diminuer davantage de 2 524 tonnes en 2025. Selon les conclusions de divers modèles climatiques, les tendances climatiques pour de futurs scénario – sans une planification et une gestion améliorées, surtout de meilleurs plans de gestion de l'eau et des ressources naturelles – vont avoir un impact négatif sur les systèmes de moyens d'existence des communautés, notamment l'agriculture, la pêche, l'élevage et la foresterie qui ont un impact direct sur la sécurité alimentaire et la pauvreté des ménages. Ceci réduirait la disponibilité de la nourriture et créerait une situation alimentaire plus précaire chez les ménages les plus pauvres.

Propositions de solutions

Aujourd'hui, le Mali dispose de 20 stations synoptiques, 50 stations climatologiques/ agro météorologiques et 300 postes pluviométriques. Cela reste extrêmement limité et ne permet guère de réaliser un suivi correct de l'évolution du climat de ce vaste pays. Avec une telle couverture en réseau de mesures, il est difficile d'avoir des prévisions fiables du climat à court, moyen ou long terme. C'est ce qui explique en partie la difficulté de simuler le comportement du climat à long terme à partir des grands modèles de circulation. Il faut alors :

- insister sur la nécessité de réhabiliter et surtout d'étendre le réseau de mesures Climat du Mali ;
- renforcer les capacités nationales sur les changements climatiques tant au niveau des services de la Météorologie Nationale qu'au niveau des administrations, acteurs privés et ONG concernés par ces aspects climatiques ;
- renforcer et promouvoir le développement et le recours aux modèles de prévision saisonnière et leur utilisation par les opérateurs agricoles ;
- renforcer et étendre l'opération « Pluies Provoquées » à d'autres zones du pays ;
- renforcer et étendre les zones d'intervention de la cellule d'assistance agro météorologique.

Pour faire face aux événements extrêmes pouvant survenir - particulièrement fréquents ces dernières décennies (sécheresses, inondations, tempêtes de sable, vents forts,

vagues de chaleur) - un groupe pluridisciplinaire suit la situation météorologique, en particulier durant la saison humide et diffuse des bulletins avec anticipation pour limiter les dégâts potentiels pouvant en résulter. Un comité de crise est aussi établi au niveau de l'administration territoriale dans ces conditions. Ce système d'alerte doit être soutenu afin :

- d'améliorer la réactivité aux événements climatiques extrêmes à travers le renforcement du système d'alerte existant et amélioré;
- de promouvoir la coopération régionale sur le Climat en Afrique de l'Ouest et y participer activement.

En ce qui concerne les ressources, les aspects suivants méritent d'être pris en considération :

- mauvaise répartition spatio-temporelle des ressources;
- grande évaporation des eaux de surface liée aux fortes températures/vents;
- niveau de mobilisation des ressources en eau très limité;
- dégradation continue de la qualité des ressources en relation avec les eaux usées, rejetées sans traitements préalables, mais aussi avec l'ensablement des cours d'eau, des lacs et des mares;
- baisse du niveau des nappes phréatiques ainsi qu'une augmentation du coefficient de ruissellement pour les petits bassins;
- diminution quantitative et qualitative des ressources en eau;
- étiaages de plus en plus sévères au niveau des cours d'eau (assèchement précoce des points d'eau tels que les mares, les puits, etc.);
- démarrage et fin difficiles de la saison des pluies, poches de sécheresses (déficit d'eau) pendant la saison des pluies, diminution de la longueur de la saison (du nombre de jours pluvieux), de la production agricole, exode rural;
- diminution du nombre de jours de pluie et l'accroissement de l'intensité des pluies se traduisant par des inondations dans la plupart des cas;
- gaspillage et gestion non rationnelle des réseaux;
- dépendance des ressources en eau transfrontières en amont (Guinée).

Conclusion

Les changements climatiques constituent une réalité de nos jours et pourraient se poursuivre si des mesures ne sont pas prises à temps. Les conséquences sont incalculables. Malheureusement, les climato-septiques pensent le contraire ce qui va ralentir les actions communes de lutte contre les changements climatiques.

Références

- Andreini M., van de Giesen N., van Edig A., Fosu M., Andah W., 2000. Number 21, Volta Basin Water Balance ZEF – Discussion Papers on Development Policy Bonn, March 2000, ISSN: 1436-9931.
- CEDEAO, 2009 a. Programme d'Action Sous-Régional de Réduction de la Vulnérabilité aux Changements Climatiques en Afrique de l'Ouest. Partie I: Aperçu de la vulnérabilité de l'Afrique de l'Ouest face aux changements climatiques et stratégies d'intervention, Communauté Economique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO).
- CSLP, 2012-2017. Revue annuelle du CSCRP 2012-2017, 04 et 05 juillet 2013, 121p.
- Dia C.D., 2009. L'Essor n°16413 du 2009-03-31.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Core Writing Team, R. K. Pachauri et A. Reisinger, Geneva, Switzerland, IPCC, 104p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Core Writing Team, R. K. Pachauri et L. A. Meyer, Geneva, Switzerland, IPCC, 151p.
- INSTAT-Mali, 2016. Annuaire de Statistique du Mali 2016. (www.instat-mali, annuaire16_Pub.pdf), 94p.
- MEA, 2010a. Rapport National sur l'état de l'environnement 2009. Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement, octobre, 2010.
- MEADD, 2017. Rapport Troisième Communication Nationale Du Mali A. La Convention Cadre Des Nations Unies Sur Les Changements Climatiques. Ministère de l'Environnement et du Développement Durable, 247p.
- MMEE, 2006b. Élaboration de stratégie d'adaptation des ressources en eau aux changements climatiques. Programme d'Assistance aux études sur les changements climatiques réalisé avec l'appui des Pays Bas. Ministère des Mines, de l'Energie et de l'Eau, 2006.
- OFDA/CRED International Disaster Database - Data version: v11.08

- Onibon H.-G., 2001. Simulation conditionnée des champs de pluie événementiels au Sahel : application de l'algorithme de GIBBS. Thèse de Doctorat de l'INPG, Mécanique des milieux géophysiques et environnement, Grenoble, France, Novembre 2001, 150 p.
- PANA, 2007. AEDD, Programme d'Action National d'Adaptation aux Changements Climatiques, Mali, 100 p.
- Rapports IPCC 2007, 2014. Vers une prospective des impacts du changement climatique sur la sécurité alimentaire : les enseignements du 5^e rapport du GIEC.
- Sanogo C.A., 2007. Renforcer la résilience des systèmes énergétiques et des écosystèmes en Mali - Observatoire de la viabilité énergétique 2007.
- STP/CIGQE, 2008. Éléments de la politique Nationale d'adaptation aux changements climatiques. Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement – Mali.

CHAPITRE 2 :

Perceptions et stratégies paysannes d'adaptation au changement climatique

Perceptions paysannes des impacts du changement climatique sur les ressources et les systèmes de production : cas du cercle de Yélimané au Mali

Farmers' Perceptions of the Impacts of Climate Change on Resources and Production Systems: Case of the cercle of Yélimané in Mali

Sissoko Penda¹, Gry Synnevåg³, Sidibé Moro¹, Diarra Youssouf Madian², Konaté Laban¹, Traoré Fatou¹, Sangaré Mama¹, Dembélé Bakary Désiré¹, Togola Sadio¹, Tolo Aly¹, Ouologuem Sali¹

¹Institut d'Économie Rurale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba - BP 262, Bamako, Mali

²Institut d'Économie Rurale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Kayes - BP 251, Mali

³Université des Sciences de la vie, Ås, Norvège

*Auteur pour la correspondance : sissokopenda@hotmail.com

Résumé

Le Sahel, à l'instar d'autres zones arides et semi-arides d'Afrique, est soumis aux effets néfastes du changement climatique. Les prévisions, pour ces régions, sont entre autres, une diminution des rendements des cultures, des superficies cultivées et de la durée des saisons, accompagnées d'une baisse de la production agricole.

Cette étude fait une analyse de la vulnérabilité et des adaptations aux variabilités et changements climatiques des communautés de la zone de décrue dans le cercle de Yélimané, région de Kayes, en zone sahélienne. Elle a porté sur l'exploitation des données secondaires sur le milieu et sur l'analyse des perceptions des communautés. Les méthodes participatives, focus groupes villageois et entretiens semi-structurés, ont été utilisées pour la collecte des données au niveau de 301 exploitations agricoles. Les statistiques descriptives et les matrices ont été utilisées pour l'analyse des données avec l'emploi des logiciels Excel et SPSS. Les résultats ont montré que le changement climatique, perçu par les communautés de la zone résulte, selon elles, de causes naturelles et anthropiques. Les manifestations du phénomène au cours des dernières décennies ont été constatées par les populations par les sécheresses, les variabilités pluviométriques, les vents violents, les fortes températures et les inondations. Les impacts de ces phénomènes ont été observés sur les ressources et les modes d'existence des communautés à travers les faibles productions agricoles et d'élevage, des ressources halieutiques, la réduction voire la disparition de certaines espèces forestières et fauniques. Les conséquences se sont traduites par la pauvreté et l'insécurité alimentaire au niveau des exploitations

agricoles. Pour l'adaptation des communautés aux risques des variabilités climatiques, des stratégies individuelles et collectives ont été développées dans la zone. Les principales portent sur l'utilisation des variétés précoces et semi précoces, l'augmentation de la pratique des cultures de décrue, le maraîchage, le stockage des résidus de culture pour l'alimentation du bétail, l'exode rural et l'immigration des populations. Les contraintes matérielles, financières et institutionnelles limitent les capacités d'adaptation des communautés.

Mots-clés : perception paysanne, variabilité et changement climatiques, vulnérabilité, Mali.

Abstract

Like other arid and semi-arid areas of Africa, the Sahel is subject to the adverse effects of climate change. Forecasts for these regions include a decrease in crop yields, cultivated areas and the length of seasons, compounded with a drop in agricultural production.

This study assesses the climate vulnerability and adaptation solutions to climate variability and change of communities in the flood recession area of the cercle of Yélimané, Kayes region, in the Sahelian zone. It focused on the use of secondary environmental data as well as the analysis of the communities' perceptions of climate change and their vulnerability to it. Participatory methods, village focus groups and semi-structured interviews were used to collect data from 301 farms. Descriptive statistics and matrices were used for data analysis with Excel and SPSS software. The results show that communities in the Yélimané floodplain area perceive climate change as resulting from natural and anthropogenic causes. In recent decades, these populations have witnessed the manifestations of the phenomenon through droughts, rainfall variability, high winds, high temperatures and floods. The impacts of these events have been observed on the resources and livelihoods of communities in the form of low agricultural and livestock production, low fish stocks, a decrease in or even disappearance of forest and wildlife species. These have resulted in poverty and farm level food insecurity. Individual and collective strategies have been developed in the area for communities' adaptation to climate variability risks. The main ones include using early and semi-early varieties, enhancing flood recession cropping, market-gardening, the storage of crop residues for livestock, rural exodus and migration. Material, financial and institutional constraints limit the adaptive capacities of communities.

Key words: farmers' perception, climate change and variability, vulnerability, Mali.

Introduction

Les régions arides et semi-arides d'Afrique dont le Sahel constituent l'une des zones du monde les plus vulnérables face aux changements climatiques eu égard aux précédents cycles de sécheresse et aux variabilités pluviométriques qu'ont connus ces régions (IPCC, 2007). Les projections futures prévoient pour ces régions la diminution des rendements des cultures dans l'agriculture pluviale de 50 % en 2020 assortie d'une diminution des superficies cultivables et de la durée des saisons (IPCC, 2007). Les conséquences seront une diminution de la production agricole et un difficile accès à l'alimentation des populations.

Pour comprendre le changement climatique, un diagnostic a été réalisé dans la zone de décrue du cercle de Yélimané dans la région de Kayes en zone sahélienne. L'objectif de la recherche est d'améliorer les connaissances sur le changement climatique à travers une évaluation des perceptions paysannes sur les causes, les constats et les manifestations du phénomène, ses impacts sur les activités de production des communautés, les stratégies d'adaptation développées et les contraintes face aux stratégies identifiées par les communautés.

Matériel et méthodes

Le cercle de Yélimané est situé à l'extrémité nord-ouest de la région de Kayes. Il fait frontière avec la Mauritanie au nord, le cercle de Nioro du Sahel à l'est, le cercle de Kayes au sud-ouest et le cercle de Bafoulabé au sud. Il couvre une superficie d'environ 5 805 km². Il est traversé par trois grands affluents du fleuve Sénégal qui sont la Kolombiné, la Térékolé et le Gari, affluent du Krigou qui font, par leurs crues, sa richesse et sa diversité. Sur le plan climatique, le cercle de Yélimané est situé en zone sahélienne avec une zone nord plus sèche, de pluviosité inférieure à 400 mm/an et une zone sud de pluviosité annuelle supérieure à 400 mm. La température moyenne est de 29°C. Le vent dominant est l'harmattan, vent chaud et sec souvent accompagné de brumes de poussière réduisant la visibilité. L'hydrographie et le relief de la zone forment un chapelet de zones d'épandage de crues qui favorisent en période de grandes crues des inondations et donc les cultures de décrue ainsi que des pâturages inondables et la pêche. Administrativement, le cercle comprend 83 villages (DNSI, 1993) répartis entre 12 communes. La population du cercle comptait 178 442 habitants en 2009, soit une densité de 30,76 habitants au km² (INSTAT, 2011).

La recherche a été menée dans la zone de décrue du cercle de Yélimané et a concerné trois (3) communes du cercle (Guidimé, Toya et Gory), sept (7) villages et 301

exploitations agricoles (Tableau 1). Il s'agit de Dougoubara, Diabaguele et Guémou-neuf pour la commune de Guidimé, de Yaguiné et de Kémala pour la commune de Toya et de Gory et Fougou pour la commune de Gory. Les communes constituent la zone d'intervention du projet «Adaptation de l'Agriculture et de l'Élevage au changement climatique». Des méthodes participatives ont été effectuées à travers des assemblées villageoises et des focus groupes villageois hommes et femmes constitués de 15 à 20 personnes sur la base d'un guide d'entretien et des interviews semi-structurées (ISS) au niveau des exploitations agricoles familiales. Les données collectées ont porté sur les caractéristiques socio-économiques et les perceptions des communautés sur les causes, les constats vécus, les impacts, les stratégies d'adaptation développées et les contraintes à l'adaptation des communautés dans la zone. Des précisions par rapport aux périodes avant et après le constat des changements climatiques sont données au cours de l'administration du guide d'entretien et de la formulation des réponses. Les statistiques descriptives et les matrices d'analyse des perceptions ont été utilisées pour l'analyse des données avec l'utilisation des logiciels Excel et SPSS.

Communes	Villages d'étude	Nombre d'exploitations agricoles
Guidimé	Dougoubara	12
	Diabaguele	20
	Guémou-neuf	33
Toya	Yaguiné	80
	Kemala	24
Gory	Fougou	29
	Commune rurale de Gory	103
Total		301

Source : Auteurs à partir des données d'enquêtes, 2013

Résultats et discussion

Caractéristiques socio-économiques des communautés

Les ethnies majoritaires sont composées de soninkés (75 %), peulhs (12 %) et de maures (10 %). L'âge moyen des exploitants est de 50 ans et 97 % sont mariés. L'agriculture constitue la principale activité pour 80 % des exploitants qui pratiquent aussi l'élevage. Quatre Vingt Onze pour cent (91 %) sont propriétaires de leurs terres (issues de l'héritage). Le commerce, l'artisanat et la pêche constituent les activités secondaires.

L'exode rural et l'immigration sont pratiqués par 94 % des exploitations agricoles. La taille moyenne des superficies des exploitations agricoles est estimée entre 2,5 et 3 ha dont 1 ha en culture pluviale et 1,5-2 ha en culture de décrue (PADDY, 2003).

Perceptions des causes, constats et manifestations du changement climatique

Le changement du climat, d'après les perceptions des communautés de la zone de décrue de Yélimané, résulte des causes naturelles et anthropiques résultant des diverses activités de l'homme sur les terres agricoles, des activités industrielles et autres. Selon les perceptions des communautés de la zone de décrue du cercle de Yélimané, les changements climatiques remontent aux années de sécheresse 1968, 1971 et 1973. Depuis ces dates, le constat est la perturbation du régime pluviométrique, qui se manifeste par des déficits des précipitations et leur mauvaise répartition dans l'espace et dans le temps, la diminution du nombre de jours de pluies, la persistance des températures élevées, des vents de plus en plus violents et de plus en plus chauds.

Perceptions des impacts du changement climatique sur les ressources et les systèmes de production

L'analyse des données sur la perception a montré que les risques climatiques et les catastrophes observés au cours des 30 dernières années dans la zone ont été marqués par des sécheresses, des variations pluviométriques, des vents forts, des fortes températures et des inondations. Selon les perceptions des agriculteurs, le changement climatique a aussi favorisé le développement des ennemis/ravageurs des cultures comme les cochenilles (miellat), les pucerons, les foreurs de tiges et la prolifération des rats sur les cultures. En effet, il est ressorti de l'analyse des données sur les perceptions recueillies au niveau des exploitations agricoles que les variabilités pluviométriques ont été les plus observées (97 %), suivies des sécheresses (91 %), des fortes températures (51 %), des vents violents (50 %), des invasions acridiennes, des attaques des sauteriaux (49 %) et des inondations (48 %). Les impacts de ces phénomènes sur les ressources ont été observés à travers les diminutions de la superficie des terres fertiles entraînant une augmentation des superficies à défricher, la disparition de la végétation, l'assèchement des cours d'eau (Photo 1) et des mares, l'ensablement des terres de cultures et des cours d'eau (Photo 2), les érosions (Photo 3) et la dégradation des berges des cours d'eau (Photo 4).



Photo 1 : Assèchement des cours d'eau



Photo 2 : Ensablement des cours d'eau observés à Dougoubara



Photo 3 : Érosion des sols à Yaguiné



Photo 4 : Dégradation des berges des cours d'eau à Fougou

Les sécheresses, les insuffisances de pluies et leur irrégularité et les attaques des ennemis des cultures ont été citées comme les principaux facteurs de risques de vulnérabilité des systèmes agricoles (Tableau 2).

Tableau 2 : Matrice de vulnérabilité des systèmes de production aux facteurs de risques observés dans la zone de Yélimané au cours des trois dernières décennies

Systèmes	Facteurs de vulnérabilité observés	Rang
Productions agricoles	Variabilité pluviométrique	1
	Sécheresses et poches de sécheresses	3
	Oiseaux granivores	2
	Insectes	4
Productions animales	Sécheresses et poches de sécheresses	1
	Variabilité pluviométrique	2
Ressources forestières	Sécheresses et poches de sécheresses	1
	Variabilité pluviométrique	2
Ressources halieutiques	Sécheresses et poches de sécheresses	1
	Variabilité pluviométrique	2

Source : Auteurs, à partir des données d'enquêtes, 2013-2014 et 2014-2015

Les impacts analysés avant les années 1970 et la situation présente avec le changement climatique font ressortir les données qui suivent.

Agriculture

Avant les années 1970, la monoculture était pratiquée pour les cultures pluviales et le semis se faisait à sec. Des sols noirs dominants et des sols sableux étaient rencontrés aussi bien dans les zones exondées que dans les bas-fonds en terres de décrue et les rendements étaient élevés. Les spéculations cultivées portaient sur les variétés de sorgho à cycle long

variant entre 4 à 7 mois (Gadiababa, Gadiabani, Kéniguéba), le maïs à cycle de 3 mois, l'arachide, le niébé, la calebasse, le coton, l'indigotier, le riz et le dah. La jachère et les contrats de fumures des champs spécifiques aux parcelles de cultures pluviales étaient aussi pratiqués. Avec les changements climatiques, on assiste à la diminution du potentiel de superficies des terres cultivables en régime pluvial et de décrue suite aux sécheresses et aux insuffisances pluviométriques, à la baisse du niveau des crues sur les terres de décrue, au déboisement intensif entraînant un phénomène d'érosion laissant apparaître des crevasses, la disparition de la culture du riz dans certaines zones, les faibles productions agricoles et les baisses des rendements des cultures perçues par 83 % des exploitations enquêtées. Les cultures de décrue sont de plus en plus pratiquées avec le sorgho et le maïs en association avec le niébé, l'arachide ou la courge. Le maraîchage est pratiqué comme nouvelle activité par les femmes.

Élevage

Les pâturages et les points d'abreuvement du bétail étaient suffisants; aussi peu de maladies étaient rencontrées, et les productions de lait et de viande élevées. Les espèces animales rencontrées étaient des bovins, des ovins, des caprins, des ânes, des chevaux, de la volaille (poules, pintades). Avec le changement climatique, on assiste à une forte diminution des capacités de charge des pâturages (ressources fourragères) et des points d'abreuvement du bétail. « *Cette situation s'aggrave car, étant à la frontière immédiate de la Mauritanie, les différents terroirs villageois de la zone sont pâturés par les troupeaux de ce pays qui y séjournent provisoirement lors de leur transhumance vers le Sud de la région de Kayes* » (citation des enquêtés). Il s'ensuit une forte exploitation des ressources fourragères, une mortalité élevée des animaux et une baisse de la productivité du bétail (lait et viande), etc.

Pêche

Avant les années 1970, les cours d'eau et les mares contenaient beaucoup d'eau et de poissons. La pêche était pratiquée comme activité secondaire, source de revenus et d'appoint alimentaire. Avec le changement climatique, on assiste au tarissement des cours d'eau et des mares et à la dégradation des berges. L'érosion hydrique et les ravinelements ne permettent plus aux anciennes pêcheries de recevoir et de retenir assez d'eaux et de poissons. La pêche est devenue une activité rare dans la zone.

Ressources forestières et fauniques

Selon les perceptions des communautés, avant les années 1970, les ressources forestières étaient abondantes et diversifiées avec des espèces comme *Ficus capensis*, *Combretum adenogonium*, *Piliostigma reticulatum*, *Adansonia digitata*, *Acacia tortilis*, *Borassus*

aethiopum, *Faidherbia albida*, *Senegalia senegal*. Les besoins en bois de chauffe, en bois de construction, en pharmacopée et en fourrage pour le bétail étaient satisfaits, de même que les produits de cueillette (le jujube, le pain de singe et le fruit de *Balanites aegyptiaca*) qui permettaient d'avoir des revenus supplémentaires, notamment pour les femmes. La faune était riche, composée de lions, de buffles, de phacochères, d'antilopes, de singes, etc. Avec les changements climatiques, on assiste à la dégradation des ressources forestières, une diminution, voire la disparition de certaines espèces ligneuses et herbacées, à la diminution des espèces fourragères destinées à l'alimentation du bétail, à une forte exploitation de certaines espèces : rôniers, bambous, *Pterocarpus* spp, *Combretum* spp à des fins de construction d'habitat, de bois de chauffe ou d'artisanat, et la réduction de la faune à quelques hyènes, chacals, singes, lièvres, phacochères, francolins, oiseaux prédateurs et reptiles.

Impacts des risques observés sur la sécurité alimentaire des exploitations agricoles

Du fait des faibles productions, presque toutes les productions sont autoconsommées et ne couvrent pas en réalité les besoins. Les revenus agricoles ont fortement baissé car il y a très peu de surplus commercialisables en céréales (93 % des exploitations ne vendent pas leurs productions agricoles). Cette baisse a entraîné un appauvrissement des producteurs alors qu'en sens inverse, on assiste à un renchérissement des prix des denrées alimentaires. Cette situation a eu des effets négatifs sur l'autosuffisance et la sécurité alimentaires. Suivant les critères de sécurité alimentaire définis par les paysans (superficies dans la décrue, nombre de personnes en migration), 15 % sont autosuffisantes, 25 % sont moyennement autosuffisantes et 65 % sont non autosuffisantes ou pauvres. Dans ce contexte, l'exode saisonnier et l'immigration se sont développés comme palliatifs. En effet, les revenus issus de ces pratiques sont envoyés en partie dans les familles et sont affectés prioritairement à l'alimentation avant toute autre utilisation. La figure 1 donne les impacts des risques climatiques observés dans les exploitations agricoles.

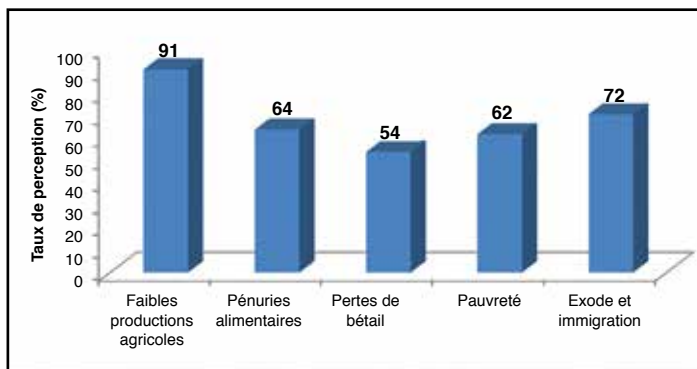


Figure 1 : Impacts des risques climatiques sur la sécurité alimentaire des exploitations agricoles

Stratégies d'adaptation développées par les communautés dans la zone

Les stratégies d'adaptation développées par les communautés face aux risques climatiques sont le développement des cultures de décrue (Photo 5), l'introduction de variétés précoces aux origines diverses, le développement du maraîchage, notamment chez les femmes (Photo 6) et par certains migrants de retour au pays, le billonnage pour réduire les ruissellements, la confection de diguettes pour retenir l'eau et le drainage des petits points d'eau sur les champs. Au niveau de l'élevage, les stratégies portent sur le ramassage et le stockage des résidus de récolte (tiges de céréales, Photo 7), fanes d'arachide et de niébé, au fauchage et au stockage de la paille de brousse, à l'introduction de nouvelles espèces animales (Photo 8) et à l'apport supplémentaire d'aliments bétail concentrés. La forte diminution, voire la disparition de certaines espèces fourragères constitue une grande contrainte pour l'alimentation du bétail. Dans ce contexte, les éleveurs de bovins notamment, optent pour la transhumance vers le sud et l'ouest du pays, particulièrement dans les cercles de Kolokani, Kita, Bafoulabé, etc. Face à la forte dégradation des ressources forestières ayant entraîné une forte pression des producteurs ruraux vers les zones dites humides et propices, on assiste à une multiplication des cadres de concertations villageoises relatifs notamment au tracé et au respect des pistes de passage du bétail suivant les saisons, à l'interdiction des feux de brousse, à l'interdiction de la coupe de bois vert.

Ces stratégies d'adaptation développées par les communautés face à la variabilité climatique dans la zone d'étude sont répertoriées dans les études réalisées sur les stratégies d'adaptation au changement climatique au Sahel (Ouédraogo *et al.*, 2010 ; Woodfine, 2009 ; Clot, 2008 ; USAID, 2014). La gestion de l'eau et de la terre, la lutte contre les nuisibles des cultures, l'utilisation des intrants, l'adoption de nouvelles variétés et de nouvelles techniques de production font partie de ces stratégies d'adaptation.



Photo 5 : Culture du maïs de décrue à Yaguiné



Photo 6 : Maraîchage des femmes à Fongou



Photo 7 : Stockage des tiges de céréales



Photo 8 : Races de caprins très productives introduites dans la zone

Les stratégies développées par les exploitations pour assurer la sécurité alimentaire portent sur les achats de céréales (85 %), la migration de la population (71 %), la vente de bétail (67 %), les activités extra-agricoles (20 %), le maraîchage (21 %) et le petit commerce (11 %). On peut retenir aussi des importations massives de céréales (riz, maïs et sorgho) disponibles dans les coopératives créées et financées dans de nombreux villages par les migrants. Le cercle de Yélimané se caractérise par une forte migration vers des pays comme la France, l'Espagne, les États-Unis d'Amérique, l'Afrique centrale, le Sénégal, la Côte d'Ivoire, la Mauritanie, le Liberia, etc. L'ensemble des villages du cercle est concerné par ce phénomène de migration (USAID-Mali, 2006).

Contraintes des stratégies d'adaptation développées par les communautés dans la zone

Au niveau de l'agriculture, les pressions agricole, pastorale et sylvicole sont très élevées sur les terres de décrue alors que leur potentiel en superficies exploitables se réduit considérablement. Par rapport à la forte pression parasitaire sur les parcelles de décrue, les producteurs rencontrent d'importantes difficultés dans la défense et la protection des cultures. Il faut un savoir et un savoir-faire pour appliquer les techniques de lutte intégrée. Ces techniques sont mal connues et peu maîtrisées par les producteurs. L'usage des produits chimiques a également un coût qui n'est pas à la portée de tous. Pour la lutte antiérosive pour régulariser les eaux des cultures de décrue, les populations manquent de fonds pour construire des ouvrages performants et pour aménager les parcelles. Par rapport à l'élevage, on note l'insuffisance d'équipements en charrettes et de bras valides pour ramasser, faucher et stocker de grandes quantités de résidus de récolte et de paille de brousse (troupeaux importants). De même, la paille est fauchée de plus en plus loin car le potentiel immédiat des villages est très vite enlevé. Également, l'approvisionnement

des marchés en aliments bétail concentrés n'est pas régulier et les prix ne sont pas à la portée de tous les éleveurs. Au niveau de la gestion des ressources naturelles, la présence de nombreux transhumants aux provenances souvent mal connues, parfois venant de la République Islamique de Mauritanie, rend difficile le respect et la bonne application des règles et principes retenus par les cadres de concertations villageoises.

Conclusion

Le changement climatique est bien perçu par les communautés de la zone de Yélimané. Il s'est manifesté au cours des trois dernières décennies dans la zone du cercle de Yélimané par des sécheresses, des insuffisances des pluies, de fortes températures et des vents forts. Les effets sur les ressources naturelles ont été observés par la réduction des surfaces cultivables, l'érosion et la dégradation des sols, la dégradation des berges des cours d'eau, l'ensablement des cours d'eau, la dégradation de la végétation avec la réduction, voire la disparition de certaines espèces végétales suite aux sécheresses. Concernant les activités de production agro-sylvo-pastorale, les effets ont été observés au niveau des productions agricoles à travers la baisse des rendements des cultures pluviales et de celles de décrue et la baisse de la fertilité des sols le tout lié à la faiblesse de la pluviosité et des crues et à l'érosion des sols. Pour les productions animales, la forte dégradation des pâturages et des points d'eau pour l'abreuvement a engendré de graves difficultés d'alimentation du bétail en saison sèche entraînant ainsi une réduction du potentiel productif du bétail (lait, viande, etc.). On assiste également à une réduction des ressources forestières suite à la surexploitation, une réduction de la production piscicole liée aux tarissements des mares et des points d'eau mais aussi à la dégradation des berges des cours d'eau et à une réduction des ressources fauniques. Les impacts sur les exploitations sont observés sur leur sécurité alimentaire à travers des pénuries alimentaires, la famine, la pauvreté, l'exode et la migration des populations.

Les principales stratégies d'adaptation développées par les communautés dans la zone portent sur le développement de la pratique des cultures de décrue, les associations de cultures dans la décrue, le maraîchage, l'utilisation de variétés précoces, la confection de diguettes, le billonnage, le stockage des résidus de récolte (paille, fanes), la supplémentation du bétail et l'établissement de conventions locales pour la gestion des ressources (coupe de bois, feux de brousse, passage des animaux). Les stratégies d'adaptation énumérées face à la variabilité climatique dans la zone d'étude sont citées par d'autres auteurs dans les études réalisées sur les stratégies d'adaptation au changement climatique au Sahel (Nicole Clot, 2008 ; Woodfine, 2009 ; Ouédraogo *et al.*, 2010 ; USAID, 2014).

Des contraintes matérielles, financières, techniques et des contraintes d'accès à l'information limitent les capacités d'adaptation aux changements. Face aux contraintes identifiées dans la zone d'étude, les recherches doivent s'orienter vers des actions qui porteront sur l'amélioration du système traditionnel de culture de décrue par le développement des technologies pour augmenter les rendements et les revenus des producteurs, l'introduction des cultures fourragères pour assurer l'alimentation du bétail en saison sèche, le développement de variétés maraîchères adaptées à la zone, la mise au point de techniques de conservation des sols et le maintien de l'eau à la décrue ainsi que la mise au point des techniques de protection des berges des cours d'eau.

Références

- DNSI-Mali, 1993. Perspectives de population, mai 1993. Rapport DNSI, Mali.
- IPCC, 2007. Changements climatiques 2007. Rapport de synthèse du 4^e Rapport d'évaluation du climat. 103p.
- INSTAT (Institut National de la Statistique du Mali), 2011. 4^e Recensement Général de la Population et de l'Habitat du Mali-RGPH-2009, décembre 2011. Bamako, Mali.
- Ouédraogo M., Dembélé Y. et Somé L., 2010. Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations: cas des paysans du Burkina Faso. *Sécheresse* 21(2), avril-mai-juin, 2010 : 87-96.
- Programme d'Appui au Développement de Yélimané (PADDY), 2003. Rapport de Formulation, N° 03/065 IC-MLI, 16 décembre 2003. Coopération décentralisée multipartite Mali/Montreuil/Vietnam/FAO.
- Nicole Clot N., 2008. Changement climatique au Mali, introduction et développement du thème Changement climatique dans la Délégation Intercoopération Sahel, avril 2008. 27p.
- USAID-Mali, 2006. Plan de sécurité alimentaire du cercle de Yélimané 2007-11. Projet de Mobilisation des Initiatives en matière de Sécurité Alimentaire (PROMISAM), décembre 2006, 15p.
- USAID, 2014. Adaptation de l'Agriculture au Changement climatique dans le Sahel. Profils des pratiques de gestion agricole. Projet Résilience Africaine et Latino-Américaine au Changement Climatique (ARCC), août 2014, 64p.
- Woodfine A., 2009. L'Adaptation au Changement Climatique et l'Atténuation de ses effets en Afrique Subsaharienne au moyen des pratiques de gestion durable des terres. Guide d'orientation – version 1.0. TERRAFRICA, 89p. www.terrafrica.org.

Stratégies d'adaptation à la variabilité climatique des exploitations agricoles de la zone du Système Faguibine au Mali

Strategies for Adapting Farms to Climate Variability in the Faguibine System Area in Mali

Sissoko Penda^{1*}, Diaby Mohamed¹, Gry Synnevåg², Kouriba Aly³

¹Institut d'Économie Rurale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba - BP 262, Bamako, Mali.

²Université des Sciences de la vie, Ås, Norvège.

³Institut d'Économie Rurale - BP 258, Bamako, Mali.

*Auteur pour la correspondance : sissokopenda@hotmail.com

Résumé

Le Système Faguibine est un ensemble de cinq lacs interconnectés par des chenaux naturels desservant la zone où l'agriculture de décrue constitue une pratique séculaire en fonction du retrait de la crue. Les récents cycles de sécheresses ont profondément affecté son fonctionnement et provoqué une baisse importante de son hydraulicité qui ne permet plus une inondation convenable des lacs. Pour apprécier la perception paysanne sur la variabilité climatique et les différentes stratégies mises en œuvre pour y faire face, une enquête a été conduite dans cinq communes du cercle de Goundam sur 326 exploitations de juin à octobre 2011. Les focus groupes discussions au niveau des villages, les interviews semi-structurées (ISS) au niveau des exploitations agricoles familiales et les interviews des personnes ressources et des structures techniques de la zone ont été utilisés pour collecter les informations. Les résultats ont montré que la variabilité climatique est perçue par les communautés de la zone du système Faguibine à travers l'insuffisance et l'irrégularité des pluies et de la crue dans les lacs, et la dégradation de l'environnement (sécheresse, désertification). Les manifestations du phénomène se traduisent d'après les perceptions par l'assèchement des lacs et l'ensablement de la zone, la réduction des terres de culture, la déforestation, la disparition des espèces animales et végétales, la réduction du pâturage, l'érosion des sols, et la dégradation des berges. Les impacts directs et indirects sont observés au niveau des exploitations par la baisse de la production agricole entraînant la famine, la réduction du cheptel, la disparition de certaines espèces animales, végétales et l'exode rural des populations. Les principales stratégies d'adaptation reposent sur l'utilisation des variétés locales précoces et semi-précoces, résistantes à la sécheresse, les activités de diversification par la culture du riz et le maraîchage, les associations culturales et le stockage des résidus de récoltes. Les cultures de décrue sont de plus en plus pratiquées pour compenser les déficits de production de la saison des pluies consécutifs aux aléas climatiques persistants. Ainsi,

le sorgho et le maïs sont les céréales les plus cultivées, toutefois en association avec le niébé, l'arachide et la pastèque, avec quelques petites parcelles de gombo. Ces pratiques permettent, avec les revenus de l'exode, d'assurer la sécurité alimentaire dans la zone.

Mots-clés : perceptions paysannes, variabilité climatique, stratégies d'adaptation, Mali.

Abstract

The Faguibine System is a set of five lakes inter-connected by natural channels serving the area where flood recession agriculture is a secular practice, based on flood recession periods. The recent drought cycles deeply disturbed this agricultural system and caused a reduction of hydraulicity which no longer allows a suitable flood of the lakes. To assess farmers' perceptions on climate variability and their various adaptation strategies, a survey has been conducted in 5 communes of the cercle of Goundam targeting 326 farms during a period from June to October 2011. Focus group discussions at village level, semi-structured interviews (SSI) at family farm level and interviews with key informants and technical facilities in the area were used for data collection. Climate variability is perceived by communities living in the Faguibine system area through the insufficient and erratic rainfall and lakes flooding, as well as the degradation of the environment (drought, desertification). Farmers perceive the phenomenon in the form of a drying up of lakes, the silting of floodplains, a reduction of the cropping area, deforestation, a loss of animal and plant species, a reduction of pasture, soil erosion and a degradation of river banks. The direct and indirect impacts are observed at farm level through a decrease in agricultural production leading to famine, a reduction of livestock, the disappearance of some animal and plant species, and rural exodus. The main adaptation strategies still rely on the use of drought-resistant short-cycle local crop varieties, farming system diversification through the inclusion of rice and vegetables, crop associations and the storage of the crop residues. Flood recession cropping is increasingly used to make up for rainy season production deficits due to persistent climatic hazards. Thus, sorghum and maize are the most cultivated cereals, but in association with soybean, groundnut and watermelon, with some okra on small plots. Along with rural exodus income, these practices help ensure food security in the area.

Key words: farmers' perceptions, climate variability, adaptation strategies, Mali.

Introduction

Le système Faguibine est un ensemble de cinq lacs interconnectés par des chenaux naturels desservant la zone où l'agriculture de décrue constitue une pratique séculaire en fonction du retrait de la crue et de pâturage pour le cheptel. Ce système Faguibine a connu au cours du 20^{ème} siècle différentes phases d'inondation et d'assèchement (Hamerlynck *et al.*, 2009). Depuis le milieu des années 1970, le système a été pratiquement à sec suite au cycle prolongé des années de sécheresse et à la péjoration du régime hydrologique du fleuve Niger. Les récents cycles de sécheresses (1973, 1984) ont profondément perturbé le fonctionnement de ce système en raison de la baisse de l'hydraulicité de ses marigots qui ne permet plus une inondation convenable des lacs (OMVF, 2011). Cette recherche est une contribution à l'amélioration des connaissances actuelles à travers l'évaluation des perceptions paysannes de la variabilité climatique et de ses effets sur les ressources du milieu (terres, végétation, pâturages, forêt), sur les systèmes de production et la sécurité alimentaire des exploitations agricoles et les stratégies mises en œuvre par les communautés pour y faire face.

Matériel et méthodes

Zone d'étude

La zone couverte par l'étude est le Cercle de Goundam où est situé en grande partie le système Faguibine, à quelques 80 km à l'ouest de Tombouctou, sur la rive gauche du fleuve Niger entre les coordonnées 16° et 17° de latitude nord et 3° et 4° de longitude ouest. Il couvre une superficie de 92 688 km² (Hamerlynck *et al.*, 2009). Le climat est de type sahélien, caractérisé par des écarts de température très importants. La moyenne annuelle de la région est de 39°C et la température maximale est de 45°C (OMVF, 2011). La population totale du cercle est estimée à 150 150 habitants (INSTAT-RGPH, 2009), soit une densité de 1,6 habitants au km². Le cercle comprend 16 communes dont 10 situées autour des lacs. Les activités économiques des populations sont principalement basées sur l'agriculture, pratiquée par l'ethnie sonrhäï. Ce sont des agriculteurs sédentaires, de tradition féodale avec des castes « sans terres ». L'élevage mobile et l'élevage sédentaire sont pratiqués par des tribus berbères touaregs et maures de tradition féodale avec des bellas, castes « sans terres ».

Méthodes

La recherche a été menée dans cinq (5) communes du cercle, soit 30 % des communes. Ces communes évoluent toutes autour des trois lacs fonctionnels du système Faguibine (lac Télé, lac Takara et lac Faguibine) pour la pratique de la culture de décrue. Dans les

communes choisies, 30 % de villages représentatifs en matière de production de décrue ont été retenus. Au total, 9 villages (y compris la ville de Goundam) et 326 exploitations agricoles ont été enquêtés (Tableau 1). Les approches participatives ont été utilisées et évaluées avec les communautés pour la collecte des données, à savoir des focus groupes discussion au niveau des villages à l'aide d'un guide d'entretien préalablement élaboré pour recueillir les perceptions des communautés sur la variabilité climatique et des interviews semi-structurées (ISS) avec des questionnaires administrés au niveau des exploitations agricoles familiales pour recenser les données socio-économiques et les données de perception des effets de la variabilité climatique sur les systèmes de production et la sécurité alimentaire. Les interviews des personnes ressources et des structures techniques de la zone ont permis de collecter les informations sur les caractéristiques biophysiques de la zone du système Faguibine (climat, sols, eau, forêt, pâturage), les superficies, les productions, les données sur la pluviosité et la crue dans le cercle de Goundam. Les statistiques descriptives et les matrices ont été utilisées pour analyser les données avec les logiciels Excel et SPSS.

Tableau 1: Liste des villages et des exploitations enquêtés dans la zone du système Faguibine

Communes	Villages enquêtés	Nombre d'exploitations agricoles enquêtées	Position des villages par rapport aux lacs
M'Bouna	M'Bouna	61	Lac Faguibine
	Tinassani*	18	Lac Faguibine
Bintagoungou	Toufazrouf	9	Lac Faguibine
	Alfahou Taraba	9	Lac Faguibine
	Bintagoungou	61	Lac Faguibine
Issa Bery	Toucabangou	34	Lac Faguibine
	Boss	17	Lac Faguibine
Télé	Hangabera	21	Lac Télé, lac Takara
Goundam central	Goundam ville	96	Lac Télé
Total		326	

* = associé au hameau de Tindahamane

Source : Auteurs, à partir des données d'enquêtes, 2011.

Résultats et discussion

Caractéristiques sociodémographiques des populations enquêtées dans la zone d'étude

Les caractéristiques sociodémographiques indiquent que la population se compose majoritairement de sonrhäï (87%), viennent ensuite les touaregs (11%). Les peulhs et les arabes constituent des ethnies minoritaires dans la zone. La taille moyenne des UPA est de 10 personnes dont 5 femmes et 5 hommes. Le nombre d'actifs est de 5 en moyenne. La typologie des exploitations dans le village a révélé trois types (A, B et C) ou catégories d'exploitations suivant les critères paysans ainsi qu'il suit :

- des exploitations riches (type A) constituées de propriétaires terriens avec plus de 2 à 3 ha dans les lacs et mares et possédant des troupeaux de bovins, d'ovins et de caprins importants. Ces exploitations sont autosuffisantes et représentent 7% de la population ;
- des exploitations moyennement pauvres (type B) possédant 2 ha au plus et quelques têtes d'ovins et de caprins. Elles représentent 25% des populations et sont partiellement autosuffisantes faisant recours au métayage pour satisfaire leurs besoins alimentaires ;
- des exploitations pauvres (type C) regroupant les exploitations qui n'ont pas de terres dans les lacs et qui sont non autosuffisantes quelle que soit l'année. Elles survivent grâce au métayage¹, les travaux salariés, le petit artisanat et l'exode rural. Elles constituent 68% de la population.

Causes, constats et manifestations de la variabilité climatique au niveau des communautés

Le changement du climat ou variabilité climatique d'après les perceptions des communautés de la zone de décrue du système Faguibine résulte des causes naturelles et des causes anthropiques qui résultent de l'activité de l'homme sur la terre. Le phénomène a été constaté par les populations au cours des trente dernières années dans la zone à travers les faibles quantités de pluie, l'insuffisance de la crue, la réduction des eaux des cours d'eau (Photo 1), l'assèchement des lacs et l'ensablement de la zone (Photo 2) qui ont entraîné la réduction et l'abandon des terres de cultures (Photos 3 et 4), l'érosion des sols (due à la faible couverture végétale), la dégradation des berges,

¹Le métayage est une forme de convention verbale entre le propriétaire terrien et l'exploitant agricole aboutissant au partage équitable de la récolte.

la dégradation de la végétation et de l'environnement causée par la sécheresse et la désertification.



Photo 1 : Réduction des eaux des cours d'eau



Photo 2 : Assèchement et ensablement des cours d'eau



Photo 3 : Réduction des terres de cultures de décrue



Photo 4 : Dunes de sables de Bintagougou

L'analyse des données pluviométriques et celles de la crue, collectées au niveau du service d'Agriculture de Goundam, montre que la pluviosité et la crue ont toutes les deux évolué en dents de scie dans la zone du Faguibine au cours de la dernière décennie, 2001 à 2010, ce qui démontre l'effet de la variabilité climatique (Figure 1).

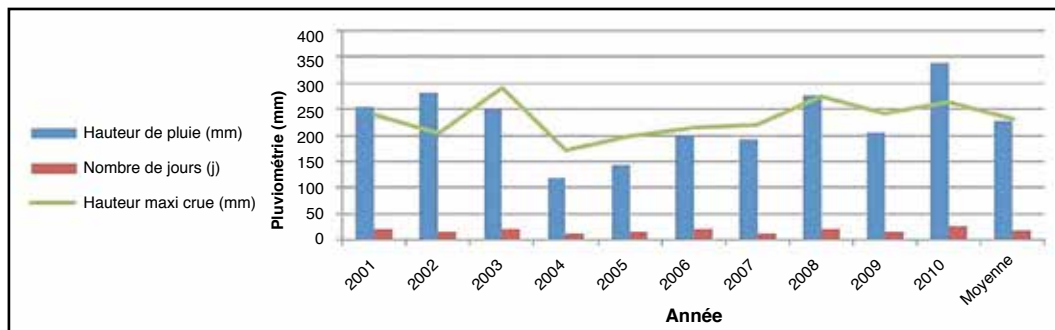


Figure 1 : Hauteur de pluie, nombre de jours de pluie et hauteur maximum de la crue dans le système Faguibine de 2001 à 2010

Source : Auteurs, à partir des données collectées au niveau du secteur d'Agriculture de Goundam, 2011.

Perceptions des impacts de la variabilité climatique sur les ressources et sur les systèmes de production dans la zone par les communautés

Perceptions des impacts de la variabilité climatique sur les ressources des communautés

D'après les perceptions des communautés, les terres de cultures ont été réduites, suite à l'assèchement des lacs et à l'ensablement, entraînant ainsi l'éloignement des champs de culture. Les superficies cultivables du lac Faguibine qui étaient de 36 500 ha en cultures de décrue n'ont cessé de chuter d'année en année. De nos jours, il n'y a plus qu'environ 2 500 ha effectivement exploités en décrue (OMVF, 2011). Selon les perceptions des communautés, les villages évoluant autour du lac Faguibine sont aujourd'hui éloignés des champs de culture à cause de l'assèchement du lac depuis le début des années 1970. Les zones de pâturage en zone exondée et dans les lacs ont été également réduites suite à la sécheresse (insuffisance de pluie) et à l'ensablement de la zone. Les strates arborée et herbacée ont été aussi réduites, et de nombreuses espèces ont pratiquement disparu de la zone due à la sécheresse, à l'ensablement et à la surexploitation des ressources. Les ressources ligneuses rencontrées sont constituées essentiellement de quelques peuplements d'Acacia (*Senegalia senegal*, *Acacia raddiana*, *Acacia nilotica*, *Acacia seyal*, etc.), de *Calotropis procera*, de *Balanites aegyptiaca*, de *Diospiros mespiliformis*, etc. Les fruitiers forestiers rencontrés sont les jujubiers (*Ziziphus mauritiana*) et les dattiers sauvages (*Balanites aegyptiaca*). La biodiversité animale selon la même source a également diminué dans la zone du système Faguibine. Les espèces fauniques rencontrées actuellement sont les lièvres, les outardes et les écureuils. Le tableau 2 montre les changements observés au niveau des ressources dans la zone du système Faguibine.

Tableau 2 : Tendances actuelles des changements observés au niveau des ressources comparativement aux dernières années dans la zone du système Faguibine

Variabilité dans l'utilisation des ressources	Tendance	Changements observés
Superficies cultivées	Diminution	Ensablement des terres, faible pluviosité et faible crue (faible hydraulicité des canaux)
Superficie des pâturages	Diminution	Sécheresse, insuffisance de pluie entraînant le manque de fourrages
Végétation	Diminution	Sécheresse, ensablement, surexploitation
Biodiversité de la faune et de la flore	Diminution	Sécheresse, déforestation
Production agricole	Diminution	Insuffisance de pluie, faible crue
Cheptel du village	Diminution	Insuffisance de fourrage, maladies, mort d'animaux

Source : Auteurs, à partir des données d'enquête, 2011.

Les manifestations du phénomène sont : la baisse de la production agricole entraînant la famine, la réduction du cheptel, la disparition de certaines espèces animales et végétales et l'exode rural des populations.

Perceptions des impacts de la variabilité climatique sur les systèmes de production

Les systèmes de production de type agropastoral ont été aussi affectés par la variabilité climatique dans la zone du système Faguibine. Les effets ont été constatés au niveau des productions agricoles par de faibles productions et de faibles rendements des cultures (suite à l'insuffisance des pluies et aux faibles crues). À ceux-ci s'ajoutent les attaques d'ennemis des cultures [attaques de cochenilles (miellat), charbon, pucerons, foreurs de tiges, prolifération des rats sur les cultures]. Au niveau des systèmes d'élevage, les effets ont été observés à travers la diminution du cheptel, la faible productivité et la faible production de l'élevage (lait, viande, etc.) causées par l'insuffisance de fourrages et du manque d'aliment bétail, entraînant ainsi des maladies et parfois des morts d'animaux. La réduction des aires de pâturages (Photo 5) a créé une compétition accrue entre éleveurs et agriculteurs par rapport à l'utilisation et la gestion des espaces agropastoraux dans les zones inondées (animaux dans les champs de culture (Photo 6)).

Perceptions des impacts de la variabilité climatique sur la sécurité alimentaire

Les impacts sur la sécurité alimentaire des populations ont été observés au cours des 30 dernières années par des pénuries alimentaires dans la zone (95 % des exploitations agricoles connaissent de longues périodes de crise alimentaire avec une durée moyenne qui varie entre 6 à 8 mois, la famine), l'exode et la migration des populations. Les stratégies d'adaptation des exploitations développées par les exploitations agricoles pour assurer la sécurité portent sur les achats de nourriture par la vente de biens (49 %), le travail hors exploitation (63 %), la réduction du nombre de repas (69 %), la réduction de la quantité de repas (67 %), les emprunts d'argent pour l'achat de nourriture (58 %), la vente de bétail (52 %), l'assistance de la communauté (36 %), l'assistance des parents de l'extérieur en exode rural ou migration de courte durée (68 %), le petit commerce (41 %), l'exode rural (21 %) et la vente de biens (21 %).



Photo 5 : Transhumance des animaux dans le lac Télé



Photo 6 : Animaux dans les champs de culture

Stratégies d'adaptation développées par les exploitations agricoles face à la variabilité climatique

En réponse aux effets de la variabilité du climat sur les ressources et les systèmes de production dans la zone du système Faguibine, des stratégies d'adaptation ont été développées par les exploitations agricoles. Parmi ces stratégies les principales portent sur : l'utilisation de variétés de semences locales précoces et semi-précoces (61 %), de variétés résistantes à la sécheresse (51 %) et de variétés à rendement élevé (45 %), associations de cultures dans la zone de décrue (Photos 7 et 8) dont les principales sont le sorgho (48 %) et le maïs (36 %) semés en association avec le niébé, l'arachide et la pastèque pour augmenter les rendements et diminuer les risques (pertes de production), la diversification des cultures par la culture du riz et le maraîchage (32 %), le stockage des résidus de récoltes (12 %), la sédentarisation des éleveurs nomades qui pratiquent la supplémentation du bétail (5 %), et la transhumance (5 %) de courte période pour répondre aux insuffisances de pâturage.

Les stratégies collectives développées au niveau communautaire portent sur les plantations d'arbres et la fixation des dunes (Photos 9 et 10) avec des espèces comme le cram-cram (*Cenchrus biflorus*), *Leptadenia pyrotechnica* pour lutter contre l'ensablement, le surcreusement du chenal, la protection des berges et la diversification des activités.

Ces stratégies d'adaptation développées par les exploitations agricoles face à la variabilité climatique dans la zone d'étude sont répertoriées dans les études réalisées sur les stratégies



Photo 7 : Culture du sorgho de décrue dans le lac Télé

d'adaptation au changement climatique au Sahel (Kiné, 2007; Nicole Clot, 2008; Woodfine, 2009; Ouédraogo *et al.*, 2010; IDS, ACF-IN & Tearfund, 2010; TREE AID, 2014; USAID, 2014). La gestion de l'eau, de la terre, la lutte contre les nuisibles des cultures, l'utilisation des intrants, l'adoption de nouvelles variétés et de nouvelles techniques de production font partie de ces stratégies.



Photo 8 : Association gombo-Hibiscus

Conclusion et recommandations

Le phénomène de variabilité climatique est bien perçu par les populations de la zone du système Faguibine. Les impacts au niveau des communautés ont été observés à travers la réduction des terres de cultures et des pâturages causée par l'ensablement, la réduction des eaux des cours d'eau suite aux insuffisances pluviométriques et aux faibles crues, la baisse de la production agricole entraînant la famine, la réduction du cheptel, la disparition de certaines espèces animales et végétales et l'exode rural des populations. Les cultures de décrue sont de plus en plus pratiquées pour compenser les déficits de production des cultures pluviales consécutifs aux aléas climatiques. Ainsi, le sorgho (48 %) et le maïs (36 %) sont les céréales les plus cultivées, toutefois en association avec le niébé, l'arachide et la pastèque, avec quelques petites parcelles de gombo. Ces



Photo 9 : Plantation de *Eucalyptus camaldulensis*



Photo 10 : Fixation biologique des dunes pour contraindre l'avancement du sable

pratiques permettent, avec les revenus de l'exode, d'assurer la sécurité alimentaire dans la zone. Les principales stratégies d'adaptation développées par les exploitations agricoles dans la zone portent sur l'utilisation des variétés locales adaptées à la zone (précoces et semi-précoces, résistantes à la sécheresse, à rendement élevé), la diversification des cultures, la pratique des associations de cultures dans la zone de décrue, l'exode rural, la conservation de l'eau par la confection de digues, la réduction de la taille des troupeaux et le stockage des résidus de récolte (tiges, fanes,...).

À la lumière des résultats de l'étude, les actions et les recherches futures doivent porter sur l'introduction de variétés améliorées pour les principales cultures de décrue (sorgho, maïs, mil, riz,...) et adaptées à la zone de décrue, l'introduction d'espèces fourragères pour assurer l'alimentation des animaux, l'inventaire des maladies et des ennemis des cultures, la proposition d'une méthode de lutte intégrée et l'introduction de nouvelles espèces pour la fixation des dunes adaptées à la zone de décrue.

Références

- Hamerlynck O., Chiramba T. & Pardo M., 2009. Gestion des écosystèmes du Faguibine (Mali) pour le bien-être humain : adaptation aux changements climatiques et apaisement des conflits. Version 5 avril, 2009. 4 Partie Descriptive, PNUE, 42p.
- IDS, ACF-IN & Tearfund, 2010. Changement de climats, vie en changement. Stratégies d'adaptation des communautés pastorales et agro-pastorales en Éthiopie et au Mali. Rapport d'ACF International, IDS, Tearfund, 72p.
- INSTAT (Institut National de la Statistique) du Mali, 2011. 4^e Recensement Général de la Population et de l'Habitat du Mali-RGPH-2009, décembre 2011. Bamako, Mali, INSTAT.
- IPCC, 2007. Changements climatiques 2007. Rapport de synthèse du 4^{ème} rapport d'évaluation du climat, 103p.
- Jouve P., 2010. Pratiques et stratégies d'adaptation des agriculteurs aux aléas climatiques en Afrique subsaharienne. Grain de sel. Agriculture et aléas climatiques: du terrain aux politiques (49-janvier-mars 2010) : 15-16.
- Kini J., 2007. Analyse des déterminants de l'adoption des technologies des eaux et des sols au Burkina Faso. DEA 2007 12^e Promotion Janvier, Université de Ouagadougou, 61 p. et annexes.
- Nicole Clot N., 2008. Changement climatique au Mali, introduction et développement du thème Changement climatique dans la Délégation Intercoopération Sahel, avril 2008, 27 p.
- OMVF (Office pour la mise en Valeur du système Faguibine), 2010. Rapport d'activités, exercice 2010.

- OMVF (Office pour la mise en Valeur du système Faguibine), 2011. Office pour la mise en valeur du système Faguibine (2011). Projet d'appui à la restauration et au développement du système Faguibine (PARF), décembre 2011.
- Ouédraogo M., Dembélé Y. & Somé L., 2010. Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations: cas des paysans du Burkina Faso. *Sécheresse*, 21(2), avril-mai-juin, 2010:87-96.
- Secteur Agriculture Goundam. Rapports annuels d'activités exercices 2001 à 2011.
- TREE-AID, 2014. Towards climate resilient agricultural and pastoral production systems: A synopsis of program design considerations under the constraints of select natural resources, capacity and climate in Burkina Faso, Mali and Niger, 47p.
- USAID/MSU, 2014. Adaptation de l'Agriculture au Changement Climatique dans le Sahel. Profils des pratiques de gestion agricole. Projet Résilience Africaine et Latino-Américaine au Changement Climatique (ARCC), août 2014, 64p.
- Woodfine A., 2009. L'Adaptation au Changement Climatique et l'Atténuation de ses effets en Afrique Subsaharienne au moyen des pratiques de gestion durable des terres. Guide d'orientation – version 1.0. TERRAFRICA. www.terrafrica.org.

CHAPITRE 3 :

Options techniques agricoles d'adaptation dans le système de culture pluviale

L'Agriculture de Précision : une option d'amélioration de la productivité des terres et du travail en zone soudano-sahélienne de l'Afrique de l'Ouest

Precision farming: An Option for Improving Land and Labor Productivity in the Sudano-Sahelian Zone of West Africa

Aune Jens Bernt¹, Coulibaly Adama² et Kamkam Woumou²

¹Département des Études Internationales pour le Développement et l'Environnement, Noragric, Université des Sciences de la Vie, Ås, Norvège

²Laboratoire Sol, Eau, Plante, Institut d'Économie Rurale - BP 258, Bamako, Mali

*Auteur pour la correspondance : jens.aune@nmbu.no

Résumé

Les agriculteurs de la zone sahélo-soudanienne sont confrontés à des difficultés liées à l'établissement des cultures, à la variabilité des précipitations, à une faible fertilité des sols et à des pénuries de main-d'œuvre en périodes de forte demande. Dans de telles conditions, il est important que les ressources soient utilisées de la manière la plus efficace possible. Il est examiné ici l'intensification agricole dans la zone sahélo-soudanienne en utilisant les principes de l'Agriculture de Précision. L'idée est de créer un microenvironnement favorable dans le poquet et d'assurer un semis et un sarclage aux moments opportuns. Dans le contexte de l'Agriculture de Précision dans la zone sahélo-soudanienne, cela signifie :

- 1) sélectionner de bonnes graines, tremper les semences et les traiter avec un insecticide/fongicide; le trempage des graines augmente le rendement de l'ordre de 20 à 30 % alors que le traitement phytosanitaire des semences augmente le rendement de 15 %;
- 2) appliquer les engrais minéraux à de très faibles doses: 0,3g par poquet permet d'augmenter le rendement de plus 50 %;
- 3) appliquer de façon précise les semences et les engrais par la mécanisation à l'aide d'un semoir à traction animale ou motorisée;
- 4) mécaniser les opérations agricoles plus fréquentes et trop chargées (semis et sarclage);
- 5) appliquer les techniques de captage de l'eau telles que les zaï et les cordons pierreux, importantes sur les sols qui s'encroûtent facilement avec des taux élevés de ruissellement;
- 6) utiliser les ressources agricoles avec parcimonie afin d'assurer une utilisation efficace de ressources limitées. Cela implique le microdosage de l'engrais sur différentes cultures (sorgho et mil) et sols, le semis séquentiel des cultures en fonction de leur sensibilité au semis retardé et à l'apport de fumure organique aux sols de faible fertilité.

Cette forme d'Agriculture de Précision représente une approche à faible coût pour l'intensification agricole qui permettra d'accroître la productivité des terres et du travail. L'approche est applicable à toutes les exploitations dans les zones sahéliennes et soudaniennes de l'Afrique de l'Ouest.

Mots-clés : intensification agricole, microdosage, mécanisation, semoir.

Abstract

Farmers in the Sudano-sahelian zone face challenges related to crop establishment, rainfall variability, low soil fertility and labor shortages during peak demand periods. In such circumstances, it is important that resources are used in the most efficient way. In this chapter, we discuss agricultural intensification in the Sudano-sahelian zone based on the principles of precision agriculture. The idea is to create a suitable microenvironment in the hole and ensure timely seeding and weeding. In the context of precision agriculture in the Sudano-sahelian zone, this means:

- (1) selecting good seeds, priming them and treating them with insecticide/fungicide; the priming of seeds increases the yield by 20-30%, whereas the phytosanitary treatment of seeds increases it by 15%;*
- (2) applying very low doses of mineral fertilizers: 0.3 g per hole makes it possible to increase the yield by more than 50%;*
- (3) a precise application of seeds and fertilizers through mechanization in the form of an animal- or mechanically-drawn seeder;*
- (4) more frequent and overloaded agricultural operations that can be achieved through a mechanization of sowing and weeding;*
- (5) using water harvesting techniques such as zaï and stone bunds which are important on soils that are easily encrusted and with high rates of runoff;*
- (6) using the scarce agricultural resources sparingly to ensure an efficiency. This may involve targeting micro-dosing to different crops (sorghum – more aggressive than millet) and soils, sequential planting of crops based on their susceptibility to delayed seeding and organic input to low fertility soils.*

This form of precision agriculture represents a low-cost approach to agricultural intensification that will help increase the productivity of land and labor. This approach is applicable to all farms in the Sudano-sahelian zone of West Africa.

Key words: agricultural intensification, micro-dosing, mechanization, seeder.

Introduction

L'Agriculture dans les zones sahélo-soudaniennes est pratiquée dans des conditions agro-écologiques difficiles caractérisées par de grandes variabilités des paramètres climatiques (pluviosité faible et imprévisible, températures élevées), la faible fertilité des sols et les attaques de nuisibles tels que les insectes, les maladies et les mauvaises herbes. Les producteurs sont aussi confrontés aux contraintes de capitaux, de main-d'œuvre et de pressions foncières. Les services publics d'encadrement manquent de moyens, ce qui entrave l'accès des producteurs à la vulgarisation, au crédit. Le caractère aléatoire des marchés rend difficile la planification des activités agricoles. Dans ces conditions, il est important de mettre au point pour les producteurs des pratiques agricoles qui permettent une utilisation efficiente/efficace des ressources et une réduction des risques. Dans ce document, le terme zone sahélo-soudanienne se réfère à la zone sahélienne et à la zone sahélo-soudanienne de l'Afrique de l'Ouest recevant respectivement 250-500 mm et 500 à 900 mm de pluie par an (FAO, 2006).

L'Agriculture de Précision est une approche qui améliore l'utilisation efficiente des ressources jusqu'ici mise en pratique seulement dans les exploitations commerciales. L'utilisation des prévisions météorologiques, du *Global Positioning System* (GPS) (Système mondial de positionnement), du Système d'Information Géographique (SIG), de la télédétection et de la mécanisation agricole avancée rend l'Agriculture de Précision de plus en plus attrayante pour les exploitants commerciaux (Tiwari et Jaga, 2012). L'utilisation efficiente des ressources est un important facteur de l'Agriculture de Précision en zone soudano-sahélienne dont une version plus simplifiée est l'objet du présent document.

Les avantages de l'Agriculture de Précision comprennent des opérations agricoles plus rapides (semis, application de pesticides, désherbage et récolte), une application de l'engrais et de l'irrigation tenant compte des propriétés du sol, de la pluviosité et des techniques de protection des cultures (Tiwari et Jaga, 2012). Les exploitants agricoles de la zone soudano-sahélienne utilisent déjà des éléments de l'Agriculture de Précision tels que les variétés à haut rendement, la bonne terre et le paillage sur des sols dégradés (Lamers *et al.*, 1998). Cependant, le concept de l'Agriculture de Précision est rarement utilisé dans le contexte de l'agriculture pluviale. Il y a une connaissance de base assez solide des contraintes agro-écologiques affectant l'agriculture en zone soudano-sahélienne et des technologies palliant ces contraintes ont été développées.

Ces technologies comprennent les variétés améliorées, le trempage des semences, le microdosage, l'épandage de fumier, le paillage, l'introduction d'arbres et la production

de fourrage (Schlecht *et al.*, 2006; Aune et Bationo, 2008). Cependant, malgré cette masse de connaissances et la disponibilité des technologies, l'adoption des pratiques agronomiques améliorées a été lente. Il semble qu'il y ait un défi pour mettre au point des technologies qui conviennent au système agricole existant. Les technologies comme le paillage et la plantation d'arbres sont particulièrement difficiles à mettre en œuvre en raison du système de pâturage libre qui prévaut dans la zone sahélo-soudanienne après la récolte des cultures.

La façon dont les cultures sont pratiquées dans la zone sahélo-soudanienne fait de l'Agriculture de Précision une option réalisable. Le sorgho et le mil qui sont les principales cultures dans la zone sont semés à une faible densité variant de 5 000 poquets par hectare dans une condition marginale sahélienne à 25 000 poquets par hectare dans des conditions plus favorables dans la zone soudanienne (Memento de l'agronome, 2009). Ces faibles densités de semis permettent d'appliquer l'intrant uniquement au poquet. Cela crée un microenvironnement aux alentours du plant où il y a une plus grande concentration de nutriments et de l'eau. Les ressources et les intrants sont rares dans les zones sahélienne et soudanienne et c'est donc une technique agronomique judicieuse qui consiste à concentrer les ressources/intrants à proximité du plant plutôt que d'épandre les intrants dans l'ensemble du champ. Cette pratique favorise les effets du traitement des semences, l'utilisation des engrais organiques et minéraux, l'utilisation de fongicides/insecticides et la mécanisation. Ce microenvironnement favorable peut assurer une levée rapide et uniforme de la culture, réduisant ainsi les ressemis.

L'Agriculture de Précision dans les régions sahélo-soudanienne devrait non seulement accroître le rendement et le revenu des producteurs mais aussi rendre l'agriculture moins vulnérable aux risques et réduire la charge de travail.

Ce document examine les études existantes sur la gestion des cultures et des sols dans les zones arides de l'Afrique de l'Ouest et fait la synthèse des résultats sur l'utilisation des principes de l'Agriculture de Précision. L'étude évalue comment les différentes technologies peuvent être combinées pour une plus grande productivité des terres et un allègement du travail.

L'agriculture dans la région sahélo-soudanienne est pratiquée dans des conditions agro-écologiques difficiles caractérisées par une forte variabilité des paramètres climatiques (précipitations insuffisantes, imprévisibles et températures élevées), une faible fertilité des sols, une attaque des ravageurs, des maladies et une infestation des mauvaises herbes. Les agriculteurs sont en outre confrontés à des contraintes de fonds (revenus), de main-d'œuvre et de terres. Les services publics manquent de moyens, limitant l'accès des

agriculteurs aux services de vulgarisation, aux infrastructures et au crédit. Les marchés sont imprévisibles, rendant difficile aux producteurs la planification de leurs activités agricoles. Dans de telles conditions, il est important de développer des pratiques agricoles qui rendent efficace l'utilisation des ressources et réduisent les risques pour les exploitations. La notion de zone sahélo-soudanienne est dans cet article définie comme étant la zone sahélienne et la sahélo-soudanienne de l'Afrique de l'Ouest recevant respectivement 250-500 mm et 500-900 mm de précipitations par an (FAO, 2006).

L'Agriculture de Précision est une approche visant à accroître l'efficacité de l'utilisation des ressources, mais elle est jusqu'ici principalement pratiquée dans les exploitations commerciales. Le développement de meilleures prévisions météorologiques, les systèmes de positionnement GPS, la technologie SIG, la technologie de télédétection et des machines agricoles plus perfectionnées font de l'Agriculture de Précision une activité de plus en plus attrayante pour les agriculteurs commerciaux (Tiwari et Jaga, 2012). L'utilisation efficace des ressources est également au centre de l'Agriculture de Précision dans la zone sahélo-soudanienne, mais ici c'est une version plus simplifiée de cette forme d'agriculture qui est présentée.

Principes de l'Agriculture de Précision dans la zone sahélo-soudanienne

Dans ce qui suit, seront discutés les principes de cette agriculture dans la zone sahélo-soudanienne fondés sur le traitement des semences, le microdosage, la gestion des matières organiques, le captage de l'eau et l'utilisation des prévisions météorologiques. La durabilité de l'approche proposée pour l'Agriculture de Précision dans la zone sahélo-soudanienne sera enfin discutée. Nous ne discuterons pas des possibilités d'utiliser des variétés améliorées, la télédétection et le GPS pour orienter la gestion de la fertilité des sols.

Traitement des semences

La bonne qualité de la semence est un fondement pour l'établissement uniforme et rapide de la culture. Une méthode qui est relativement nouvelle dans l'agriculture pluviale est le trempage des semences. Le trempage des semences a été testé au Mali et au Soudan avec de bons résultats et son effet est également documenté dans d'autres régions tropicales (Harris, 2006). Les résultats en zone sahélo-soudanienne ont montré que le trempage des semences de mil et de sorgho pendant huit heures dans l'eau avant le semis peut raccourcir le temps de germination d'un à deux jours et assurer une levée plus uniforme des cultures. Le trempage des semences s'est avéré particulièrement

efficace dans les conditions rigoureuses comme dans le Sahel (Aune *et al.*, 2012). Le trempage des semences peut être appliqué à la plupart des cultures vivrières en zone sahélo-soudanienne (Photo 1). Au Soudan, on a constaté que le trempage des semences augmentait le rendement par rapport au témoin en champs paysans de 107 kg/ha (32 %), 71 kg/ha (30 %), 135 kg/ha (18 %) et 86 kg/ha (26 %) respectivement pour le sorgho, le mil, l'arachide et le niébé (Aune et Ousman, 2011; Ousman et Aune, 2011). Les essais en station sur le trempage des semences au Mali ont montré que le trempage des semences augmentait le rendement de 159 kg/ha (19%) et de 99 kg/ha (30%) pour le sorgho et le mil respectivement. Le trempage des semences augmente donc le rendement de l'ordre de 20 à 30 % pour les principales cultures de la zone sahélo-soudanienne.



Photo 1 : Effets du trempage des semences sur le développement phénologique du sorgho en champ paysan, Konobougou, Ségou, Mali

Le trempage des semences peut commencer dès que l'humidité du sol permet de semer. S'il pleut le soir il est possible de commencer le trempage des semences pendant la nuit et semer le lendemain matin. Les semences doivent être séchées pendant environ une à deux heures après le trempage afin de faciliter le processus de semis manuel car cette courte période de séchage réduit l'adhérence des graines, facilitant ainsi le processus de semis. Les semences apprêtées peuvent être traitées après le trempage avec de l'insecticide/fongicide associé pour assurer une bonne protection pendant les premiers stades du développement de la culture (Photo 2).



Photo 2 : Semences traitées au fongicide/insecticide (Perméthrine 25 g/kg – Thirame 250 g/kg)

Les cultures en zones sahélienne et soudano-sahélienne sont également attaquées par de nombreux ravageurs et maladies. Il est moins coûteux et plus respectueux de l'environnement de traiter les graines au lieu de l'ensemble du champ avec des fongicides/pesticides. Au Mali, on a montré que le traitement des graines avec un insecticide/fongicide associé (Apron star ou Caïman rouge) donnait une augmentation moyenne du rendement du sorgho et du mil de 167 kg/ha (21 sites), ce qui correspondait à une augmentation de rendement de 15 % (Aune *et al.*, 2012).

La grosseur des graines a également été jugée importante pour l'établissement des cultures, car les grosses graines de mil qui avaient une levée plus rapide, augmentaient le poids sec des tiges et des racines secondaires plus que les graines moyennes et petites (Klajj et Hoogmoed, 1993). Une expérience en laboratoire sur le mil et le sorgho a également montré que des graines plus denses et plus grosses avaient un développement plus rapide de plantules (Mortlock et Vanderlip, 1989).

Microdosage d'engrais minéral

Le rendement des cultures en zone sahélo-soudanienne est principalement limité par les carences en azote (N) et en phosphore (P) (Schlecht *et al.*, 2006). L'importance de P par rapport à N comme facteur limitatif augmente dans les régions Nord de la zone sahélo-soudanienne avec moins de précipitations (Buerkert *et al.*, 2001).

Les recommandations d'engrais pour ce secteur sont largement basées sur la diffusion de l'engrais minéral. Depuis les années 1990, une plus grande attention a été accordée à l'application de l'engrais minéral en microdoses. Cette méthode consiste à appliquer une petite quantité d'engrais dans le poquet ou à proximité de celui-ci. Il s'agit d'une forme d'application précise de l'engrais menant à une utilisation plus efficace, à un rendement plus élevé et à une meilleure rentabilité économique. Il existe différentes façons de pratiquer le microdosage. Une méthode qui a été développée par l'ICRISAT dans les années 1990 consiste à appliquer 2 g de phosphate d'ammoniac ou 6 g de NPK par poquet. Si la densité de semis est de 10 000 poquets/ha, cela correspond à 20 kg de DAP ou 60 kg de NPK (15-15-15) par hectare. Ces doses ont donné une augmentation moyenne du rendement grains en milieu paysan au Niger d'environ 118 % pour le mil (Buerkert *et al.*, 2001). Une étude menée à travers le Mali, le Burkina Faso et le Niger a montré que le microdosage de 4 à 6 g de NPK par poquet (100 et 150 kg/ha) produisait des rendements supérieurs ou égaux à ceux de 100 à 125 kg d'engrais appliqués à la volée (Tabo *et al.*, 2006). En microdosage, pour le sorgho, le rendement a augmenté de 330 kg/ha et de 491 kg/ha dans la zone sahélienne (400-600 mm) et dans la zone sahélo-soudanienne (600 à 1 000 mm) respectivement (Tabo *et al.*, 2006).

Il apparaît donc que le microdosage peut être utilisé plus efficacement dans les zones les plus humides des terres arides de l'Afrique de l'Ouest.

La rentabilité économique du microdosage avec 2 g de DAP par poquet a récemment été remise en question par Bielder et Gérard (2015). Ces derniers ont constaté que 36% des parcelles de démonstration avaient un ratio valeur-coût inférieur à 1 (pas rentable) et pour les parcelles témoins à rendement élevé (> 400 kg/ha), 55% des parcelles avaient un ratio inférieur à 1. Ils indiquent que des doses de microdoses plus faibles peuvent être justifiées. Ils ont également montré que l'application des microdoses donne de meilleurs résultats lorsque les microdoses sont appliquées à des semis tardifs.

Une méthode à moindre coût pour le microdosage a été développée au Mali et au Soudan en utilisant des doses aussi petites que 0,2 g d'engrais par poquet. Cette méthode donne des rendements inférieurs à ceux des doses de 2 à 6 g par poquet, mais les dépenses en capital et les risques sont beaucoup moins élevés. Le rendement pour le mil au Mali a augmenté de 56% et 133% respectivement avec 0,3 g et 6 g d'engrais NPK 15-15-15 utilisé par poquet (Aune *et al.*, 2007). Pour le sorgho, le rendement a augmenté de 56% avec 0,3 g par poquet alors qu'il a augmenté de 74% avec la méthode de 6 g/poquet. Toutefois, le ratio valeur-coût (RVC) de ces expérimentations a varié de 3,4 à 11,9 pour 0,3 g/poquet alors que le RVC a varié de 0,43 à 1,17 avec 6 g/poquet d'engrais NPK. Cela confirme également la conclusion de Bielder et Gérard (2015) selon laquelle les doses d'application plus élevées de microdoses peuvent ne pas être rentables.

Différentes faibles doses de microdoses ont été testées dans l'État du Nord-Kordofan au Soudan avec des conditions agro-écologiques similaires à celles du Sahel ouest-africain. Ici, la dose d'engrais de 0,3 g par rapport à un témoin sans engrais a augmenté le rendement du mil et du sorgho de 33 et 50% respectivement (Aune et Ousman, 2011). Pour le sorgho, les doses supérieures à 0,9 g d'engrais/poquet ont augmenté le rendement tandis que pour le mil il n'y avait pas d'augmentation de rendement au-delà de 0,3 g d'engrais par poquet.

La recommandation de l'ICRISAT (2009) d'utiliser 2 g de DAP ou 6 g de NPK (donne la même quantité de P que 2 g de DAP) se traduira par une dose d'engrais assez élevée, en particulier quand il y a 25 000 poquets par hectare comme c'est le cas dans le centre du Mali. Cela correspond à 50 kg d'engrais/ha lorsque le DAP est utilisé ou 150 kg/ha lorsque le NPK est utilisé. Cette dernière dose est encore plus élevée que la recommandation nationale fondée sur l'épandage à la volée. La difficulté supplémentaire avec l'application des doses plus élevées est que la demande en main-

d'œuvre augmente car une personne supplémentaire est nécessaire pour appliquer l'engrais. Au Mali, on a constaté que la demande de travail au semis passe de 5 heures/ha pour l'application de 0,3 g à 14,6 heures/ha pour l'application de 6 g (Aune *et al.*, 2007). Lorsque de petites quantités comme 0,3 g d'engrais par poquet sont appliquées, il est possible de mélanger l'engrais et les semences dans un rapport 1:1 et ce mélange peut alors être semé. Un avantage supplémentaire est qu'il est possible de mécaniser l'application de cette faible dose d'engrais en utilisant le semoir traditionnel puisque l'engrais et les graines peuvent être mélangés et semés simultanément. Il est également possible de mécaniser l'application des doses d'engrais plus élevées, mais cela nécessite une application supplémentaire ou l'utilisation de semoirs à trémie séparée pour les semences et les engrais.

Les recherches au Mali et au Soudan ont montré que le trempage des semences et les microdoses d'engrais rendent le microdosage plus avantageux et sécurise l'investissement (Aune *et al.*, 2012 ; Aune et Ousman, 2011). Les doses moyennes de microdose de 0,3, 0,6 et 0,9 g/poquet augmentent le rendement du sorgho de 24 et 132 % par rapport au témoin absolu sans trempage (Aune et Ousman, 2011). Les rendements correspondants sur le mil ont augmenté de 18 et 55 % par rapport au semis sans trempage et au semis après trempage respectivement.

Une question relative au microdosage est la suivante : quel type d'engrais utiliser lorsque des microdoses plus élevées sont utilisées (> 2 g) ? Il est conseillé d'utiliser le DAP au lieu de NPK car le prix du kg de P est plus faible que dans les engrais NPK (Bielder et Gerard, 2015). Cependant, lorsque les semences et les engrais sont mélangés, il est recommandé d'utiliser l'engrais NPK parce que l'effet brûlant de cet engrais est plus faible (Aune *et al.*, 2007).

Semis mécanisés, épandage d'engrais et désherbage

Les semis manuels et mécanisés sont pratiqués dans la zone sahélo-soudanienne. Il existe des semoirs à traction animale, mais des semoirs motorisés simples ont également été développés par l'Institut d'Économie Rurale (IER) au Mali. Au Mali, le prix d'un semoir à traction animale et d'un semoir motorisé sont respectivement 110 et 800 euros. Pour les semis manuels, les paysans sèment généralement en prenant une pincée en utilisant le pouce et l'index. Il a été montré que le nombre de graines pour le sorgho et le mil était respectivement de 11 et 35 graines (Coulibaly, 2009). Le semis manuel donne aussi une grande variabilité du nombre de graines appliquées. Les semoirs peuvent fournir une densité, une profondeur de semis et un nombre de graines par poquet plus uniformes. Avec une densité de semis de 25 000 poquets à l'hectare, l'économie de

main-d'œuvre par la mécanisation par rapport au semis manuel est d'environ 80% (Coulibaly *et al.*, 2010). Le semoir permet de semer à une période plus optimale. La taille moyenne d'une exploitation au Mali est d'environ 4 hectares et le semis manuel prendra 48 heures si la densité de semis est de 25 000 poquets par hectare. Les semis sont donc souvent retardés si les semis mécanisés ne sont pas disponibles.

La mécanisation facilite également l'application des engrais. Si les doses d'engrais de l'ordre de 0,3 g par poquet sont utilisées, il est possible de mélanger les semences et les engrais dans la trémie du semoir, permettant ainsi l'application simultanée des graines et de l'engrais. Cela ne nuit pas à la semence tant que la dose d'engrais est faible. Des doses plus élevées d'engrais peuvent également être appliquées par l'utilisation du semoir, mais dans ce cas, les applications d'engrais doivent être entreprises dans une opération séparée. Un autre avantage du semis mécanisé est que les agriculteurs évitent le contact direct avec les pesticides lors du semis des semences traitées (Photo 3).



Photo 3 : Opérations de semis manuel, mécanique et motorisé en milieu paysan, région de Koulikoro

Le semoir en usage au Mali peut également être utilisé pour le désherbage en montant les dents de sarclage sur celui-ci. Traditionnellement, les mauvaises herbes sont enlevées manuellement, mais c'est une opération laborieuse et le sarclage est souvent fait trop tard. Même si le sarclage mécanique est pratiqué, un sarclage manuel complémentaire est nécessaire entre les poquets (Photo 4).



Photo 4 : Renforcement des capacités des producteurs : (a) trempage, (b) semoir motorisé et (c) sarclage motorisé, 2015

Les mauvaises herbes parasitiques comme le striga sont des facteurs importants de réduction du rendement dans l'agriculture en zone sahélo-soudanienne. Cette réduction est particulièrement associée à la faible fertilité du sol. On a trouvé des microdoses qui réduisent le problème de l'infestation par le striga, car il semble que la culture croît plus vite si le microdosage est pratiqué (Aune *et al.*, 2007).

Travail du sol et méthodes de captage de l'eau

Le labour du sol tout comme le buttage ont été créés pour augmenter le rendement par la création d'un lit de semis rugueux qui peut protéger les plantules, réduire la formation de croûtes et promouvoir le développement racinaire (Klaij et Hoogmoed, 1993). L'avantage du travail du sol est généralement plus élevé dans les sols lourds (Pingali *et al.*, 1987). Les sols sablonneux de la zone sahélo-soudanienne ne sont souvent pas labourés avant le semis.

Le captage de l'eau est particulièrement important sur les sols avec des coefficients de ruissellement élevés qui s'encroûtent facilement. Le zaï est une forme de cuvette de semis qui est faite en creusant une fosse d'un diamètre de 20 à 40 cm et de 10 à 20 cm de profondeur (Roose *et al.*, 1999). Le fumier et le compost sont souvent ajoutés au zaï. Le zaï crée un microenvironnement avec une plus grande disponibilité en eau et en nutriments. Le zaï a été développé à l'origine dans la région du Yatenga au Burkina Faso, mais a été introduit plus tard au Mali et au Niger. Sur un alfisol dégradé dans la région de Yatenga au Burkina Faso, on a montré que le témoin absolu (culture sans zaï), le zaï, le zaï + 3 tonnes de fumier/ha et le zaï + NPK (10 kg et 20 kg/ha) ont donné une augmentation de rendement sur deux ans de 43, 90, 474 et 619 kg/ha respectivement (Roose *et al.*, 1999). Ceci illustre le fait qu'il ne suffit pas de creuser les zaïs, mais l'application de nutriments végétaux à partir de compost ou d'engrais minéral est nécessaire. Les résultats du Niger (Fadondji *et al.*, 2006) et une autre étude au Burkina Faso (Sawadogo *et al.*, 2008) confirment l'importance d'ajouter des nutriments végétaux au zaï. Une application d'engrais a augmenté le rendement même en année sèche, probablement à cause de la stimulation de croissance des racines, effets des nutriments. Creuser les zaïs est un processus exigeant de la main-d'œuvre (300 heures/ha) (Roose *et al.*, 1999) et ce facteur, en plus de la disponibilité limitée de fumier, est une contrainte à son adoption (Wildemeersch *et al.*, 2013). Le type de sol peut aussi influencer le temps et la pénibilité pour creuser les zaïs.

D'autres techniques de captage d'eau comme les cordons pierreux et les billons cloisonnés peuvent être employées pour réduire le ruissellement et pour concentrer l'eau à proximité du plant. C'est surtout sur un sol lourd que les billons cloisonnés peuvent être bénéfiques (Kouyaté *et al.*, 2000).

Intrants organiques en Agriculture de Précision

Un facteur clé pour la durabilité de l'agriculture en zone sahélo-soudanienne est de restaurer autant que possible la matière organique du sol afin de maintenir et d'améliorer ses propriétés chimiques, physiques et biologiques (Buerkert *et al.*, 2000). L'apport important de carbone dans les sols des terres arides peut se faire sous forme de fumier de ferme (ordures ménagères des exploitations), de compost, de résidus des récoltes et de paillis provenant d'arbres ou de racines en décomposition de la culture précédente. Il semble que, sous le système actuel de pâturage libre, la plus grande partie de l'apport en carbone au sol doit provenir du fumier de ferme/compost en plus des racines de la culture précédente. L'utilisation du fumier comme principal apport de carbone est également plus compatible avec la mécanisation de l'agriculture. Les semoirs qui sont utilisés actuellement au Mali ne peuvent pas semer sur un paillis profond. L'utilisation des résidus de culture comme amendement du sol a de nombreuses vertus, mais leur valeur élevée en tant que fourrage dans les conditions sahéliennes les rend moins attrayants pour les agriculteurs à cet effet. La valeur des résidus de culture dépend du prix du lait et de la viande, de l'importance du fumier de ferme, du rôle des résidus de récolte dans l'alimentation des animaux de trait et de son importance pour assurer la survie des animaux (Turmel *et al.*, 2015).

Le fumier est une ressource dont l'approvisionnement est limité et sa qualité est fortement variable (Harris 1999). Les doses recommandées sont de l'ordre de 3 à 5 tonnes/ha (Harris, 1999) et l'effet de son application peut durer plusieurs années (Schlect et Hiernaux, 2004 ; Bielder et Gerard, 2015). Le fumier peut être apporté par application directe à partir des déjections du bétail ou appliqué en utilisant le fumier disponible dans l'enclos. La gestion améliorée du fumier peut être le résultat d'un processus d'intensification qui se déroule avec l'augmentation de la densité de population et de la réduction des pâturages (Harris, 1999). Une question importante dans l'Agriculture de Précision est de savoir comment augmenter la quantité et la qualité du fumier et d'appliquer le fumier de la manière la plus efficace. Plus de fumier peut être mis à disposition grâce à une meilleure intégration de la production de cultures et de bétail, à une meilleure production de fourrage et à une méthode de collecte améliorée de fumier (Harris, 1999). Des systèmes d'élevage plus intensifs sont toutefois plus exigeants en raison de la nécessité de récolter et de transporter les fourrages et de l'abreuvement des animaux. La qualité du fumier peut être augmentée en améliorant la qualité du fourrage et en utilisant de la litière sous les animaux pour recueillir plus d'urine et en protégeant l'enclos du vent et des pluies (Nzuma et Murwira, 2000). En utilisant la paille comme litière dans l'enclos, on a constaté que les pertes d'ammonium étaient réduites de 80 %. Si les animaux doivent paître les résidus des cultures dans le

champ, cela devrait se faire de préférence juste avant les semis afin de réduire la perte d'azote.

Puisque le fumier est une ressource très précieuse et une ressource en quantité limitée, il est avantageux d'appliquer le fumier en microdoses (Photo 5). Lors de l'essai des doses de 1 000, 2 000 et 3 000 kg/ha de fumier épandus uniformément ou en microdosage, il a été constaté que le placement dans un poquet du fumier donnait 88 kg/ha de plus de rendement que l'épandage à la volée du fumier (Ibrahim *et al.*, 2015). On a montré que le fumier placé dans le poquet stimulait davantage le développement racinaire que l'épandage à la volée du fumier. Le meilleur traitement a été 2000 kg de fumier/ha à raison de 200 g placés par poquet en combinaison avec 20 kg/hectare de DAP placés en microdoses par poquet. Le placement du fumier par poquet est une pratique locale au Mali qui a été observée par les auteurs de ce document.



Photo 5 : Fumures organique et minérale apportées en microdoses, Sotuba, 2014

Même s'il semble difficile de pratiquer le paillis à grande échelle avec des résidus de cultures dans les conditions actuelles en zone sahélo-soudanienne, il est toujours important de promouvoir son utilisation car il est bien documenté que l'utilisation de résidus des cultures comme paillis peut contribuer à améliorer, produire et reconstituer la qualité du sol (Buerkert *et al.*, 2000). L'utilisation des résidus de récoltes comme paillis (2 tonnes/ha) a augmenté les rendements de plus de 60 % (Rebafka *et al.*, 1994) et l'emploi d'engrais minéraux combinés au paillis peut contribuer à la reconstitution de la matière organique du sol et à l'augmentation des rendements. L'utilisation des résidus des cultures comme paillis peut devenir plus réaliste si le rendement augmente (Valbuena *et al.*, 2016; Bationo *et al.*, 1991), si des ressources fourragères alternatives sont développées ou si la traction motorisée remplace la traction animale (Baudron *et al.*, 2015). L'Agriculture de Précision, y compris la mécanisation motorisée, fait donc de l'usage de paillis une alternative plus faisable.

Les cultures dans la zone sahélo-soudanienne sont typiquement réalisées dans un parc caractérisé par des arbres épars. Ces arbres produisent de multiples avantages économiques et écologiques. Les arbres économiquement importants comprennent

Adansonia digitata, *Faidherbia albida*, *Vitellaria paradoxa* et *Parkia biglobosa* entre autres (Bayala *et al.*, 2015). Un effet bien établi est celui de *Faidherbia albida* sur les cultures comme le mil. Sur le mil au Niger, on a trouvé que le rendement sous la canopée de l'arbre est de 36% supérieur à celui de l'extérieur de la canopée (Kho *et al.*, 2001). Cet arbre a une phénologie inverse: il laisse tomber ses feuilles au début de la saison des pluies, limitant ainsi l'effet d'ombrage de l'arbre sur les cultures.

Au cours des dix dernières années, il a été de plus en plus intéressant d'utiliser les arbustes indigènes *Guiera senegalensis* et *Piliostigma reticulatum* pour le paillis. Ces arbustes ont des racines profondes limitant la compétition pour l'eau entre l'arbuste et la culture associée. Ces arbres ont des feuilles peu consommées par les animaux, ce qui empêche que ceux-ci soient broutés excessivement. Les arbres peuvent être taillés au début de la saison des pluies, les tiges et les brindilles sont laissées sur le sol. Après un certain temps, les fermiers peuvent collecter les tiges et les utiliser comme bois de chauffe. Au Sénégal, on a constaté que le paillis des parcelles avec *Guiera senegalensis* augmentait les rendements de mil de 212 kg/ha (Dossa *et al.*, 2012) par rapport aux parcelles sans arbres et sans paillis. La réponse à l'engrais augmentait aussi lorsque l'arbre était présent. La contrainte avec ce système est sa demande en main-d'œuvre et sa non compatibilité avec les opérations agricoles mécanisées. C'est particulièrement le cas des systèmes à base d'arbustes qui ont une densité plus élevée qu'un système parc à *Faidherbia albida*.

Gestion du temps et des ressources agricoles

Les agriculteurs prennent des décisions sur la gestion des ressources agricoles en tenant compte de la variabilité des conditions du sol et de la capacité des différentes cultures à s'adapter aux différentes conditions du sol. Les agriculteurs doivent en outre faire face à une forte variabilité des conditions climatiques entre les années d'adaptation des exploitations agricoles. Des résultats de la recherche qui peuvent aider les agriculteurs à gérer de manière différenciée les ressources agricoles dans l'espace et dans le temps commencent maintenant à apparaître dans les zones arides de l'Afrique de l'Ouest. Cette gestion peut inclure des décisions concernant l'ordre dans lequel les cultures sont semées, le moment opportun de semer, dans quel champ et sur quelles cultures appliquer l'engrais et la séquence des cultures en rotation. Cette gestion différenciée est particulièrement importante dans les terres arides parce que les ressources sont très rares et que les agriculteurs ne peuvent pas se permettre de les gaspiller.

L'un des principaux problèmes de localisation des ressources est l'ordre dans lequel les cultures sont semées car les temps optimum de semis des cultures dans la zone sahélo-

soudanienne diffèrent. Lors de l'essai de trois dates de semis différentes dans le Sud du Mali, on a constaté que les rendements du maïs et du sorgho sont réduits lorsque le semis est retardé à juillet alors que pour le mil on obtient l'effet inverse (Traoré *et al.*, 2014). Les rendements moyens de sorgho pour les deux premiers semis étaient de 88 % plus élevés que pour les semis tardifs. Il semble donc que le rendement du sorgho et du maïs soit plus sensible aux semis tardifs que le mil et que les paysans doivent donc semer ces cultures en premier. Le rendement de la paille est toutefois plus élevé pour toutes ces cultures pour une date de semis précoce.

Les agriculteurs n'ont pas les ressources financières nécessaires pour appliquer de l'engrais sur toutes leurs cultures. Le sorgho et l'arachide semblent valoriser les microdoses plus que le mil et le niébé comme il a été trouvé dans l'État du Kordofan-Nord du Soudan. Les RVC les plus élevés obtenus pour le sorgho, l'arachide, le mil et le niébé étaient de 11,9, 9,1, 6,6 et 1,8 respectivement (Aune et Ousman, 2011 ; Ousman et Aune, 2011). Au Mali, on a aussi constaté que le sorgho donnait plus de rendement avec le microdosage que le mil (Aune *et al.*, 2007).

Une autre question importante de la répartition des ressources est de savoir sur quel type de sol appliquer l'engrais. Les résultats du Niger indiquent que si les agriculteurs n'ont pas les ressources suffisantes pour appliquer l'engrais sur tous les champs, il est préférable d'appliquer l'engrais minéral dans les champs à forte productivité (souvent des champs proches des cases) par rapport aux champs à faible productivité (Fofana *et al.*, 2008 ; Lamers *et al.*, 1998). Le risque que le microdosage puisse causer l'extraction d'éléments nutritifs sera également moindre si le microdosage est appliqué à ces champs de case parce que les producteurs appliquent la plupart du fumier de ferme sur de tels champs. La récupération de l'engrais P a été presque deux fois plus élevée dans les champs autour des cases que dans les champs éloignés. Des études menées au Niger et au Burkina Faso sur le microdosage ont également montré que le risque de perte du microdosage diminuait à mesure que le rendement moyen du site augmentait (Buerkert *et al.*, 2001). Bielder et Gerard (2015) ont constaté d'un autre côté que l'augmentation du rendement grain était plus élevée dans les parcelles où le rendement du témoin était inférieur à 400 kg/ha par rapport aux parcelles où les rendements témoins étaient supérieurs à 400 kg/ha. Les parcelles du témoin à rendement élevé dans cette étude étaient surtout des parcelles avec du fumier, ce qui pourrait expliquer la faible réponse au microdosage. Les parcelles de fumier peuvent recevoir dans l'ordre de 10 tonnes de fumier/ha, ce qui est bien au-dessus des exigences pour l'approvisionnement en nutriments des plantes (Bielder et Gerard, 2001). On peut en conclure que le résultat ou l'effet du microdosage est le plus élevé sur les sites ayant une fertilité relativement

bonne telle que les champs loin des exploitations, mais les domaines qui sont bien fournis en fumier n'ont pas besoin d'une application de microdoses.

Au Niger, les agriculteurs ont utilisé une gestion différenciée du fumier de ferme (Schlecht et Burkert, 2004). Les agriculteurs appliquent généralement ces amendements au sol de faible fertilité et au sol des plateaux.

Il semble également y avoir une possibilité d'utiliser des positions spéciales dans une rotation des cultures pour augmenter le rendement. Dans la zone de production cotonnière au Sud du Mali, il a été démontré que la rotation du maïs et du niébé de façon additive s'améliorait après le maïs ou le coton qui sont les cultures bien fertilisés (Falconnier *et al.*, 2016). De cette façon, dans la rotation du maïs et du niébé associé, il n'y a pas eu de réduction de rendement du maïs alors que le niébé a fourni un avantage supplémentaire au sol par rapport à la culture de celui-ci. Cette étude a également montré que le niébé fourrager est beaucoup plus productif sur le sol lourd que sur un sol gravillonnaire.

L'utilisation des prévisions météorologiques est un élément important de l'Agriculture de Précision dans le secteur agricole commercial. En utilisant les prévisions météorologiques, les agriculteurs peuvent ajuster le temps des exploitations agricoles, le type de culture et la variété à cultiver, la densité de semis, les doses d'engrais organique et minéral, décider des mesures de protection des cultures, sur le contrat foncier et décider du moment de vendre les récoltes (Hansen, 2005) (Photo 6).



Photo 6 : Utilisation du téléphone portable par de jeunes agriculteurs pour s'informer des données météorologiques, pour la planification des travaux agricoles

Des prévisions météorologiques saisonnières sont disponibles pour l'Afrique de l'Ouest à travers les forums de PRESAO (Prévisions Saisonnières en Afrique de l'Ouest). Cette prévision donne une estimation de la probabilité pour les précipitations cumulatives dans la prochaine saison. Cette estimation indique si la précipitation va être en dessous, proche ou au-dessus de la normale à long terme. Les prévisions météorologiques décennales sont fournies par le Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT). Les prévisions météorologiques peuvent être fournies aux agriculteurs par la radio, par SMS et par des agents de vulgarisation. Un exercice

participatif avec des agriculteurs sénégalais au moyen d'un exercice de simulation avec des prévisions décennales et saisonnières a montré que les prévisions décennales étaient les plus utiles pour les agriculteurs (Roudier *et al.*, 2014). L'utilisation des prévisions a permis une augmentation de rendement dans 1/3 des cas, alors que seulement quelques cas de pertes ont été observés lorsque les agriculteurs ont ajusté leurs activités agricoles en fonction des prévisions météorologiques. Les agriculteurs ont ajusté leurs pratiques agricoles lorsqu'ils ont reçu les prévisions météorologiques en changeant la date de semis, la variété et par l'utilisation du fumier et de l'engrais minéral. L'utilisation des prévisions météorologiques pour décider de l'exploitation agricole devrait croître dans les conditions arides.

Durabilité de l'Agriculture de Précision

Les technologies proposées dans le cadre de l'Agriculture de Précision dans cet article comme le trempage des semences, le traitement des semences, le microdosage, le compost ou la fumure organique et le captage de l'eau sont des techniques rentables pour augmenter les rendements dans les conditions de la zone sahélo-soudanienne. Ces techniques augmentent les rendements en assurant un établissement des cultures plus uniforme et en favorisant le développement racinaire. Lors de l'évaluation de la durabilité de ces techniques, il est apparu l'importance de tenir compte de leurs dimensions environnementales, économiques et sociales. Le microdosage a été mis en doute avec comme motif qu'il peut mener à l'extraction d'éléments nutritifs (Camara *et al.*, 2013). Toutefois, la durabilité d'une technologie ne peut se fonder uniquement sur le bilan des éléments nutritifs, mais il faut tenir compte surtout de l'effet global de la technologie dans le système agricole. Le microdosage peut être considéré comme un point d'entrée dans l'intensification agricole. Pour les agriculteurs, il est plus judicieux d'utiliser les doses d'engrais avec le meilleur retour à l'investissement. Le microdosage avec 0,3 g par poquet est nettement supérieur à l'application de 6 g d'engrais par poquet (Aune *et al.*, 2007). Toutefois, au fil du temps, il est probable que des doses d'engrais supérieures à 0,3 g par poquet soient nécessaires.

Lorsque les agriculteurs d'autres parties du monde ont commencé à utiliser des engrais, ils n'ont pas débuté avec une dose d'application équilibrée, mais ont plutôt utilisé des doses d'engrais qui étaient abordables et rentables. Un récent rapport d'évaluation de l'introduction du microdosage et du trempage des semences au Mali a montré que le rendement a augmenté entre 50 et 100% dans les champs paysans (Djiga, 2015). Les agriculteurs pratiquant ces technologies ont créé un excédent qui leur a permis d'acheter plus d'animaux et des charrettes. Ceci augmente à son tour la disponibilité de fumier et facilite ses transports. La sécurité alimentaire s'est améliorée et une

spirale de développement positive a été créée, caractérisée par une production accrue, un renforcement de la production agricole et enfin une augmentation de la sécurité alimentaire. Nous prétendons que la durabilité à long terme d'une pratique est plus associée à sa capacité de créer un excédent même si son effet isolé est un équilibre nutritionnel négatif.

L'intégration des légumineuses à graines dans le système de culture, soit en tant que culture associée, soit en rotation, a été préconisée pendant des décennies comme une méthode pour augmenter le revenu des agriculteurs, fournir du fourrage et la fixation de l'azote. Toutefois, les agriculteurs continuent d'utiliser le système traditionnel avec une faible densité de plants pour les légumineuses à graines (Schlecht *et al.*, 2006). L'un des problèmes liés à la culture des légumineuses à graines est la forte demande de main-d'œuvre associée à leur culture. La distance entre les lignes pour l'arachide est de 40 cm et cela signifie qu'il y a 25 km de lignes d'arachide par hectare. Le semis manuel de l'arachide est un travail très exigeant et le semis est pour cette raison souvent retardé. Il est donc probable que la mécanisation rendra plus intéressant pour les agriculteurs le fait d'étendre la culture de l'arachide et d'autres légumineuses à grains et contribuer ainsi à un équilibre nutritionnel plus positif.

Conclusion

Il est préconisé une forme d'Agriculture de Précision qui se concentre sur le traitement des semences afin de permettre l'établissement sûr et rapide des cultures et de créer un microenvironnement avec des conditions de croissance favorables à proximité des graines semées. Cela peut être obtenu par la sélection de grosses graines, l'utilisation de semences trempées, le traitement des semences à l'insecticide/fongicide et l'application de microdoses d'engrais minéral et de fumier. Ces méthodes devraient en outre être combinées avec la mécanisation du semis et du sarclage afin de réaliser des opérations agricoles plus rapidement et un espacement plus correct des plantes, une profondeur appropriée de semis et un nombre uniforme de graines par poquet. En combinant ces techniques pour l'intensification biologique/chimique avec la mécanisation, une double intensification sera obtenue, caractérisée par une plus grande productivité des terres et du travail. Les agriculteurs devraient en outre différencier la gestion des ressources agricoles en tenant compte de la variabilité du sol et de la capacité des différentes cultures de faire une utilisation efficace des conditions de sol améliorées. Parmi les exemples de cette gestion différenciée, mentionnons l'ordre dans lequel les cultures sont semées et sur quel type de champs (de cases ou champs éloignés) appliquer les microdoses si l'engrais est en quantité limitée et la position des différentes cultures

dans une rotation. En prenant ces facteurs en considération, il est possible d'accroître l'efficacité de l'utilisation des ressources et une plus grande rentabilité.

Ces technologies et ces approches peuvent être considérées comme un paquet de départ pour l'intensification agricole. Différentes technologies peuvent être ajoutées à ce paquet de départ comme la rotation des cultures avec des légumineuses à graines, l'épandage de l'urée au tallage, l'épandage de fumier complémentaire, le paillis et l'agroforesterie selon les possibilités et les ressources de l'agriculteur. La recherche agricole en Afrique s'est depuis longtemps concentrée sur les technologies d'amélioration du rendement. Nous pensons que le temps est venu d'envisager également l'utilisation des technologies utilisant moins de main-d'œuvre. L'agriculture est souvent associée à la corvée et l'accent mis sur l'amélioration des technologies utilisant moins de main-d'œuvre en combinaison avec les technologies d'amélioration du rendement augmentera vraisemblablement l'attractivité de l'agriculture, ce qui contribuera à rendre les jeunes plus intéressés par l'investissement dans le développement agricole.

Références

- Aune J.B., Doumbia M., Berthé A., 2007. Microfertilizing sorghum and pearl millet in Mali. Agronomic, economic and social feasibility. *Outlook Agr* 36: 199-203.
- Aune J.B., Bationo A., 2008. Agricultural intensification in the Sahel-the ladder approach. *Agr Syst* 98:119-125.
- Aune J.B., Ousman A., 2011. Effect of seed priming and micro-dosing of fertilizers on sorghum and pearl millet in Western Sudan. *Experimental Agriculture* 47 (3): 419-430.
- Aune J.B., Traoré C.O., Mamadou S., 2012. Low-cost technologies for improved productivity of dryland farming in Mali. *Outlook Agr* 41(2): 103-108.
- Bayala J., Sanou J., Teklhaimanot Z., Ouedraogo S.J., Kalinganire A., Coe R., van Noordwijk M., 2015. Advances in knowledge of processes in soil-tree-crop interaction in parkland systems in the West African Sahel: A review. *Agr Ecosyst Environ* 205: 25-35.
- Bielders C.L., Gerard B., 2015. Millet response to microdosing fertilization in south-western Niger: Effect of antecedent fertility management and environmental factors. *Field Crop Res* 171:165-175.
- Buerkert A., Bationo A., Dossa K., 2000. Mechanisms of residue mulch-induced cereal growth increases in West Africa. *Soil Sci Soc Am J* 64: 346-358.
- Buerkert A., Bationo A., Piepho H.P., 2001. Efficient phosphorus application strategies for increase crop production in sub-Saharan West Africa. *Field Crop Res* 72:1-15.

- Camara B.S., Camara F., Berthé A., Oswald A., 2013. Micro-dosing of fertilizer - a technology for farmers' needs and resources. *Int. J. Agri Science* 3: 387-399.
- Coulibaly A., Aune J.B., Sissoko P., 2010. Etablissement des cultures vivrières dans les zones sahélienne et soudano-sahélienne du Mali. Dryland Coordination Group Report n°. 60, 51p. http://drylands-group.org/assets/documents/Publications/1045-gcoza_rapport_no._60.pdf. Accessed 13 May 2016.
- Djiga A., 2015. Evaluation d'impact du projet d'établissement des cultures vivrières dans les zones sahéliennes et soudano-sahéliennes du Mali. Dryland Coordination Group, Oslo. <http://drylands-group.org/assets/documents/Impact-Evaluation-Mali-FINAL.pdf>. Accessed 13 May 2016.
- Dossa E.L., Diedhiou I., Khouma M., Sene M., Lufafa A., Kizito F., Samba S.A.N., Badiane A.N., Diedhiou S., Dick R.P., 2012. Crop Productivity and Nutrient Dynamics in a Shrub (*Guiera senegalensis*)–Based Farming System of the Sahel. *Agron J* 104:1255-1264.
- DNSI, 1994. Enquête malienne de conjoncture économique et sociale. MLI-DNSI-EMCES-1994- v01.
- Falconnier G., Descheemaeker K., van Mourik T., Giller K., 2016. Unravelling the causes of variability in crop yields and treatment responses for better tailoring of options for sustainable intensification in southern Mali. *Field Crop Res* 187:113-126.
- FAO, 2006. Sahel weather and crop situation report. Report 3-08 August 2006. <http://www.fao.org/docrep/009/j8124e/j8124e00.htm> Accessed 13 May 2016.
- Fofana B., Wopereis M.C.S., Bationo A., Breman H., Mando A., 2008. Millet nutrient use efficiency as affected by natural soil fertility, mineral fertilizer use, and rainfall in the West African Sahel. *Nutr Cycl Agroecosyst* 81: 25-36.
- Fatondji D., Martius C., Biolders C.L., Vlek P.L.G., Bationo A., Gerard B., 2006. Effects of planting technique on pearl millet yield, nutrient uptake, and water use on degraded land in Niger. *Nutr Cycl Agroecosyst* 76: 203-217.
- Hansen J.W., 2005. Integrating seasonal climate prediction and agricultural models for insights into agricultural practice. *Phil. Trans. R. Soc. B* 360: 2037-2047.
- Harris D., 2006. Development and testing of “on-farm” seed priming. *Adv in Agron* 90:129-178.
- Ibrahim A., Abaidoo R.C., Fatondji D., Opoku A., 2015. Hill placement of manure and fertilizer micro-dosing improves yield and water use efficiency in the Sahelian low input millet-based cropping system. *Field Crop Res* 180:29-36.
- ICRISAT, 2009. Fertilizer microdosing. Boosting production in unproductive lands. <http://www.icrisat.org/impacts/impact-stories/icrisat-is-fertilizer-microdosing.pdf>. Accessed 13 May 2016.

- Kho R.M., Yacouba B., Yayé M., Katkoré B., Moussa A., Iktam A., Mayaki A., 2001. Separating the effects of trees on crops: the case of *Faidherbia albida* and millet in Niger. *Agroforest Syst* 52:219-238.
- Klajj M.C., Hoogmoed W.B., 1993. Soil management for crop production in African Sahel. II. Emergence, establishment and yield of pearl millet. *Soil Till Res* 25:301-355.
- Konaté M., 1984. Etude de l'environnement avec référence spéciale au climat des zones de culture du sorgho et du mil des régions tropicales semi-arides d'Afrique occidentale. In *Agro meteorology of Sorghum and Millet in the Semi-Arid Tropics*. Proceedings of the International Symposium, ICRISAT Center Patancheru, India 15-20 Nov., 1982.
- Kouyate Z., Franzluebbbers K., Juo A.S.R., Hossner L.R., 2000. Tillage, crop residue, legume rotation, and green manure effects on sorghum and millet yields in the semi-arid tropics of Mali. *Plant Soil* 225:141-151.
- Lamers J.M., Bruentrup N., Buerkert A., 1998. The profitability of traditional and innovative mulching techniques using millet crop residues in the West African Sahel. *Agr Ecosyst Environ* 67: 23-35.
- Mortlock M.Y., Vanderlip R.L., 1989. Germination and establishment of pearl millet and sorghum of different seed qualities under high temperature environments. *Field Crop Res* 22: 195- 209.
- Memento de l'agronome, 2009. CIRAD-GRET, Ministère des Affaires Etrangères, France, 1691 p.
- Norton R.D., 2003. *Agricultural Development Policy: Concepts and Experiences*. Willey, 540 p.
- Nzuma J.K., Murwira H.K., 2000. Improving the management of manure in Zimbabwe. *Managing Africa's Soils*, No. 15. London: International Institute for Environment and Development. <http://pubs.iied.org/pdfs/X169IIED.pdf>. Accessed 13 May 2016.
- Ousman A., Aune J.B., 2011. Effect of seed priming and micro-dosing of fertilizer on groundnut, sesame and cowpea in Western Sudan. *Exp Agr* 47:431-443.
- Pingali, P., Bigot, Y., Binswanger H.P., 1987. *Agricultural mechanization and the evaluation of farming systems in sub-Saharan Africa*. The John Hopkins University Press, 216 p.
- Rebafka F.P., Hebel A., Bationo A., Stahr K., Marschner H., 1994. Short-term and long-term effects of crop residues and of phosphorus fertilization on pearl-millet yield and on an acid soil in Niger, West Africa. *Field Crop Res* 36: 113-124
- Roudier P., Muller B., 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 Manag* 2: 42–55.

- Roose E., Kaboré V., Guenat C., 2008. Zaï Practice: A West African traditional rehabilitation system for semiarid degraded lands, a case study in Burkina Faso. *Arid Soil Res Rehab* 13:343-355.
- Sawadogo H., Bock L., Lacroix D., Zombré N.P., 2008. Restauration des potentialités de sols dégradés à l'aide du zaï et du compost dans le Yatenga (Burkina Faso). *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 2008 12: 279-290.
- Schlecht E., Buerkert A., 2004. Organic input and farmers' management strategies in millet fields of western Niger. *Geoderma* 121: 271-289.
- Schlecht E., Hiernaux P., 2004. Beyond adding up input and output: process assessment and upscaling in nutrient modeling flows. *Nutr Cycl Agroecosys* 70:303-319.
- Schlecht E., Buerkert A., Tielkes E., Bationo A., 2006. A critical analysis of challenges and opportunities for soil fertility restoration in Sudano-Sahelian West Africa. *Nutr Cycl Agroecosys* 76: 109-136.
- Tabo R., Bationo A., Maimouna K.D., Hassan O., Koala S., 2006. Fertilizer micro-dosing for the prosperity of small-holders farmers in the Sahel: Final report. Global Theme on Agroecosystems Report No. 23. PO. Box 12404, ICRISAT, Niamey, 28 pp.
- <http://ejournal.icrisat.org/mpii/v3i1/pdfs/24-2006.pdf>. Accessed 13 May 2016.
- Tiwari A., Jaga P.K., 2012. Precision farming in India – a review. *Outlook Agr* 41:139-143.
- Traoré B., van Wijk M.T., Descheemaeker K., Corbels M., Rufino M.C., Giller K., 2014. Evaluation of climate adaptation options for Sudano-Sahelian cropping systems. *Field Crop Res* 156: 63-75.
- Turmel M.S., Speratti A., Baudron F., Verhulst N., Govaerts B., 2015. Crop residue management and soil health: A systems analysis. *Agr Syst* 134:6-16.
- Valbuena D., Tui S.H.K., Erenstein O., Teufel N., Duncan A., Abdoulaye T., Swain B., Mekonnen K., Germaine I., Gerard B., 2015. Identifying determinants, pressures and trade-offs of crop residue use in mixed smallholder farms in Sub-Saharan Africa and South Asia. *Agr Syst* 134: 107-118.
- Wildemeersch J.C.J., Timmerman E., Mazijn B., Sabiou M., Ibro G., Garba M., Cornelis W., 2013. Assessing the Constraints to Adopt Water and Soil Conservation Techniques in Tillabéri, Niger. *Land Degrad Dev* 26: 491-501.

L'intensification agricole au Mali et au Soudan à travers l'amélioration de la fertilité du sol et la mécanisation

Agricultural Intensification through Soil Fertility Improvement and Mechanization in Mali and Sudan

Aune Jens Bernt¹, Tadesse Belachew Asalf¹, Coulibaly Adama², Borgvang Stig¹

¹Département des Études Internationales pour le Développement et l'Environnement, Noragric, Université des Sciences de la Vie, Ås, Norvège

²Laboratoire Sol, Eau, Plantes, Institut d'Économie Rurale - BP 258, Bamako, Mali

*Auteur pour la correspondance : jens.aune@nmbu.no

Résumé

Le semis mécanisé a été introduit en Afrique de l'Ouest dans les années 1920 et 1930 pour la culture de l'arachide et du coton. Des usines nationales de production de semoirs ont été établies au Sénégal telles que la Société Industrielle Sénégalaise de Construction de Matériels Agricoles et au Mali, la Société Malienne d'Équipements et de Construction de Matériels Agricoles. Cependant, ces usines qui étaient semi-publiques n'ont pas pu résister aux conditions économiques et politiques difficiles des années 1980 et 1990. Les forgerons locaux ont dans une certaine mesure repris en charge l'entretien et la production de cet équipement.

Dans ce document, les auteurs relatent les effets des techniques d'intensification sur l'amélioration de la productivité des cultures en zones semi-arides du Mali et du Soudan. Ces techniques portent sur le traitement des semences avec un fongicide/insecticide, le trempage des semences dans de l'eau et le microdosage de l'engrais minéral. Ce type d'intensification peut être décrit telles les marches d'un escalier. L'idée était de développer un ensemble de technologies simples et peu onéreuses qui s'emboîtent et se renforcent mutuellement pour augmenter la production agricole au niveau des exploitations sahéliennes. Au cours des 10 dernières années, la recherche a également inclus la mécanisation en combinaison avec ces technologies.

En outre, il est montré comment les différentes technologies peuvent être combinées pour une plus grande productivité des terres et un allègement du travail. Il est aussi signalé les avantages en termes de rendement et d'économie de main-d'œuvre dus à la mécanisation en combinaison avec le trempage et le traitement phytosanitaire des semences et le microdosage des engrais minéraux. Ces technologies assurent en plus, une

densité optimale, une amélioration de la levée des cultures et une récolte plus précoce. La mécanisation motorisée semble être une option réalisable par les agriculteurs qui cultivent plus de 5 hectares. L'accès au crédit sera nécessaire pour une mise à échelle rapide de cette mécanisation.

Les Organisations non gouvernementales (ONG) impliquées dans le processus de transfert de ces technologies ont été, entre autres, CARE International (*Cooperative for Assistance and Relief Everywhere*), Sasakawa Global 2000, ADRA (Agence Adventiste d'Aide et de Développement/*Adventist Development Relief Agency*), YAGTU (Association pour la Promotion de la Femme), AMAPROS (Association Malienne pour la Promotion du Sahel), ADAF/Gallè (Association pour le Développement des Activités de Production et de Formation), AFAD (Association de Formation et d'Appui au Développement) et CARE-Mali. Ces organisations ont reçu des fonds de l'USAID (Agence Américaine pour le Développement International), du Gouvernement Australien, du Fonds International pour le Développement Agricole (FIDA), de l'Union Européenne (UE), de l'ASDI (Agence Internationale pour le Développement International, Suède), du JIRCAS (*Japan International Research Center for Agricultural Sciences*) et du Ministère des Affaires Étrangères du Royaume de Norvège. Les technologies de trempage, de microdosage et de mécanisation des semis ont été également recommandées par le Comité National de la Recherche Agricole au Mali. Au Soudan, ces technologies ont reçu une recommandation du Comité National de Recherche sur les Cultures. Cela donne aux technologies une crédibilité supplémentaire facilitant leur diffusion.

Mots-clés : intensification, microdosage, trempage, semences.

Abstract

Mechanized seeding was introduced in West Africa in the 1920s and 1930s for groundnut and cotton production. National seeder factories have been established in Senegal such as Société Industrielle Sénégalaise de Construction de Matériels Agricoles and in Mali, Société Malienne d'Équipements et de Construction de Matériels Agricoles. However, these semi-public factories failed to withstand the adverse economic and political conditions of the 1980s and 1990s. Local blacksmiths have to some extent taken over the maintenance and production of this equipment.

The authors report on the impacts of intensification techniques on improving crop productivity in the arid zones of Mali and Sudan. These techniques include seed treatment with fungicide/insecticide, seed priming and micro-dosing. This type

of intensification can be described as ladder steps. The idea was to develop a set of simple and low-cost technologies that fit together and reinforce each other to increase agricultural production in Sahelian farms. Over the last 10 years, research has also included mechanization in combination with these technologies.

In addition, the study shows how different technologies can be combined to improve land productivity and ensure labor saving. The benefits in terms of yield and labor saving of the introduction of mechanization, in combination with the priming and phytosanitary treatment of seeds, and the micro-dosing of mineral fertilizers, are also reported. These technologies also ensure optimal seeding, improved crop emergence and earlier harvesting. Motorized mechanization seems to be a feasible option for farmers who farm more than 5 hectares. Access to credit will be necessary to quickly scale up such mechanization.

The Non-governmental organizations (NGOs) involved in the transfer process of these technologies have been, among others, CARE International (Cooperative for Assistance and Relief Everywhere), Sasakawa Global 2000, ADRA (Agence Adventiste d'Aide et de Développement/Adventist Development Relief Agency), YAGTU (Association pour la Promotion de la Femme), AMAPROS (Association Malienne pour la Promotion du Sahel), ADAF/Galle (Association pour le Développement des Activités de Production et de Formation), AFAD (Association de Formation et d'Appui au Développement) and CARE-Mali. These organizations have received funding from USAID (United States Agency for International Development), the Australian Government, IFAD (International Fund for Agricultural Development), the European Union (EU), SIDA (Swedish International Development Cooperation Agency) (Sweden), JIRCAS (Japan International Research Center for Agricultural Sciences) (Japan) and the Ministry of Foreign Affairs of the Kingdom of Norway. Seed priming, mineral fertilizer micro-dosing, seed treatment and seeding mechanization technologies were also recommended by the National Committee for Agricultural Research in Mali. In Sudan, these technologies have been recommended by the National Crops Research Committee. This gives the technologies additional credibility to facilitate their dissemination.

Key words: *intensification, micro-dosing, priming, seeds.*

Introduction

La présente étude porte sur l'utilisation de la mécanisation en combinaison avec des techniques d'amélioration des rendements en zones arides du Mali et du Soudan. Elle discute la durabilité de ce type d'intensification de l'agriculture. Elle aborde les perspectives de la mécanisation agricole en examinant l'effet de la mécanisation associé à la rapidité des travaux, les niveaux de rendement avec et sans pratiques agronomiques améliorées, les besoins en main-d'œuvre, en investissement et les avantages économiques et sociaux.

Mécanisation et utilisation des animaux de trait

Il existe une grande variabilité en Afrique subsaharienne en ce qui concerne la mécanisation agricole. Dans de nombreuses parties de l'Afrique, jusqu'à 80 % de la préparation des terres est réalisée à l'aide de la force musculaire humaine (Mrema, 2011; Clarke et Bishop, 2002). Les animaux de trait n'étaient pas utilisés avant les années 1920-1930 en Afrique subsaharienne. La seule exception est l'Éthiopie où le labour est utilisé depuis des millénaires (McCann, 1995). Les animaux de trait sont habituellement les premiers à être utilisés pour le labour car c'est la tâche la plus exigeante en énergie et en main-d'œuvre dans l'agriculture. Les animaux de trait peuvent également être utilisés pour semer, désherber et battre la récolte. L'utilisation d'animaux ayant souffert de la sécheresse a été fréquente en ce qui concerne les cultures de rente comme l'arachide et le coton. Ces cultures génèrent souvent un surplus qui peut être utilisé pour l'achat et l'entretien des équipements agricoles et des animaux de trait.

Mécanisation agricole et utilisation de tracteurs

La mécanisation et l'utilisation de tracteurs sont beaucoup moins répandues en Afrique qu'en Asie. L'introduction de technologies améliorant le rendement a été lente en Afrique, ce qui peut expliquer la lente adoption de la mécanisation dans ce domaine. La question principale dans la mécanisation agricole est celle de savoir s'il est possible de sauter la phase de traction animale et de passer directement à la motorisation.

Les premiers tracteurs ont été importés en Afrique entre les deux guerres mondiales, le siècle dernier. Ils étaient principalement utilisés dans les champs des colons blancs. Il y avait une forte poussée pour la mécanisation en Afrique dans les années suivant les indépendances, mais le taux de réussite était faible. À l'époque, la traction animale était considérée comme une technologie dépassée et rétrograde. Le Soudan est l'un des nouveaux exemples où l'introduction de tracteurs a été couronnée de succès en raison des subventions gouvernementales et du fait de la nécessité de dessoucher les terres à moindre frais (Pingali, 1987).

Mécanisation de l'agriculture pluviale

L'étude se focalise sur le développement de la mécanisation de l'agriculture pluviale en Afrique de l'Ouest et en particulier la mécanisation des semis. En Afrique de l'Ouest francophone, la mécanisation agricole a été favorisée par les projets sur le coton et l'arachide (Ashburner et Kienzle, 2011). Ces projets accordaient des crédits aux agriculteurs, qui devaient être remboursés après la récolte et le prêt pour les machines agricoles était remboursable sur plusieurs saisons. Ils ont également fourni une formation et un soutien aux artisans ruraux soutenant ces chaînes de valeur. Cependant, ces projets ont rencontré des difficultés pendant la période du programme d'ajustement structurel dans les années 1980 et 1990 et le soutien à la mécanisation a été abandonné. La recherche française en Afrique de l'Ouest s'est concentrée sur le développement de charpentes d'équipements agricoles allégées sur lesquelles des semoirs, des sarclours et des corps billonneurs ont été développés.

La première opération agricole mécanisée est normalement le labour. Dans les zones arides de l'Afrique de l'Ouest, le labour a augmenté le rendement de l'arachide, du sorgho et du mil respectivement de 19, 29 et 21 % (Pingali, 1987). L'augmentation du rendement est toutefois plus faible sur les sols sablonneux et dans des conditions plus sèches que dans des conditions plus humides avec des sols plus lourds. La rentabilité du labour dépend non seulement de l'augmentation du rendement, mais aussi du prix de vente de la récolte. Le mil labouré (culture à bas prix) a donc été moins rentable que le labour d'une culture de riz (culture à prix élevé). Les études réalisées en milieu paysan ne montrent en général aucune différence de rendement entre le travail à la houe et le labour effectué avec la traction animale (Pingali, 1987).

Dans les régions où la saison de culture est courte et où le sol est sablonneux, des semis mécanisés ont été introduits mais pas le labour. Le moment disponible pour le semis est court et si le labour retarde le semis, l'avantage de rendement pour le labour est réduit. Le retard dans le labour peut être causé par le manque d'animaux de trait et ou par les faibles conditions physiques des animaux et la pénurie de fourrage. Le rendement du labour sur un sol lourd est plus élevé que sur un sol sablonneux. Le semis mécanisé a été introduit dans la culture de l'arachide au Sénégal dans les années 1920 et 1930. L'utilisation des semoirs a permis de semer de grandes surfaces en peu de temps. Les semoirs ont été introduits au Sénégal en 1920 et 1930 (Pingali, 1987). Des usines nationales de production de semoirs ont été établies au Sénégal (Société Industrielle Sénégalaise de Construction de Matériels Agricoles, SISCOMA) et au Mali (Société Malienne d'Équipements et de Construction de Matériels Agricoles, SMECMA). Le nombre de semoirs au Sénégal est passé de 20 000 en 1940 à environ 220 000 en 1980.

Cependant, ces usines qui étaient semi-publiques n'ont pas pu résister aux conditions économiques et politiques difficiles des années 1980 et 1990. Les forgerons locaux ont dans une certaine mesure repris en charge l'entretien de cet équipement. Ces artisans peuvent produire de l'équipement de 30 à 50 % du prix des grandes industries (Pingali, 1987). En 1990, il a été estimé que 70 % des ménages agricoles étaient équipés de traction animale dans le Sud du Mali.

Le Gouvernement du Mali a récemment subventionné l'achat de tracteurs pour les jeunes agriculteurs. Cependant, le remboursement des prêts a été faible bien que les prêts aient été accordés à un taux d'intérêt subventionné (Fonteh, 2010).

Le travail peut être fait plus rapidement si les animaux de trait sont utilisés. La vitesse de travail de la plupart des animaux de trait est d'environ 3,5 km/heure et les animaux peuvent tirer 13 à 15 % de leur poids (Aschburner et Kienzle, 2011). Il faut environ un an pour entraîner un animal de trait. Différents types d'animaux de ferme peuvent être utilisés dans la traction animale. Le coût de traction asine équivaut à 30 à 40 % de la traction bovine (Williams, 1997). La traction asine est particulièrement utile dans le cadre d'une tâche plus légère comme le désherbage. Il y a un coût considérable pour garder les animaux de trait, lié aux aliments pour animaux, aux services vétérinaires et à la formation. La rentabilité des animaux de trait peut être augmentée si les animaux sont utilisés à des fins multiples telles que le transport, le labour, le semis, le désherbage et le battage. Il existe un besoin de matériel agricole particulièrement adapté à la traction animale.

Malgré quelques réussites avec la mécanisation, son introduction n'a pas été sans problème et son adoption a été lente. Les premières formes de mécanisation en milieu rural en Afrique étaient liées à des tâches stationnaires telles que le pompage de l'eau et le labour. Les avantages de la mécanisation augmentent si l'équipement peut être utilisé à différentes fins telles que le travail du sol, le semis et le désherbage.

Jusqu'en 1990, il y avait un fort intérêt pour la traction animale en Afrique de l'Ouest comme en témoignent de nombreux articles écrits et le nombre d'ateliers organisés. Cependant, comme la traction animale était souvent liée aux cultures de rente comme le coton et l'arachide, il devenait difficile de développer davantage la traction animale en raison du faible rendement économique de ces cultures dans les années 1990. Le soutien à ces chaînes de valeur a également été réduit à la suite des programmes d'ajustement structurel mis en œuvre au cours des années 1990. Les centres de recherche internationaux ont également abandonné dans une large mesure la recherche sur la traction animale et les centres nationaux de recherche sur la mécanisation ont également

connu un soutien limité. La recherche non plus n'a pas pu avoir d'impact significatif sur l'agriculture. Il apparaît également que la recherche biologique/économique a plus de prestige et qu'il existe un grand nombre d'articles sur les problèmes biologiques/économiques dans l'agriculture tropicale que sur la mécanisation. Il n'y a pas non plus de journal sur la traction animale avec un facteur d'impact élevé, mais certaines revues peuvent encore accepter des documents sur la traction animale.

Mécanisation agricole et changements climatiques

Les changements climatiques contribuent également à rendre la mécanisation indispensable en Afrique. La variabilité du climat devrait augmenter à la suite des changements climatiques et cela fait que les opérations culturales dans les exploitations doivent être effectuées plus rapidement. Le moment est indiqué pour avoir une vision claire sur la mécanisation agricole. Les prix des denrées alimentaires augmentent, les jeunes partent à la recherche d'emplois dans les villes, les compétences techniques en milieu rural augmentent, les motocyclettes et les voitures sont devenues plus courantes même dans les zones rurales. Le développement de technologies biologiques à faible coût peut faciliter l'utilisation de la traction animale. Aussi, la mécanisation peut rendre l'agriculture, actuellement associée à la corvée, plus attrayante pour les jeunes en tant que travail agricole.

Facteurs de la mécanisation et de l'intensification

Il y a plusieurs raisons à l'intérêt grandissant pour la mécanisation. Comme dans d'autres pays, les jeunes en Afrique aussi ne sont pas intéressés par l'agriculture (Leavey et Hussain, 2014). Ils ont vu et utilisent les technologies modernes comme le téléphone mobile, l'ordinateur portable et les moyens de transport modernes comme les vélomoteurs ou les voitures. Cependant, l'agriculture est encore principalement pratiquée en utilisant le travail manuel. La mécanisation peut rendre l'agriculture plus attrayante pour les jeunes agriculteurs. Lorsque les producteurs constatent que les opérations agricoles comme le semis et le désherbage peuvent être effectuées en utilisant la traction animale ou motorisée, ils deviennent plus intéressés. L'avantage de la mécanisation est la réduction du temps de travail à faire au moment du pic de la demande en main-d'œuvre. À la période du semis et du désherbage, il n'y a pas de surplus de main-d'œuvre dans l'agriculture en Afrique. La mécanisation peut donc équilibrer la demande en main-d'œuvre tout au long de la saison.

Un autre objectif important de la mécanisation est la réduction de la charge de travail et la corvée du travail agricole. Pour le mil et le sorgho, il y a 25 000 poquets par hectare

(centre et Sud du Mali). Le processus de semis a quatre opérations: l'ouverture du poquet avec une houe, le placement des graines dans le poquet, l'application d'engrais dans le poquet et le recouvrement des graines. Au total, il y a donc 100 000 opérations (25 000 x 4) pour semer un ha. La taille moyenne des exploitations au Mali est d'environ 4 hectares et il y aura donc 400 000 opérations pour semer tous les champs de l'exploitation. Afin de placer la graine et l'engrais correctement dans le poquet, les semeurs doivent se baisser. L'arachide est une culture avec une plus forte demande de main-d'œuvre pour semer que les céréales car la densité est supérieure à 66 000 plants/ha (Ousman et Aune, 2011). Ces opérations manuelles peuvent être évitées si le semis mécanisé est pratiqué. Les avantages supplémentaires des opérations mécanisées incluent une profondeur de semis précise, une distance précise entre les plantes et un nombre approprié de graines par poquet.

Effets des technologies sur les rendements et la demande en main-d'œuvre

Toute une gamme de technologies a été introduite pour augmenter la production agricole au Mali. Le développement des technologies présentées dans la présente synthèse se poursuit depuis le début du siècle. Au cours des premières années, l'accent était mis sur le traitement des semences avec un fongicide/insecticide, le trempage des graines et le microdosage. Ce type d'intensification agricole peut être décrit telles les marches d'une échelle (Aune et Bationo, 2008). Au cours des 10 dernières années, la recherche a également inclus la mécanisation en combinaison avec ces technologies. L'idée était de développer un ensemble de technologies qui peuvent se renforcer mutuellement et qui s'emboîtent. La technologie la plus économique est le trempage des semences. La méthode consiste à tremper les graines dans l'eau avant le semis. Le temps optimal de trempage pour les cultures a déjà été développé (Harris, 2006).

Pour le mil et le sorgho, la durée optimale de trempage est de 8 heures tandis que pour le niébé et l'arachide, la durée de trempage est de 4 heures. Des expériences sur le terrain ont montré que l'augmentation de rendement due au trempage des graines est en moyenne de 30 %. Le trempage des graines se fait dès qu'il y a suffisamment de pluie pour semer. Les graines doivent être séchées à l'ombre pendant deux heures au moins avant le semis afin de réduire le caractère collant des graines trempées. Ceci est particulièrement important si le semis mécanisé est pratiqué. L'effet du trempage des semences varie d'une année à l'autre, mais il est particulièrement important lorsque les conditions d'établissement des cultures sont difficiles. Il peut également être très utile si le semis est retardé et qu'il est nécessaire de stimuler l'établissement de la culture. Le trempage

des graines réduit le temps de germination de 2 à 1 jours et assure un peuplement plus uniforme. Le traitement des graines doit être combiné avec un insecticide/fongicide comme Apron Plus. Ce traitement peut assurer l'établissement des cultures et permet d'augmenter les rendements de l'ordre de 15 % dans les expérimentations menées au Mali (Aune *et al.*, 2012).

Le microdosage d'engrais minéraux est une autre technologie qui peut augmenter le rendement. Il existe différentes formes de microdosage. L'ICRISAT recommande des doses de 2 g d'engrais par poquet si l'on utilise du phosphate d'ammoniac (DAP) alors que 6 g sont recommandés si l'engrais NPK (15-15-15) est utilisé (ICRISAT, 2009). Dans les parties les plus sèches du Sahel, les agriculteurs utilisent 10 000 poquets par hectare ou moins tandis que dans les zones humides du Sahel (pluviosité annuelle moyenne supérieure à 600 mm), les agriculteurs utilisent environ 25 000 poquets par hectare. Il en résulte des doses d'engrais de 50 et 150 kg par hectare respectivement si 2 g de DAP ou 6 g de NPK sont appliqués par poquet. Une collaboration de recherche au Mali entre l'Institut Économie Rurale, la Station de Recherche El Obeid au Soudan et l'Université Norvégienne des Sciences de la Vie a montré que de bons résultats peuvent être obtenus avec des microdoses aussi basses que 0,3 g d'engrais par poquet (Aune et Ousman, 2011). Lorsque les doses d'engrais sont si basses, il est également possible de mélanger les graines et l'engrais et de semer ce mélange directement. Au Soudan, on a montré que 0,25 g d'engrais était suffisant pour le mil, tandis que pour le sorgho, la dose optimale était de 0,8 g d'engrais par poquet. Dans le Sud du Mali, avec des précipitations de l'ordre de 800 à 900 mm, on a constaté que l'apport en couverture de 1 g par poquet d'urée donne un avantage supplémentaire de rendement. Dans les zones les plus sèches du Sahel où il n'y a pas de réponse à l'apport d'urée au tallage, la mécanisation des technologies, le trempage des semences, le traitement des semences et le microdosage doivent être combinés afin d'obtenir un bon rendement.

Les rendements ont plus que doublé lorsque le trempage des semences et le microdosage ont été combinés (Aune et Ousman, 2011). Un autre effet de ces technologies est la levée certaine des cultures, un temps de maturation plus court et une moindre attaque du parasite striga. Il semble que les plantes qui ont reçu du microdosage grandissent plus vite que le striga et réduisent l'effet de celui-ci (Aune *et al.*, 2012). L'effet du microdosage est réduit si la culture est faible à la suite d'attaques ou de maladies. Il est donc plus sûr d'utiliser le microdosage si les graines sont trempées et traitées avec un insecticide/fongicide. L'avantage de la mécanisation est également réduit si la densité n'est pas optimale car le rendement sera faible.

Des mécanisations à traction animale et au semoir motorisé (Photos 1 et 2) ont été développées. L'unité de base dans le semoir est un disque qui tourne dans la trémie où les semences sont placées. Ce disque est entraîné par les roues du semoir (énergie transmise par la chaîne) qui est tiré par un animal ou propulsé par un moteur. Le disque comporte des trous reliés aux tubes à travers lesquels les graines sont distribuées. Des disques spéciaux ont été développés pour permettre le semis de différentes cultures en changeant la largeur du trou et/ou l'épaisseur du disque. La distance entre deux poquets peut être régulée par le nombre de trous dans le disque. Des disques différents sont donc disponibles pour le semis du mil, du sorgho, du coton, de l'arachide et du maïs, etc.



Photo 1 : Semoir motorisé adopté par l'IER



Photo 2 : Placement mécanique de la semence et de l'engrais en microdose, technique développée par l'IER

Si l'on compare le semis mécanisé au semis manuel, l'augmentation du rendement est de l'ordre de 15 à 20 %. Cette augmentation de rendement est liée à une profondeur de semis plus précise, à un nombre approprié de graines par poquet et à une distance de semis uniforme entre les poquets.

Au Mali, l'utilisation du semis mécanisé est faite pour la production de coton mais elle est moins courante dans la culture du mil et du sorgho. Le développement du microdosage a également rendu nécessaire la mise au point de disques adaptés au semis simultané des graines et de l'engrais.

Avantages de la mécanisation des opérations agricoles

Les semis mécanisés au Mali étaient auparavant principalement associés à la culture du coton et du maïs. Cependant, il est possible de semer toutes les cultures vivrières importantes comme le mil, le sorgho, l'arachide et le niébé en utilisant le semoir. Les principaux avantages du semis mécanisé comprennent une profondeur de semis

uniforme et appropriée, un nombre uniforme de graines appliquées dans chaque poquet et des distances uniformes entre les lignes. Le semis manuel est pratiqué en prenant une pincée entre le pouce et l'index. Une pincée de graines de mil et de sorgho contient en moyenne respectivement 35 et 11 graines. Cependant, la quantité de graines livrées par une pincée varie d'une personne à l'autre et l'utilisation d'un semoir fournit un nombre plus uniforme de graines. L'écart-type pour le nombre de graines livrées est plus élevé dans les semis manuels que dans les semis à l'aide du semoir. Un avantage du semis mécanisé par rapport au semis manuel est qu'il est difficile pour les rats et les oiseaux de localiser où les graines ont été placées lorsque le semis mécanisé est pratiqué. En effet, ces prédateurs peuvent localiser l'emplacement du poquet de semis manuel, ce qui est impossible lorsque les graines sont placées le long d'une ligne uniformément recouverte.

L'un des principaux avantages du semis mécanisé est la réduction de la demande en main-d'œuvre pour les semis et le désherbage. La demande de main-d'œuvre dépendra de la densité de semis. Il y a plus d'économie de main-d'œuvre sur les semis mécanisés dans le Sud du Mali où la densité de semis est de 25 000 poquets par hectare comparativement au Nord du Mali où la densité de semis est de 10 000 poquets par hectare {(25 000 poquets = 126 lignes; 10 000 poquets = 101 lignes) avec moins de main-d'œuvre, étant donné que la densité de semis au Nord nécessite moins de temps de travail}.

Des études effectuées au Mali ont montré que la demande de main-d'œuvre pour les semis manuels est de 96,8 heures et celle des semis avec la traction animale et motorisée est de 3,5 heures. On a calculé qu'il faut 480 heures (15 hommes jours) pour semer manuellement une exploitation moyenne au Mali en sorgho ou en mil. La plupart des agriculteurs n'ont pas assez de main-d'œuvre et les semis sont souvent retardés pour cette raison. La durée de temps optimum pour le semis par saison ne compte pas assez et la forte demande de main-d'œuvre à cette période entraîne des semis tardifs et des rendements plus faibles. Afin d'assurer un temps de semis optimal pour la plupart des cultures, l'agriculteur devrait avoir la capacité de semer toutes ses terres en 3 à 4 jours. Dans le Sud du Mali, on a constaté que le sorgho et le maïs sont plus sensibles aux semis retardés que le mil (Traoré, 2014). Si le semis est effectué à l'aide d'un semoir à traction animale, l'exploitation peut être semée en 5 jours tandis que si le semis est motorisé, l'exploitation peut être semée en 2 jours (sur une exploitation de 5 ha à 25 000 poquets/ha). Dans le cas d'un semis motorisé, le propriétaire du semoir pourra également l'utiliser pour semer chez un de ses voisins. La grande capacité de semis est particulièrement importante lorsque les précipitations du début de saison sont très irrégulières comme c'est souvent le cas dans les zones arides de l'Afrique de l'Ouest.

Le semoir peut également être utilisé pour le désherbage en montant des dents sur l'outil. La demande en main-d'œuvre pour le désherbage manuel, le désherbage à traction animale et le désherbage motorisé est respectivement 129 ; 60 et 44 heures/ha. La demande en main-d'œuvre est relativement élevée même dans le cas du désherbage motorisé car il est accompagné d'un désherbage manuel dans l'inter-poquet.

La demande totale en main-d'œuvre pour le semis et le désherbage est donc de 216 ; 68 et 48 heures par hectare pour les opérations manuelles, les opérations à traction animale et motorisées. La mécanisation doit être combinée avec des technologies agricoles améliorées pour accroître sa rentabilité. Le trempage des semences et le microdosage sont deux technologies compatibles avec la mécanisation. Les expérimentations avec le sorgho en milieu réel de 2013 à 2015 ont montré que le rendement du sorgho est passé de 705 kg/ha pour le semis manuel sans microdosage et sans trempage à 1 061 kg/ha avec le semis mécanisé combiné au trempage des semences et au microdosage de l'engrais, correspondant à une augmentation de rendement grains moyen de 51 %. Ceci a été suivi d'une augmentation correspondante du rendement en paille de sorgho.

Cependant, la mécanisation a un coût et peut ne pas être réalisable par tous les agriculteurs sans assistance. Le prix pour un semoir à traction animale est d'environ 110 euros tandis que celui du semoir motorisé est de 800 euros. Les types de coûts dans les semis manuels, mécanisés et du désherbage sont différents. Dans les opérations manuelles, la main-d'œuvre est le principal coût, tandis que dans les opérations motorisées, le coût principal est lié à l'amortissement et à la réparation de l'outil. Les coûts d'utilisation de la mécanisation à traction animale comprennent également le coût de l'alimentation, du dressage et de la garde des animaux de trait, tandis que dans la mécanisation motorisée, il y a également des coûts liés à l'achat du carburant. Cependant, la consommation d'essence pour le semis d'un hectare est assez faible car elle n'est que de 3,5 litres/ha pour les semis et le désherbage. Le coût de l'engrais est également très bas lorsque 0,2 g d'engrais est utilisé par poquet. Les coûts de carburant et d'engrais sont faibles par rapport au coût d'amortissement du semoir et au coût de réparation. Il est donc logique d'utiliser des semences traitées, les microdoses et des semences trempées lorsque la mécanisation est utilisée. Le microdosage et le trempage des semences améliorent considérablement la rentabilité de la culture.

La mécanisation appropriée varie en fonction de la taille de l'exploitation. Une analyse économique et une analyse du travail ont montré que le semis motorisé est une option intéressante pour les agriculteurs si la taille de l'exploitation est supérieure à 5 hectares. En dessous d'une superficie de 5 ha, la mécanisation la plus appropriée est la mécanisation à traction animale. Même si la taille de l'exploitation est inférieure à un hectare, il est économiquement logique d'utiliser la mécanisation avec la traction

animale en combinaison avec le trempage des semences et le microdosage au lieu du semis manuel sans trempage et sans microdoses. Ceci a pour effet un rendement élevé et une économie de main-d'œuvre en rapport avec la mécanisation.

Mise à échelle des facteurs d'intensification

Plusieurs facteurs doivent être considérés pour une intensification réussie, y compris la mécanisation (Photo 3). Une condition importante pour l'intensification est un accès facile à l'engrais. L'accès à l'engrais s'est amélioré ces dernières années au Mali et le gouvernement fournit des engrais subventionnés à crédit. Il y a aussi maintenant plus de points de vente pour les engrais dans les villages. Ces points de vente ne seraient pas là s'il n'y avait pas de demande d'engrais. C'est probablement un effet des différents projets qui ont travaillé sur la microdose d'engrais minéraux. Cela inclut des projets de AGRA, de Sasakawa Global 2000, du Groupe de coordination des Zones Arides et de CARE.



Photo 3 : Lancement de l'activité « Un semoir, un village » producteurs représentant leur village ; de gauche à droite : en haut, commune de Sandaré (Kayes) et de Kopro Pen (Mopti) et en bas commune de Dio (Koulikoro) et de Bla (Ségou)

Les semoirs sont produits par les forgerons locaux sur demande. Ces forgerons ont été formés par la Compagnie Malienne pour le Développement du Textile (CMDT). Un forgeron à Koutiala dans le Sud du Mali s'est spécialisé dans la production de semoirs motorisés. Ce semoir a d'abord été développé par l'Institut d'Économie Rurale. Le moteur du semoir est un modèle chinois. C'est un moteur de moto très utilisé au Mali et les pièces de rechange sont facilement disponibles. L'IER a formé le forgeron sur la production de ce semoir motorisé. Il est connu que le forgeron a une demande pour environ 1 000 semoirs motorisés, mais la capacité de production du semoir motorisé doit être augmentée.

Les semoirs motorisés ont jusqu'à présent été principalement distribués à travers des projets qui ont financé leur achat. Il est donc difficile de connaître la véritable demande pour un tel semoir. Ce semoir peut être utilisé pour semer et désherber et les tâches que cette machine peut effectuer sont donc limitées. Cependant, un avantage majeur de cette machine est qu'elle est assemblée au Mali et que les agriculteurs et les forgerons savent les entretenir et les réparer. Il est également possible d'acheter des motoculteurs qui peuvent être utilisés pour des opérations agricoles supplémentaires comme le travail du sol. Ces motoculteurs ont également une prise de courant qui peut être utilisée pour pomper de l'eau ou faire fonctionner un moulin. Cependant, les inconvénients sont les coûts plus élevés et le fait que la machine devient plus lourde. Le semoir motorisé sera donc un point d'entrée facile pour la mécanisation pour la majorité des agriculteurs à cause du moindre coût et de la facilité de manipulation. La mécanisation en Asie est beaucoup plus en avance que la mécanisation en Afrique.

Dans des pays comme le Bangladesh, les machines ne sont généralement pas la propriété des agriculteurs eux-mêmes mais des fournisseurs de services (Baudron, 2015). Les agriculteurs paient les prestataires de services pour entreprendre différentes opérations agricoles sur leur ferme. Une activité de recherche sur la valeur ajoutée du semoir/sarcléur motorisé a permis de constater que l'équipement peut être utilisé comme un fournisseur de services de taxi pour les opérations agricoles telles que le semis, le désherbage du sorgho, du maïs et de l'arachide (Photo 4). Cependant, cela exige que les agriculteurs soient en mesure de produire un excédent économique. Beaucoup d'agriculteurs au Mali et au Soudan ne sont pas en mesure de produire un tel surplus et auront donc des difficultés à payer pour la mécanisation. Pour ces raisons, la mécanisation ne devrait pas être introduite comme une technologie autonome, mais plutôt introduite dans des technologies combinant l'amélioration du rendement telles que le trempage des semences, le microdosage et le traitement des semences avec des fongicides/insecticides qui sont des techniques d'amélioration de la production.

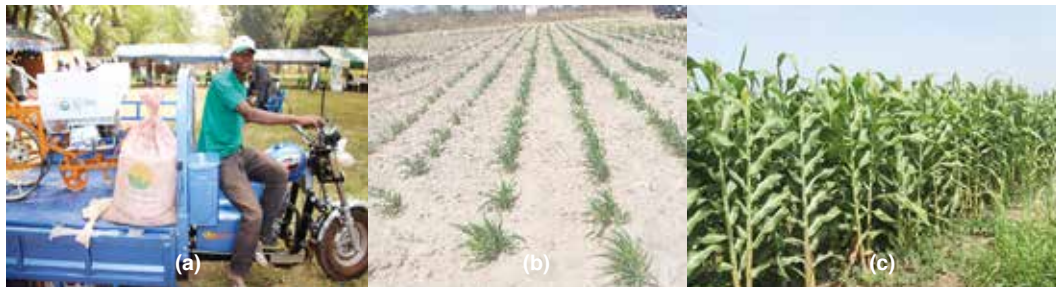


Photo 4 : a) Kit de mécanisation pour les prestataires de services agricoles à petite échelle ; (b & c) champ de sorgho planté avec le semoir motorisé (IER)

La durabilité des technologies de trempage des semences, de microdosage et de mécanisation a récemment été évaluée au Mali dans un rapport d'évaluation dans le pays (Djiga, 2015). La principale conclusion de ce rapport est que l'augmentation du rendement grains est de l'ordre de 50 à 100 % pour le trempage des semences et le microdosage. Cela permet aux agriculteurs de générer un excédent économique et d'améliorer la sécurité alimentaire. Beaucoup de familles étaient en insécurité alimentaire avant l'utilisation des nouvelles technologies. Le surplus économique généré par ces technologies a permis aux agriculteurs d'acheter plus de bétail, de charrues, d'ânes et de charrettes. Cela a permis en outre de renforcer la production agricole, d'avoir plus de fumier, d'énergie de traction et de moyens de transport. L'émigration saisonnière des jeunes filles a également été réduite en raison de l'amélioration de la sécurité alimentaire dans les ménages. Les agriculteurs ont également fourni du grain aux cantines des écoles locales. Beaucoup de ces impacts étaient au-delà de ce qui était attendu par le projet. L'adoption est le résultat de démonstrations dans les exploitations, des efforts de vulgarisation des ONG et des systèmes nationaux de vulgarisation et d'un programme de radio et de télévision mettant en évidence ces technologies.

Les ONG qui ont été impliquées dans le transfert des technologies comprennent CARE International, Sasakawa Global 2000, ADRA, YAGTU, AMAPROS, ADAF/Gallè, AFAD et CARE-Mali. Ces organisations ont reçu des fonds de l'USAID, du Gouvernement australien, du FIDA, de l'UE, de l'ASDI (Suède), du JIRCAS (Japon) et du Ministère des Affaires Étrangères de la Norvège. Les technologies de trempage, de microdosage et de mécanisation des semis ont été également recommandées par le Comité national de la recherche agricole au Mali. Cela donne aux technologies une crédibilité supplémentaire facilitant leur diffusion. Au Soudan, ces technologies ont reçu une recommandation du Comité national de recherche sur les cultures.

Les technologies proposées n'augmenteront pas seulement le rendement en grains de l'ordre de 50 à 100 %, mais aussi le rendement en paille dans le même ordre de grandeur. Cela peut être utilisé pour renforcer l'intégration de l'élevage et l'agriculture car cela se traduira par plus de fumier et des animaux de traction plus forts. L'augmentation de la production de biomasse permettra également de recycler davantage de matière organique. L'expérience montre que lorsque la production de matière organique augmente, il est possible de recycler davantage la paille.

De nombreux facteurs affectent la vitesse de l'intensification de l'agriculture dans ces pays. Une question importante est la disponibilité et le prix de l'engrais. La disponibilité est probablement un problème plus important car l'utilisation du microdosage est rentable même si les prix des engrais doublent ou triplent. Des subventions d'engrais suivies de mise en sac d'engrais ont été introduites au Mali. L'engrais est donc plus facilement disponible par rapport au passé.

Le tableau 1 résume les principaux avantages et inconvénients du semis manuel, de l'utilisation de la traction animale et de la traction motorisée. Comme le montre ce tableau, les avantages de la mécanisation sont nombreux alors que les principaux avantages du semis manuel sont le faible coût. Afin d'adapter l'agriculture face au changement climatique dans les zones arides d'Afrique, l'agriculture devrait s'orienter vers une agriculture mécanisée car cela garantira des semis plus ponctuels et plus précis. La demande de travail pour le désherbage est en outre considérablement réduite. Les légumineuses à grains ont une demande de main-d'œuvre particulièrement élevée et la mécanisation du semis rendra plus attrayante la production de ces cultures.

Tableau 1 : Avantages et désavantages de l'utilisation du semis manuel, du semoir à traction animale et du semoir motorisé

	Manuel	Traction animale	Traction motorisée
Avantages	Facile à comprendre	Densité uniforme de poquets	Densité uniforme de poquets
	Faible coût	Profondeur uniforme de semis	Profondeur uniforme de semis
		Nombre uniforme de grains par poquet	Nombre uniforme de grains par poquet
		Application précise de l'engrais	Application précise de l'engrais
		Semis et désherbage rapides	Semis et désherbage rapides
		Semis et désherbage en temps précis	Semis et désherbage en temps précis
		Quantité précise d'engrais appliquée	Quantité précise d'engrais appliquée
			Capacité élevée de semis et de désherbage
Inconvénients	Forte demande de main-d'œuvre	Animaux faibles en début de saison	Maintenance du moteur et accessoires
	Semer tous les jours	Animal malade Animal perdu en début de saison	Achat de carburant
	Forte main-d'œuvre pour l'application de l'engrais	Nourrir et abreuver les animaux toute l'année	Prix élevé du semoir
	Attaque des semis par les oiseaux et les rats	Dressage des animaux exigé	Requiert un capital
	Non uniformité de la densité et la profondeur de semis	Problèmes techniques du semoir	
	Nombre élevé de grains/poquet	Capacité de travail limité/jour	

Conclusion

Cette synthèse montre les avantages en termes de rendement et d'économie de main-d'œuvre de l'introduction de la mécanisation en combinaison avec le trempage des semences, le traitement phytosanitaire des semences et le microdosage d'engrais minéraux. Ces technologies assurent en outre un semis optimal, une amélioration de la levée des cultures et une récolte plus précoce. La mécanisation motorisée semble être une option réalisable pour les agriculteurs qui cultivent plus de 5 hectares. L'accès au crédit sera nécessaire pour une mise à échelle rapide de la mécanisation motorisée.

Références

- Abdalla E., Ousman A.K., Maki M.A., Nur F.M., Ali S.B., Aune J.B., 2015. La réponse du sorgho, arachide, sésame et niébé à l'effet du trempage des semences et micro-dosage des engrais dans l'État du Kordofan Sud, Soudan. *Agronomie*, 5 (4) : 476-490.
- Ashburner J.E., Kienzle J., 2011. Révision des modèles de mécanisation des secteurs public et privé. Dans: Investissements dans la mécanisation agricole en Afrique. Rapport technique sur l'ingénierie agricole et alimentaire, Ashburner J.E., Kienzle, J. (Eds.), FAO, Rome, p. 51-58.
- Aune J.B., Bussa M.T., Asfaw F.G., Ayele A.A., 2001. Le système de labourage du bœuf en Éthiopie: peut-il être soutenu? *Perspectives sur l'agriculture* 30: 275-280.
- Aune J.B., Bationo A., 2008. L'intensification agricole au Sahel - L'approche par échelle. *Agr. Syst.* 98:119-125.
- Aune J.B., Ousman A., 2011. Effet du trempage des graines et du micro-dosage des engrais sur le sorgho et le millet perlé dans l'ouest du Soudan. *Experimental Agriculture* 47: 419-435. doi: 10.1017 / S0014479711000056.
- Baudron F., Sims B., Justice S., Kahan D.G., Rose R., Mkomwa S., Kaumbutho P., Sariah J., Nazare R., Moges G., Gerard B., 2015. Réexamen de la mécanisation appropriée en Afrique orientale et australe: tracteurs à deux roues, agriculture de conservation et participation du secteur privé. *Nourriture Sci.* 7: 889-904.
- Coulibaly A., Aune J.B. et Sissoko P., 2010. Création de cultures vivrières dans la région sahéenne et soudano-sahéenne au Mali. GCoZA Rapport n° 60. <http://drylands-group.org/publications/stablishment-of-food-crops>.
- Clarke L. et Bishop C., 2002. Farm Power-Present and Future Availability in Developing Countries. Invited Overview Paper Presented at the Special Session on Agricultural Engineering and International Development in the Third Millennium. ASAE Annual International Meeting/CIGR World Congress, July 30, Chicago, IL. USA.
- Djiga A., 2015. Évaluation de l'impact du projet d'établissement des cultures vivrières dans les zones sahéennes et soudano-sahéennes du Mali. Groupe de coordination des zones arides, Oslo. <http://drylands-group.org/assets/documents/Impact-Evaluation-Mali-FINAL.pdf>.
- Fonteh M.F., 2010. La mécanisation agricole au Mali et au Ghana: stratégies, expériences et leçons pour des impacts durables. Document de travail d'ingénierie agricole et alimentaire n° 8, 69 p. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/ags/publications/K7325e.pdf (évalué le 9.05.2016).
- Harris D., 2006. Mise au point et essai de trempage des semences «à la ferme». *Avances en Agronomie* 90: 129-178.

- ICRISAT, 2009. Microdosage d'engrais. Stimuler la production dans les terres improductives. <http://www.icrisat.org/impacts/impact-stories/icrisat-is-fertilizer-microdosing.pdf> (évalué le 9.05.2016).
- McCann, J.C., 1995. Les gens de la charrue. Une histoire agricole de l'Éthiopie, 1880-1990, University of Wisconsin Press, 298 p.
- Leavy J., Hossain N., 2014. Qui veut cultiver ? Jeunes aspirations, opportunités et hausse des prix des aliments. Document de travail IDS n° 439, 44 p.
- Mrema G.C., 2011. Développement de la stratégie du secteur public. Dans : Investissements dans la mécanisation agricole en Afrique. Rapport technique sur l'ingénierie agricole et alimentaire 8. Ashburner J.E., Kienzle J. (Eds.), FAO, Rome, p. 23-26.
- Pingali P., Bigot Y., Binswanger H.P., 1987. La mécanisation agricole et l'évaluation des systèmes agricoles en Afrique subsaharienne. The John Hopkins University Press, 216 p.
- Sime G. et Aune J.B., 2014. Réponse du maïs au dosage d'engrais sur trois sites dans la vallée centrale du Rift en Éthiopie. *Agronomie* 4: 436-451.
- Traoré B., van Wijk M.T., Descheemaeker K., Corbels M., Rufino M.C, Giller K., 2014. Évaluation des options d'adaptation climatique pour les systèmes de culture soudano-sahéliens. *Culture de fond Res 156*: 63-75. doi: 10.1016 / j.fcr.2013.10.014.
- Williams T.O., 1997. Problèmes et perspectives de l'utilisation de la traction animale en Afrique de l'Ouest semi-aride: témoignages du Niger. *Sol de till. Res.* 42 : 295-311.

Intensification de la culture du sorgho et du mil en zones sahélienne et soudano-sahélienne du Mali

Intensification of Sorghum and Millet Production in the Sahelian and Sudano-Sahelian Zones of Mali

Coulibaly Adama¹, Aune Jens Bernt², Kamkam Woumou¹, Famanta Mahamoudou³

¹Laboratoire Sol, Eau, Plantes, Institut d'Économie Rurale - BP 258 Bamako, Mali

²Département des Études Internationales pour le Développement et l'Environnement, Noragric, Université des Sciences de la Vie, Ås, Norvège

³Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou IPR/IFRA - BP 06, Koulikoro, Mali

*Auteur pour la correspondance : adamacz097@gmail.com

Résumé

Deux séries d'expérimentations ont été conduites sur l'intensification de la culture du mil et du sorgho en zones sahélienne et soudanienne du Mali. Les traitements ont été constitués en ajoutant graduellement un nouveau facteur à chaque niveau d'intensification (en coûts croissants). Dans la première série d'expérimentations, les traitements étaient composés du trempage des semences dans l'eau, du microdosage de l'engrais à 0,5 g et à 2 g par poquet de NPK tandis que la seconde série était un essai pérenne de quatre ans en station incluant le trempage des semences, le traitement phytosanitaire des semences à l'insecticide/fongicide, l'application de microdoses d'engrais NPK et d'urée au tallage.

Dans les deux séries, il est ressorti que le sorgho a répondu plus aux niveaux croissants d'intensification que le mil. L'augmentation de rendement due au trempage a été de l'ordre de 55 % pour le sorgho en 2006 contre 19 % en 2007 et en 2008 tandis que la réponse du mil a été de moins de 13 % en 2007 et 2008. Le traitement combinant le trempage des semences et l'application de 0,5 g d'engrais NPK par poquet a obtenu en moyenne 131 % d'augmentation de rendement en 2006. Les augmentations correspondantes de rendement en 2007 et en 2008 ont été de 26 et 41 % respectivement par rapport aux témoins dans les deux séries. Pour le mil, l'augmentation de rendement a été de 17 et 35 %.

Il n'y avait pas de différence significative de rendement grains entre 0,5 et 2 g d'engrais NPK par poquet pour le mil alors que dans l'une des deux séries, il y avait un accroissement de rendement avec l'application de 2 g par poquet par rapport à

0,5 g. Il n'y avait que de petites différences dans la marge brute entre les traitements avec 0,5 et 2 g d'engrais par poquet, mais le traitement avec 0,5 g d'engrais a donné une différence significative pour l'efficacité d'utilisation de l'engrais et pour le ratio valeur-coût plus élevé que ceux du traitement avec 2 g d'engrais. Le trempage des semences et le microdosage avec de faibles doses d'engrais semblent être une option intéressante dans les zones marginales difficiles car le pourcentage d'augmentation du rendement dû au traitement est plus élevé lorsque le niveau de rendement du témoin est faible. En ordonnant les traitements en fonction de la marge brute croissante, il a été démontré que le trempage des semences et le microdosage n'augmentent pas le risque de réduction de la marge brute des agriculteurs, mais ces méthodes augmentent la probabilité d'obtention d'une marge brute élevée.

La deuxième série d'expérimentations a montré que le traitement des semences avec un insecticide/fongicide a augmenté le rendement de 12% (79 kg/ha) et de 9,5% (89 kg/ha) respectivement pour le mil et le sorgho. À Sotuba, le niveau d'intensification le plus élevé a donné une augmentation de rendement de 76% (843 kg/ha) par rapport au témoin. L'application de l'urée au tallage était la principale cause de cette augmentation de rendement. À Kopro, il n'y a eu aucun effet de l'intensification au-delà de l'application de la microdose au semis et ce niveau d'intensification a augmenté le rendement de 70% (387 kg/ha) par rapport au témoin. Le Rapport Valeur sur Coût (RVC) pour le traitement avec une marge brute élevée a été de 15,5 pour le sorgho et 63,1 pour le mil, ce qui a dépassé largement le seuil de 2 pour les deux cultures.

Ces deux séries d'expérimentations ont montré que l'intensification agricole du sorgho et du mil peut être réalisée à faible coût et que le retour sur investissement à ce type d'intensification est très bon.

Mots-clés : intensification, trempage, microdosage, insecticide/fongicide.

Abstract

Two series of experiments were conducted on the intensification of millet and sorghum production in the Sahelian and Sudanian zones of Mali. Treatments were made by gradually adding a new factor at each level of intensification (in increasing costs). In the first set of experiments, the treatments included seed priming, the application of microdoses of NPK fertilizer at a rate of 0.5 g and 2 g per hole, while the second set consisted of a four-year perennial in-station trial, involving seed priming, seed treatment with insecticide/fungicide, as well as the application of microdoses of NPK fertilizer and urea at tillering.

Both series of experiments showed that sorghum was more responsive to the increasing levels of intensification than millet. Yield levels increased by about 55% for sorghum in 2006 due to seed priming, compared with 19% in 2007 and 2008, while the response of millet was lower than 13% in 2007 and 2008. The combination of seed priming and the application of 0.5 g of NPK fertilizer per hole resulted in an increase in yield by 131% in 2006. The corresponding yield increases in 2007 and 2008 were 26% and 41%, respectively, compared with the control in both sites. For millet, yields increased by 17% and 35%.

There was no significant difference in grain yield between the application of 0.5 and 2 g of NPK fertilizer per hole for millet, while in one of the two series, there was an increase in yield with the application of 2 g, compared with 0.5 g per hole. There were only small differences in the gross margin between treatments with 0.5 g and 2 g of fertilizer per hole, but the treatment with 0.5 g of fertilizer showed a significant difference as to fertilizer use efficiency and resulted in a value-cost ratio (VCR) higher than those of the treatment with 2 g of fertilizer. Seed priming and micro-dosing with low rates of fertilizer appear to be an attractive option in challenging marginal environments as the percentage increase in yield due to treatment is higher where the yield level of the control is low. By aligning treatments with the increase in gross margins, it has been shown that seed priming and micro-dosing do not increase the risk of reducing farmers' gross margins, but these methods increase the likelihood of obtaining high gross margins.

The second set of experiments showed that seed treatment with insecticide/fungicide increased yields by 12% (79 kg/ha) and 9.5% (89 kg/ha) respectively for millet and sorghum. In Sotuba, the highest intensification level increased yields by 76% (843 kg/ha), compared with the control. The application of urea at tillering was the main cause of this increase in yield. In Koporo, intensification had no impact, except micro-dosing at planting, and this kind of intensification increased yields by 70% (387 kg/ha), compared with the control. The VCR for treatment with a high gross margin was 15.5 and 63.1 for sorghum and millet respectively, which was well above the threshold of 2 for both crops.

These two sets of experiments show that agricultural intensification for sorghum and millet can be achieved at low cost and that the return on investment for this type of intensification is very good.

Key words: *intensification, priming, micro-dosing, insecticide/fungicide.*

Introduction

Le développement de l'agriculture est un défi dans les zones sahélienne et sahélo-soudanienne du Mali du fait que les précipitations sont souvent inégalement réparties dans le temps et dans l'espace et des fréquentes sécheresses qui se produisent tout au long de la saison. Ce qui affecte la levée, le tallage, la floraison des cultures et le remplissage des grains. Le développement des cultures est aussi limité par l'apport limité de nutriments végétaux du sol, en particulier l'azote et le phosphore (Penning de Vries, 1982). Ces facteurs augmentent les risques liés à l'agriculture au Sahel.

Dans ces zones, plusieurs technologies ont été proposées pour améliorer la production agricole. Ces technologies comprennent le trempage des semences (Aune et Ousman, 2011), le microdosage – application de petites quantités d'engrais minéraux à proximité des plantes – (Buerkert *et al.*, 2001 ; Aune et Ousman, 2011), le billonnage (Subbarao *et al.*, 2000), les diguettes et les zaïs pour la rétention de l'eau (Sawadogo, 2011). Ces techniques peuvent assurer une levée uniforme, une croissance vigoureuse et un meilleur remplissage des grains des cultures.

L'intensification de la production agricole au Sahel a déjà été décrite comme l'ascension des marches d'un escalier (Aune et Bationo, 2008). Ces deux séries d'expérimentations s'appuient sur cette approche ainsi imagée pour la tester dans les conditions de production au Mali. La première série d'expérimentations comprend le trempage des semences et l'augmentation des niveaux de microdoses d'engrais en milieu paysan tandis que dans la deuxième série (en station), il a été inclus, en plus du trempage des semences et du microdosage, un traitement insecticide/fongicide et un apport d'urée au tallage.

L'étude évalue l'effet de ces technologies sur la levée et le rendement des cultures, le revenu brut et le RVC. Son objectif était de déterminer dans quelles conditions, l'intensification serait bénéfique et de montrer les niveaux d'intensification appropriés pour la zone soudanienne (régions de Koulikoro et Ségou) et pour la zone sahélienne (région de Mopti) du Mali. Les options proposées ici ne visent pas à maximiser les rendements, mais plutôt à intensifier la production céréalière dans les limites des moyens disponibles pour les paysans pauvres du Sahel (Photo 1).



Photo 1 : Plants de sorgho issus de semences trempées plus microdoses et traitement phytosanitaire des semences

Matériel et méthodes

Matériel

Présentation des sites

Les expérimentations ont été conduites à Nossombougou et à Didiéni dans la région de Koulikoro et à Konobougou dans la région de Ségou (Tableau 1). Au total neuf (9) villages ont été impliqués dans l'étude. Dans chaque village, le projet a identifié 15 paysans volontaires qui ont accepté de conduire les tests. Les sols dans ces zones étaient limono-sableux lessivés et sablo-limoneux (PIRT, 1983).

Tableau 1 : Caractéristiques agro-climatiques des sites d'essai

Sites	Pluviosité (mm)	Zones agro-climatiques	Cultures	Villages
Didiéni	500	Sahel	Mil, arachide	2
Nossombougou	600	Sahel	Mil, sorgho, arachide	4
Konobougou	700	Soudan Sahel	Mil, sorgho, arachide	3

Matériel végétal

Pour le choix des cultures, la variété locale Toroniou pour le mil et la variété Djacoumbé pour le sorgho qui arrivent à maturité en 90 et 100 jours respectivement ont été utilisées.

Méthodes

Expérimentation 1 : Effets du trempage des semences plus microdosage sur les rendements du sorgho et du mil

L'expérimentation a été réalisée pour tester les effets du trempage des semences dans l'eau et du microdosage de l'engrais NPK sur les rendements du sorgho et du mil. Les traitements étaient les suivants :

- T1 : Témoin absolu ;
- T2 : Trempage des semences ;
- T3 : Trempage des semences + microdosage de l'engrais à 0,5 g par poquet (soit 12,5 kg/ha NPK 15-15-15). L'engrais a été placé à côté du poquet au semis ;
- T4 : Trempage des semences + microdosage de l'engrais à 2 g par poquet (50 kg/ha NPK 15-15-15). L'engrais a été placé à côté du poquet 15 jours après semis (JAS).

Les semences de mil et de sorgho ont été trempées dans de l'eau pendant 8 heures et ensuite séchées à l'air libre pendant 2 heures avant le semis. Les graines ont ensuite été traitées avec un insecticide/fongicide (Permethrine et Thirame) afin de réduire les attaques des champignons et des insectes.

Les traitements testés en 2006 ont été les T1, T2 et T4 alors qu'en 2007 et 2008 tous les quatre ont été testés. Le champ paysan était considéré comme une répétition. La taille de chaque parcelle était de 1 000 m². Le rendement a été mesuré sur trois carrés de 10 m² chacun choisis au hasard.

Les parcelles ont été semées après une pluie d'environ 15 mm pour les sols sablonneux et 20 mm pour les sols limoneux. Le désherbage des parcelles a été fait à la demande et le démariage à deux plantes par poquet. L'espacement des lignes était de 80 cm et de 50 cm entre les poquets, faisant 25 000 poquets/ha.

Effets de la durée de séchage des semences trempées sur la levée et le rendement du sorgho et du mil

Les paysans ne sont pas toujours capables de semer toutes les graines immédiatement après le trempage des semences. Afin de tester l'effet du temps de séchage, les semences ont été séchées pendant 2 heures, 24 heures, 48 heures et 72 heures. Le dispositif expérimental était un bloc de Fisher avec quatre traitements en 2010 et trois traitements en 2011. La taille de chaque parcelle était de 25 m². Les écartements de semis étaient les mêmes que dans les précédents tests.

Expérimentation 2: Effets du trempage des semences plus microdosage avec traitement insecticide/fongicide et apport d'urée au tallage sur les rendements du sorgho et du mil

L'essai a été conduit pendant quatre ans à la station de recherche de Sotuba dans la région de Koulikoro et à la sous-station de recherche de Koporo-Pen dans la région de Mopti. Cet essai a également été ajouté pour évaluer l'effet du traitement des semences avec un insecticide/fongicide et avec apport d'urée au tallage.

Les traitements ont été organisés en fonction du coût croissant de l'intensification comme dans la première série d'expérimentations. Les traitements ont été les suivants:

1. Témoin;
2. Trempage des semences (TS);
3. TS + Traitement des semences (tS);

4. TS + tS+ microdosage 5 kg NPK/ha au semis (Ms);
5. TS + tS + microdosage 5 kg NPK/ha au semis (Ms) + microdosage 5 kg NPK/ha au tallage (Mt);
6. TS + tS + microdosage 5 kg NPK/ha au semis (Ms) + 25 kg d'urée/ha au tallage.

La taille de la parcelle élémentaire était de 25,6 m² et les travaux ont été menés sur les mêmes parcelles pendant quatre ans. Les précipitations annuelles moyennes dans les deux sites étaient de 850 mm à Sotuba et de 450 mm à Koporo-Pen.

Mesures et analyse de données des deux séries d'expérimentations

Les observations ont porté sur le nombre de plants levés, le nombre d'épis récoltés et les rendements paille et grains. Une analyse de variance a été faite suivant la procédure statistique de SAS et le test de Duncan à $\alpha = 0,05$ a permis de séparer les moyennes des différents traitements.

Efficience d'Utilisation de l'Engrais

L'efficience d'utilisation de l'engrais (EUE) a été calculée en faisant le rapport entre le rendement grains dû à l'engrais et la quantité d'engrais appliquée. Selon Kelly *et al.* (2006), la valeur seuil est de 10 kg de grain (mil ou sorgho) pour chaque kg d'engrais. L'EUE a été calculée pour l'effet combiné du trempage des semences et du microdosage et pour le microdosage seul. La différence de rendement entre le trempage des semences plus le microdosage moins le témoin a été utilisée pour calculer l'effet combiné du trempage et du microdosage tandis que la différence entre le «trempage plus le microdosage» moins «le trempage» a été utilisée pour calculer l'effet du microdosage seul.

Analyse des conditions environnementales par rapport à la réponse de la culture au trempage des semences et au microdosage

L'analyse a évalué les conditions environnementales dans lesquelles le trempage des semences et le microdosage donnent les meilleurs résultats. Les rendements relatifs entre les traitements et le témoin ont été calculés et illustrés sous forme de graphiques.

Analyse économique

Le budget partiel a été calculé pour chaque traitement en tenant compte des recettes et des coûts variables. Les coûts comprenaient les intrants et les coûts de main-d'œuvre liés au trempage des semences et au microdosage. Les autres coûts de main-d'œuvre n'ont pas été inclus. Les prix locaux des céréales et des intrants ont été utilisés.

Probabilité cumulée pour la marge brute

Une analyse de probabilité a été réalisée en utilisant les résultats de tous les sites en 2007 et en 2008. Les rendements ont été ordonnés dans un ordre croissant pour chaque traitement. À partir de ces données, la probabilité cumulative d'atteindre un niveau de rendement a été estimée.

Résultats et discussion

Effets du trempage des semences plus microdosage sur les rendements du sorgho et du mil (Expérimentation 1)

Il y avait en général une bonne réponse du mil et du sorgho au trempage des semences et au microdosage, mais le sorgho était généralement plus sensible au trempage et au microdosage que le mil.

Le trempage a permis d'augmenter le rendement en grains du sorgho et du mil (Tableaux 2 et 3). Avec le trempage, le rendement du sorgho a augmenté de 55 % en 2006 alors qu'en 2007 et en 2008 l'augmentation était de 19 %. Pour le mil, la réponse au trempage a été de 49 % d'augmentation en 2006 tandis qu'en 2007 et 2008 l'augmentation était de 12 %. Ces résultats montrent que l'effet du trempage est très variable d'une année à l'autre. Le trempage des semences stimule la croissance des plantes et peut assurer une meilleure levée et une meilleure installation des cultures (Harris *et al.*, 2006; Aune et Ousman, 2011). La culture peut ainsi mieux utiliser l'humidité disponible et profiter de l'azote libre du sol en début de saison (Birch, 1958). Le trempage peut être considéré comme une «technologie durable» pour l'intensification agricole car la technique n'entraîne aucun coût ni une main-d'œuvre supplémentaire.

Les rendements ont encore augmenté lorsque le trempage des semences a été associé au microdosage de l'engrais. En ce qui concerne le trempage, les effets des microdoses d'engrais ont été plus marqués chez le sorgho que chez le mil, en termes de pourcentage d'augmentation du rendement en kg/ha. En 2006, le trempage des semences combiné avec 2 g d'engrais par poquet a augmenté le rendement de 92 % pour le mil et de 131 % pour le sorgho (Tableau 2). En 2007 et 2008, il y avait deux traitements de microdosage: un avec application de 0,5 g au semis (T3) et l'autre avec application de traitement 2 g d'engrais par poquet environ 15 jours après le semis (T4). Pour le mil, il n'y pas eu de différence significative de rendement entre les deux doses d'engrais. Les rendements ont augmenté par rapport au témoin dans l'intervalle de 16 à 34 %. Pour le sorgho à Nossombougou, les rendements ont été significativement plus élevés dans le traitement de 2 g que dans le traitement de 0,5 g. Le traitement 2 g d'engrais

a augmenté le rendement de 73 % sur ce site tandis que 0,5 g d'engrais a augmenté le rendement de 41%. À Konobougou, il n'y avait pas de différence significative entre les traitements de microdosage, mais l'augmentation du rendement comparativement au témoin des deux traitements de microdosage était de l'ordre de 30%. Cela pourrait être dû aux effets résiduels des engrais sur les champs de coton, le site de Konobougou étant situé dans la zone cotonnière du Mali. Cette réponse au trempage des semences et au microdosage est conforme aux expérimentations précédentes avec ces techniques (Aune *et al.*, 2007; Aune *et al.*, 2012; Aune et Ousman, 2011). Les rendements sont toutefois plus élevés dans cette étude et le pourcentage d'augmentation du rendement est donc inférieur à celui des études précédentes.

Tableau 2 : Effets du trempage des semences et de la microdose d'engrais sur les rendements du mil et du sorgho, kg/ha, Konobougou et Nossombougou, 2006

Traitements	Rendement en grains	
	Mil	Sorgho
1- Témoin	1 107 c	1 087 c
2- Trempage des semences	1 644 b	1 686 b
3- Trempage des semences + 2 g/poquet CC (50 kg/ha) 15 JAS	2 128 a	2 506 a
Traitement	**	**
Traitement x site	NS	**
CV (%)	41	32

CC: Complexe céréale 15-15-15 NPK; JAS: jours après semis; CV: Coefficient de variation
 Dispositif expérimental en blocs dispersés de 10 répétitions
 Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Duncan
 ** Significatif au seuil de 1%; NS = Non significatif.

Tableau 3 : Effets du trempage des semences et de la microdose d'engrais sur les rendements du mil et du sorgho (kg/ha), Koulikoro et Ségou, 2007 – 2008

Traitement	Mil		Sorgho	
	Didiéni	Konobougou	Nossombougou	Konobougou
T1 Témoin	1 135 b	1 537 b	1 646 d	1 549 c
T2 Trempage des semences	1 240 b	1 736 b	1 965 c	1 732 bc
T3 Trempage des semences + 0,5g/poquet de CC NPK au semis dans différent poquet à côté de la semence	1 325 a	2 074 a	2 331 b	1 978 ab
T4 Trempage des semences + 2g/poquet de CC NPK (50 kg/ha) 15 JAS	1 567 a	2 034 a	2 816 a	2 011 a
Traitement	*	**	**	**
Traitement x Année	NS	NS	**	NS
CV (%)	34	30	25	20

CC : Complexe céréale 15-15-15 NPK ; JAS : Jours après semis ; CV : Coefficient de variation

Dispositif expérimental en blocs dispersés de 10 répétitions

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Duncan ;

*Significatif au seuil de 5% ; ** Significatif au seuil de 1% ; NS = Non significatif.

Efficiencia d'Utilisation de l'Engrais (EUE)

L'EUE a varié de 9,2 à 44,6 kg de grains par kg d'engrais appliqué (Tableau 4). L'EUE était plus élevée dans le traitement de 0,5 g d'engrais que dans le traitement de 2 g/poquet. Le sorgho a eu une EUE plus élevée que le mil. Un ratio supérieur à 10 est considéré comme une efficacité élevée (Kelly *et al.*, 2006). Sur le tableau 4, on remarque que l'application de 0,5 g d'engrais associé au trempage a entraîné une EUE de 29,1 et de 44,6 respectivement pour le sorgho et le mil. Cependant, l'application de 2 g d'engrais par poquet combinée au trempage a également donné un résultat satisfaisant, en particulier pour le sorgho. L'EUE est généralement réduite lorsque la dose d'engrais augmente (Bayaert et Roy, 2005).

Des EUE similaires ont été signalées dans les zones arides du Soudan. Le trempage combiné à l'application de 0,3 g engrais par poquet a donné une EUE de 16 et 35 respectivement pour le mil et le sorgho (Aune et Ousman, 2011). Les résultats du Niger ont montré que l'EUE a considérablement augmenté lorsque l'application d'engrais était combinée à l'application des résidus de récolte (Yamoah *et al.*, 2002).

Tableau 4 : Effets du trempage des semences et de la microdose d'engrais sur l'efficacité d'utilisation de l'engrais sur le mil et le sorgho, Koulikoro et Ségou

	Mil		Sorgho	
	2006	2007/2008	2006	2007/2008
0,5 g microdose + trempage		29,1		44,6
2 g microdose + trempage	20,4	9,2	28,3	16,3

Analyse économique

L'analyse économique a été faite sur les résultats des saisons 2007 et 2008. Suivant le tableau 5, le revenu brut du sorgho a augmenté avec l'utilisation croissante d'intrants agricoles. Le trempage des semences seul a augmenté le revenu net de 18 325 et 10 900 F CFA/ha respectivement pour le sorgho et le mil.

Pour le sorgho, le bénéfice net a augmenté par rapport au témoin de 15,4 %, 32,1 % et 41,5 % pour le Trempage des semences, le Trempage des semences + 12,5 kg de NPK/ha, et le Trempage des semences + 50 kg NPK/ha respectivement. Par contre, pour le mil, l'augmentation correspondante a été de 11,0 %, 23,9 % et 23,3 % pour le Trempage des semences, le Trempage des semences + 12,5 kg de NPK/ha, et le Trempage des semences + 50 kg NPK/ha respectivement. Ceci démontre que pour le mil, il n'y avait pas d'effet bénéfique au-delà de 0,5 g/poquet, soit 50 kg d'engrais NPK par hectare.

Le calcul du RVC pour le sorgho a montré qu'il était de 36,7 ; 9,1 et 3,4 pour le Trempage des semences, le Trempage des semences + 12,5 kg de NPK/ha, et le Trempage des semences + 50 kg NPK/ha respectivement. Pour le mil, par contre, les valeurs correspondantes étaient 21,8 ; 5,6 et 1,5. Le seuil de rentabilité du RVC pour l'introduction de nouvelles technologies étant 2, (Bationo *et al.*, 2012), tous les traitements peuvent être considérés comme donnant une réponse satisfaisante sauf le T4 pour le mil. Le trempage de la semence est clairement le traitement ayant le RVC le plus élevé. Cependant le Trempage des semences plus 0,5 g d'engrais/poquet (T3) sera l'option la plus intéressante dans la production de mil car il a un revenu net élevé et un RVC satisfaisant à la fois pour le mil et le sorgho. Pour le mil, le traitement le plus intéressant pour les agriculteurs semble être le Trempage des semences + 12,5 kg de NPK/ha. Le Trempage des semences + 50 kg NPK/ha donne une marge brute supérieure de 6 % à celle du T3, mais le RVC est de 9,1 pour T3, comparé à 3,4 pour T4.

Au Niger, il a été également signalé un faible RVC relatif à l'application de 2 g de DAP par poquet sur le mil (Biédiers et Gerard, 2015). Ces auteurs ont rapporté que le risque d'utiliser le microdosage est moindre lorsque le rendement de la parcelle témoin est

faible. Il y a donc de bonnes raisons de remettre en question la recommandation de l'ICRISAT d'utiliser le microdosage de l'ordre de 2 à 6 grammes d'engrais par poquet sur le mil (ICRISAT, 2012). L'application de 6 g d'engrais par poquet entraîne une application de 180 kg d'engrais/ha s'il y a 30 000 poquets/ha. Cela ne peut pas être considéré comme une faible dose d'engrais dans des conditions d'agriculture au Sahel. Les principaux acteurs du développement, tels que AGRA, ont également encouragé les doses proposées par l'ICRISAT (FARA, 2009).

Tableau 5 : Budget partiel du trempage des semences et de la microdose d'engrais sur le sorgho et le mil (F CFA par hectare), 2007 – 2008

	Sorgho				Mil			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Rendement moyen (kg/ha)	1 598	1 849	2 155	2 414	1 336	1 488	1 700	1 801
Mil/sorgho (F CFA/kg)	75	75	75	75	75	75	75	75
Revenu brut (F CFA/ha)	119 850	138 675	161 625	181 050	100 200	111 600	127 500	135 075
Coût semence (F CFA/ha)	600	600	600	600	600	600	600	600
Coût engrais (F CFA/ha)	0	0	3 125	12 500	0	0	3 125	12 500
Main-d'œuvre (F CFA/ha)	0	500	1 000	1 500	0	500	1 000	1 500
Coûts variables	600	1 100	4 725	14 600	600	1 100	4 725	14 600
Revenu (F CFA/ha)	119 250	137 575	156 900	166 450	99 600	110 500	122 775	120 475
RVC		36,7	9,1	3,4		21,8	5,6	1,5

T1 = témoin; T2 = Trempage de semences; T3 = Trempage de semences + 12,5 kg NPK/ha NPK; T4 = Trempage des semences + 50 kg NPK/ha

Effets de la durée de séchage des semences trempées sur la levée et le rendement du sorgho et du mil

Il peut être difficile pour les paysans de savoir la quantité de semences à tremper après une pluie suffisante car cela dépendra de la superficie qu'ils pourront semer le jour suivant. Si une grande quantité de semences a été trempée, la question sera de savoir quoi faire avec le surplus de semence. Une étude a donc été initiée pour évaluer pendant combien de temps il est possible de conserver les semences trempées sans perdre l'effet du trempage sur la germination, l'émergence et la croissance des plants. Les semences de sorgho ont été séchées à l'ombre pendant 2, 24, 48 et 72 heures après le trempage, tandis que les graines de mil ont été séchées pendant 2, 24 et 48 heures. Ni sur le sorgho ni sur le mil il n'y a eu d'effet du temps de séchage sur l'émergence, le nombre de panicules et le rendement en grains de la culture. Ces résultats montrent qu'il est

possible pour les agriculteurs de garder la semence jusqu'à trois (3) jours si le paysan n'est pas en mesure d'utiliser toutes les semences le jour où le trempage a été entrepris. Cela donne une plus grande flexibilité d'utilisation que si toutes les graines devaient être semées immédiatement après le trempage.

Effets des conditions environnementales par rapport à la réponse au trempage des semences et au microdosage

Le rendement relatif entre les traitements (T2, T3 et T4) et le témoin (T1) a été calculé; car si le rendement relatif est supérieur à 1, il y a un effet positif du traitement (trempage et microdosage) par rapport au témoin. Ce rendement relatif pour chaque traitement et chaque site a été tracé en fonction du rendement du témoin sur le site. Le rendement du témoin peut être considéré comme un indicateur de l'environnement sur le site car ce rendement est principalement déterminé par les précipitations, les conditions du sol, les maladies, les ravageurs et la pression des adventices. L'analyse de régression a montré que le bénéfice relatif du trempage et du microdosage était réduit lorsque les conditions environnementales devenaient plus favorables (rendements plus élevés chez le témoin).

Pour le sorgho, il n'y avait pratiquement aucun effet du trempage et du microdosage lorsque le rendement du témoin était supérieur à 2000 kg/ha. En dessous d'un rendement de sorgho de 900 kg/ha pour le témoin, il y avait une bonne réponse au trempage des semences et au microdosage. Entre 900 et 2000 kg/ha, il y avait un effet positif du trempage des semences et du microdosage, mais l'effet était ici plus variable. Ces résultats montrent que le trempage des semences et le microdosage sont des technologies qui conviennent surtout aux zones marginales (Figures 1, 2 et 3).

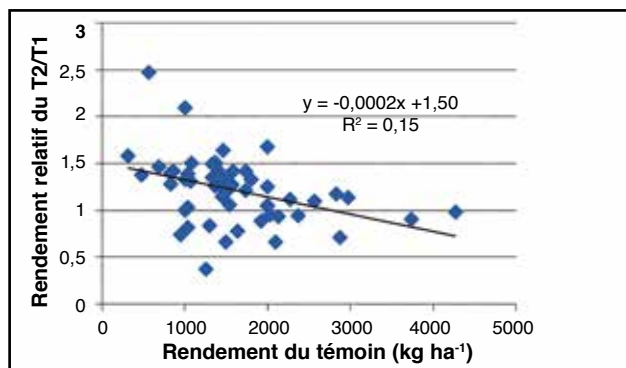


Figure 1 : Rendement relatif du sorgho T2/T1 pour les sites, 2007 et 2008

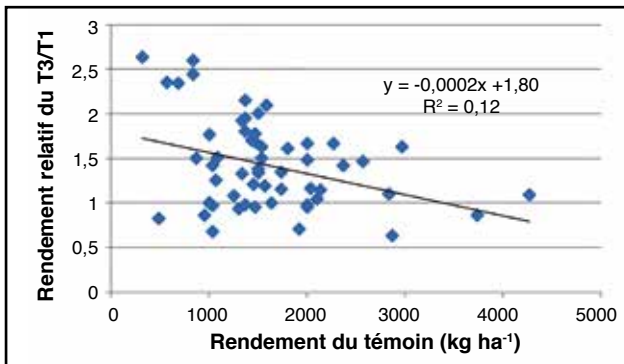


Figure 2 : Rendement relatif du sorgho T3/T1 pour les sites, 2007 et 2008

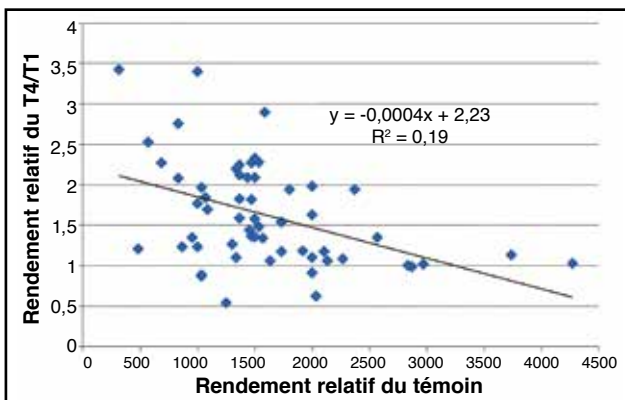


Figure 3 : Rendement relatif du sorgho T4/T1 pour les sites, 2007 et 2008

Les résultats sur le mil ont montré, comme pour le sorgho, une baisse du rendement relatif entre le traitement et le témoin lorsque le rendement du témoin augmente. Comme le montrent les figures 4, 5 et 6, il y a eu une réponse cohérente à ces traitements lorsque le rendement du témoin est inférieur à 500 kg/ha. Au-dessus de 500 kg/ha pour le témoin, la réponse par rapport au témoin est également perceptible, mais l'effet est plus variable.

Cependant, lors du tracé du rendement du témoin par rapport à l'augmentation absolue du rendement, aucune relation claire n'apparaît. La même augmentation de rendement (kg/ha) à la suite du traitement peut donc être attendue à travers différents niveaux de rendement du témoin.

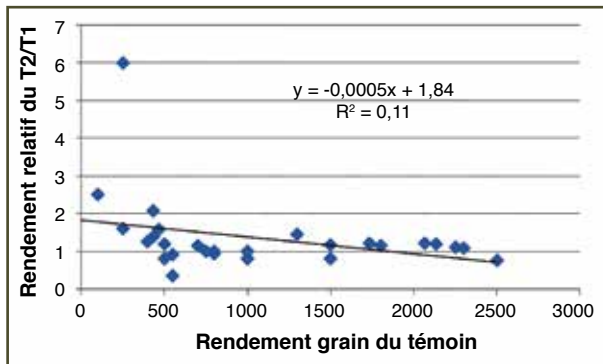


Figure 4 : Rendement relatif du mil T2/T1 pour les sites, 2007 et 2008

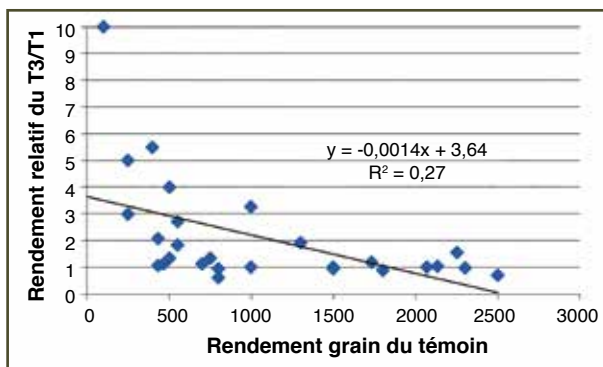


Figure 5 : Rendement relatif du mil T3/T1 pour les sites, 2007 et 2008

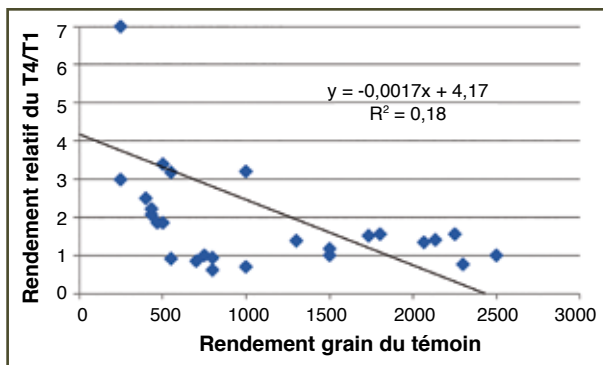


Figure 6 : Rendement relatif du mil T4/T1 pour les sites, 2007 et 2008

Toutefois, il est plus logique d'introduire le trempage des semences et le microdosage dans les zones à faible rendement même si l'augmentation absolue du rendement est la même. La raison en est que l'augmentation de rendement liée au trempage des semences et au microdosage est moins visible au niveau de rendements élevés alors que les producteurs peuvent facilement être convaincus de l'effet dans les zones où les rendements sont faibles. Le surplus de rendement grains et le rendement en paille correspondant obtenus dans de telles conditions marginales peuvent également être très précieux.

Risques du trempage des semences et du microdosage

La figure 7 montre la probabilité cumulée du revenu brut des différents traitements du sorgho pour les années 2007 et 2008. Il ressort que la probabilité d'avoir un bénéfice net bas (inférieur à 75 000 F CFA/ha) est la même dans les différents traitements.

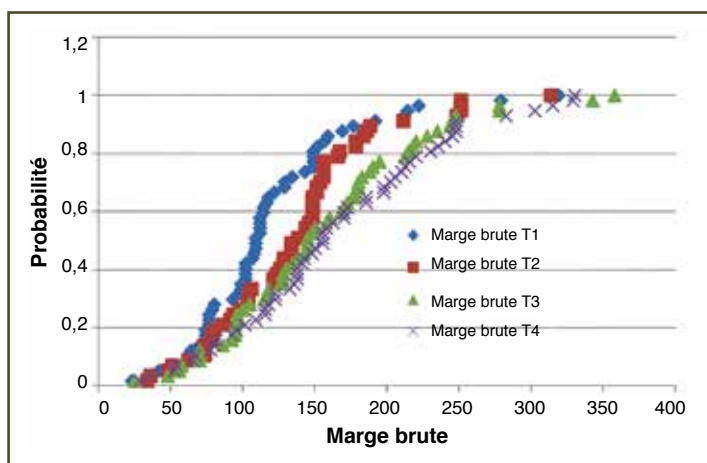


Figure 7 : Probabilité cumulative de revenu brut (x 1000 F CFA) pour les traitements T1, T2, T3 et T4 pour le sorgho, 2007 et 2008

L'utilisation de la technique du microdosage de l'engrais NPK et du trempage des semences ne constitue donc pas un risque pour le paysan. On observe que pour le traitement témoin (T1), environ 20 % des agriculteurs ont obtenu un bénéfice net supérieur à 150 000 F CFA/ha alors que pour le Trempage des semences + 12,5 kg de NPK/ha ; et le Trempage des semences + 50 kg NPK/ha, environ 50 % des agriculteurs ont obtenu une marge brute supérieure à 150 000 F CFA. Il y a donc une probabilité

plus élevée que les agriculteurs obtiennent un avantage élevé en combinant le trempage des semences et le microdosage. Il n'y a qu'une différence mineure entre la répartition du revenu entre les traitements T3 (Trempage des semences + microdosage de l'engrais à 0,5 g par poquet (soit 12,5 kg/ha NPK 15-15-15)) et T4 (Trempage des semences + microdosage de l'engrais à 2 g par poquet (50 kg/ha NPK 15-15-15)), ce qui démontre que les agriculteurs peuvent choisir une application de 0,3 g par poquet au lieu de 2 g par poquet. Pour les agriculteurs qui pratiquent le trempage des semences, environ 35 % ont un revenu supérieur à 150 000 F CFA/ha.

La même distribution des probabilités de la marge brute a été observée sur le mil et le sorgho, mais ici, la réponse aux traitements a été plus faible sur le mil que sur le sorgho.

Effets du trempage des semences plus microdosage avec traitement insecticide/fongicide et apport d'urée au tallage sur les rendements du sorgho et du mil (Expérimentation 2)

Dans le deuxième essai sur l'intensification agricole mené de 2011 à 2015, il a été inclus le traitement des semences et l'apport d'urée au tallage. L'utilisation de 2 g d'engrais par poquet a été abandonnée car on a trouvé dans la première série d'expérimentations que cette dose était trop élevée.

Cette expérimentation a montré un bon effet du niveau d'intensification mais les résultats ont varié entre les sites. Les effets de l'intensification ont été les plus forts pour le site de Sotuba avec des conditions pluviométriques plus favorables et des rendements plus élevés par rapport au site de Koporo Pen dans la région de Mopti.

Les observations sur les plants à Sotuba ont montré qu'il y avait en général une amélioration de la levée et du développement des cultures en fonction des niveaux croissants d'intensification (Tableau 6). Cependant, il est apparu que les effets étaient plus visibles au début de la saison que plus tard en milieu de croissance. Il y avait un effet sur le nombre de poquets germés 3 jours après le semis, le diamètre de la tige et la hauteur des plants 30 jours après le semis. Ces résultats montrent que les techniques proposées ici sont particulièrement adaptées pour améliorer la levée des cultures.

Tableau 6 : Effets des niveaux d'intensification sur la levée et la croissance du sorgho, Sotuba, Koulikoro, 2011-2015

Traitement	Plants/ha 3 JAS	Diamètre tige 30 JAS (cm)	Hauteur 30 JAS (cm)	Hauteur floraison (cm)	Poquets récoltés
Témoin	15 800	9,5	38,8	125	25 075
Trempage des semences (TS)	16 600	8	33,8	118	21 907
TS + Traitement des semences (tS)	16 800	9,5	38,5	128	25 848
TS + tS + microdose 5 kg NPK/ha semis (Ms)	17 100	10,4	39,5	123	25 271
TS + tS + microdose 5 kg NPK/ha semis (Ms) + microdose 5 kg NPK/ha tallage (Mt)	18 000	11,3	43,5	127	26 049
TS + tS + microdose 5 kg NPK/ha semis (Ms) + 25kg urée/ha au tallage	18 600	11,6	42,4	129	26 996
Probabilité	0,05	0,001	0,002	NS	NS

JAS : jours après semis ; M : microdose ; NS = non significatif ; *Significatif au seuil de 5% ; ** Significatif au seuil de 1%.

L'effet sur le rendement des cultures était similaire aux observations sur le développement des cultures à Sotuba (Tableau 7). Pour ce site, le niveau d'intensification le plus élevé a augmenté le rendement moyen des quatre années de 893 kg/ha (augmentation de rendement de 76%) par rapport au témoin. Il n'y a eu aucun effet du trempage des semences à ce site, ce qui est conforme aux résultats précédents selon lesquels le trempage des semences donne les meilleurs résultats dans des conditions de faible pluviosité (Aune et Ousman, 2011). L'effet le plus apparent sur ce site est celui du traitement où l'urée augmente le rendement moyen de 541 kg/ha comparativement aux autres niveaux d'intensification (Tableau 7). Ceci a clairement montré que l'azote était un facteur limitant les rendements sur ce site. Les autres facteurs qui ont contribué à augmenter le rendement ont été le traitement des semences et le microdosage au semis.

Tableau 7 : Effets des niveaux d'intensification sur le rendement (kg/ha) du sorgho, Sotuba, Koulikoro, 2011-2015

Traitement	2011	2012	2013	2014	Moyenne
Témoin	1 451	760c	750c	1 737	1 175c
Trempage des semences (TS)	1 029	836c	970c	1 850	1 171c
TS + Traitement semences (tS)	807	1 028bc	1 029b	2 192	1 264c
TS + tS + microdose 5 kg NPK/ha au semis (Ms)	976	1 248b	1 323b	1 975	1 381bc
TS + tS + microdose (Ms) 5 kg NPK/ha au tallage (Mt)	1 107	1 680b	1 544b	1 775	1 527b
TS + tS + Ms + 25 kg urée/ha au tallage	1 302	2 656a	2 147a	2 170	2 068a
Déviati on Standard	274	290	264	169	141
Probabilité	NS	0,001	0,001	NS	0,0001

TS : trempage des semences ; tS : traitement des semences ; M : microdose ; NS = non significatif.

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Duncan.

Sur le site de Koporo Pen, dans la région de Mopti, il n'y a pas eu d'effet de NPK ou d'urée alors que le microdosage a eu un bon effet au début de la saison (Tableau 8). Sur ce site, la différence de rendement entre le témoin et le traitement avec le rendement le plus élevé a été de 387 kg/ha (augmentation de 70 %). C'était le traitement qui comprenait le microdosage au semis. Ceci a montré que l'avantage de rendement est nettement plus élevé dans des conditions plus favorables à Sotuba dans la région de Koulikoro par rapport aux conditions plus défavorables à Koporo Pen dans la région de Mopti. Cependant, l'augmentation du rendement relatif est à peu près la même pour les deux sites. Contrairement au résultat précédent dans la région de Mopti (Aune *et al.*, 2007), il n'y avait aucun effet du trempage des semences, mais il y avait un effet de traitement des semences avec un fongicide/insecticide.

Tableau 8 : Effets des niveaux d'intensification agricole sur le rendement grains (kg) du mil, Koporo Pen, Mopti

Traitements	2011	2012	2013	2014	Moyenne
Témoin	975	490b	650c	88	550b
Trempage des semences (TS)	913	625b	625c	100	565b
TS + Traitement semences (tS)	1 075	716ba	563c	125	620b
TS + tS + microdose 5 kg NPK/ha semis (Ms)	1 350	810ba	988b	600	937a
TS + tS + Ms + microdose 5 kg NPK/ha au tallage (Mt)	1 375	903a	925b	463	916a
TS + tS + Ms + 25 kg urée/ha au tallage	1 400	890ba	1050a	375	929a
Déviati on Standard	274	290	264	135	83
Probabilité	0,62	0,01	0,001	0,06	0,001

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Duncan ; Ms = microdose 5kg NPK/ha au semis ; Mt = microdose 5 kg NPK/ha au tallage.

Évaluation économique de l'échelle d'intensification

Les données sur le rendement, les prix des intrants et la production ont servi à calculer la rentabilité économique en termes de revenu brut et de rapport valeur sur coût (RVC). Pour le site de Sotuba, le niveau d'intensification le plus élevé a augmenté le revenu d'environ 100 000 F CFA/ha, soit une augmentation de 71 % de la marge brute. C'est surtout l'apport d'urée au tallage qui a augmenté la marge brute. Le traitement des semences avec un insecticide/fongicide a augmenté le revenu brut d'environ 11 000 F CFA/ha, ce qui correspond à un RVC de 42,4 qui montre que le traitement des semences est un très bon investissement économique. Le niveau d'intensification le plus élevé a donné un RVC de 17,1 qui est bien au-dessus de la valeur seuil de 2.

À Koporo Pen, le traitement qui était le meilleur en termes de marge brute et de RVC a été le traitement comprenant le trempage, le traitement phytosanitaire des

semences et le microdosage au semis. Ce traitement a augmenté la marge brute de 38 000 F CFA/ha par rapport au témoin et a donné un RVC de 63,1, ce qui est un très bon retour sur investissement. Quant au site de Sotuba, il y a eu un très bon retour sur investissement dû au traitement des semences. Comme indiqué au tableau 9, l'apport d'urée au tallage n'a pas augmenté le RVC.

Les résultats de ces deux sites ont montré qu'il existe de bonnes perspectives d'intensification du sorgho et du mil à Sotuba et à Kopro Pen (en zone sahélienne). Cependant, le niveau approprié pour l'intensification variera. Pour le site de Sotuba (en zone soudanienne), le niveau d'intensification le plus élevé qui incluait l'épandage d'engrais de fond au semis et l'urée au tallage a donné le meilleur résultat alors qu'à Kopro Pen, l'intensification avec microdosage au semis semblait être le niveau d'intensification le plus approprié (Tableau 9).

Tableau 9 : Effets des niveaux d'intensification agricole sur le revenu marginal et le RVC sur le sorgho à Sotuba et le mil à Kopro Pen, Mopti

Traitements	Sorgho – Sotuba		Mil – Kopro Pen	
	Revenu marginal en F CFA	RVC	Revenu marginal	RVC
Témoin	139 825		65 450	
Trempage des semences (TS)	139 349		67 235	
TS + Traitement semences (tS)	150 166	42,4	73 530	33,3
TS + tS + microdose 5 kg NPK/ha (Ms)	162 989	33,6	110 153	63,1
TS + tS + Ms + microdose 5 kg NPK/ha au tallage (Mt)	179 263	17,1	106 554	17,8
TS + tS + Ms + 25 kg urée/ha au tallage	239 242	15,5	103 701	6,6

RVC = Rapport Valeur sur Coût; Ms = microdose 5 kg NPK/ha au semis; Mt = microdose 5 kg NPK/ha au tallage.

Conclusion

Les résultats de ces deux séries d'expérimentations montrent qu'il existe une bonne opportunité d'intensification agricole dans l'agriculture pluviale au Mali. Dans les deux séries d'expériences, le sorgho a mieux réagi que le mil à un niveau d'intensification croissant. La première série d'expérimentations a montré que l'application de 0,5 g d'engrais/poquet est une dose plus appropriée que l'application de 2 g d'engrais par poquet comme recommandé par l'ICRISAT. C'est particulièrement le cas pour l'application d'engrais sur le mil. L'augmentation du rendement relatif due aux traitements était plus élevée lorsque les niveaux de rendement des témoins sur les sites étaient faibles. Cela rend le trempage des semences et les technologies de microdosage particulièrement appropriés pour les conditions de faible pluviosité. Cependant, l'effet des traitements

en termes de rendement en kg/ha est le même à des niveaux de rendement plus élevés, ce qui indique que l'intensification est également possible dans de meilleures conditions environnementales. Une évaluation des risques des technologies a montré qu'il n'y a pas de différence entre les traitements quant à la probabilité d'obtenir une faible marge brute, alors qu'il semble que la probabilité d'obtenir une marge brute élevée est significativement plus élevée lorsque le trempage des semences et le microdosage sont pratiqués. Le trempage des semences et le microdosage n'augmentent donc pas le risque des agriculteurs, mais augmentent les probabilités d'obtenir des revenus élevés.

La deuxième série d'expériences a également montré l'importance du trempage des semences plus un traitement fongicide/insecticide. Cette expérimentation a montré que le niveau d'intensification approprié varie d'une région à l'autre. Dans les régions où la pluviosité est bonne, comme dans la région de Koulikoro, il y a une très bonne réponse à l'apport d'urée au tallage alors que dans la région de Mopti avec moins de précipitations, il n'y a pas de réponse à l'apport d'urée au tallage.

Ces expérimentations ont montré qu'il existe une bonne opportunité d'intensification de la production agricole à moindre coût au Mali. Dans les zones à forte pluviosité, il est possible de procéder à des niveaux élevés d'intensification et d'utiliser l'apport de l'urée au tallage dans le cadre de l'intensification alors que dans les zones de faible pluviosité, l'intensification ne devrait pas aller au-delà d'un traitement avec un insecticide/fongicide et une application de 0,5 g d'engrais NPK par poquet.

Références

- Aune J.B., Bationo A., 2008. L'intensification agricole au Sahel - L'approche par échelle. *Agr. Syst.* 98: 119-125.
- Aune J.B., Doumbia M. & Berthé A., 2007. Microfertilizing sorghum and pearl millet in Mali 2007. *Outlook on Agriculture* 36: 199-203.
- Aune J.B. & Ousman A., 2011. Effect of seed priming and microdosing of fertilizer on sorghum and pearl millet in Western Sudan. *Experimental Agriculture* 47: 419-430.
- Aune J.B., Traoré C.O., Mamadou S., 2012. Low-cost technologies for improved productivity of dryland farming in Mali. *Outlook Agr* 41:103-108.
- Bationo A., Fairhurst T., Giller K., Kelly V., Lunduka R., Mando A., Mapfumo P., Odour G., Romney D., Vanlauwe B., Wairegi L. & Zingoré, S., 2012. Handbook for integrated soil fertility management. African soil health consortium, CABI International, 149 p.
- Bayaert R.P. & Roy R.C., 2005. Influence of Nitrogen Fertilization on Multi-Cut Forage Sorghum–Sudangrass. Yield and Nitrogen Use. *Agronomy Journal* 97:1493-1501.

- Birch, H.F., 1958. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Plant and Soil* 10:9.
- Bielders C.L. and Gerard B., 2015. Millet response to microdose fertilization in south-western Niger: Effect of antecedent fertility management and environmental factors. *Field Crops Research* 171:165-175.
- Buerkert A., Bationo A. & Piepho H.P., 2001. Efficient phosphorus application strategies for increased crop production in sub-Saharan West Africa. *Field Crops Research* 72: 1-15.
- FARA, 2009. AGRA launches micro dosing fertilizer project. <http://farastaff.blogspot.nl/2009/12/agra-launches-microdosing-fertilizer.html>.
- Harris D., Pathan A. K., Gothkar P., Joshi A., Chivasa W. and Nyamudeza P., 2006. On-farm seed priming: using participatory methods to revive and refine a key technology. *Agricultural Systems*, 69, Issues 1-2, July-August 2006: 151-164.
- Harris D., 2006. Development and testing of “on-farm” seed priming. *Advances in Agronomy* 90: 129-178.
- ICRISAT, 2012. Fertiliser microdosing. [http://www.icrisat.org/jewels/Posters/Fertilizer Microdosing.pdf](http://www.icrisat.org/jewels/Posters/Fertilizer%20Microdosing.pdf).
- Kelly V., Reardon T., Yangen D. & Naseem A., 2006. Fertilizer in sub Saharan Africa: Breaking the vicious circle of high prices and low demand. Policy Synthesis n° 32. MSU Agricultural Economics. USA.
- Konaté M., 1984. Etude de l'environnement avec référence spéciale au climat des zones de culture du sorgho et du mil des régions tropicales semi-arides d'Afrique occidentale. In *Agro meteorology of Sorghum and Millet in the Semi-Arid Tropics. Proceedings of the International Symposium, ICRISAT Center Patancheru, India 15-20 November, 1982.*
- Penning de Vries F.W.T., 1982. La fertilisation et l'irrigation. In : *La productivité des pâturages sahéliens. Une étude des sols, des végétations et de l'exploitation de cette ressource naturelle*, (Penning de Vries F.W.T. and Djitéye M.A. (Eds.), Wageningen, PUDOC, p. 425-434.
- PIRT, 1983. *Projet Inventaire des Ressources Terrestres du Mali. Les ressources terrestres du Mali.* Government of Mali/USAID/TAMS, New York.
- Sawadogo H., 2011. Using soil and water conservation techniques to rehabilitate degraded lands in northwestern Burkina Faso. *International Journal of Agricultural Sustainability* 9: 120-128.
- Subbarao G.V., Renard C., Paynes W.A. & Bationo A., 2000. Long-term effects of tillage, phosphorus fertilization and crop rotation on pearl millet-cowpea productivity in the west-African Sahel. *Experimental Agriculture* 36: 243-264.
- Yamoah C.F., Bationo A., Shapiro B. & Koala S., 2002. Trend and stability of millet yields treated with fertilizer and crop residues in the Sahel. *Field Crops Research* 75: 53-62.

CHAPITRE 4 :

Le système de décrue de Yélimané en zone sahélienne au Mali

Caractéristiques physico-chimiques des horizons de surface des sols de décrue à Gory, Dougoubara et Yaguiné, cercle de Yélimané

Physico-chemical Characteristics of Soil Surface Horizons in Flood Receding Areas of Gory, Dougoubara and Yaguiné villages in Yélimané

Traoré Kalifa^{1*}, Traoré Bouya¹, Aune Jens Bernt², Traoré Boubacar¹, Coulibaly Boubacar¹, Togo Daouda¹

¹Institut d'Économie Rurale - BP 258, Bamako, Mali

²Université des Sciences de la vie, NorAgric Ås, Norvège

*Auteur pour la correspondance : ibosimon_1@yahoo.fr

Résumé

Le maintien de la fertilité des sols pour une production durable des cultures nécessite une bonne connaissance sur la disponibilité en éléments nutritifs des sols alors que la grande majorité des paysans et autres acteurs des organismes de développement ont des connaissances scientifiques limitées sur les nutriments en vue d'améliorer la productivité des sols. L'objectif de cette étude est de contribuer à la compréhension des caractéristiques physico-chimiques des terres de décrue en vue d'améliorer la production des cultures. Des échantillons de sol de surface ont été prélevés à une profondeur de 0 - 20 cm dans les villages de Gory, Dougoubara et Yaguiné. Dans chaque site, des transects en Astérix ont été déterminés et à chaque 50 m les prélèvements ont été réalisés. Ensuite, 20 échantillons composites, obtenus après un mélange homogénéisé, ont été constitués pour chaque site pour assurer une meilleure représentativité de la zone d'étude. Un échantillon représentatif de deux kilogrammes de sol de chaque site a été conditionné dans des sacs en plastique prévus à cet effet et envoyé au Laboratoire Sol, Eau, Plantes de l'Institut d'Économie Rurale pour des analyses physico-chimiques. L'analyse de la texture des horizons de surface montre que les sols sont argilo-limoneux à Gory, limono-sableux à Dougoubara et limoneux à Yaguiné. La quantité d'argile à Gory (40 %) est plus du double de celle de Dougoubara (15 %). Les pH eau, variant de 6,2 à 7,3 montrent des valeurs optimales pour l'absorption des éléments minéraux dans le sol et les valeurs des CEC, avoisinant la valeur de 12 cmol (+) kg⁻¹, sont considérées comme intermédiaires. Les sols sont pauvres en matière organique (< 0,6 %) et en azote (< 1 %), mais bien pourvus en phosphore (> 7 ppm). Pour une amélioration de la production, la valorisation des résidus de récolte par la production de fumier et de

compost qui sont des techniques accessibles à la majorité des paysans de la zone serait salubre.

Mots-clés : sols de décrue, fertilité, production durable, Mali.

Abstract

Maintaining soil fertility for sustainable crop production requires a good knowledge of soil nutrient availability, while the vast majority of farmers and other development agency actors have limited scientific knowledge of nutrients to improve soil productivity. The objective of this study is to contribute to the understanding of the physico-chemical characteristics of flood recession lands in order to improve crops production. Soil surface samples were collected at a depth of 0-20 cm in the villages of Gory, Dougoubara and Yaguiné. In each site, transects in Asterix pattern were determined and soil samples were collected at every 50 m. Then, 20 composite samples, obtained from a homogenized mixing, were constituted for each site to ensure a better representation of the study area. A representative sample of two kilograms of soil from each site was packaged in plastic bags provided for this purpose and sent to the Soil-Water-Plant Laboratory of the Institute of Rural Economy for physico-chemical analysis. Texture analysis showed that soils were clay-silty in Gory, sandy-loamy in Dougoubara and silty in Yaguiné. The amount of clay in Gory (40%) was more than the double of that of Dougoubara (15%). The pH (water) ranging from 6.2 to 7.3 shows optimal values for soil mineral uptake and CEC values close to 12 cmol (+) kg⁻¹ were considered as intermediate. Soils were low in organic matter (<0.6%) and nitrogen (<1%), but well supplied with phosphorus (> 7ppm). To improve crop production, it would be worthwhile to make a better use of crop residues through manure and compost production techniques, which are accessible to the majority of farmers in the area.

Key words: flood recession soils, fertility, sustainable production, Mali.

Introduction

Bien que de nombreuses études sur la fertilité des sols en agriculture pluviale au Mali aient été menées par des institutions de recherche depuis les années d'indépendance en 1960, peu de recherches ont été menées dans le système de décrue en général et dans celui de Yélimané en particulier (Traoré *et al.*, 2016). La grande majorité des paysans et autres acteurs des organismes de développement manquent de connaissances scientifiques sur le statut en nutriments des sols. Le maintien de la fertilité des sols pour une production durable des cultures nécessite une bonne connaissance sur la disponibilité en éléments nutritifs et les caractéristiques physico-chimiques des sols (Soumaré *et al.*, 2002). Ces connaissances sont acquises à travers des analyses de laboratoire qui permettent de renseigner sur le niveau de fertilité des sols. Les indicateurs clés de la fertilité des sols ont été rapportés par plusieurs chercheurs entre autres, (Pieri, 1989; Rider et Van Keulen, 1990; Asadu *et al.*, 1997; Monreal *et al.*, 1997; Bertrand et Gigou, 2000; Traoré, 2003; Traoré *et al.*, 2004; Doumbia *et al.*, 2008). Ils portent sur le pH, la matière organique, les bases échangeables, la capacité d'échange cationique (CEC), l'azote, le phosphore, le potassium, le calcium, le magnésium, etc. Les teneurs en certains éléments tels que Ca, Mg, K et Na dont la somme est utilisée pour déterminer la CEC bien que d'autres cations comme H^+ , Al^{+++} , etc., y soient inclus, sont également utilisées à travers leurs ratio pour déterminer des équilibres dans le sol pouvant favoriser une bonne production agricole. Il faut aussi noter l'importance de certaines propriétés physiques telles que la distribution sur les unités de paysage des argiles, limons et des sables le long des profils qui sont déterminants pour la rétention de l'humidité, condition nécessaire pour la pratique de la culture de décrue. La connaissance de ces indicateurs de la fertilité est nécessaire pour prévoir la production agricole dans la zone et également pour proposer des modes et des stratégies de gestion de la fertilité accessibles aux paysans (compostage, paillage, microdosage de l'engrais minéral, etc.). La présente étude a été menée dans ce but dans la zone de décrue du cercle de Yélimané dans les villages de Dougoubara, Gory et Yaguiné.

L'objectif de cette étude est de mettre à la disposition des utilisateurs des informations sur les caractéristiques physiques et chimiques des sols de décrue ainsi que la bonne information sur le niveau de nutriments de ces sols localisés dans les villages de Dougoubara, Gory et Yaguiné. Ces informations pourraient aider les services de vulgarisation et les autres partenaires au développement à prodiguer des appuis-conseils en matière de production agricole et également de gestion de l'environnement.

Conditions climatiques et sols

La figure 2 montre les moyennes pluviométriques des années 2012, 2013 et 2014 de Yélimané. Il apparaît que l'année 2012 était plus pluvieuse que 2013 qui a son tour était supérieure à 2014. La région est caractérisée par des précipitations annuelles allant de 500 à 600 mm au cours de la période de l'étude. Les précipitations sont unimodales avec le maximum de pluies, enregistré en juillet et août.

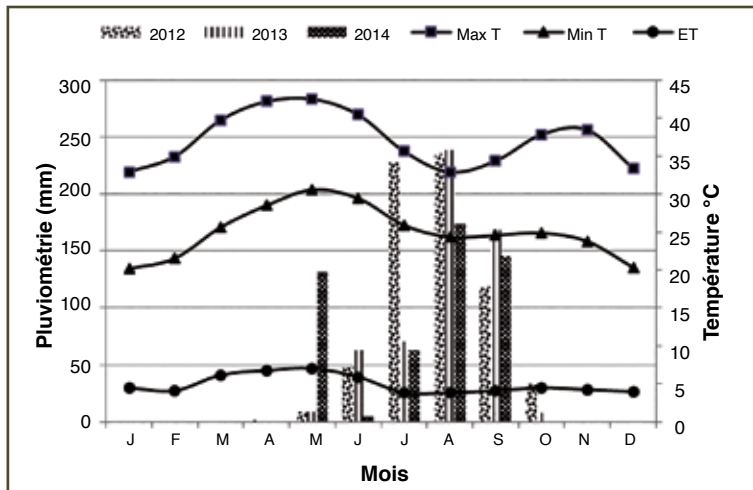


Figure 2: Pluviométrie durant les années 2012, 2013 et 2014 à Yélimané, Mali (Traoré *et al.*, 2016).

Les températures annuelles moyennes ont varié de 20,2 à 28,5°C comme minima à des maxima de 32,9 à 42,5°C. L'évapotranspiration était de 6-7 mm jour⁻¹ pendant la saison sèche et 4 mm jour⁻¹ en saison des pluies.

Les sols de la région varient de sablo-limoneux peu profonds et pierreux des hauts plateaux à limono-argileux à argileux des cuvettes (parties centrales des cuvettes et bords des cuvettes) en passant par les terrasses alluvionnaires dans les vallées hautes, basses, les bourrelets de berges et les marigots qui sont sablo-limono-argileux à souvent argileux.

La formation végétale de l'espace sylvo-pastoral est la savane arbustive. La taille des arbustes est de l'ordre de 2 à 10 m. Les principales espèces végétales ligneuses sont: *Bauhinia rufescens*, *Acacia seyal*, *Balanites aegyptiaca*, *Guiera senegalensis*, *Hyphaene*

thebaica, *Ziziphus mucronata*, *Adansonia digitata*, *Piliostigma reticulatum*, *Acacia tortilis*, *Calotropis procera*, *Ficus capensis*, *Combretum micranthum*, *Combretum adenogonium*, *Senegalia senegal*, *Borassus aethiopum*, *Faidherbia albida*. Parmi les herbacées rencontrées, on peut citer : *Andropogon* spp, *Cenchrus bliflorus*, *Digitaria* spp, etc.

Échantillonnage et analyse physico-chimique des sols

Des échantillons de sol de surface ont été prélevés à une profondeur de 0 - 20 cm dans les villages de Gory, Dougoubara et Yaguiné. Dans chaque site, des transects en Astérix ont été déterminés et les prélèvements ont été effectués à chaque 50 m. Ensuite, 20 échantillons composites, obtenus après un mélange homogénéisé, ont été constitués pour chaque site pour assurer une meilleure représentativité de la zone d'étude. Un échantillon représentatif de deux kilogrammes de sol de chaque site a été conditionné dans des sacs en plastique prévus à cet effet et envoyé au Laboratoire Sol, Eau, Plantes de l'Institut d'Économie Rurale. Ces échantillons ont été séchés à l'air sous abri puis passés au tamis (maille de 2 mm) avant leur broyage pour les analyses physico-chimiques.

Le pH a été déterminé par la méthode potentiométrique dans un rapport 1:2, Thomas (1996).

La teneur du sol en C organique a été déterminée par la méthode de Walkley et Black (Nelson et Sommers, 1982), le phosphore assimilable-BrayII tel que décrit dans Olsen et Sommers (1982). Les bases échangeables (Ca, Mg et K) ont été déterminées par extraction à l'acétate d'ammonium tamponné à pH 7,0 avant la lecture au spectromètre à absorption atomique en ce qui concerne Ca et Mg et au spectromètre à flamme pour K. L'azote total (N total) a été déterminé par la méthode de Kjeldahl (Bremner et Mulvaney, 1982). Le pourcentage de sodium échangeable (ESP %) a été calculé en rapportant la valeur de Na échangeable sur la CEC exprimée en pourcentage.

Une fosse typique (Photo 1) a été ouverte pour mieux comprendre le fonctionnement des horizons de surface.



Photo 1 : Profil pédologique typique des sols des zones de décrue à Dougoubara, en 2013 à Yélimané (Kayes)

Résultats

Caractéristiques physico-chimiques des sols

Fosse pédologique type de la zone d'étude

L'ouverture d'une fosse pédologique typique a permis de mieux renseigner les horizons successifs de sols qui portent la culture de décrue. Les caractéristiques des divers horizons sont mentionnées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques d'un profil typique des sols de la zone de décrue de Dougoubara, Yélimané

Profil N°1 :

Village : Dougoubara

Date : 28/06/2013

Volume 1 : (0-20 cm)

- Argilo-limoneux (USDA, 1987), poreux en surface, présence de grosses ainsi que de petites racines, des galeries de taille grande à moyenne, bonne activité biologique (fourmis, termites), très peu friable, collant, structure massive à éclats polyédriques, transition assez nette.
- Couleur 10YR 7/1 (en sec) ; 10YR 4/1 (en humide)

Volume 2 : (20-50 cm)

- Argileux avec des taches oranges tendres le long de l'horizon, présence de racines grosses et moyennes ainsi que des galeries mais en nombre beaucoup moins important que celui de l'horizon précédent, structure massive à éclats polyédriques, compact, transition nette, collant.
- Couleur 10 YR 7/2 (en sec) 10 YR 5/3 (en humide)

Volume 3 : (50-150 cm)

- Argileux avec des concrétions ferrugineuses rouges et oranges dures, présence de grosses galeries d'insectes (coléoptères, termites) et de quelques racines de taille intermédiaire, très peu de racines fines, inexistence de racines à partir de 140 cm, présence de quelques fissures sur les parois tout au long du profil, structure massive à éclats polyédriques, compact, dur, collant, hydromorphie temporaire, transition moyenne.
- Couleur 10 YR 7/2 (en sec) et de 5 YR 6/2 (en humide)

Volume 4 : (150-165 cm)

- Argileux, compact, dur, collant, structure massive à éclats polyédriques, présence de quelques concrétions ferrugineuses durcies, temporairement hydromorphe, pas de galeries, pas de pores, pas de racines.
- Couleur 10 YR 8/1 (en sec) et de 10 YR 7/1 (en humide)

Granulométrie

Sur l'ensemble des 3 sites, les teneurs en sable, limon et argile sont variables (Tableau 2). Pour le site de Gory, elles sont en moyenne de 24, 2, 36,7, et 40,7 % respectivement pour le sable, le limon et l'argile. À Dougoubara, les teneurs moyennes sont de 52,8, 32,2 et 15 % et en ce qui concerne le site de Yaguiné, elles sont de 34,5, 39,3 et 26 %. La teneur moyenne en sable du site de Dougoubara est le double de celle du site de Gory et 53 % plus élevée que celle du site de Yaguiné. Les teneurs en limons sont très proches. En ce qui concerne les teneurs en argiles, celle du site de Gory est 2,5 fois celle de Dougoubara et 57 % plus élevée qu'à Yaguiné. Ces caractéristiques qualifient selon la USDA (1987) les sols du site de Gory d'argileux, ceux du site de Dougoubara de limono-argilo-sableux et de Yaguiné de limono-argileux.

Tableau 2 : Granulométrie des échantillons de sol des sites de Gory, Dougoubara et Yaguiné, cercle de Yélimané (Kayes)

Sites	Gory	Dougoubara	Yaguiné
Sable %	24,2 ± 2,1	52,8 ± 4,1	34,5 ± 3,2
Limon %	36,7 ± 2,5	32,1 ± 4,1	39,3 ± 4,1
Argile %	40,7 ± 1,7	15 ± 1,8	26 ± 2,6
Densité apparente (g/cm ³)	1,59 ± 0,03	1,48 ± 0,02	1,45 ± 0,02
Texture	Argilo-limoneux	Limono-sableux	Limoneux

Les valeurs sont des moyennes ± l'erreur type.

Le complexe absorbant et le pH des sols

En moyenne, les pH eau à Gory et à Yaguiné montrent des valeurs optimales pour l'absorption des éléments minéraux dans le sol tandis qu'ils sont légèrement alcalins à Dougoubara (Tableau 3). Les valeurs des CEC sont très proches entre les 3 sites (11 à Gory et 12 à Dougoubara et Yaguiné). Elles avoisinent la valeur de 12 cmol (+) kg⁻¹ et sont considérées comme intermédiaires.

Tableau 3 : pH et complexe (cmol+kg⁻¹) dans les sites de Gory, Dougoubara et Yaguiné, cercle de Yélimané (Kayes)

Sites	Gory	Dougoubara	Yaguiné
pH H ₂ O	6,75 ± 0,150	7,33 ± 0,201	6,23 ± 0,202
pH KCL	5,7 ± 0,091	6,5 ± 0,111	5,5 ± 0,170
CEC (cmol+kg ⁻¹)	11 ± 1,710	12 ± 2,201	12 ± 0,302

Les valeurs sont des moyennes ± l'erreur type

La matière organique et le phosphore

Le tableau 4 montre que les teneurs en matière organique (MO) % C ($< 0,6\%$) sont faibles pour les sites de Gory et Dougoubara. Aucun des sols des 3 sites ne montre une teneur en azote atteignant 1% ; ils sont par conséquent qualifiés comme pauvres en cet élément (Pieri, 1989). Le rapport C/N du sol varie peu suivant les sites. Il est en moyenne compris entre 9,62 à Gory (forte minéralisation et disponibilité en azote élevée) et 11,21 à Yaguiné (bonne minéralisation et disponibilité de l'azote). Les sols des 3 sites dont les teneurs en phosphore sont toutes supérieures à 9 ppm sont considérés comme bien pourvus en cet élément, le seuil critique étant évalué à 7 ppm pour les sols du Mali.

Tableau 4 : Matière organique et phosphore (ppm) dans les sites de Gory, Dougoubara et Yaguiné, cercle de Yélimané (Kayes)

Sites	Gory	Dougoubara	Yaguiné
Matière organique (% C)	0,42 ± 0,046	0,41 ± 0,090	0,62 ± 0,041
N total (g kg ⁻¹)	0,25 ± 0,09	0,22 ± 0,01	0,32 ± 0,04
C/N	9,62 ± 1,980	10,45 ± 3,180	11,21 ± 1,087
P disponible (mg kg ⁻¹)	10,43 ± 2,270	27,53 ± 3,288	11,08 ± 0,349

Les valeurs sont des moyennes ± l'erreur type

Les cations échangeables

La teneur en K varie de 0,08 à 0,85 (cmol+kg⁻¹) sur l'ensemble des 3 sites. Elle est, en moyenne, au moins deux fois plus élevée à Gory qu'à Yaguiné et à Dougoubara. Celle de Mg varie de 2,71 à 4,80 cmol+kg⁻¹ et elle est, pour Gory et Yaguiné prise en moyenne, 32 % plus élevée qu'à Dougoubara (Tableau 5). Selon Dabin et Maignien (1979), il y a risque de carence en Mg si le rapport Mg/K est inférieur à 3. En ce qui concerne les 3 sites, ce rapport varie de 5 (Gory) à 8 (Dougoubara). La teneur en calcium varie de 5,4 à 7,54 cmol+kg⁻¹. En moyenne pour les sites de Gory, Dougoubara et Yaguiné, son taux de saturation par rapport au complexe absorbant est de 60 %. Sur les 3 sites, le rapport Ca/Mg est égal à 2, ce qui correspond à un équilibre acceptable entre les éléments nutritifs dans le sol. En moyenne, le rapport (Ca+Mg)/K est optimal à Gory (17), Yaguiné (18) et Dougoubara (24). En effet, les abaques renseignent que les équilibres et les interactions entre les éléments nutritifs sont optimaux pour les valeurs comprises entre 15 et 30. En cas de déséquilibre, c'est-à-dire lorsque la teneur d'une des bases est faible ou non suffisante, les manifestations peuvent se traduire par des antagonismes et des blocages d'absorption. Les valeurs de l'ESP (pourcentage de sodium échangeable) varient de 1 à Yaguiné et 2 à Dougoubara.

Tableau 5 : Cations échangeables (cmol+kg⁻¹) dans les sites de Gory, Dougoubara et Yaguiné, cercle de Yélimané (Kayes)

Sites	Gory	Dougoubara	Yaguiné
Ca échangeable (cmol+kg ⁻¹)	7,09 ± 1,261	5,49 ± 1,249	7,54 ± 0,527
Mg échangeable (cmol+kg ⁻¹)	3,51 ± 0,629	2,71 ± 0,625	3,67 ± 0,288
K échangeable (cmol+kg ⁻¹)	0,62 ± 0,069	0,33 ± 0,090	0,62 ± 0,069
Na échangeable (cmol+kg ⁻¹)	0,13 ± 0,029	0,25 ± 0,035	0,12 ± 0,055
ESP (%)	1,1 ± 0,02	2,0 ± 0,01	1,0 ± 0,01

Les valeurs sont des moyennes ± l'erreur type

Discussion

Texture du profil typique

Les résultats de la détermination de la couleur ont montré que les sols sont de couleur grise. Cela indique une teneur non négligeable en argile et limon, situation qui explique le niveau de fertilité. En fait, la forte présence d'argile et de limons renseigne sur une meilleure aptitude à fixer les cations. Ces observations sont en accord avec celles de Foth (1990) qui rapportaient que la couleur du sol est un important paramètre puisqu'elle représente une mesure indirecte d'autres caractéristiques telles que les niveaux de matière organique, d'aération et de drainage du sol.

Le complexe absorbant et le pH des sols

Les pH mesurés sur extrait aqueux sont légèrement acides à Gory et Yaguiné mais neutres à Dougoubara. Cette neutralité pourrait s'expliquer par les apports alluviaux comme le montre d'ailleurs une plus grande teneur en sable alluvial dans ce site. Sur l'ensemble des sites, la réserve d'acidité d'échange est en moyenne égale à l'unité pH (écart entre pH eau et pH Kcl), ce qui est important. Ces résultats sont en conformité avec ceux mentionnés par Boivin *et al.* (1998) lors de leurs travaux de caractérisation des sols de la moyenne vallée du fleuve Sénégal.

Le pH est un important indicateur dans l'évaluation de la fertilité du sol et de son environnement. Sanchez *et al.* (2003) avaient mentionné qu'un pH compris entre 6,0 et 7,5 créait une condition optimale pour la disponibilité de nutriments pour la plupart des plantes. Les valeurs obtenues dans cette étude s'insèrent dans cet intervalle.

La CEC fait allusion aux échanges d'ions positivement chargés à la surface des colloïdes à charges négatives. Ainsi, plus la CEC est élevée, plus le sol est capable de retenir les éléments nutritifs. Les valeurs de la CEC sont considérées comme intermédiaires. Les résultats de cette étude sont en accord avec ceux rapportés pour les sols tropicaux par Landon (1991) pour lesquels des valeurs de CEC inférieures à $15 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ étaient considérées comme faibles. Cette situation est d'autant plus édifiante qu'il est largement admis que 25 – 90 % de la CEC totale des horizons de surface du sol dépendent de leurs teneurs en matière organique (Oades *et al.*, 1989). Les faibles valeurs des CEC obtenues dans cette étude pourraient être dues à la faible teneur en matière organique.

La matière organique et le phosphore

Les teneurs faibles en matière organique et en azote comme dans notre étude entraînent une détérioration physique importante du sol, une érosion accélérée et une baisse du rendement des cultures (Pieri, 1989). Cette faiblesse en matière organique est liée aux faibles apports en cet élément par les paysans. Nos résultats sont en accord avec ceux de Comas *et al.* (2001) qui rapportaient que dans le système de décrue, chaque année une partie de la matière organique du sol disparaît de sorte que l'addition de matière organique fraîche est nécessaire pour compenser ces pertes en vue d'une durabilité de la production agricole. Les travaux de Traoré *et al.* (2016) dans la zone de décrue à Yélimané sont également en conformité avec les conclusions de cette étude.

Les sols sont en moyenne assez pourvus en phosphore qui pourrait être d'origine diverse (roches, météoritiques, atmosphériques, etc.). En fait, la majorité du phosphore terrestre provient de l'altération des roches de surface (Duchaufour, 1997). La partie biodisponible du phosphore peut également avoir comme source les déjections d'animaux. Ces phosphores d'origines diverses peuvent être transportés par les eaux de crue et déposés dans les plaines alluviales de décrue. Ces observations sont en accord avec celles rapportées par Beaudin (2006) qui mentionnaient que ce sont les composantes majoritairement hydrologiques qui prenaient en charge le phosphore et le transportaient vers les cours d'eau.

Les cations échangeables

La teneur moyenne en Ca^{++} échangeable dans ces horizons de surface est considérée comme assez bonne dans l'ensemble des sites. En effet, les travaux de Marx *et al.* (1996) ont montré que la majorité des plantes se développent normalement avec un seuil critique de $5 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ alors que l'ensemble des sites présentent des valeurs supérieures à cette norme, excluant ainsi l'hypothèse d'une faible teneur en cet élément comme facteur limitant le rendement des cultures.

La teneur moyenne en Mg^{++} échangeable dans tous les sites représente une valeur moyenne en cet élément. Selon Horneck *et al.* (2011), une teneur en magnésium comprise entre 0,5 et 2,5 $cmol+kg^{-1}$ est considérée comme intermédiaire et les apports pour une production durable varient entre 0 et 67 $kg ha^{-1}$ puisqu'il n'y a pas dans l'immédiat un besoin impératif. En cas de déficit en magnésium dans les sols acides, les corrections peuvent par exemple être faites par de la dolomite ($CaCO_3-MgCO_3$).

Les niveaux de potassium (K) à Gory et à Yaguiné sont intermédiaires à l'opposé de Dougoubara où ils sont faibles. La majorité des plantes répond à l'apport de potassium à des niveaux inférieurs à ceux de Dougoubara. Horneck *et al.* (2011) rapportaient que des valeurs comprises dans l'intervalle 0,4-0,6 $cmol+kg^{-1}$ sont considérées comme intermédiaires tandis que celles qui lui sont inférieures sont faibles. Le plus faible niveau de K à Dougoubara pourrait s'expliquer par le faible niveau de matière organique mais également la teneur la plus élevée en sable alluvial en comparaison avec les deux autres sites. Cela voudrait dire qu'à Dougoubara, le potassium pourrait être un élément limitatif pour une bonne croissance des plantes.

Le sodium n'est pas un élément nutritif pour la plante et sa valeur qui est appréciée par le pourcentage de sodium échangeable (ESP) est très faible et ne présente pas de danger pour le développement des plantes. Toutefois, une teneur élevée en Na échangeable est préjudiciable à la structure et la perméabilité du sol et par conséquent la croissance des plantes tel que mentionné par Horneck *et al.* (2011) qui d'ailleurs concluaient que les préoccupations ne commencent que lorsque l'ESP est supérieure à 10 %. Les valeurs obtenues dans cette étude sont toutes de loin inférieures à ce seuil critique.

Conclusion

L'analyse granulométrique a révélé que dans l'horizon limoneux des sols de Dougoubara, la fraction de sable y est aussi importante et d'ailleurs supérieure à celles des sites de Gory et Yaguiné. Cela signifie que la rétention de l'eau dans cet horizon pourrait être plus faible et donc permettre rapidement la mise en place des semis, le sol se ressuyant plus vite en surface dès que le retrait total des eaux est constaté.

Les résultats de cette étude ont permis d'identifier les éléments nutritifs déficitaires dans le sol et qui peuvent être des facteurs limitatifs pour l'augmentation du rendement des cultures. Il apparaît clairement que les teneurs en matière organique et en azote sont très faibles et constituent des contraintes majeures pour la production des cultures. Ces informations doivent être utilisées dans les programmes et stratégies de gestion de la fertilité des terres de décrue dans le cercle de Yélimané. Entre autres, il s'agira de

promouvoir par exemple, la valorisation des résidus de récoltes par la production de fumier et de compost qui sont des techniques accessibles à la majorité des paysans de la zone. Pour une production durable des cultures, un suivi régulier du statut de la fertilité des sols doit être réalisé en vue de rendre plus performants les systèmes de production des zones de décrue à Yélimané.

Références

- Asadu C., Diels J., Vanlauwe B.A., 1997. Comparison of the contributions of clay, silt, and organic matter to the effective CEC of soils of sub-Saharan Africa. *Soil Science*, 162 (11): 785-794.
- Beaudin I., 2006. Revue de littérature: La mobilité du phosphore. Version finale. Centre de Référence en Agriculture et Agroalimentaire du Québec (CRAAQ), juillet 2006, 134p.
- Bertrand R., Gigou J., 2000. La fertilité des sols tropicaux. Paris, France, Maisonneuve et Larose (coll. «Le technicien d'agriculture tropicale», (40), 397p.
- Boivin P., Favre F., Maeght J.L., 1998. Les sols de la moyenne vallée du fleuve Sénégal: caractéristiques et évolution sous irrigation. *Etude et Gestion des Sols*, 5 (4): 235-246.
- Bremner J.M., Mulvaney C.S., 1982. Total N. In: *Methods of soil analysis part 2. Chemical and mineralogical properties*, 2nd ed., Agronomy Monograph vol.9. A. L. Page, Ed. Madison Wisconsin, USA 1982, p. 595-622.
- Comas Gómez J., MacPherson H. and Cañameras N., 2001. Considérations générales sur l'agronomie du sorgho de décrue. Disponibilité de l'eau et des éléments nutritifs. In: *La culture du sorgho de décrue en Afrique de l'Ouest et du Centre*, J. Comas and H. Gómez MacPherson, Ed. Agence Espagnole de Coopération Internationale Avec la collaboration de la FAO, p. 51-63.
- Dabin B., Maignien R., 1979. Les principaux sols d'Afrique de l'Ouest et leurs potentialités agricoles. *Cahiers ORSTOM. Série Pédologie*, 17 (4), 235-257. Annual Research Conference on Soil and Climatic Resources and Constraints in Relation to Maize, Cowpea, Upland Rice and Cassava Production. IITA, Ibadan (NGA), 1979/10/15-19. ISSN 0029-7259.
- Doumbia M., Jarju A., Sene M., Traore K., Yost R., Kablan R. *et al.*, 2008. Sequestration of organic carbon in West African soils by Aménagement en Courbes de Niveau. *Agronomy for Sustainable Development*, 29: 267-275.
- Duchaufour P., 1997. *Abrégé de pédologie. Sol, végétation, environnement*. 5^e Edition, Paris, France, Masson, 291p.
- Foth H.D., 1990. *Fundamentals of soil science*, 8th Edition (August 22, 1990). New York, USA, John Wiley & Sons, 360p.

- Horneck D.A., Sullivan D.M., Owen J.S. and Hart J.M., 2011. Soil Test Interpretation Guide, 12p. (revised July 2011). <https://catalog.extension.oregonstate.edu/ec1478>.
- Landon J.R., 1991. Booker tropical soil manual - A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and sub tropics, Longman Scientific and Technical, Essex, New York, 474p.
- Marx E.S., Hart J., Stevens R.G., 1996. Soil test interpretation guide. Oregon State University Extension Services. Oregon State University, Corvallis, 7p.
- McSweeney C., New M., Lizcano G., 2010. The UNDP Climate Change Country Profiles: improving the accessibility of observed and projected climate information for studies of climate change in developing countries. Bulletin of the American Meteorological Society Feb. 2010, 91 : 157-166.
- Monreal C.M., Zentner R.P. and Robertson J.A., 1997. An analysis of soil organic matter dynamics in relation to management, erosion and yield of wheat in long-term crop rotation plots. Canadian Journal of Soil Science 77: 553-563.
- Nelson D.W. and Sommers L.E., 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In Methods of soil analysis. Part 3 – Chemical Methods. Sparks D.L., Page A.L., Helmke P.A. and Loeppert R.H. (Ed.). American Society of Agronomy, Madison, USA. SSSA Book Series 5: 961-1010.
- Oades J.M., Gillman G.P., Uehara G., Hue N., van Noordwijk M., Robertson G.P., Wada K., 1989. Interactions of soil organic matter and variable-charge clays. In Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems, Coleman D.C., Oades J.M., Uehara G. (Eds). University of Hawaii Press, Honolulu, HI, p. 69-95.
- Olsen S.R., & Sommers L.E., 1982. Phosphorus. In Methods of Soil Analysis, 2nd ed. Part 2, Page A.L. *et al.* (Eds.), Madison, WI, USA, Agronomy N° 9, American Society of Agronomy, p. 403-430.
- Pieri C., 1989. Fertilité des terres de savane. Bilan de trente années de recherche et de développement agricole au sud du Sahara, Paris, France, IRAT, 444 p.
- Rider N.De, Van Keulen H., 1990. Some aspect of organic matter role in sustainable arable farming systems in West Africa, semi-arid-tropics (SAT). Fert. Res., 26: 325-345.
- Sanchez P.A., Palm C.A., Boul S.W., 2003. Fertility capability classification: A tool to help assess soil quality in the tropics, Geoderma, 114: 157-185.
- Soumaré M., Demeyer A., Tack F.M.G. & Verloo M. G., 2002. Nutrient Availability in the Surface Horizons of Four Tropical Agricultural Soils in Mali, Tropicultura, 2002, 20 (2): 58-63.
- Thomas G.W., 1996. Soil pH and soil acidity. In Methods of soil analysis. Part 3 - Chemical Methods, Bigham J. M. (Editor-in-Chief SSSA), Book Series Published by Soil Science

Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA 1996 II_41, p. 419-422.

Traore K.B., Gigou J.S., Coulibaly H., Doumbia M.D., 2004. Contoured ridge-tillage increases cereal yields and carbon sequestration. In 13th International soil conservation organisation conference, Brisbane, July 2004, Conserving Soil and Water for Society: Sharing Solutions. 2004, 6p.

Traoré K., 2003. Le parc à karité, sa contribution à la durabilité de l'agrosystème: cas d'une toposéquence à Konobougou dans le Mali-sud. Thèse de Doctorat en Sciences du Sol, Université de Montpellier II, ENSAM, France, 180p.

Traoré K., Aune J.B., Traoré B., 2016. Effect of Organic Manure to Improve Sorghum Productivity in Flood Recession Farming in Yélimané, Western Mali. American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS) 23, (1): 232-251.

United States Department of Agriculture (USDA), 1987. Soil mechanics level 1, Module 3. USDA Textural Classification Study Guide. Washington, DC: National Employee Development Staff Soil Conservation Service U.S. Department of Agriculture, p. 5-26.

Caractérisation de l'entomofaune dans le système de décrue du cercle de Yélimané en zone sahélienne au Mali

Characterization of the Entomofauna in the Flood Recession System of Yélimané in Sahelian Zone of Mali

Noussourou Moussa¹, Hamadoun Abdoulaye², Traoré Kalifa¹, Aune Bernt Jens³, Coulibaly Boubacar¹

¹Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba - BP 262, Bamako, Mali

²Direction Générale de l'Institut d'Économie Rurale - BP 258, Bamako, Mali

³Université des Sciences de la vie, NorAgric Ås, Norvège

*Auteur pour la correspondance : moussanoussourou1@yahoo.fr

Résumé

Les cultures effectuées pendant la période de décrue subissent des pertes importantes de récoltes causées par les insectes. Afin de développer des méthodes de lutte intégrée contre ceux-ci, un inventaire de l'entomofaune a été effectué entre octobre 2012 et mars 2016 au niveau des cultures de 20 à 40 villages encadrés par le secteur d'agriculture du cercle de Yélimané.

Le travail a abouti à la détection de 33 espèces d'insectes nuisibles, 9 espèces de prédateurs, 6 espèces de parasitoïdes et de germes entomopathogènes. Parmi les insectes nuisibles, si les espèces d'orthoptères exercent une forte pression sur toutes les cultures, le lépidoptère *Sesamia cretica* (foreur de tige) observé pour la première fois au Mali est très préoccupant pour les cultures de sorgho et le lépidoptère *Mythimna loreyi* menace souvent les cultures de sorgho et de maïs. Au niveau des prédateurs, composés de trois (3) espèces d'araignées et de six (6) espèces d'insectes appartenant aux familles des *Syrphidae*, *Formicidae*, *Coccinellidae* et *Chrysopidae*, le complexe dominant est celui des *Aphidae*. Pour les parasitoïdes, cinq (5) espèces d'hyménoptères, constituées de *Brachonidae*, *Ichneumonidae*, *Eulophidae*, *Figitidae* et *Chloropidae* parasites de *S. cretica* et une mouche *Tachinidae* issue de *M. loreyi* et *S. cretica*, ont été recensées. Des chenilles malades de *S. cretica* et de *M. loreyi* ont été rarement observées dans le milieu.

Mots-clés : cultures de décrue, insectes nuisibles, lutte intégrée, Mali.

Abstract

Crops sown during flood recession periods experienced significant crop losses due to insect pests. In order to develop an integrated pest control method, an inventory of the entomofauna was carried out between October 2012 and March 2016 with crops in 20-40 villages supervised by the Agricultural Sector of the cercle of Yélimané.

*This work helped detect 33 insect pest species, 9 predator species, 6 parasitoids species and entomopathogenic germs. Among the insect pests, while orthopterans exert a strong pressure on all crops, the lepidoptera *Sesamia cretica* (stem borer), which was observed for the first time in Mali, is of great concern for sorghum. Furthermore, the lepidoptera *Mythimnia loreyi* often threatens sorghum and maize. Concerning predators, including three (3) species of spiders and six (6) species of insects belonging to the families of Syrphidae, Formicidae, Coccinellidae and Chrysopidae, the dominant complex was that of Aphidae. As for parasitoids, five (5) species of hymenoptera, consisting of Brachonidae, Ichneumonidae, Eulophidae, Figitidae and Chloropidae, parasites of *S. cretica*, and a Tachinidae fly derived from *M. loreyi* and *S. cretica*, were recorded. Diseased *S. cretica* and *M. loreyi* caterpillars have been observed at a very rare frequency in the environment.*

Key words: *flood recession crop, insect pests, integrated control, Mali.*

Introduction

Au Mali, les cultures effectuées pendant la période de décrue jouent un rôle majeur dans l'alimentation et la sécurité alimentaire des populations. Outre le cercle de Yélimané, elles sont réalisées dans les zones lacustres de la région de Tombouctou et dans plusieurs autres localités du pays. Le cercle de Yélimané se situe en zone sahélienne entre le 14° et le 16° de latitude nord et les 10° et 12° de longitude ouest (PROMISAM, 2006). Selon la même source, la température peut atteindre 45°C et la pluviosité annuelle dépasse rarement 600 mm par an. Chaque année, après l'hivernage, les cultures sont intensément installées dans des zones où l'humidité du sol permet le développement des plantes jusqu'à la maturation. Les cultures principales exploitées, le plus souvent en association, sont le sorgho, le maïs et le niébé. Souvent, dans les parcelles des cultures principales, on rencontre du gombo, de l'oseille de Guinée et de la pastèque. Cette intensification des cultures pendant la saison sèche a aussi favorisé une pression importante des nuisibles qui occasionnent des pertes importantes de récoltes. Le but de cette étude est de contribuer à l'amélioration de la production des cultures pratiquées en période de décrue. L'objectif spécifique vise à identifier les ravageurs les plus préoccupants et leurs éventuels ennemis naturels en vue de leur prise en compte dans un programme de lutte intégrée.

Matériel et méthodes

Le travail a été effectué entre octobre 2012 et mars 2016 dans la zone d'intervention du Secteur Agricole de Yélimané. Pendant cette période, nous avons visité les parcelles de cultures de sorgho, maïs, niébé, gombo, hibiscus et pastèque de 20 à 40 villages, appartenant aux communes rurales de Guidimé, Fanga, Soumpou, Toya, Tambacara et Tringa-Maréna. Ces villages sont Gory, Yaguiné, Fongou, Djongoulani, Dougoubara, Diadi, Sambanouha, Kemala, Sambaga, Komowulou, Yarga, Banjougoula, Dembala, Tambacara, Djalaka, Kodje, Gogomera, Tandia-Dounga, Niagnela et Fanga. Aussi, après la récolte, des prospections ont été faites au niveau des débris des récoltes de sorgho et de maïs de ces villages. La détection des nuisibles a été faite par des observations visuelles, des fauchages avec le filet fauchoir et des dissections de tiges de sorgho et de maïs. Pour la collecte des insectes, outre le filet fauchoir, la pompe aspirante ou le pinceau ont été aussi utilisés. Les larves et nymphes ont été élevées au laboratoire jusqu'à l'émergence des adultes. Les insectes collectés sont tués avec de l'acétate d'éthyle puis conservés dans de l'alcool à 70% ou dans des boîtes de collection. Les identifications ont été faites en se référant aux collections de références nationales (Office de la Protection des Végétaux et IER) et par des laboratoires spécialisés (British Museum et CIRAD).

Résultats et discussion

Les travaux ont permis la détection des insectes nuisibles et des ennemis naturels. Les ennemis naturels sont constitués par des insectes, des araignées et des germes entomopathogènes.

Les insectes nuisibles aux cultures

Au total, 33 espèces d'insectes nuisibles appartenant à 8 ordres ont été répertoriées au niveau des cultures (Tableau 1). Les orthoptères (11 espèces), suivis des lépidoptères (5 espèces) regroupent, les plus grands nombres d'espèces. Aussi, on note que toutes les espèces d'orthoptères et de thrips sont communes à toutes les cultures alors que dans d'autres ordres certaines espèces s'attaquent à un nombre restreint de cultures (cas de *Sesamia cretica*) voire une seule culture (cas de *Maruca testulalis* Geyer).

Les insectes qui exercent une forte pression sur les cultures sont les espèces d'orthoptères et le lépidoptère *S. cretica* (foreur de tige). Les orthoptères provoquent des pertes de semis et leurs dégâts sont beaucoup plus importants sur les cultures installées sur des sols qui se craquèlent (Photo 1 A-B). Après le stade plantule, les incidences des orthoptères deviennent faibles sur les cultures. Les chenilles de *S. cretica* sont détectées dans le milieu à partir de décembre sur les cultures de maïs et de sorgho (Photo 2 A-B-C). L'espèce *S. cretica* attaque beaucoup plus le sorgho que le maïs (0,067-0,24 chenilles par tige de sorgho contre 0,008 chenilles par tige de maïs). Suivant les cultivars locaux de sorgho exploités dans la zone, son infestation varie entre 41 % et 72%. Après la récolte, *S. cretica* est aussi détectée sur les débris de récoltes et les repousses spontanées des plants de sorgho. En 2013, une infestation moyenne de 24,4 % de *S. cretica* a été enregistrée sur les débris de récoltes. On note également un autre lépidoptère, *Mythimna loreyi* (Photo 3 A-B) qui provoque souvent des défoliations importantes sur les cultures de sorgho et de maïs dans la zone.

Pendant la période des prospections, les pucerons, les thrips et les autres espèces d'insectes ne se sont pas révélés comme des ravageurs pour les diverses cultures.

Tableau 1 : Insectes nuisibles répertoriés sur les cultures exploitées en période de décrue dans la zone de Yélimané

Ordres	Familles	Espèces	Cultures	Organes attaqués
Orthoptera	<i>Acrididae</i>	<i>Acrotylus blondeli</i> Saussure <i>Aiolopus simullatrix</i> L <i>Aiolopus thalassinus</i> F <i>Oedalus senegalensis</i> Kr <i>Oedalus nigeriensis</i> Uvarov <i>Kraussaria anguilifera</i> K <i>Kraussella amabile</i> K <i>Calephoris</i> sp <i>Zacompsa bivittata</i> Uv	Toutes cultures	Feuilles et tiges
	<i>Pyrgomorphidae</i>	<i>Pyrgomorpha cognata</i> Kr <i>Chrotogonus senegalensis</i> K		
Lepidoptera	<i>Noctuidae</i>	<i>Sesamia cretica</i> Lederer	Sorgho, maïs	Tiges
		<i>Mythimna loreyi</i> (Duponchel)	Sorgho, maïs	Feuilles
		<i>Spodoptera exempta</i> (Walker)	Sorgho	Feuilles
		<i>Earias biplaga</i> Walker	Gombo, hibiscus	Capsules
	<i>Pyralidae</i>	<i>Maruca testularis</i> Geyer	Niébé	Gousses
Coleoptera	<i>Chrysomelidae</i>	<i>Nisotra uniformis</i> (Jack)	Gombo, hibiscus	Feuilles, fleurs, capsules
		<i>Nisotra dilecta</i> (Dalman)	Gombo, hibiscus	Feuilles, fleurs, capsules
	<i>Meloidae</i>	<i>Mylabris dicinta</i> (Bertoloni)	Sorgho, niébé	Fleurs
		<i>Mylabris</i> sp	Niébé	Fleurs
		<i>Mylabris</i> sp	Niébé	Fleurs
<i>Coccinellidae</i>	<i>Henesopilachna elaterii</i> Rossi	Pastèque	Feuilles	
Heteroptera	<i>Miridae</i>	<i>Calocoris angustatus</i>	Sorgho	Panicules
	<i>Lygaeidae</i>	<i>Spilostethus</i> sp	Sorgho	Panicules
	<i>Pentatomidae</i>	<i>Nezara viridula</i> L	Sorgho	Panicules
	<i>Pyrrhocoridae</i>	<i>Dysdercus supertituousis</i> F	Gombo, hibiscus	Feuilles, tiges, fleurs et fruits
Homoptera	<i>Aphididae</i>	<i>Aphis</i> spp	Maïs, niébé	Feuilles
		<i>Melanaphis sorghi</i> (Theobald, 1904)	Sorgho	Feuilles
		<i>Aphis gossypii</i> Glover	Gombo, pastèque	Feuilles, fleurs, fruits
	<i>Aleyrodidae</i>	<i>Bemisia tabaci</i> Gennadius	Gombo, pastèque, hibiscus	Feuilles
Thysanoptera	<i>Tripidae</i>	<i>Thrips</i> spp	Toutes cultures	Feuilles
Diptera	<i>Tephritidae</i>	<i>Dacus</i> sp	Pastèque	Fruits
	<i>Agromyzidae</i>	<i>Liriomyza trifolii</i> (Burgess)	Niébé, gombo, hibiscus	Feuilles



Photo 1 : A) Dégâts de divers sauteriaux sur plantules de sorgho ; B) Sol craquelé favorable aux dégâts des sauteriaux



Photo 2 : A) Adulte de *S. cretica* ; B-C) Chenilles et dégâts de *S. cretica* sur sorgho



Photo 3 : A) Adulte de *M. loreyi* ; B) Chenilles de *M. loreyi* dans le cornet foliaire du sorgho

Les ennemis naturels

Les prédateurs

Ils sont composés de trois (3) espèces d'araignées et d'insectes prédateurs. Les insectes regroupent des *Coccinellidae*, des *Syrphidae*, des *Chrysopidae* et des *Formicidae*. Le tableau 2 indique les espèces d'insectes prédateurs identifiées. Les espèces d'araignées n'ont pas fait l'objet d'identification. Au niveau des insectes prédateurs, le complexe dominant est représenté par les prédateurs des *Aphidae*, constitués par quatre (4) espèces qui sont *Allograpta* sp, *Chilocorus distigma*, *Cheilomenes proquinqua* (Mulsant) et *Chrysopa carnea*. Les populations des *Coccinellidae* et *Syrphidae* sont plus importantes que celles de *C. carnea*. Plusieurs larves de *Allograpta* sp (Photo 4) et de *Coccinellidae* (Photo 5) ont été observées au milieu des pucerons et même sur les repousses des débris de récoltes du sorgho. Les espèces de fourmis observées au niveau des cultures de sorgho sont *Formicinae*, *Camponotus* sp (*Formicinae*) et *Trichomyrmex oscaris* (Forel) (*Myrmicinae*). En plus d'être observées sur les parties extérieures des plants de sorgho, *T. oscaris* a été détectée à l'intérieur des tiges de sorgho disséquées, s'attaquant aux chenilles de *S. cretica*. À l'intérieur des tiges disséquées de sorgho, soit on observe des milliers d'individus adultes de *T. oscaris*, soit on les trouve dans des fourreaux de feuilles de sorgho enroulées contenant plusieurs milliers de stades immatures.

Tableau 2 : Les insectes prédateurs répertoriés au niveau des ravageurs des cultures de décrue dans la zone de Yélimané

Ordres	Familles	Espèces	Proies
Diptera	<i>Syrphidae</i>	<i>Allograpta</i> sp	Pucerons
Coleoptera	<i>Coccinellidae</i>	<i>Chilocorus distigma</i>	Pucerons
		<i>Cheilomenes vicina</i>	Pucerons
Neuroptera	<i>Chrysopidae</i>	<i>Chrysopa carnea</i> (Stephens)	Pucerons
Hymenoptera	<i>Formicidae</i>	<i>Camponotus</i> sp	<i>S. cretica</i> et autres insectes
		<i>Trichomyrmex oscaris</i> (Forel)	<i>S. cretica</i> et autres insectes



Photo 4 : Larves d'*Allograpta* sp aux dépens des pucerons



Photo 5 : Larves de *Coccinellidae* aux dépens des pucerons

Les insectes parasitoïdes et les germes entomopathogènes

Les parasitoïdes sont constitués par un diptère *Tachinidae*, des hyménoptères *Ichneumonidae* et *Brachonidae*, l'*Eulophidae* *Pediobius furvus* Gaham, *Figitidae* *Anacharoides* sp et *Chloropidae* *Calamoncosis sorghivora* Deeming & Al-Dhafer. Le diptère *Tachinidae* (Photo 6) a été observé à une fréquence d'émergence très rare sur les chenilles de *S. cretica* et *M. Loreyi*. L'*Ichneumonidae* et le *Brachonidae* sont un peu plus fréquents sur les plants de sorgho que la mouche *Tachinidae*. L'adulte de l'*Ichneumonidae* pondant dans le trou de pénétration des chenilles de *S. cretica* dans la tige de sorgho et sortant de la tige par le trou de sortie de la tige des adultes de *S. cretica* a été observé au champ (Photo 7). Ses cocons à l'intérieur de la tige de sorgho et son adulte émergeant d'un cocon ont été aussi observés (Photo 8).



Photo 6 : Adulte de diptère *Tachinidae* émergeant des chrysalides de *S. cretica* et *M. loreyi*



Photo 7 : A) Adulte de l'*Ichneumonidae* utilisant le trou de pénétration de *S. cretica* dans la tige de sorgho pour la ponte ; B) Adulte de l'*Ichneumonidae* émergeant de la tige de sorgho par le trou de sortie de l'adulte de *S. cretica*



Photo 8 : A) Coccons d'*Ichneumonidae* à l'intérieur de la tige de sorgho ; B) Adulte d'*Ichneumonidae* émergeant du cocon extrait de la tige

Pour les germes entomopathogènes, des chenilles malades de *S. cretica* et de *M. loreyi* ont été collectées sur les cultures de sorgho (Photo 9) et de maïs (Photo 10). La fréquence d'observation de ces chenilles parasitées est très faible dans le milieu.



Photo 9 : Chenille de *S. cretica* parasitée par un germe entomopathogène



Photo 10 : Chenille de *M. loreyi* parasitée par un germe entomopathogène

Discussion

À Yélimané, les plantes cultivées pendant la période de décrue sont attaquées par plusieurs insectes nuisibles. Ils ont été mentionnés par plusieurs auteurs dans d'autres zones agricoles du Mali où les cultures sont pratiquées pendant la période de décrue (OMVF, 2009 ; Noussourou, 2011 ; Ratnadass *et al.*, 1992). Les sauteriaux sont très préoccupants au stade plantule des cultures. La pression exercée par les sauteriaux sur les cultures de sorgho a été mentionnée en Afrique de l'Ouest par Nwanze (1985). Les pucerons qui ne constituent pas une menace à Yélimané ont été très préoccupants pour les cultures dans les zones lacustres de Tombouctou (OMVF, 2009 ; Noussourou, 2011). Outre les sauteriaux, *S. cretica*, détectée pour la première fois au Mali au cours de nos travaux, est présentée sur les cultures de sorgho et de maïs à Yélimané alors que dans les zones lacustres de Tombouctou l'espèce *Sesamia penniseti* a été mentionnée sur les cultures de sorgho avec des taux d'infestation variant entre 62 à 100 % en fonction des lacs (Ratnadass *et al.*, 1992). En fonction des cultivars locaux exploités à Yélimané, les taux d'infestation de *S. cretica* peuvent atteindre 72 %. Aussi, à Yélimané, *S. cretica* s'attaque beaucoup plus au sorgho que le maïs (0,40 à 0,67 chenilles/tige de sorgho contre 0,008 chenilles par tige de maïs). Alors que *S. cretica* n'est pas un ravageur du maïs pendant la période de décrue à Yélimané, Goebel (1995) a mentionné qu'une autre espèce de sésamie, *Sesamia calamistis* n'attaque pas le maïs au Sénégal en saison sèche froide qui correspond à la période des cultures pendant la décrue à Yélimané. Aussi, nos données indiquant *S. cretica* comme un ravageur pour les cultures de sorgho sont confirmées par Harris (1985) en Afrique du Nord-Est dans la région méditerranéenne et au Moyen-Orient. Reddy and Omo (1985), ont rapporté que *S. cretica* et les autres

espèces de *Sesamia* sont des ravageurs du sorgho dans diverses zones d'Afrique. En Afrique de l'Ouest, *Sesamia botanophaga* Tarns & Bowden et *S. calamistis* sont signalés comme des ravageurs des cultures de sorgho et de maïs et de la canne à sucre (Nwanze, 1985 ; Hamadoun, 1992). *M. loreyi*, détectée également à Yélimané, a été signalée à Kogoni par piégeage sur les parcelles de sorgho, de maïs et de riz avec une phéromone sexuelle de *S. calamistis* (Zagatti *et al.*, 1988). Aussi, *M. loreyi* est signalé comme ravageur du petit mil (Mbaye *et al.*, 1984). Après la récolte des cultures de décrue, *S. cretica* persiste dans le milieu aux dépens des débris de récoltes, souvent à un taux d'infestation élevé. En 2013, *S. cretica* a enregistré en moyenne 24,4 % d'infestation des débris de récoltes et des repousses spontanées de plants de sorgho se trouvant dans les jardins maraîchers. Cette infestation moyenne de 24,4% des débris de récoltes par *S. cretica* observée à Yélimané est similaire à celle décrite par Gahukar *et al.* (1981) dans les parcelles de sorgho en post-récolte par *Sesamia* sp avec des taux d'infestation variant entre 6 et 25 %. Thresh (2003) a décrit l'importance des débris de récoltes des cultures et leurs repousses spontanées dans le maintien des populations des ravageurs entre deux époques de cultures.

Les données sur les ennemis naturels indiquent la présence de prédateurs, de germes entomopathogènes et de parasitoïdes des insectes ravageurs des cultures. Chez les prédateurs, le complexe prédateur puceron est dominant dans le milieu. Cette dominance du complexe prédateur puceron a été mentionnée (Sylvie *et al.*, 1993). Une prédation de chenilles, de pupes et de larves de *S. cretica* par les fourmis s'exerçant même à l'intérieur des tiges de sorgho a été aussi observée au cours de nos travaux. L'importance des fourmis pour le contrôle des ravageurs des cultures a été mentionnée par Paul Van Mele (2008), et la régulation des populations de *Eldana saccharina* (Girling, 1978, 1980, cité par Moyal, 1998). Pour les parasitoïdes, le diptère *Tachinidae* et les hyménoptères *Ichneumonidae* et *Brachonidae* détectés sur le sorgho à Yélimané ont été signalés sur le sorgho par Teetes *et al.* (1983).

Les parasitoïdes *P. furvus*, *A. sp* et *Calamoncosis sorghivora* sont mentionnés pour la première fois au Mali par nos travaux sur les insectes foreurs. Pour *P. furvus*, nos résultats sont conformes à ceux de Wakeil *et al.* (2008) qui l'ont mentionné sur *S. cretica* au niveau du maïs en Égypte. *P. furvus* a été aussi décrit sur *Sesamia* sp au Togo (Sylvie *et al.*, 1993) et au niveau des cultures de la canne à sucre en Inde sur *Chilo infuscatellus* (Snellen), *C. sacchariphagus indicus* (Kapur), *C. auricilius* (Dudgeon), *C. tumidicostalis* (Hampson), *Scirpophaga excerptalis* (Walker) et *Acigona steniellus* (Hampson) (Sankaran, 1974). *Allograpta* sp qui a été détecté par nos travaux sur *S. cretica* a été mentionné au Togo sur les larves de *Syrphidae* qui sont prédatrices de divers pucerons (Sylvie *et al.*, 1993). *C. sorghicola* a été décrit dans la Péninsule Arabique par Deeming et Al-Dhafer (2012).

La présence de germes entomopathogènes sur les chenilles de *S. calamistis* et de *M. loreyi* a été aussi constatée. Breniere (1970) a mentionné la présence peu connue de germes entomopathogènes sur les foreurs de tige.

Conclusion

Ce travail a fourni des éléments d'information permettant une gestion intégrée des nuisibles. À Yélimané, les ravageurs causent des pertes de rendements aux cultures de décrue. Les ravageurs les plus préoccupants sont les sauteriaux et la *Sesamia cretica* sur les cultures de sorgho et de maïs. En plus des ravageurs observés dans la zone des cultures de décrue, on note également des ennemis naturels formés par des *Coccinellidae*, des *Syrphidae* et des fourmis prédateurs de pucerons ainsi que des parasitoïdes de *S. cretica*, des germes entomopathogènes qui vivent aux dépens des chenilles de *S. cretica* et *M. loreyi*. La présence de ces auxiliaires utiles indique un équilibre biologique qu'il faut préserver dans cet environnement fragilisé par les effets de la sécheresse. Pour ce faire, des études approfondies de bioécologie du complexe ravageurs/ennemis naturels doivent se poursuivre en vue de disposer de données suffisantes pour la promotion d'une gestion intégrée des ravageurs au profit des producteurs.

Références

- Breniere J., 1970. Les problèmes des lépidoptères foreurs des graminées en Afrique de l'Ouest. Symposium sur les foreurs des graminées. Organisé dans le cadre du 7^e congrès international de la protection des plantes. 25 septembre 1970. Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières, 11 p.
- Gahukar R.T., 1981. Programme d'entomologie du sorgho. Rapport d'activité de l'année 1980. Programme Coopératif ISRA/ICRISAT au Sénégal, avril 1981, 21 p.
- Goebel R., 1995. Les recherches en entomologie sur le fleuve Sénégal : bilan et perspectives dans le contexte des cultures irriguées au Sahel. In Boivin Pascal (ed.), Dia I. (ed.), Lericollais André (ed.), Poussin Jean-Christophe (ed.), Santoir Christian (ed.), Seck S.M. (ed.) Nianga, laboratoire de l'agriculture irriguée en moyenne vallée du Sénégal. Paris: ORSTOM, 1995, p. 243-264.
- Hamadoun A., 1992. Evolution naturelle des populations de *Sesamia calamistis* Hmps (*Lep – Noct*) au Mali. Institut du Sahel, CILSS. Nuisibles-Pests-Pragas n°001 : 28-41.
- Harris K.M., 1985. Lepidopterous Stem Borers of Sorghum. In Proceedings of the International Sorghum Entomology Workshop, 15-21 July 1984, Texas A&M University, College Station, TX, USA. Patancheru, A.P. 502324, India: ICRISAT.
- Deeming J.C. and Al-Dahfer H.M., 2012. *Chloropidae* from Arabian Peninsula (*Diptera cyclorhapha*). Zoology in the Middle East. 58:3-88.

- Mbaye N., Gahukar, R.T., Carson A.G., Selavaraj C.J., Mbaye D.F., Diallo S., 1984. Les problèmes phytosanitaires du mil dans le Sahel. In Compte rendu du Séminaire International du Projet CILSS de Lutte Intégrée, Niamey, Niger, 6-13 Décembre 1984, p. 80-94.
- Moyal P., 1998. Les foreurs du maïs en Côte d'Ivoire: vers une protection intégrée. Agriculture et développement, n° 19 - Septembre 1998:16-27.
- Noussourou M., 2011. Inventaire des ravageurs des cultures dans les lacs Télé, Horo et Faguibine dans la région de Tombouctou. Rapport de mission. Avril 2011, 18 p.
- Office de la Mise en Valeur du Système Faguibine (OMVF), 2009. Rapport d'activités. Exercice 2009, 29 p.
- Nwanze Kanayo F., 1985. Sorghum Insect Pests in West Africa. Proceedings of the International Sorghum Entomology Workshop, 15-21 July 1984, Texas A&M University, College Station, TX, USA. Patancheru, A.P. 502324, India: ICRISAT.
- Paul Van Mele, 2008. Discovery Learning A Manual to Promote Better Pest Management in Tree Crops in Africa, 15 p.
- PROMISAM, 2006. Projet de Mobilisation des Initiatives en matière de Sécurité Alimentaire au Mali. Plan de sécurité alimentaire du cercle de Yélimané. Élaboré avec l'appui technique et financier de l'USAID-Mali à travers le projet d'appui au CSA, le PROMISAM, 15 p.
- Ratnadass A., Doumbia Y.O., Hamadoun A., 1992. *Neolimnus aegypticus* Matsumara (Hemiptera, Cicadellidae), et *Sesamia penniseti* Tams, et Bowden, deux nouveaux ravageurs du sorgho de décrue dans la zone des lacs au Nord du Mali. Agronomie Tropicale 1992, 46(4):321-325.
- Reddy Seshu K.V. and Omolo E.O., 1985. Sorghum Insect Pest Situation in Eastern Africa. In Proceedings of the International Sorghum Entomology Workshop, 15-21 July 1984, Texas A&M University, College Station, TX, USA. Patancheru, A.P. 502324, India, ICRISAT.
- Sankaran T., 1974. Natural enemies introduced in recent years for biological control of agricultural pests in India. Indian Journal of Agricultural Sciences, 44 (7): 425-433.
- Sylvie P.G., Delvare G., Aberlenc H.P., Sognidbe B., 1993. Contribution à l'inventaire faunistique du cotonnier au Togo dans une optique de lutte intégrée. Coton Fibres Trop., 1993, vol. 48, fasc. 4:313-325. Thresh J.M., 2003. Control of plant virus diseases in sub-Saharan Africa: The possibility and feasibility of an integrated approach. Africa Crop Science Journal, 11(3): 199-223.
- Wakeil N. E., Awadallah K.T., Faryhaly H.T.H., Ibrahim A.A.M. & Ragab Z.A., 2008. Efficiency of the newly recorded pupal parasitoid *Pediobius furvus* (Gahan) for controlling *Sesamia cretica* (Led.) pupae in Egypt. Archives of phytopathology and plant protection, 41 (5):340-348.
- Zagatti P., Hamadoun A., Lettere M., Bordat D., Gallois M., Malosse C., 1988. Phéromone sexuelle de *Sesamia calamistis* (Hampson) (Lepidoptera: Noctuidae). Physiologie animale/ Animal physiology. C. R. Acad. Sci. Paris, t 307, Série III: 837-840.

Détermination des dépôts de terre et de nutriments par la crue dans la zone de Yélimané en zone sahélienne au Mali

Determining Flood-Deposited Soil and Nutrients in the Sahelian Zone of Yélimané in Mali

Traoré Bouya¹, Traoré Kalifa¹, Aune Jens Bernt², Famanta Mahamoudou³, Togo Daouda¹, Traoré Boubacar¹, Coulibaly Boubacar¹

¹Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba - BP 262, Bamako, Mali

²Université des Sciences de la vie, NorAgric - BP 5003, N-1432 Ås, Norvège

³Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou IPR/IFRA - BP 06, Koulikoro, Mali

*Auteur pour la correspondance : bouyatr1@gmail.com

Résumé

Le Mali, comme les autres pays du Sahel, est touché par les effets du changement climatique qui se manifestent entre autres par la variabilité climatique se traduisant par une irrégularité des pluies sanctionnée par la faiblesse des précipitations. Pour une meilleure adaptation à cette situation, les producteurs de Yélimané ont mis un accent particulier sur la culture de décrue. Cette culture est actuellement confrontée aux contraintes liées aux faibles dépôts d'alluvions causés par l'irrégularité et la faiblesse de la pluviosité. Il en a résulté une diminution du temps d'inondation et une réduction de la superficie inondée. Cette situation influe négativement sur la fertilité des sols de décrue qui ont comme principale source de fertilité les dépôts d'alluvions. Cette étude a été réalisée pour évaluer la quantité de terres déposées par la crue et sa composition physico-chimique en vue d'aider à une gestion durable de la fertilité des sols de décrue. Le dispositif était composé de quatre placettes par site, placées avant l'amorçage de la crue. Chaque placette constituait une répétition. Les terres ont été récupérées après la crue et les échantillons prélevés ont été analysés au laboratoire. Les résultats obtenus durant les deux années d'expérimentation ont montré que la quantité de terre récupérée à Dougoubara était la plus élevée et correspondait à 29 % d'augmentation par rapport à celle obtenue à Gory. Ces terres de Dougoubara contenaient plus de limon que de sable contrairement à celles de Fougou qui renfermaient plus de sable. Quant à l'argile, elle était importante dans les terres de Yaguiné. L'analyse chimique des échantillons a indiqué que le pH (eau) des terres de tous les sites était dans la gamme optimale de développement des cultures. Toutes les terres récupérées étaient pauvres en carbone organique et en azote. Par contre, elles étaient riches en potassium et la Capacité d'Échange Cationique était élevée.

Mots-clés : dépôts d'alluvions, sols de décrue, érosion, Mali.

Abstract

Mali, like other countries in the Sahel, is affected by the impacts of climate change in the form of climate variability, resulting in erratic and low rainfall. For a better adaptation to such conditions, producers in Yélimané have put a special emphasis on flood recession cropping. This cropping system is currently facing constraints related to the low volumes of alluvial deposits as a result of erratic and low rainfall. This has led to a shortening of flood time and a reduction in flooded area, which have a negative impact on the fertility of flood recession soils whose main source of nutrients is alluvial deposits. The objective of this study was to assess the amount of soil deposited by floods and its physico-chemical composition in order to support sustainable management of soil fertility in flood recession areas. The experiment covered four plots per site, which were set before the beginning of flood. Each plot was a replication. Soil samples were collected after the flood and analyzed in the IER's Soil-Water-Plant Laboratory. The results obtained during the two years of experimentation showed that the area of land recovered in Dougoubara was the larger and represented an increase by 29%, compared with that recovered in Gory. The soils in Dougoubara contained more silt than sand, unlike those of Fougou, which contained more sand, while clay was predominant in the soils of Yaguiné. The chemical analysis of soil samples indicated that the pH (water) in all sites was within the optimal range for crop development. All recovered lands were low in organic carbon and nitrogen but rich in potassium and their Cation Exchange Capacity was high.

Key words: *alluvial deposits, flood recession soils, erosion, Yélimané, Mali.*

Introduction

Depuis la Conférence des Nations Unies sur l'Environnement et le Développement (CNUED) tenue à Rio de Janeiro en juin 1992, les questions de changement climatique tiennent une place importante dans la protection de l'environnement. Les effets liés au phénomène constituent aujourd'hui une menace potentiellement majeure pour l'environnement et le développement durable. Au Mali, les effets du changement climatique se manifestent dans tous les domaines. La variabilité climatique se traduit, entre autres, par l'irrégularité des pluies et la faiblesse des précipitations dont les effets néfastes se résument à l'insuffisance des ressources en eau, la destruction des ressources forestières, l'assèchement précoce des mares et des lacs, la diminution des ressources halieutiques, la dégradation de l'écosystème, etc.

Face à une telle situation, des mesures d'adaptation s'imposent afin d'assurer un développement durable. Une des stratégies développées en agriculture, est la culture de décrue dans les bas-fonds et dans les vallées inondables des fleuves et des marigots. Cette culture dont l'alimentation hydrique est assurée en partie par l'humidité résiduelle du sol provenant de la crue est pratiquée dans des dépressions où la capacité de rétention de l'eau est importante. Elle est réalisée au fur à mesure que l'eau se retire des parcelles. Les connaissances sur la fertilité des sols dans les systèmes de décrue nous amènent à considérer une telle situation comme un atout potentiel pour une meilleure production des cultures à travers des processus de sédimentation (Le Roy, 2005 ; Cissé, 2009). Cependant, on assiste à un mauvais établissement des cultures (Aune, 1992) et à une baisse de rendements des cultures (NEPAD, 2005). Cette situation pourrait s'expliquer par les contraintes actuelles liées au faible alluvionnement observé par les producteurs et décrit par certains auteurs (Couture, 1996 ; Le Roy, 2005). Elle est la conséquence du caractère irrégulier des écoulements saisonniers des eaux de surface se traduisant de plus en plus par une diminution des surfaces inondées et un temps d'inondation très court, compromettant ainsi une agriculture traditionnelle de décrue (NEPAD, 2005). Les alluvions, étant la principale source de fertilité des sols de décrue, leur faible dépôt pourrait influencer négativement sur cette fertilité. Il était alors urgent d'étudier les caractéristiques physico-chimiques des alluvions déposées par les eaux en vue d'aider à la mise au point de techniques de gestion de la fertilité des sols de décrue.

Matériel et méthodes

Site de l'étude

Le cercle de Yélimané est situé au nord-est de la région de Kayes (Mali) entre le 14° et le 16° de latitude nord et les 10° et 12° de longitude ouest. Il est situé en zone sahélienne caractérisée par deux saisons contrastées : une saison des pluies entre juin et septembre alternant avec une période sèche de huit à neuf mois. La pluviosité moyenne annuelle oscille entre 450 et 600 mm. Les cumuls pluviométriques des années et les températures enregistrées montrent la grande variabilité des paramètres climatiques dans la zone.

La majeure partie du cercle est constituée de vastes plaines marécageuses d'érosion. Les sols sont de différents types : i) des sols ferrugineux tropicaux lessivés ; ii) des sols minéraux bruts peu évolués ; iii) des sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétion sur alluvions ; iv) des sols hydromorphes à pseudo gley ; v) des sols hydromorphes à gley couvrant les basses cuvettes et les mares.

Le paysage est constitué de steppes arbustives sahéliennes au Nord et de savanes arborées et herbacées partiellement dégradées au Sud. Le cercle n'est traversé par aucun cours d'eau permanent. Il abrite plusieurs mares et marigots dont les plus importants sont : la Kolombiné, la Térékolé, le Gari et le Krigou. La Kolombiné est un affluent sahélien du fleuve Sénégal qui draine un bassin versant de 16 189 km² dans le cercle de Yélimané sur une longueur totale de 450 km. La Térékolé, principal affluent de la Kolombiné draine un bassin versant de 6 380 km² sur une longueur d'environ 187 km. Elle reçoit de petits affluents dont les plus importants sont le Babassangué et le Babara kolé issus respectivement des escarpements Nord du massif de Bafoulabé et de petites collines au Nord-ouest de Yélimané.

L'agriculture constitue la principale activité économique des populations du cercle. Malgré le potentiel exploitable de la zone, le cercle de Yélimané est classé de façon récurrente déficitaire (une production qui ne couvre pas les besoins de la population, même en année normale ; CE, 2012). Les rendements des cultures connaissent des baisses d'année en année suite à l'appauvrissement des sols en zone exondée, à l'érosion, à la faiblesse des équipements, à l'irrégularité des pluies et aux écoulements des eaux de surface, à l'insuffisance des terres exploitées, aux insuffisances en techniques culturales et surtout aux attaques des déprédateurs, régulièrement enregistrées dans la zone.

Dispositif expérimental

Le dispositif utilisé était constitué de placettes d'un mètre carré de surface, faites en tôle lourde (15 mm d'épaisseur). Des supports de 15 cm de long sont fixés aux angles et au milieu, soit 0,50 cm de part et d'autre de chaque angle de la placette. Ces supports (pieds) ont pour rôle de mieux fixer la placette au sol (Photo 1). Les placettes ont été implantées avant la crue et à raison de quatre par site d'expérimentation. Chaque placette constituait une répétition. La récupération des dépôts a lieu après le retrait des eaux. Les terres ainsi récupérées ont été pesées. Des échantillons de sol ont été prélevés et analysés au Laboratoire Sol, Eau, Plantes de Sotuba. L'expérimentation a été réalisée durant les années 2014 et 2015.



Photo 1 : Installation du dispositif de Yélimané (a) et (b) dépôt de terre apporté par la crue à Yélimané, en 2014

Les quantités de terres et de nutriments par hectare ont été obtenues en utilisant les formules suivantes :

Quantité de terre = quantité moyenne placette du site x 10 000

$$\text{Quantité de nutriments} = \frac{\text{Concentration en \% du nutriment}}{100} \times \text{Quantité de terre}$$

Résultats

Quantités de terres et de nutriments dans les terres des différents sites

Les résultats obtenus durant les deux années d'expérimentation ont montré une variabilité des quantités de terre récupérées sur les différents sites. Cette quantité était importante à Dougoubara et correspondait à 29 % d'augmentation par rapport à celle de la terre obtenue à Gory (Tableau 1). Les quantités de sable, récupérées sur les sites de Yaguiné, Fougou et Gory, étaient proches les unes des autres et en moyenne supérieures de 120 % à celle de Dougoubara. Par contre, la quantité de limon contenue dans les terres de Dougoubara était le double de celle de Gory. L'argile, récupérée à Yaguiné, était 4 fois supérieure à celle de Fougou. Les résultats ont également montré que l'azote était plus abondant dans les terres de Fougou et était le double de celui récupéré dans les terres de Yaguiné. Quant au calcium, il était en grande quantité dans les terres récupérées à Dougoubara et était supérieur de 88 % à celui contenu dans les terres de Yaguiné. Les quantités de phosphore et de potassium étaient importantes dans les terres récupérées à Fougou.

Tableau 1 : Quantité moyenne de sol et de nutriments déposés par la crue en kg/ha Yélimané 2014-2015

Village	Terre	CO	N	Pas	Ca	Mg	K	Na	Sa	Lim	Arg
Yaguiné	20 631	136	4	193	1 533	1 430	122	18	9 209	9 718	1 688
Dougoubara	23 788	236	7	235	2 880	1 880	136	23	4 618	18 142	940
Fougou	19 690	331	8	445	2 396	1 854	134	26	12 206	9 787	429
Gory	15 966	252	5	358	2 450	1 100	111	30	9 903	6 021	581

Sa = sable, Lim = limon, Arg = argile, Pas = Phosphore assimilable

Co : Carbone organique ; N : Azote ; Ca : Calcium ; Mg : Magnésium ; K : Potassium ; Na : Sodium

Caractéristiques physiques et chimiques des sols

Granulométrie

Sur l'ensemble des sites, les teneurs en sable, limon et en argile étaient variables. Les terres récupérées à Gory étaient plus riches en sable avec une teneur moyenne équivalente au double de celle des terres récupérées à Dougoubara. Par contre, les terres de Dougoubara avaient une concentration plus élevée en limon qui dépassait celle de Gory de 110 %. Les teneurs en limon des terres de Yaguiné et de Fougou étaient très

proches. Concernant l'argile, les teneurs étaient faibles dans tous les sites et la teneur dans les terres de Yaguiné était plus élevée que celles des autres (Figure 1).

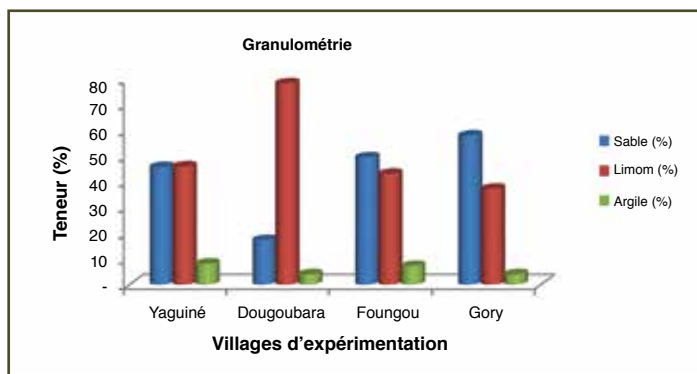


Figure 1 : Proportion de sable, limon et argile dans les terres des différents sites (Yélimané, 2014-2015)

Caractéristiques chimiques

Le pH (eau) des terres de tous les sites variait de 6,27 à 6. Les taux de carbone organique étaient proches, excepté celui de Gory qui était très faible par rapport aux autres. Les terres récupérées dans les différents sites étaient pauvres en azote. Toutefois, sa teneur était en moyenne plus élevée de 50 % dans les terres de Dougoubara et de Gory que celle de Yaguiné et de Fougou (Figure 2).

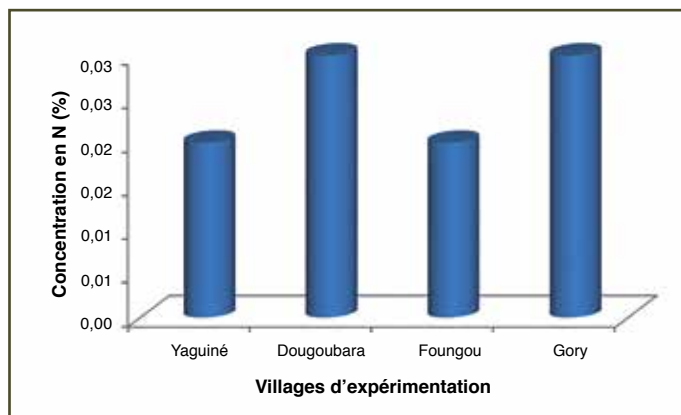


Figure 2 : Concentration en azote des terres des différents sites de Yélimané, 2014-2015

La plus faible concentration en phosphore a été observée dans le site de Fougou. La plus forte concentration, obtenue dans le site de Gory, avait un accroissement de 134 % comparativement à la concentration moyenne des sites de Yaguiné et Dougoubara (Figure 3). Cet accroissement est triplé comparativement à la concentration de phosphore du site de Fougou.

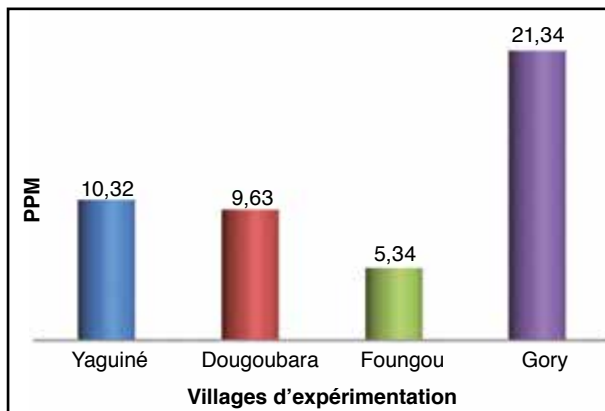


Figure 3 : Concentration en phosphore assimilables (Pas) des terres des différents sites (Yélimané, 2014-2015)

Toutes les terres récupérées dans les différents sites étaient riches en potassium et les teneurs étaient proches. Concernant le calcium, la concentration était plus forte dans les terres de Fougou, dépassant celle des terres de Gory de 37 % (Figure 4). Cette augmentation était de 26 %, comparativement à celle de Yaguiné. Les terres de Dougoubara et Fougou avaient une capacité d'échange cationique (CEC) plus élevée et dépassait en moyenne celle de Gory de 72 %.

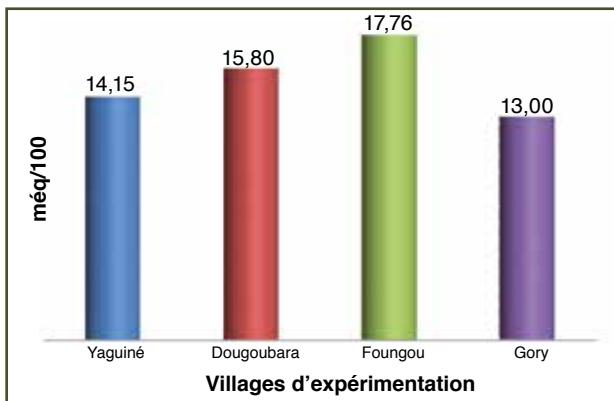


Figure 4 : Concentration en calcium des terres récupérées dans les sites (Yélimané, 2014-2015)

Discussion

Les variations entre les sites des quantités de terre déposées pourraient être liées à la microtopographie des sites. En effet, les plaines sont plus vastes et plates à Yaguiné et à Dougoubara qu'à Fougou et à Gory. Cette situation contribue à diminuer la vitesse d'écoulement des eaux dans les sites de Yaguiné et de Dougoubara, favorisant ainsi les dépôts des éléments, notamment le limon et l'argile. Ce phénomène a été évoqué par Claude *et al.* (1977) qui ont révélé que l'épaisseur de dépôt de sédiments est liée à la microtopographie de la plaine, aux aménagements agricoles et à la vitesse du courant. Aussi, les différentes méthodes pour la détermination des dépôts de sédiments ont montré que lorsque le débit en un point donné diminue, la force tractrice de l'eau diminue aussi ; les matériaux solides se déposent et la configuration du lit devient moins favorable à l'écoulement, ce qui tend à réduire encore plus la vitesse et la capacité de transport des éléments (UNESCO, 1986). La quantité moyenne annuelle de dépôts de sédiments obtenue par site montre la forte concentration des eaux d'écoulement en sédiments et sa variabilité d'un site à l'autre. Ce phénomène serait lié au degré d'érosion causé par les eaux de ruissellement en amont des sites d'expérimentation. Ceci confirme les travaux de Carré (1972) selon lesquels les variations de concentrations et les quantités transportées dépendent étroitement des conditions physico-climatiques (climat tropical, relief peu accentué, vastes zones inondables, sous-bassins dissemblables). Cette concentration observée sur les sites est assez élevée comparée à celle du Delta Intérieur qui représente un flux spécifique de 4, 7 à 9,7 tonnes par km² par an (Andersen *et al.*, 2006). Des quantités de l'ordre de 2,5 à 12 tonnes par km² par an (environ 1,3 millions de tonnes) se sont déposées dans les plaines inondées du lac Tchad (Carré, 1972). Cependant, ce dépôt annuel moyen est inférieur à la quantité d'alluvions déposée par l'oued de Medjerda lors de la crue exceptionnelle de mars 1973 qui était de 1700 t/ha (Claude *et al.*, 1977).

Du point de vue des réserves minérales, les variations en teneur d'éléments sont probablement liées aux eaux de ruissellement de différentes sources donc de sols de différents types d'unités de paysage en fonction de l'arrivée d'ondes de crue des divers affluents avant les dépôts tel que rapporté par Cissé (2009) qui explique que c'est la crue qui draine le limon pour enrichir le sol de décrue. Les terres récupérées étaient pauvres en azote avec de faibles taux de matière organique. Cette situation est due au fait que l'humus colloïdal est généralement transporté jusqu'à l'embouchure du cours d'eau où il se dépose, soit après évaporation de l'eau, soit après floculation. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par Claude *et al.* (1977) sur les alluvions déposées par l'oued Medjerda. Ils confirment les travaux de Traoré (2012) qui ont montré la déficience des sols de décrue de Yélimané en matière organique et en azote.

La capacité productive que représentent ces dépôts alluviaux est conditionnée par leurs caractéristiques chimiques mais surtout physiques. Les alluvions les plus lourdes, celles argilo-limoneuses qui constituent la majorité des alluvions, présentent un grave défaut de structure en surface par le phénomène de fissuration du sol entravant le développement normal de la plante.

Conclusion et perspectives

Le faible alluvionnement observé et la baisse de rendements des cultures dans le système de décrue, tant évoqués dans la littérature et par le savoir local, nous ont conduits à déterminer les quantités de dépôts de terre dans les différents sites d'expérimentation ainsi que leur composition physico-chimique. Ces travaux ont montré que la quantité de dépôt de terres dans les plaines et les cuvettes est fonction de plusieurs facteurs tels que la toposéquence, la vitesse de l'écoulement et l'étendue de la plaine. Ils ont permis d'identifier les sites à grand potentiel de dépôt de terres par la crue. La détermination des caractéristiques physico-chimiques des terres récupérées a révélé que la concentration des nutriments dépend de la vitesse d'écoulement des eaux et de la nature des unités pédologiques traversées par les eaux de ruissellement en amont des dépôts. L'analyse chimique des échantillons de terres de tous les sites d'expérimentation a montré que les terres étaient pauvres en azote et en matière organique, d'où une recommandation d'apport de ces éléments pour assurer une meilleure gestion de la fertilité des sols de décrue. Pour ce faire, les résultats obtenus par cette étude pourront être une source d'inspiration pour l'amélioration de la fertilité des sols de décrue en vue de contribuer à l'atteinte de la sécurité alimentaire des zones concernées.

Les expérimentations sur le dépôt d'alluvions dans les plaines par les inondations ont été réalisées seulement dans les quatre sites d'expérimentation du cercle. Il est souhaitable de poursuivre cette étude en l'élargissant à d'autres sites tout en prenant en compte les toposéquences, les unités de paysage, la concentration des eaux en matière totale dissoute et les alluvions déposées par endroit. Ceci permettra d'approfondir les connaissances sur l'alluvionnement des zones de décrue où l'inondation est assurée par les eaux de pluies tombées sur place et des eaux provenant de la Térékolé, la Kolombiné et leurs affluents.

Des techniques doivent être développées pour une meilleure gestion de la fertilité des sols de décrue tout en se basant sur les apports et les exports annuels de nutriments.

Références

- Andersen I., Dioni O., Holder J.M. et Olivry J.-C., 2006: Le Bassin du fleuve Niger: Vers une vision de développement durable, (Ed.) Katherin George Golitzen, Banque mondiale, Washington, DC 20433, 172p.
- Aune J.B., 1992. La culture de décrue au Gourma, Mali: conditions pédologiques, espèces et variétés. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, 6: 279-291.
- Carré P., 1972. Quelques aspects du régime des apports fluviaux de matériaux solides en suspension vers le lac Tchad. *Cahiers ORSTOM Série, Hydrologie*, 1972, 9 (1): 19-45.
- CE, 2012. Commission Européenne, Save the Children, SAP et Oxfam: Profil HEA, Zone de Moyens d'Existence: Sorgho-Elevage Transhumant et Migration, Cercle de Yélimané, Région de Kayes, 16p.
- Cissé A.M., 2009. Système Faguibine: l'espoir renaît en zone lacustre Source: Essor du 29 mai 2009.
- Claude J., Francillon G. et Loyer J.Y., 1977. Les alluvions déposées par l'Oued Medjerdah lors des crues exceptionnelles de Mars 1973, ORSTOM-DRES, Tunisie, 162 p.
- Couture L.J., 1996. Bilan et potentialités des aménagements hydro-agricoles en région septentrionale de Kayes (Mali): quelles leçons pour le développement rural régional ? <http://www.beep.ird.fr/collect/bre/index/assoc/HASHb236.dir/18-152-173.pdf>
- Le Roy X., 2005. Le sorgho de décrue dans la vallée du Sénégal, IRD, 9 p.
- NEPAD, 2005. Programme national d'investissement à moyen terme (PNIMT) Volume I de VII, 60 p.
- Traoré K., 2012. Rapport du comité de pilotage du projet d'Adaptation de l'Agriculture et de l'Elevage au Changement Climatique (ACC): Composante: Production durable des cultures en systèmes de décrue pour une sécurité alimentaire au Mali, 62p.
- UNESCO, 1986. Méthodes de calcul de la sédimentation dans les lacs et les réservoirs (Contribution au Programme Hydrologique Internationale PHI II Project A.2.6.1 Panel) 238 p.

CHAPITRE 5 :

Options techniques agricoles d'adaptation en agriculture de décrue

Amélioration de la productivité du sorgho de décrue par une meilleure installation des cultures dans le cercle de Yélimané

Increasing the Productivity of Recession Sorghum through Improved Crop Establishment in Yelimané cercle

Traoré Kalifa¹, Traoré Bouya¹, Noussourou Moussa¹, Hamadoun Abdoulaye², Aune Jens Bernt³, Traoré Boubacar¹, Coulibaly Boubacar¹, Togo Daouda¹, Yossi Harouna¹, N'Diaye Ibrahima¹

¹Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba, Bamako - BP 262, Mali

²Direction Générale de l'Institut d'Économie Rurale - BP 258 Bamako, Mali

³Université des Sciences de la vie, NorAgric – BP 5003, N-1432 Ås, Norvège

*Auteur pour la correspondance : ibosimon_1@yahoo.fr

Résumé

L'agriculture de décrue est sensible au changement et à la variabilité climatiques puisque dépendant des précipitations dans la zone de Yélimané. En effet, une faible pluviosité entraîne une réduction du temps d'inondation des surfaces emblavées en sorgho de décrue. L'objectif de cette étude est de contribuer à l'amélioration du rendement des cultures par le repiquage après un séjour en pépinière et le trempage des semences de sorgho.

Le repiquage de plants de sorgho issus de semences trempées dans l'eau pendant 8 heures suivi d'un séchage de 2 heures après 15 jours de séjour en pépinière, le trempage des semences dans l'eau pendant 8 heures suivi d'un séchage de 2 heures avant le semis, le semis direct sans travail du sol (pratique paysanne) et deux niveaux de fertilisations minérales en microdose (F0 = témoin absolu et F1 = 50 kg/ha d'urée) ont été étudiés dans un dispositif factoriel de 2 facteurs en blocs dispersés dans lesquels les traitements randomisés mesuraient chacun 20 m², soit 3 x 2 (repiquage; trempage; semis direct sans traitement x fertilisation (témoin absolu; apport d'urée). Un dispositif similaire a été réalisé dans 3 champs de paysans (chaque champ paysan constituant une répétition) dans chacun des villages de Dougoubara, Gory et Yaguiné. Une enquête individuelle a été réalisée pour recueillir l'opinion des paysans sur les modes d'installation, les avantages et les contraintes observés et les stratégies pour une large diffusion.

Le trempage des semences et le repiquage ont permis en moyenne sur les deux ans une augmentation respectivement de 436 kg/ha et de 529 kg/ha. Cette augmentation est aussi due à un meilleur remplissage des grains des plants issus des parcelles repiquées puisque le poids de 1 000 grains y est 16 % plus élevé. La fertilisation a eu un effet significatif positif sur le rendement, le poids de 1 000 grains et le cycle végétatif du sorgho. Le repiquage a permis de réduire jusqu'à 30 % le cycle du sorgho en champ paysan. Selon les paysans, les

avantages du repiquage sont liés à la précocité de maturation des panicules, à la réduction des dommages causés par les déprédateurs, au nombre de panicules, au niveau d'occupation du sol ainsi que ceux liés à la vigueur des plants issus du trempage. Une formation par le biais d'une communication directe avec les paysans semble être la meilleure voie de diffusion des techniques étudiées.

Mots-clés : repiquage, trempage, sorgho de décrue, Yélimané.

Abstract

Flood recession agriculture is sensitive to climate change and variability as it depends on rainfall in the area of Yélimané. In fact, low rainfall leads to a shortening of flood time in the areas sown with flood recession sorghum. The objective of this study is to contribute to the improvement of crop yield through sorghum crop transplanting after a stay in a nursery and seed priming.

The transplanting of sorghum plants resulting from seed priming in water during 8 hours, followed by a two-hour drying 15 days stay in a nursery; seed priming in water during 8 hours after a two-hour drying before sowing; direct sowing without tillage (a farmer practice); and two levels of microdose mineral fertilization (F0 = absolute control and F1 = 50 kg ha urea) were studied. The experimental design was a factorial combination of 2 factors in scattered blocks in which each randomized treatment covered 20 m², i.e. 3 x 2 (transplanting, priming, direct seeding without treatment) x fertilization (absolute control, urea application). A similar design was implemented in 3 farmer fields (each of which was a replication) in each of the villages of Dougoubara, Gory and Yaguiné. An individual survey was conducted to gather farmers' opinion on the installation methods, the advantages and constraints observed and the strategies for a wide dissemination.

On average, seed priming and transplanting helped increase yields by 436 kg ha and 529 kg ha, respectively, over the two years. This increase was also due to a better seed fill rate of plants from the transplanted plots as the weight of 1,000 grains was 16% higher there. Fertilization had a significant positive effect on yields, the weight of 1,000 grains and the vegetative cycle of sorghum. Transplanting helped reduce the cycle of sorghum in farmer's fields by up to 30%. According to farmers, the advantages of transplanting are due to the early maturation of panicles, to the reduction of damage caused by pests, to the number of panicles, the level of land cover and other factors related to the vigor of the plant resulting from seed priming. Training through direct communication with farmers seems to be the best way to disseminate the techniques studied.

Key words: transplanting, priming, flood recession sorghum, Yélimané.

Introduction

L'inondation des plaines par le système hydrographique Térékolé, Kolombiné, Lac Magui (TKLM) est un grand potentiel pour le développement de l'agriculture de décrue dans la région de Kayes. Les inondations dans cette zone résultent de la pluie tombant directement sur la plaine d'inondation ou du ruissellement des cours d'eau locaux, principalement celui des collines environnantes. L'agriculture de décrue est une composante importante des terres agricoles du cercle de Yélimané où les précipitations faibles et irrégulières ne garantissent pas le succès de l'agriculture pluviale. L'agriculture de décrue est un système agricole traditionnel pratiqué par les agriculteurs vivant le long du lac Magui et de son bassin versant Térékolé-Kolimbiné (TKLM). Les inondations atteignent les plaines en juillet au début de la saison des pluies et se retirent entièrement en septembre. La mise en place des cultures a lieu tôt dans les plaines saisonnièrement inondées suivant le retrait des eaux de la crue (Traoré *et al.*, 2016). Les eaux de la crue annuelle du système TKLM inondent une vaste plaine alluviale de 70 000 hectares dont la partie Nord-est de la région de Kayes (Nord-ouest du Mali) et la partie Sud de la Mauritanie (Brodkorb et Traoré, 2011). Potentiellement, cette zone peut être cultivée après le retrait des eaux de crue. L'agriculture de décrue utilise l'humidité résiduelle du sol qui est stockée dans le sol après l'inondation annuelle des plaines, les auréoles autour des lacs ou des zones humides saisonnières (Saarnak, 2003), qui apporte des éléments nutritifs avec elle. En dépit de ces avantages, plusieurs contraintes existent cependant. Elles sont liées aux dommages causés par les oiseaux et autres ravageurs, aux faibles rendements des cultures, aux faibles niveaux d'équipement, aux faibles niveaux d'azote et de matière organique et enfin à l'insuffisance des crues due en grande partie au changement climatique, se traduisant par une diminution des surfaces inondées et un temps d'inondation très court. À ce sujet, Le Roy (2007) rapportait que le sorgho de décrue suscite une profonde incertitude par sa dépendance vis-à-vis de la crue imprévisible et d'ampleur très variable d'une année à l'autre. Dans ces conditions, il est important de réussir l'installation rapide des cultures puisque le front d'humectation du sol descend progressivement sous l'effet des paramètres climatiques (augmentation de l'évapotranspiration, de la température, de la vitesse des vents) et des caractéristiques intrinsèques des sols (fentes de dessiccation).

Des technologies telles que le trempage des semences et les pratiques classiques des paysans ont été étudiées par plusieurs auteurs (Coulibaly et Aune, 2007; Aune et Ousman, 2011) mais peu d'études ont été réalisées pour apprécier l'effet du repiquage qui est aussi un mode d'installation des cultures qui permet de réduire considérablement le temps de séjour des plants dans les champs cultivés. La présente étude se base sur l'hypothèse selon laquelle le repiquage des plants de sorgho ayant séjourné en pépinière permet d'augmenter le rendement du sorgho dans l'agriculture de décrue.

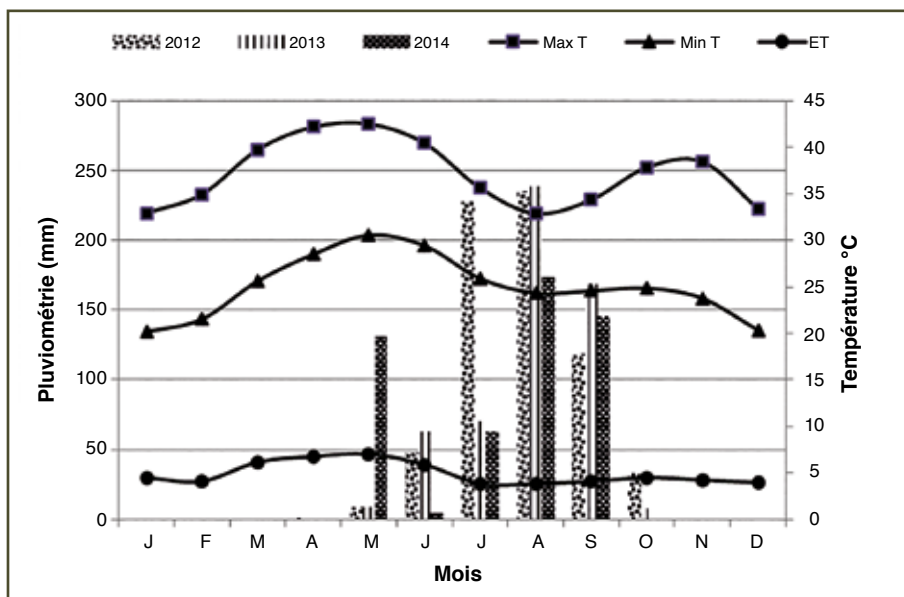


Figure 2 : Pluviométrie durant les années 2012, 2013 et 2014 à Yélimané, Mali (Traoré et al., 2016).

annuelles allant de 500 à 600 mm au cours de la période de l'étude. Les précipitations sont unimodales avec le maximum des pluies enregistré en juillet et août.

Les températures annuelles moyennes ont varié de 20,2 à 28,5°C comme minima à des maxima de 32,9 à 42,5°C. L'évapotranspiration était de 6-7 mm jour⁻¹ pendant la saison sèche et 4 mm jour⁻¹ dans la saison des pluies.

Les sols de la région varient de sablo-limoneux peu profonds et pierreux des hauts plateaux à limono-argileux à argileux des cuvettes (parties centrales des cuvettes et bords des cuvettes) en passant par les terrasses alluvionnaires dans les vallées hautes, basses, les bourrelets de berges et les marigots qui sont sablo-limono-argileux à souvent argileux. La formation végétale de l'espace sylvo-pastoral est la savane arbustive. La taille des arbustes est de l'ordre de 2 à 10 m. Les principales espèces sont *Bauhinia rufescens*, *Acacia seyal*, *Balanites aegyptiaca*, *Guiera senegalensis*, *Hyphaene thebaïca*, *Ziziphus mucronata*, *Adansonia digitata*, *Bauhinia reticulata*, *Acacia tortilis*, *Calotropis procera*, *Ficus capensis*, *Combretum micranthum*, *Combretum adenogonium*, *Senegalia senegal*, *Borassus aethiopicum*, *Faidherbia albida*. Parmi les herbacées rencontrées, on peut citer *Andropogon* spp, *Cenchrus bliflorus*, *Digitaria* spp, etc.

Dispositif expérimental

Il s'agit d'évaluer la performance du repiquage et du trempage dans des conditions de fertilisation ou non dans l'agriculture de décrue. Les modes d'installation sont le repiquage du sorgho (les plants séjournent 15 jours en pépinière avant leur transplantation), le trempage des semences (les graines sont trempées dans l'eau pendant 8 heures, puis séchées pendant 2 heures avant le semis), le semis direct sans travail du sol qui est la pratique paysanne habituelle des paysans. Deux (2) niveaux de fertilisation minérales en microdose étaient pratiqués: F0 (témoin absolu) et F1 (50 kg/ha d'urée). L'urée a été apportée en 2 fois: au semis (1,25 g poquet) mais pas dans le même poquet que les semences, juste à côté après avoir fermé le poquet semé et 15 jours après semis (1,25 g/poquet). Le dispositif factoriel comporte 2 facteurs en blocs dispersés dans lesquels les traitements sont randomisés: mode d'installation (3 modalités (repiquage; trempage; semis direct sans traitement) x fertilisation (2 niveaux: témoin absolu; apport NPK). Un dispositif similaire a été réalisé dans 3 champs donc 3 répétitions (chaque parcelle de paysan constituant une répétition) dans chacun des villages de Dougoubara, Yaguiné, Gory et Fougou.

Les parcelles élémentaires mesurent 4 m x 5 m, soit 20 m²; les lignes de semis sont distantes de 1 m et les poquets à 0,5 m sur la ligne. La parcelle utile est constituée de 3 lignes sur toute leur longueur, soit (3 x 1) x 5 = 15 m². La même variété (celle habituelle dans la région) a été utilisée chez tous les paysans.

À la récolte, les poids grains et tiges ont été enregistrés au même titre que le poids de 1 000 grains (g) obtenu en utilisant un compteur de grain électronique (NUMIGRAL) et une balance électronique (METTLER 4000).

Les cycles des plants issus du repiquage, du semis après trempage dans l'eau des semences et de la pratique paysanne ont également été enregistrés.

La perception des paysans sur la pratique du repiquage et du trempage

Il a été question de recueillir l'opinion des paysans sur le repiquage du sorgho et le trempage, leurs avantages et les contraintes. On a aussi demandé aux paysans les stratégies pour une large diffusion dans la zone. Ces informations permettront de mieux orienter les activités de diffusion.

Pour ce faire, en 2014, 66 chefs d'exploitations agricoles (31% de la population cible) ont été interrogés dans un entretien individuel. Les questions ont été orientées sur le mode d'installation des cultures, les avantages visibles sur le terrain, les effets sur le

rendement des cultures, la gestion des déprédateurs et autres nuisibles, leurs opinions sur les moyens les plus appropriés pour une large diffusion de la technologie pour contribuer à l'amélioration de la production dans l'agriculture de décrue.

Traitement des données

Le logiciel MINITAB (Release 14 pour Windows) a été utilisé. Les effets des traitements ont été considérés significatifs à un niveau de probabilité de $P < 0,05$. Le test de Newman et Keuls a été utilisé pour déterminer les différences significatives entre les moyennes des traitements.

Le logiciel SPSS a été utilisé pour calculer les tendances et les moyennes et Excel pour les calculs intermédiaires et les graphiques.

Résultats

Rendement grains et tiges du sorgho

En 2013 et 2014, le repiquage et le trempage avaient montré un effet statistiquement identique ($p < 0,001$) et tous deux, en moyenne, ont eu des rendements supérieurs à la pratique paysanne de + 92 % et + 32 % respectivement (Tableau 1). La fertilisation aussi influençait significativement le rendement des cultures de +81 % et +32 % respectivement.

Tableau 1 : Rendement grain du sorgho (kg/ha) en 2013 et 2014 dans les villages de Fougou, Dougoubara, Gory et Yaguiné, cercle de Yélimané (Kayes)

Années	2013	2014
Mode d'installation	Rendement grains kg/ha	Rendement grains kg/ha
Pratique paysanne	692b	1 021c
Repiquage	1 484a	1 287ab
Trempage	1 183ab	1 402ab
Fertilisation		
Témoin absolu	795b	1 138b
Apport de 50 kg d'urée	1 445a	1 288a
Moyenne	1 120	1 213
Écart-type	389,2	116
CV (%)	34,7	10

(a, b, c) : Les moyennes affectées par une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman et Keuls à un niveau de probabilité de 5% ; F0 = témoin absolu ; F1 = 50 kg/ha d'urée

En ce qui concerne la production de biomasse des tiges sur les deux années, elle a varié de 2 400 à 2 970 kg/ha (Tableau 2). Si la production de biomasse des tiges de la pratique paysanne ne diffère pas statistiquement de celle du repiquage en 2014, elle lui était inférieure en 2013. La fertilisation a eu un effet léger mais statistiquement significatif sur la production de biomasse des tiges. Elle a permis d'obtenir un gain de +22 % et +5 % pour les années 2013 et 2014 respectivement, ce qui est de beaucoup inférieur à celui obtenu sur la production de grains.

Tableau 2: Production de biomasse des tiges du sorgho (kg/ha) en 2013 et 2014 dans les villages de Fougou, Dougoubara, Gory et Yaguiné, cercle de Yélimané (Kayes)

Années	2013	2014
Mode d'installation	Rendement tiges kg/ha	Rendement tiges kg/ha
Pratique paysanne	2400b	2700ab
Repiquage	2970a	2533b
Trempage	2784ab	2822a
Fertilisation		
F0	2450b	2615b
F1	2985a	2756a
Moyenne	2718	2686
Écart-type (kg ha)	550	170
CV (%)	20,3	7

(a, b) : Les moyennes affectées par une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman et Keuls à un niveau de probabilité de 5% ; F0 = témoin absolu ; F1 = 50 kg/ha d'urée

Poids de 1 000 grains de sorgho

Le tableau 3 montre le poids de 1 000 grains de sorgho en 2013 et 2014. Les résultats ont révélé que la pratique paysanne avait le poids de grain le plus faible tandis que la parcelle repiquée avait le poids de grain le plus élevé. Le gain se chiffrait à +15 % et +17,6 % pour les années 2013 et 2014 respectivement. Les résultats ont montré également qu'il y avait une différence significative entre les modes d'installation. Sur les deux années, le poids des grains issus des parcelles repiquées était plus élevé que celui des parcelles non repiquées, suivi de la pratique paysanne. Par ailleurs, la fertilisation avait eu un effet significatif de respectivement + 16,07 % et + 16,39 % sur le poids des grains en 2013 et 2014.

Tableau 3 : Effets du mode d'installation et de la fertilisation sur le poids de 1 000 grains (g) en 2013 et 2014 dans les villages de Fougou, Dougoubara, Gory et Yaguiné, cercle de Yélimané (Kayes)

Années	2013	2014
Mode d'installation	Poids de 1000 grains	Poids de 1000 grains
Pratique paysanne	25,14c	24,3c
Repiquage	29,03a	28,6a
Trempage	27,12b	26,4b
Fertilisation		
F0	25,07b	24,4b
F1	29,1a	28,4a
Moyenne	27,09	26,45
Écart-type (kg/ha)	4,01	2,25
CV (%)	14,7	8,5

(a, b, c) : Les moyennes affectées par une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman et Keuls à un niveau de probabilité de 5% ; F0 = témoin absolu ; F1 = 50 kg/ha d'urée

Cycle du sorgho dans les champs

Le tableau 4 montre le nombre de jours à partir de la mise en place en champs paysans jusqu'à la récolte. Les résultats renseignent que le temps de séjour le plus long était observé dans la pratique paysanne et le plus court dans les parcelles repiquées. Le raccourcissement moyen sur les deux ans atteint jusqu'à 30 % du cycle, ce qui est non négligeable surtout dans un contexte de changement climatique. Les résultats ont indiqué également (Tableau 4) une différence significative entre les modes d'installation. La pratique paysanne avait le temps de séjour le plus long (88 jours en moyenne), suivie des parcelles du trempage (80 jours) et enfin les parcelles du repiquage (67 jours). Il apparaissait aussi que la fertilisation a permis de raccourcir en moyenne le temps de séjour des plants en champ de 19 %.

Tableau 4 : Cycle du sorgho sous divers modes d'installation en 2013 et 2014 dans les villages de Fougou, Dougoubara, Gory et Yaguiné, cercle de Yélimané (Kayes)

Années	2013	2014
Mode d'installation	Séjour au champ (jours)	Séjour au champ (jours)
Pratique paysanne	90a	87a
Repiquage	69c	66c
Trempage	80b	81b
Fertilisation		
F0	86a	86a
F1	74b	70b
Moyenne	80	78
Écart-type (kg/ha)	20,7	9
CV (%)	25,8	11,5

(a, b, c) : Les moyennes affectées par une même lettre ne sont pas significativement différentes selon le test de Newman et Keuls à un niveau de probabilité de 5% ; F0 = témoin absolu ; F1 = 50 kg/ha d'urée

Perception des paysans sur le repiquage et le trempage du sorgho

La majorité des paysans, soit 97% ont affirmé que leur pratique se limite au semis direct, le repiquage après un séjour en pépinière et le trempage des semences leur sont étrangers. Deux pour cent (2%) des paysans affirment qu'ils ont essayé le trempage 3 ans de suite dans les essais collaboratifs du projet Adaptation de l'Agriculture et de l'Élevage au Changement climatique (ACC) et 1% en ce qui concerne le repiquage dans le même contexte (Figure 3).

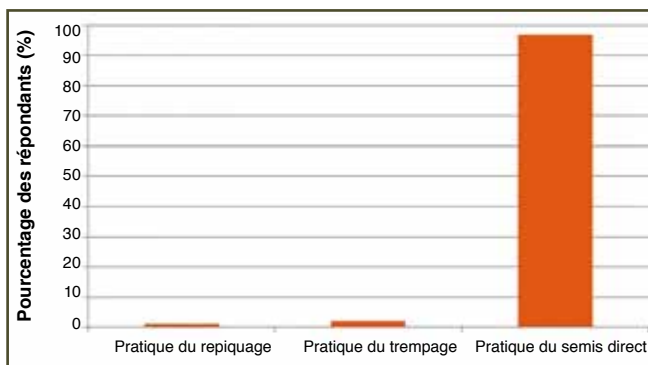


Figure 3 : Techniques de mise en place des cultures en 2014 dans les villages de Dougoubara, Gory et Yaguiné, cercle de Yélimané (Kayes)

En ce qui concerne les avantages observés sur les plantes issues du repiquage, du trempage et du semis direct, les paysans ont affirmé à l'unanimité (100 %) que les plants repiqués arrivent de loin à maturité avant ceux du trempage et du semis direct et les dommages causés par les oiseaux et insectes sont très réduits (10 %). Par contre, la vigueur des plants a été plus grande avec les plants issus du trempage (40 %) suivis de ceux du semis direct (35 %) et le repiquage (25 %). Au moins 70 % des paysans ont affirmé que le nombre de panicules récoltées et l'occupation du sol par les plants sont plus élevés avec le repiquage (Figure 4) suivi du trempage (20 % environ) et le semis direct (10 % au maximum).

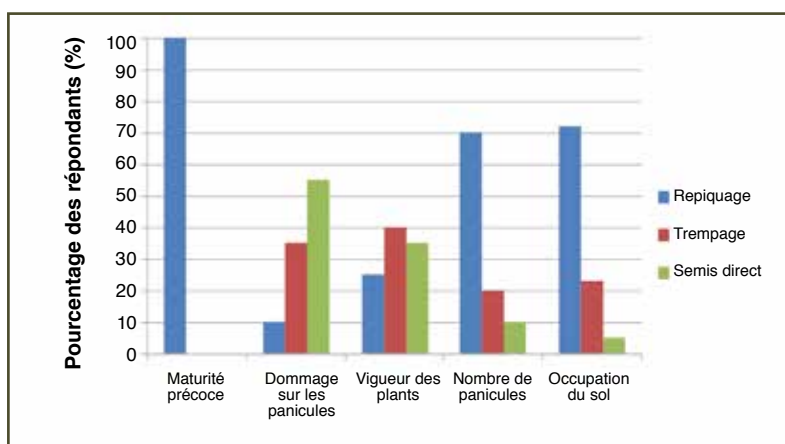


Figure 4: Observations des paysans sur le comportement des plants en 2014 dans les villages de Dougoubara, Gory et Yaguiné, cercle de Yélimané (Kayes)

Pour une meilleure diffusion des techniques de repiquage et de trempage des semences, 47 % des paysans ont affirmé que la formation des formateurs serait la voie la plus indiquée pour transmettre les connaissances. Ils ont également affirmé que les formateurs vivent avec eux et sont donc accessibles à tout moment pour des éclaircissements. D'autres (23 %), ont affirmé que former des groupes de paysans serait plus judicieux. Les raisons avancées sont que les questions de compréhension seront répondues par les formateurs eux-mêmes, ce qui réduit toute erreur de déformation du message émis. En plus, le nombre de paysans formés à la fois est beaucoup plus élevé. Dix-huit pour cent (18 %) des paysans ont plaidé pour un support visuel commenté, outil consultable à tout moment sans avoir recours à des explications venant d'autres personnes. Enfin, 13 % ont pensé que la radio de proximité serait idéale car, disent-ils, l'écoute est plus grande et donc plusieurs personnes sont accessibles au même moment (Figure 5).

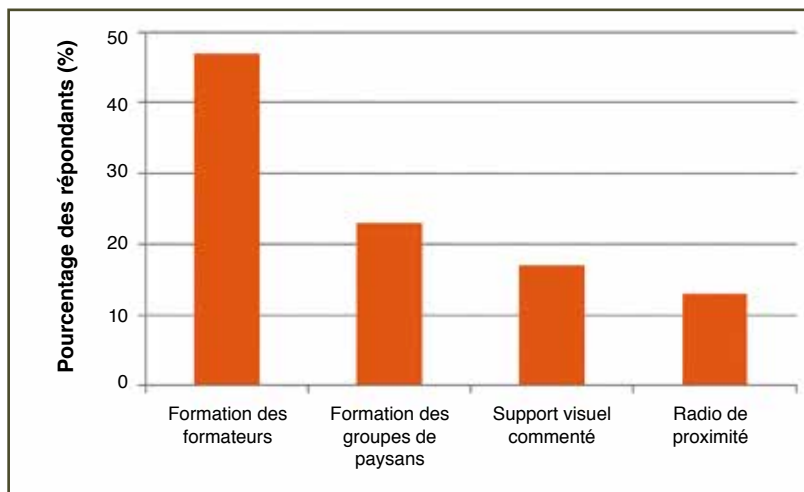


Figure 5 : Opinions des paysans sur les outils de diffusion des modes d'installation des cultures en 2014 dans les villages de Dougoubara, Gory et Yaguiné, cercle de Yélimané (Kayes)

Discussion

Rendement grains et tiges du sorgho

Les coefficients de variation en 2014 ont été faibles en comparaison avec l'année 2013. Cette situation en milieu paysan s'explique par la faible hétérogénéité observée entre les parcelles expérimentales. Cela a été rendu possible grâce à la présence des techniciens au moment du nettoyage des parcelles afin d'éviter l'affectation de terres marginales pour les essais. Des observations similaires ont été faites par Noussourou et Hamadoun (2014) lors de leurs travaux de criblage de cultivars de sorgho de décrue pour la tolérance ou la résistance aux insectes foreurs des tiges dans la zone de Yélimané.

Dans cette zone, le criblage de cultivars de sorgho de décrue en vue de l'amélioration de la productivité a abouti aussi à la création et à l'inscription dans le Catalogue Régional CEDEAO-UEMOA-CILSS des espèces et variétés végétales de quatre (04) variétés cultivées de sorgho adaptées à la décrue que sont Yélimané 1, Yélimané 2, Yélimané 3 et Yélimané 4.

Le repiquage du sorgho permet de gagner en raccourcissement du cycle dans les champs mais également de réduire les effets négatifs de l'enherbement et des déprédateurs (sauteriaux par exemple). Ces observations corroborent celles rapportées par Coulibaly

et Aune (2007). Traoré *et al.* (2013), suite à leurs travaux sur l'amélioration de la production du sorgho dans le système de décrue à Yélimané avaient également rapporté que les plants repiqués étaient au stade paniculaire tandis que ceux issus du trempage et de la pratique paysanne étaient respectivement vers la fin et au début montaison. Nos résultats sont similaires à ceux de Raimond (2007) qui mentionnait que les sorghos repiqués représentent 90 % des productions céréalières régionales au Tchad et que le fait que les récoltes soient précoces, l'on assiste à une réduction de la période de soudure alimentaire mais également à l'échappement des ravages causés par les oiseaux granivores. Ces avantages sont non négligeables pour les populations rurales dont la survie y dépend. Dans le même ordre d'idées, les oiseaux granivores causent énormément de dégâts sur les cultures dans le cercle de Yélimané et la seule arme reste le gardiennage basé sur l'émission de bruits (cris, tam-tam, vibration de corde plastique, etc.). À ce sujet, Le Roy (2007) mentionnait que le dégât des oiseaux pouvait occasionner jusqu'à 86 % de perte de rendement. L'évitement des dégâts causés par les nuisibles (oiseaux, insectes, mauvaises herbes) est sans doute responsable en grande partie de l'amélioration du rendement dans les parcelles repiquées.

En ce qui concerne la performance du trempage sur le rendement du sorgho, Harris *et al.* (2001) rapportaient que cette pratique peut aider à améliorer la production sous les tropiques en assurant une meilleure croissance et une bonne vigueur des plantes. Par ailleurs, les travaux de Aune et Ousman (2011), en agriculture pluviale, ont montré que le trempage engendrait une augmentation de rendement du sorgho de 482 kg/ha à 807 kg/ha. Les résultats de notre étude s'insèrent dans cet intervalle.

La fertilisation a dans tous les cas eu un effet significatif sur la production de grains et de tiges. Cette situation s'explique par le fait que les sols de décrue sont carencés en azote et en matière organique de sorte qu'un apport de ces éléments se traduit par une réponse positive (Traoré *et al.*, 2012). Dans le même ordre d'idées, Annicchiarico *et al.* (2011) rapportaient que la disponibilité en azote entraîne une augmentation de l'activité physiologique des plants et par conséquent une augmentation du taux de croissance en matières sèches. Comparativement à l'agriculture pluviale, la production de biomasse des tiges est faible. Ce faible gain sur la production de tiges voudrait dire que la valorisation de l'engrais se fait au profit de la partie reproductrice du sorgho plutôt que de celle végétative. Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par Traoré *et al.* (2013, 2014).

Poids de 1 000 grains de sorgho

Le poids de 1 000 grains a été également plus élevé avec le repiquage. Cette situation pourrait s'expliquer par le fait que le remplissage des grains a lieu au moment où l'humidité résiduelle du sol est encore suffisante. La supériorité de rendement du repiquage pourrait aussi s'expliquer en partie par un meilleur remplissage des grains dans des conditions d'humidité favorable. La supériorité du rendement dans le trempage par rapport à la pratique paysanne s'explique par une meilleure vigueur et une bonne croissance des plants comme l'a déjà signalé Harris *et al.* (2001).

Cycle du sorgho dans les champs

Le cycle de la culture dans les champs est considérablement réduit en comparaison avec le trempage et la pratique paysanne puisque les plants auraient séjourné en pépinière au moins 15 jours, ce qui permet d'avoir des plants avec environ 1 cm de diamètre et une hauteur d'au moins 30 cm donc aptes à la transplantation. Cette situation permet d'assurer une certaine sécurité alimentaire car les plants atteignent la maturité physiologique (après 1,5-2 mois après repiquage) au moment où les autres traitements sont en initiation paniculaire.

La fertilisation permet de raccourcir le temps de séjour des plants dans les champs puisqu'ils arrivent plus vite à maturité. Cela est d'autant plus valable que les nutriments et l'eau sont disponibles. Toutefois, Annicchiarico *et al.* (2011) rapportent qu'en condition de déficit hydrique, le cycle végétatif des plants se raccourcit en condition de faible disponibilité d'éléments nutritifs qui réduit les processus physiologiques du développement des plantes en comparaison avec des situations bien pourvues en nutriments. Cette situation est différente de celle de cette étude.

Perceptions paysannes des techniques de repiquage et de trempage

Les paysans ont affirmé qu'ils n'étaient pas informés des techniques de repiquage en décrue après un séjour en pépinière ni du trempage des semences avant semis. Leur préoccupation majeure est la réussite de l'installation des cultures par le semis direct classique très largement répandu dans la zone. Ces résultats sont en accord avec ceux de Saarnak (2003) qui mentionnait que l'agriculture de décrue est basée sur l'irrigation et la fertilisation naturelle, de sorte que les seuls intrants se retrouvent dans la main-d'œuvre et la terre. Il ajoutait que le travail (main-d'œuvre) est le principal intrant pour l'aboutissement à une meilleure installation des cultures. La méconnaissance du repiquage du sorgho en décrue affirmée par les paysans de la zone d'étude est largement évoquée par les autres agriculteurs du cercle de Yélimané. Nos résultats vont dans le

même sens que ceux rapportés par Raimond (2007) qui mentionnait que le repiquage du sorgho de décrue en bordure des lacs a été adopté au Tchad seulement à partir des dernières décennies. Il affirmait aussi que l'adoption des variétés camerounaises de sorgho repiquées en décrue par les Mundang du lac Léré était récente. Les quelques paysans qui ont adopté le repiquage et le trempage l'ont fait après avoir collaboré avec la recherche dans la conduite des expérimentations en champs paysans. Cette faible adoption des nouvelles technologies a également été mentionnée par Mounirou (2015) à l'issue des travaux d'analyse du processus de perception et d'adoption des innovations techniques par les exploitants agricoles dans le bassin cotonnier de Banikoara au Bénin. Il affirmait que la proportion des producteurs cotonniers qui évaluaient de manière très favorable la diffusion de ces innovations ne représente que 1,2% du total des exploitations.

Les avantages du repiquage liés à la précocité de maturation des panicules, à la réduction des dommages causés par les prédateurs, au nombre de panicules, au niveau d'occupation du sol ainsi que ceux liés à la vigueur des plants issus du trempage, évoqués par les paysans corroborent les résultats de Le Roy (2007), Raimond (2007), Harris *et al.* (2001) et Aune (2011). Ces observations ont été également faites par Traoré *et al.* (2013, 2014).

Les paysans ont privilégié la formation des agriculteurs pour une meilleure diffusion des technologies de repiquage et de trempage. Ces observations sont similaires à celles de Krebs *et al.* (2011) au terme de leurs travaux sur l'utilisation des technologies par les agriculteurs au Mali et au Sénégal. Ils concluaient que compte tenu du taux d'alphabétisation relativement bas dans la plupart des cas et la forte tradition orale avec l'utilisation des langues locales, les moyens de communication les plus communs restent la conversation directe telle que les rencontres entre agriculteurs, éleveurs, etc. ou les conversations par téléphone mobile et les radios communautaires pour une meilleure diffusion de l'information technique. Ils avaient aussi souligné l'importance des formations pour les relais de terrain que sont les jeunes, les femmes, les agents techniques de l'État, les ONG et les journalistes des radios communautaires.

Conclusion

Le semis direct est quasiment la seule pratique de mise en place des cultures dans l'agriculture de décrue à Yélimané. Les rendements du sorgho sur les deux années d'étude sont plus élevés pour le repiquage et le trempage des semences en comparaison avec la pratique paysanne du semis direct et les gains sont d'environ 500 kg/ha. La fertilisation azotée a toujours eu un effet significatif positif sur la production du sorgho

puisque les sols sont carencés en cet élément. Un gain de 400 kg/ha est observé sur les deux années.

La supériorité de rendement dans le traitement du repiquage pourrait s'expliquer par un meilleur remplissage des grains qui a lieu au moment où les conditions d'humidité du sol sont favorables puisque ayant lieu seulement 1,5-2 mois après le retrait total des eaux.

La réduction du cycle dans les parcelles repiquées est gage de sécurité puisqu'elle permet très rapidement au ménage de disposer de quoi se nourrir au moment où les plants des autres techniques de production (trempage et pratique paysanne) sont en montaison.

Les opinions des paysans ont fait ressortir plusieurs avantages du repiquage dont le raccourcissement du cycle dans les champs, la réduction des dégâts sur les récoltes, une meilleure occupation du sol et enfin une bonne vigueur des plants issus du trempage.

La formation *in situ* des paysans semble être l'une des voies appropriées pour la diffusion des technologies puisque les moyens de communication les plus communs restent la conversation directe à laquelle sont intimement liées les radios communautaires de proximité car agissant souvent en direct et de façon interactive avec les agriculteurs.

Références

- Annicchiarico G., Caternolo G., Rossi E. and Martiniello P., 2011. Effect of Manure vs. Fertilizer Inputs on Productivity of Forage Crop Models. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2011, 8, 1893-1913; doi:10.3390/ijerph8061893.
- Aune J.B. and Ousman A., 2011. Effect of seed priming and micro-dosing of fertilizer on sorghum and pearl millet in western Sudan, 47(3), Publié en ligne par Cambridge University Press, 04 Avril 2011: 419-430.
- Brodkorb A. R., Traoré B., 2011. Evaluation externe finale du «Programme d'aménagement des eaux de surface et de gestion des ressources naturelles dans le bassin versant du Térékolé, Kolimbiné et Lac Magui (TKLM)», 47p.
- Coulibaly A., Aune J.B., 2007. Etablissement des cultures vivrières en zone soudano sahélienne du Mali. Rapport du Groupe de Coordination des zones arides, 35p.
- Harris D., Pathan A. K., Gothkar P., Joshi A., Chivasa W. and Nyamudeza P., 2001. On-farm seed priming using participatory methods to revive and refine a key technology. *Agricultural Systems*, 69:151-164.

- Krebs V., Dwyer K.O., Diakhate N., 2011. L'utilisation des technologies par des agriculteurs en Afrique de l'Ouest. ICVolontaires, 11p. Available at http://www.e-tic.net/etic/files/e_tic_case_study_fr.pdf. Visité le 16 septembre 2016, 14:42.
- Le Roy X., 2007. Le sorgho de décrue dans la vallée du Sénégal. *Agricultures singulières*. 9p. Eds (Mollard É., Walter A.) Éditeurs scientifiques IRD Éditions Institut de recherche pour le développement Paris, 2008. HAL Id: ird-00179486 <http://hal.ird.fr/ird-00179486>.
- McSweeney C., New M., Lizcano G., 2010. The UNDP Climate Change Country Profiles: improving the accessibility of observed and projected climate information for studies of climate change in developing countries. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 91: 157-166.
- Mounirou I., 2015. Perception et adoption des innovations techniques agricoles dans le bassin cotonnier de Banikoara au Bénin [Perception and adoption of agricultural technical innovations in the cotton basin of Banikoara in Benin]. *African Journal of Agricultural and Resource Economics* 10 (2): 87-102.
- Noussourou M. et Hamadoun A., 2014. Criblage de cultivars de sorgho en culture de décrue pour la tolérance ou la résistance aux insectes foreurs des tiges. In, *Production durable des cultures en système de décrue pour une sécurité alimentaire au Mali. Rapport de recherche de la campagne 2013-2014*. 20^e Session du Comité de programme, 56p.
- Raimond C., 2007. La diffusion du sorgho repiqué dans le bassin du lac Tchad. *Ressources vivrières et choix alimentaires dans le bassin du lac Tchad*. 35p. Available at: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers10-07/010038337.pdf; visité le 15/09/2016.
- Saarnak, N.L., 2003. Flood recession agriculture in the Senegal River Valley. *Geografisk Tidsskrift Danish Journal of Geography* 103(1): 99-113.
- Traore K., Aune J.B., Traore B., 2016. Effect of Organic Manure to Improve Sorghum Productivity in Flood Recession Farming in Yelimane, Western Mali. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)* 201623(1): 232-251.
- Traoré K., Noussourou M., Traoré B., Hamadoun A., Coulibaly B., Traoré B., Togo D., 2012. Comité de programme, 19^e session. Composante 3 - système de décrue/Projet d'adaptation de l'agriculture et de l'élevage au changement climatique, 62p.
- Traoré K., Noussourou M., Traoré B., Hamadoun A., Coulibaly B., Traoré B., Togo D., 2013. Comité de programme, 20^e session. Composante 3 - système de décrue/Projet d'adaptation de l'agriculture et de l'élevage au changement climatique, 56p.
- Traoré K., Noussourou M., Traoré B., Hamadoun A., Coulibaly B., Traoré B., Togo D., 2014. Comité de programme, 21^e session. Composante 3 - système de décrue/Projet d'adaptation de l'agriculture et de l'élevage au changement climatique, 69p.

Introduction de variétés de pomme de terre, de patate douce et de manioc dans les plaines de décrue des villages de Gory, Dougoubara et Yaguiné, cercle de Yélimané dans l'Ouest du Mali

Introduction of Potato, Sweet Potato and Cassava Varieties in the Flood Recession Plains of the Villages of Gory, Dougoubara and Yaguiné in Yélimané cercle, Western Mali

Théra Aïssata Traoré¹, Traoré Kalifa¹, Diarra Alioune¹, Traoré Bouya¹, Coulibaly Boubacar¹, Traoré Boubacar¹, Togo Daouda¹

¹ Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba - BP 262, Bamako, Mali

*Auteur pour la correspondance : aissathe@yahoo.fr

Résumé

En vue de renforcer la résilience des paysans face aux effets du changement climatique, le Projet ACC a introduit la culture de tubercules dans les plaines de décrue de Yélimané afin de diversifier les produits agricoles et les sources de revenus. L'objectif de cette étude est de contribuer à l'amélioration de la sécurité alimentaire dans le système de décrue à Yélimané par l'adoption de nouvelles variétés à haut rendement de pomme de terre, de manioc et de patate douce. Six variétés de chaque spéculacion ont été plantées en quatre répétitions dans les villages de Gory, Dougoubara et Yaguiné dans le cercle de Yélimané, région de Kayes. En 2015, la variété de pomme de terre Sahel a produit en moyenne 30 t/ha tandis que Aida, moins adaptée à la zone de décrue n'a produit que 4 t/ha. En ce qui concerne la patate douce, les variétés Sikasso 1, Sikasso 2, Sikasso 4 ont produit entre 20 et 24 t/ha tandis que Sikasso 3 n'a produit que 7 t/ha. Pour le manioc, les variétés Luluni et Ampong n'ont pas pu tubériser à cause de leur cycle relativement long pour la zone de décrue. En 2016, la meilleure performance à Gory a été réalisée par la variété de pomme de terre Pamina avec 17,5 t/ha tandis qu'elle était la moins productive à Yaguiné avec 11,11 t/ha. C'est la Monte Carlo qui a produit le plus à Yaguiné avec 15,4 t/ha et la variété Sahel a été la moins performante à Gory avec 8,5 t/ha montrant ainsi, la variabilité de la production d'un site à l'autre. Les semences de pomme de terre découpées ont produit moins que les entières. La variété de patate douce Sikasso 3 qui était la moins productive en 2015 a été la plus productive en 2016 (6 t/ha) bien que les rendements soient plus faibles. La moins productive a été Sikasso 4 avec 1,6 t/ha.

Mots-clés: changement climatique, décrue, tubercules, Yélimané, Mali.

Abstract

In order to enhance farmers' resilience to negative effects of climate change, the Adaptation of Agriculture and Livestock to Climate Change (ACC) project introduced tuber farming in the Yélimané floodplains to diversify agricultural products and sources of income. The objective of this study is to contribute to the improvement of food security in the Yélimané flood recession system through adoption of new high-yielding varieties of potato, cassava and sweet potato. Six varieties of each species were planted in four replications in the villages of Gory, Dougoubara and Yaguiné in Yélimané ditrict. In 2015, the "Sahel" potato variety yielded, on average, 30 t/ha, while "Aida", a variety less adapted to the recession zone, yielded only 4 t/ha. With regard to sweet potato, the "Sikasso 1", "Sikasso 2", "Sikasso 4" varieties yielded between 20 and 24 t/ha, whereas Sikasso 3 yielded only 7 t/ha. For cassava, "Luluni" and "Ampong" varieties were unable to form tubers because of their relatively long cycle for the recession zone. In 2016, the best performance in Gory was recorded by the "Pamina potato" variety with 17.5 t/ha, while it was the less productive in Yaguiné with 11.11 t/ha. "Monte Carlo" yielded the highest in Yaguiné with 15.4 t/ha, and the "Sahel" variety was the worst performer in Gory with 8.5 t/ha, showing the variability of yields between sites. The seeds of cut potato yielded less than those of wholes ones. The sweet potato variety "Sikasso 3", which was the least productive in 2015, was the most productive variety in 2016 (6 t/ha), although yields were lower. The least productive was "Sikasso 4" with 1.6 t/ha.

Key words: *climate change, flood recession, tubers, Yélimané, Mali.*

Introduction

Dans les pays sahéliens, le changement climatique est perçu à travers une hausse des températures et l'irrégularité des pluies qui se manifestent par des sécheresses sévères ou des inondations destructives (Info ressource focus, 2008). D'ici à la fin du siècle, il est prévu une augmentation des températures de 1,8 à 4°C de plus que le siècle précédent (Solomon *et al.*, 2007); ces perturbations sont causées par les gaz à effet de serre émis suite aux mauvaises pratiques agricoles et aux déforestations massives; elles ont comme conséquences la baisse des quantités et de la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation et l'élevage ainsi que l'évolution de nombreux parasites vers des seuils économiques à cause des fortes températures (Nwaiwu *et al.*, 2014). Le changement climatique apparaît comme un obstacle à l'atteinte de l'objectif Zéro Faim pour la planète (Wheeler et Von Braun, 2013). Dans ces conditions, l'Afrique subsaharienne reste une des régions les plus vulnérables (Diwediga *et al.*, 2012) à cause de la pauvreté extrême qui y sévit. Pour mieux faire face aux effets attendus du changement climatique, il est nécessaire de développer des stratégies d'adaptation pour minimiser les impacts attendus et améliorer la capacité de résilience des acteurs face à leurs conséquences. Afin de renforcer les paysans à mieux gérer les conséquences du changement climatique et atteindre l'autosuffisance alimentaire, le Projet Adaptation de l'Agriculture au Changement Climatique (Projet ACC) a introduit la culture de tubercules dans les plaines de décrue de Yélimané afin de diversifier les produits agricoles et les sources de revenus de manière inclusive dans un environnement sain et préservé.

Dans les plaines de décrue du Cercle de Yélimané, les paysans produisent habituellement du maïs, du sorgho, de l'arachide et du niébé (Traoré, 2016). Alors que les terres de décrue appartiennent généralement aux hommes, la main-d'œuvre qui est familiale repose principalement sur les femmes. La production de décrue est complémentaire et se pratique en contre-saison. Elle exige peu d'investissement et les travaux d'entretiens (désherbage, irrigation et la fertilisation chimique) presque inexistantes, n'influencent pas les coûts de production. Les sols de décrue sont meubles et fertiles grâce à l'apport des sédiments fins et à l'activité microbienne qui transforme les matières organiques en minéraux (Mollard et Walter, 2008). La population locale a fortement adopté cette pratique singulière à moindre effort et à moindre coût comparativement aux travaux de la saison pluvieuse, et qui en plus leur offre des produits au goût particulièrement savoureux, pour faire face à la période de soudure. Cependant, la culture de décrue a aussi ses contraintes; ainsi il est important que la culture choisie soit peu sensible à la sécheresse, à cause de la non-maîtrise des crues (Mollard et Walter, 2008). La présence des ravageurs comme les oiseaux et les criquets est assez fréquente et peut complètement détruire les récoltes. En effet, pour assurer la possibilité de récolter

malgré les attaques, les producteurs devront diversifier en ajoutant d'autres cultures comme le riz, le melon ou des légumes à l'instar d'autres zones de décrue en Afrique et dans le monde (Mollard et Walter, 2008); les tubercules qui sont déjà très consommés dans la localité, proviennent principalement de la région de Sikasso, en complément à une quantité moins importante produite localement dans les jardins maraîchers pour la consommation familiale.

En Afrique subsaharienne où 2/3 de la population active vit de l'agriculture (ILO, 2007), l'impact du changement climatique sera encore plus grand sur la sécurité alimentaire.

La disponibilité de nourriture globale pour la planète doit augmenter de 50 % au moins pour pouvoir satisfaire les besoins d'une population croissante en 2050 (Wheeler et Von Braun, 2013). Pour atteindre cet objectif, les petits producteurs des pays en voie de développement ont besoin de développer des stratégies d'adaptation appropriées afin de continuer à produire avec efficacité. Parmi ces stratégies le choix des cultures est important. La comparaison des différentes espèces et leurs variétés en zone de décrue permettra de choisir les plus adaptées. Le manioc qui est une culture à croissance lente et continue (Solomon *et al.*, 2007) se développe facilement sous différentes conditions climatiques. Introduite en Afrique au 19^e siècle, la pomme de terre a eu un essor grâce au rendement élevé, une bonne marge bénéficiaire et l'appréciation des consommateurs. Aujourd'hui elle occupe le quatrième rang mondial après le riz, le blé et le maïs (Info ressource focus, 2008); grâce aux travaux des sélectionneurs des variétés à cycle court et/ou tolérantes à la chaleur et à la sécheresse sont disponibles; la patate douce, très nutritive, facile à produire, s'adapte aisément à différents types de sols et protège le sol comme plante de couverture; tous ces tubercules se prêtent bien aux techniques de transformation et de conservation post-récolte dans une approche d'étalement de la disponibilité.

La présente activité de recherche a pour objectif d'évaluer la performance de plusieurs variétés de tubercules dans le système de décrue de Yélimané.

Matériel et méthodes

Matériel

Sites d'exécution

Les villages de Dougoubara, Gory et Yaguiné ont été choisis et des essais y ont été installés dans des parcelles de décrue avec des groupements de femmes.

An 1 : villages de Dougoubara et de Gory

An 2 : villages de Gory, Dougoubara et Yaguiné

Matériel végétal

Le matériel végétal était constitué de plants de pomme de terre certifiés, de boutures de patate douce et de manioc, achetés auprès des paysans multiplicateurs de Sikasso. Les variétés testées étaient les suivantes :

- Pomme de terre : Sahel, Aida, Pamina, Claustar, Spunta, Montreal, Monte Carlo
- Patate douce : Sikasso 1, Sikasso 2, Sikasso 3, Sikasso 4
- Manioc : Ampong, Luluni

Le reste du matériel comprenait du compost, des ciseaux, couteaux, seaux et bassines, des récipients, des sacs, des cases de stockage post-récolte et du matériel didactique pour les formations.

Méthodes

Les tests ont été implantés sous forme de champ-école paysanne avec des formations pratiques à chaque étape : préparation des plants, pré-germination, découpages, plantation, récoltes et autres entretiens. (Photos 1, 2, 3, 4, 5 et 6)

An 1 :

- Deux variétés de pomme de terre : Sahel et Aida ;
- Quatre variétés de patate douce : Sikasso 1, Sikasso 2, Sikasso 3, Sikasso 4 ;
- Deux variétés de manioc : Luluni et Ampong.

An 2 :

- Sept variétés de pomme de terre : Sahel, Pamina, Aida, Montreal, Monte Carlo, Claustar, Spunta

Pendant les deux années de l'essai, chaque variété a été plantée selon un dispositif en blocs dispersés en quatre répétitions dans la zone de décrue: le choix a été donné aux productrices de sectionner ou pas les tubercules; chaque groupe a eu la même quantité de tubercules.

Les observations ont porté sur la tolérance aux maladies et la production. Les variables suivantes ont été collectées: i) nombre de plants levés; ii) nombre de plants ayant produit; iii) nombre de tubercules produits; iv) nombre de tubercules pourris; v) rendements.



Photo 1 : Formation des femmes de Dougoubara en préparation des boutures de manioc pour la plantation en décrue



Photo 2 : Plantation des boutures de manioc dans la plaine de décrue



Photo 3 : Préparation des boutures et du lit de plantation de la patate douce



Photo 4 : Plantation de patate douce par les femmes dans la plaine de décrue



Photo 5 : Mise en prégermination des tubercules de pomme de terre



Photo 6 : Récolte de la pomme de terre produite dans la plaine de décrue

Résultats et discussion

Année 2015

La pomme de terre est cultivée au Sud du Mali et à l'Office du Niger sous irrigation. Les rendements varient entre 20 et 40 t/ha. Sur les parcelles de décrue où l'irrigation est inexistante, il est très difficile d'atteindre de tels rendements. Les variétés de pomme de terre évaluées dans la zone de décrue sans apport de fertilisant ni de pesticides ont donné les résultats indiqués dans le tableau 1.

Le tableau 1 compile les résultats des tests d'introduction de la pomme de terre par groupe de paysannes représenté par la responsable du groupe.

Tableau 1 : Résultats des tests d'introduction de la pomme de terre en zone de décrue

Groupe de paysannes	Spéculation	Durée de développement	Rendement (t/ha)	Taux de multiplication	Taux de pourriture (%)	Tubercules utilisés
Paysanne 1	Pomme de terre - Sahel	11 semaines (76 jours)	27,35	1 : 11,6	0,85	Tubercules entiers
Paysanne 2 Paysanne 3	Pomme de terre - Sahel	11 semaines (76 jours)	43,40	1 : 10,5	2,6	Tubercules entiers
			29,83	1 : 10,7	0	Tubercules sectionnés
Paysanne 4 Paysanne 5	Pomme de terre - Aida	11 semaines (76 jours)	4	1 : 4	0	

Deux variétés de pomme de terre sont introduites en première année: Aida et Sahel. Cette dernière a mieux donné en termes de rendement et de taux de multiplication. Une comparaison entre tubercules sectionnés et tubercules non sectionnés de la variété Sahel a montré une différence importante entre les rendements et une absence de différence par rapport au taux de multiplication (Tableau 2). Ce qui implique que les tubercules entiers ont donné de plus gros tubercules. En plus, très peu de cas de pourriture ont été observés; mais les pourritures sont apparues seulement sur la variété Sahel et sur les tubercules non sectionnés. En fait, il se pourrait que les tubercules pourris aient poussé dans un environnement plus humide que les sectionnés. Ici le taux de multiplication ne semble pas être lié au sectionnement; alors que les tubercules des variétés Sahel, qu'ils soient sectionnés ou non, ont un taux de multiplication très proche.

En conclusion, le rendement de la pomme de terre Sahel est prometteur, cette variété semble être bien adaptée probablement à cause de son cycle court et de sa tolérance à la sécheresse. Mais il faudra le confirmer dans les années à venir.

Excepté Sikasso 3, toutes les variétés de patate douce ont présenté un bon rendement; Sikasso 4, en plus d'avoir donné le meilleur rendement, est aussi très appréciée pour ses feuilles par les femmes (Tableau 2).

Tableau 2 : Résultats des tests d'introduction de la patate douce en zone de décrue

Paysannes	Spéculations	Surface (m ²)	Rendement (t/ha)	Tubercules produits	Types de feuilles	Tubercules utilisés
Paysanne 1 Paysanne 2	Patate douce Sikasso 1	5	24	120	Feuilles semi elliptiques	Gros tubercules Chair jaune, peau un peu rose
Paysanne 3 Paysanne 4	Patate douce Sikasso 2	4	20	88	Feuilles semi circulaires	Chair un peu rose, peau un peu rose
Paysanne 5 Paysanne 6	Patate douce Sikasso 3	4	7,5	17	Feuilles triangulaires	Peau blanche, chair blanche, forme allongée, mince
Paysanne 7 Paysanne 8	Patate douce Sikasso 4	2	25	33	Feuilles minces elliptiques appréciées en sauce	Ronds, un peu roses, chair ni rouge ni blanche

Par ailleurs l'introduction de nouvelles variétés de patate douce à chair jaune riche en vitamine A peut être une opportunité d'amélioration de l'état nutritionnel des enfants (Stather *et al.*, 2013 V2), la prévalence de la malnutrition chronique chez les enfants de 0 à 59 mois étant plus élevée à Yélimané.

Les résultats obtenus sur le manioc sont mentionnés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Résultats des tests d'introduction de manioc en zone de décrue				
Variétés	Reprise	Tubérisation	Feuilles	Goût de la feuille
Luluni	Bonne	Début de tubérisation au bout de 2 mois	Couleur rouge	Agréable en sauce
Ampong	Bonne	Pas de tubérisation à 2 mois	Couleur verte	Non testées en sauce

Le manioc n'a pas bien donné à cause de son cycle long et de la plantation tardive en zone de décrue ; le test doit être répété en plantant juste après le retrait de l'eau.

La variété Luluni aurait pu donner des tubercules en période de décrue si les plants n'avaient pas été arrachés de manière précoce par les enfants non habitués à voir cette culture dans les champs de décrue. Les femmes ont apprécié les feuilles de Luluni en sauce.

Les résultats obtenus en première année sont encourageants, même si le manioc n'a pas donné. Les tests seront confirmés en deuxième année.

Année 2016

Les résultats des tests d'introduction de la pomme de terre sont mentionnés dans le tableau 4.

Les données collectées ont été analysées à l'aide de la version 9.0 du logiciel SAS et Excel. Le modèle linéaire général (glm) a été utilisé pour analyser le rendement des tubercules des différents clones. Le test de Duncan (Duncan's Multiple Range Test) a servi à la séparation des moyennes.

Tableau 4 : Résultats des tests d'introduction de la pomme de terre dans la zone de décrue de Yélimané

Variétés	Cycle (jours)	Superficiés (m ²)	Nombre de lignes	Nombre de poquets	Nombre de poquets récoltés	Nombre de tubercules	Nombre de tubercules pourris	Poids tubercules (kg)	Rendement (kg/ha)
1 Sahel	72	30	8	150	140	380	0	25	8 333 d
1 Aida	72	20	6	125	115	430	0	32,5	16 250 a
1 Pamina	64	20	6	120	109	570	0	35	17 500 a
2 Sahel	75	35	11	185	180	280	27	47	13 429 b
2 Montreal	79	60	18	205	195	435	10	82	13 667 b
2 Pamina	79	45	14	188	185	385	7	50	11 111 c
2 Monte Carlo	92	24	6	160	155	205	4	37	15 417 ab
3 Sahel (entier)	85	90	14	322	320	789	270	21	2 333 ef
3 Sahel (découpé)	85	125	25	550	485	560	83	16	1 280 g
3 Aida (entier)	85	12	3	88	60	41	0	1,5	1 250 g
3 Aida (découpé)	85	52	11	264	122	10	0	2,5	481 hi
3 Spunta (entier)	85	10	3	66	61	74	0	5	5 000 e
3 Spunta (découpé)	85	50	13	286	165	176	2	7	1 400
3 Claustar (entier)	85	20	4	40	40	68	0	1,5	750 h
3 Claustar (découpé)	85	45	10	120	81	132	0	2,3	511 hi

1 = Gory; 2 = Yaguiné; 3 = Dougoubara; Seuil : 5%

On constate un taux de pourriture élevé sur la variété Sahel à Dougoubara, suivie par Yaguiné alors qu'aucun cas de pourriture n'a été signalé à Gory. À Dougoubara, Spunta, reconnue être une variété tolérante aux maladies a donné les meilleurs résultats sans un seul cas de pourriture. À Yaguiné, toutes les variétés ont montré des cas de pourriture même si les taux de pourriture sont très bas.

Les pourritures seraient liées à l'humidité du sol, à la date de récolte, à la manière de récolter et de conserver après la récolte.

Les variétés Sahel, Aida et Pamina, évaluées sur les parcelles de décrue de Gory, ont donné les résultats présentés dans la figure 1. La meilleure performance a été réalisée par la variété Pamina avec 17,5 t/ha suivie de la variété Aida 16,3 t/ha. Sahel a été la moins performante avec 8,3 t/ha.

En ce qui concerne le site de Yaguiné, la variété de pomme de terre Monte Carlo a été la plus performante avec 15,4 t/ha et la moins performante, avec un rendement de 11,11 t/ha, a été la variété Pamina (Figure 2).

À Dougoubara, chaque variété a été plantée en tubercules entiers et en tubercules découpés; si Spunta a été la meilleure variété en rendement, il existe une grande différence de rendement entre les tubercules entiers plantés qui ont donné un meilleur rendement par rapport aux tubercules découpés (Figure 3).

En comparant les rendements obtenus par la variété Sahel dans les 3 zones de production, on constate que le meilleur rendement a été obtenu à Yaguiné. Le faible rendement de Dougoubara a été causé certainement par les récoltes précoces et la pourriture des tubercules (Figure 4).

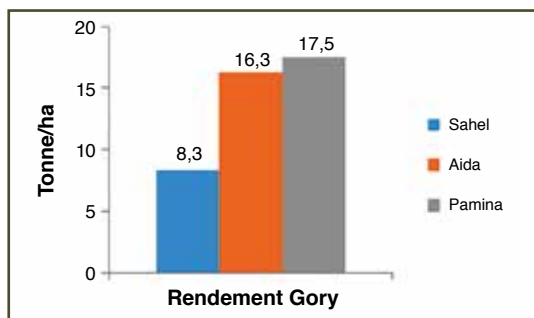


Figure 1 : Rendement de la pomme de terre dans le Village de Gory

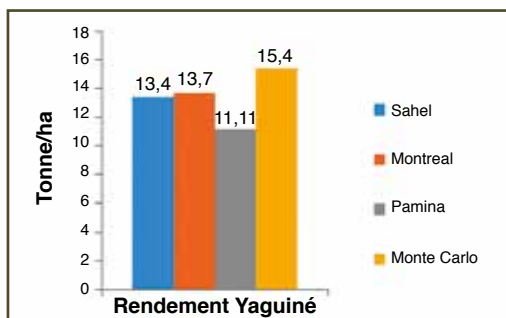


Figure 2 : Rendement de la pomme de terre dans le Village de Yaguiné

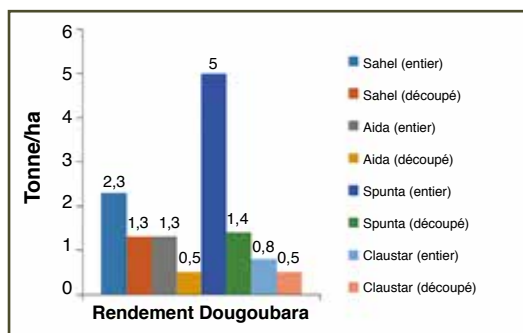


Figure 3: Rendement de la pomme de terre dans le Village de Dougoubara

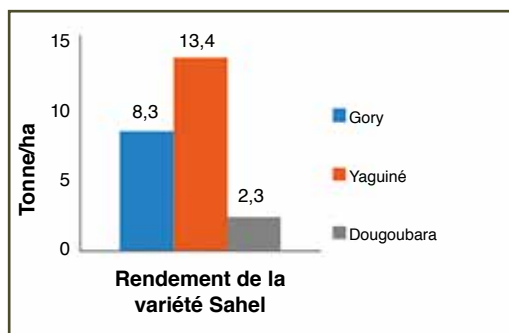


Figure 4: Comportement de la variété Sahel dans les différentes localités

En 2016, le rendement maximum atteint par la pomme de terre (17 t/ha) a été plus faible comparativement à 2015 où on avait obtenu plus de 20 t/ha. Ceci pourrait être expliqué par la quantité de réserve d'eau retenue dans les zones de décrue qui peut varier selon les années.

Le tableau 5 montre les résultats des variétés de patate douce et de manioc introduites à Dougoubara; les mêmes variétés ont été introduites dans les 2 autres villages. Malheureusement, on n'a pas eu de résultats. Certainement à cause de la période de culture raccourcie et les plantations tardives; les cultures ne restent pas aussi longtemps en champs pour boucler leur cycle, ce qui réduit énormément les rendements que ce soit la pomme de terre ou la patate douce; les paysans récoltent un peu plus tôt pour éviter la divagation. Jusqu'à ce jour, les variétés de manioc introduites n'ont pas pu tubériser en zone de décrue à cause de la longueur de leur cycle. Néanmoins, les paysans ont gardé des plants qu'ils ont multipliés dans les jardins maraîchers.

Tableau 5: Rendement de la patate douce et du manioc à Dougoubara (kg/ha⁻¹)

Spéculation	Variétés	Cycle (jour)	Sup (ha)	Nbre Ligne	Nbre Poq.	Nbre Poq. Récoltés	Nbre Tub.	Poids Tub. (kg)	Rdt (t/ha)
Manioc	OTUHIA	92	10	3	63	-	-	-	-
Patate	BF59XCIPU	92	10	1	12	-	-	-	-
Patate	Sikasso 1	92	25	5	15	14	47	6	2,4
Patate	Sikasso 2	92	25	5	20	20	56	10	4
Patate	Sikasso 3	92	25	5	22	22	137	15	6
Patate	Sikasso 4	92	25	5	15	13	35	4	1,6

Rdt = rendement; Nbre = nombre; Poq. = poquet; Tub. = tubercule; Sup= superficie; - = non tubérisé

Conclusion

Toutes les variétés de pomme de terre et de patate douce introduites ont produit des tubercules; même si Sahel a montré un certain niveau de sensibilité face à la pourriture des tubercules. Spunta a montré une bonne tolérance face aux maladies dans les mêmes conditions. Le problème reste toujours l'accès à temps aux semences de pomme de terre qui ne sont importées qu'en octobre.

Lors des visites, nous avons noté que malgré la détermination des producteurs à poursuivre l'expérimentation, l'état végétatif de certaines variétés de pomme de terre (Spunta et Claustar) à cycle plus long n'était pas de nature à pouvoir induire une tubérisation satisfaisante, surtout lorsque le niveau d'humidité dans le sol est bas à cette période. Il est recommandé de mettre en place des techniques permettant de mesurer les niveaux d'humidité avant la plantation et prévoir un programme d'irrigation d'appoint en cas de retard dans l'installation des essais. Ceci pourra être réalisé en pratiquant des retenues d'eau ou en creusant de petits puits dans les bas-fonds non loin des parcelles.

En ce qui concerne la patate douce à chair jaune par exemple, la transformation de la chaîne de valeur pourrait être stimulée par la promotion effective des avantages nutritionnels liés à sa consommation ou à l'utilisation des produits issus de la transformation (Stather *et al.*, 2013 V5).

L'accès à temps aux semences importées de pomme de terre reste une contrainte importante pour la réussite de cette culture dans les bas-fonds; la production de semences locales de bonne qualité sera une solution idéale pour faire face à cette contrainte. Les paysans de la zone sont en train de s'appropriier ces nouvelles introductions et les adapter à leurs conditions dans les 3 villages où les tests ont été menés. Les paysans ont apprécié la culture des tubercules à cause:

- de la nature même de ces cultures qui restent protégées dans le sol contre les attaques des oiseaux;
- des rendements plus élevés comparativement aux céréales;
- de leur capacité de génération de revenus;
- de l'apport nutritionnel au niveau de la famille.

Un engouement important a été noté chez les femmes qui s'identifient bien comme productrices de tubercules en zones de décrue, vu le faible coût de production et la facilité des travaux de mise en place des tests.

Perspectives

Les perspectives sont les suivantes :

- continuer l'introduction d'autres cultures qui peuvent être économiquement intéressantes pour tester leur adaptabilité en zone de décrue ;
- mettre en place un dispositif de mesure de l'humidité du sol des bas-fonds et associer des techniques d'irrigation d'appoints simples et de conservation de l'humidité du sol afin de boucler les cycles en cas de retard de plantation ou de faiblesse de l'humidité au niveau du sol ;
- développer un schéma d'approvisionnement local de semences saines des variétés appréciées par les populations à travers la culture de tissu, la multiplication *in situ* accompagnée par un programme de certification ;
- démontrer l'avantage économique et nutritionnel de l'activité à travers des études économiques et l'évaluation des impacts nutritionnels de leur consommation par les populations ;
- initier les paysans aux pratiques de compostage pour maintenir la qualité des sols ;
- évaluer l'appropriation de la technologie par les femmes et l'impact socio-économique sur leur niveau de vie ;
- tester la pré-germination du manioc hors sol pour planter des pieds déjà grands au retrait de l'eau.

Références

Diwediga B., Hounkpe K., Wala K., Batawila K., Tatoni T. & Akpagana K., 2012. Agriculture de contre saison sur les berges de l'Oti et ses affluents. *African Crop Science Journal*, Vol. 20, Issue Supplement s2: 613-624.

Info ressource focus, 2008. Pomme de terre et changement climatique. Focus N°1/08.

International Labour Organization (ILO), 2007. Chapter 4. Employment by sector. In *Key indicators of the labour market (KILM), 5th edition*. Available at: www.ilo.org/public/english/employment/strat/kilm/download/kilm04.pdf.

Mollard E., (dir.), Walter A. (dir.), 2008. *Agricultures singulières*. Chapitre 1. Suivre la décrue. Nouvelle édition [en ligne]. Marseille : IRD Éditions, 2008 (généré le 11 novembre

- 2019). Disponible sur Internet: <<http://books.openedition.org/irdeditions/2834>>. ISBN : 9782709917834. DOI: 10.4000/books.irdeditions.2834.
- Nwaiwu *et al.*, 2013. Effects of Climate Change on Agricultural Sustainability– Implications for Food Security; AJAEES, 3(1): 23-36, 2014, Article no. AJAEES.2014.003.
- Solomon S. *et al.*, 2007. In: Climate Change. The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC, S. Solomon *et al.*, Eds. (Cambridge Univ. Press, New York, 2007), pp. 1-8. Solomon *et al.* cited by Wheeler and Von Braun.
- Scott G.J., Rosegrant M.W. et Ringler C., 2000. Racines et tubercules pour le 21^e siècle: tendances, projections et choix de politiques. RECAPITULATIF 2020 N° 66 Vision 2020 pour l'Alimentation, l'Agriculture et l'Environnement. Traduit de l'anglais.
- Stathers T., Benjamin M., Katcher H., Blakenship J., Low J., 2013. Tout ce que vous avez toujours voulu savoir à propos de la patate douce : Atteindre les agents du changement, manuel de formation des formateurs (FdF) 2 : La patate douce à chair orange et la nutrition. Centre International de la Pomme de Terre, Nairobi, Kenya. Vol. 2.
- Stathers T., Bechoff A., Sindi K., Low J., Ndyetabula D., 2013. Tout ce que vous avez toujours voulu savoir à propos de la patate douce: Atteindre les agents du changement, manuel de formation des formateurs (FdF) 5 : Gestion de la récolte et de l'après récolte ; Transformation et utilisation ; Marketing et entrepreneuriat. Centre International de la Pomme de Terre, Nairobi, Kenya. Vol. 5.
- Wheeler T. and Von Braun J., 2013. Climate Change Impacts on Global Food Security. Science 02 Aug 2013: Vol. 341, Issue 6145, pp. 508-513. www.sciencemag.org.
- Traoré B., 2016. Amélioration des techniques de production du sorgho de décrue dans le cercle de Yélimané. Thèse de doctorat, Institut Supérieur de Formation et de Recherche Appliquée (ISFRA) du Mali, 134p.

CHAPITRE 6 :

Protection des berges dans les systèmes de décrue

Identification d'espèces végétales appropriées pour la fixation des berges et la récupération des terres dégradées dans le système de décrue du cercle de Yélimané

Identification of Suitable Plant Species for the Fixation of Banks and the Restoration of Degraded Lands in the Flood Recession System of the cercle of Yélimané

Maïga Abdou Yéhiya¹, Timbély Dommo^{1*}, Sénou Oumar¹, Kouyaté Amadou Malé², Maïga Abba Sékou³, Keïta Moussa⁴, Dembélé Fadiala⁵, Coulibaly Dounanké¹, Yossi Harouna⁶, Traoré Diakaridia¹, Bengaly MPIè¹, Kanté Salif⁷

¹Institut d'Économie Rurale (IER) - BP 258, Bamako, Mali

²Institut d'Économie Rurale (IER) - BP 16, Sikasso, Mali

³Institut d'Économie Rurale (IER) - BP 117, Gao, Mali

⁴Institut d'Économie Rurale (IER) - BP 258, Mopti, Mali

⁵Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou IPR/IFRA - BP 06, Koulikoro, Mali

⁶Institut d'Économie Rurale (IER) - BP 262, Sotuba, Mali

⁷Station de Recherche Agronomique de Cinzana - BP 214, Ségou, Mali

*Auteur pour la correspondance : dommotimbely@hotmail.com

Résumé

Les berges des cours d'eau sont fortement dégradées suite à la conjugaison de facteurs climatiques et anthropiques néfastes. En effet, la croissance de la population a occasionné des besoins alimentaires nouveaux dont la satisfaction passe par une forte pression sur les ressources. Cette pression se manifeste surtout dans les plaines alluviales, domaine des cultures de décrue qui sont une technique ancestrale de résilience aux effets du climat qui perturbent très négativement les zones des cultures sèches. La recherche de terres cultivables compensatoires dans les zones exondées se traduit par un déboisement très sévère dans la plaine jusque sur les bords des cours d'eau. La dénudation des berges les expose à la dégradation physique suite à l'érosion hydrique et au piétinement lié au surpâturage.

La fixation biologique des berges vise leur protection et l'identification d'espèces végétales appropriées dans le but du retour progressif de l'équilibre écologique pour un développement durable.

La présente étude intitulée « Identification d'espèces végétales appropriées pour la fixation des berges et la récupération des terres dégradées dans le système de décrue du cercle de Yélimané » vise à déterminer les meilleures espèces végétales ligneuses et herbacées pour la fixation biologique des berges.

Le matériel végétal est constitué de deux espèces locales (*Senegalia senegal* (L.) Willd et *Faidherbia albida* Del.) et deux espèces exotiques (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC. et *Eucalyptus camaldulensis* (Dehnh).

La méthodologie adoptée a consisté à suivre les paramètres dendrométriques pour la sélection des espèces les plus appropriées pour la fixation biologique des berges.

Les résultats ont montré que *Eucalyptus camaldulensis* et *Prosopis juliflora* sont les espèces ligneuses les plus indiquées pour la fixation biologique des berges des cours d'eau dans les conditions de Yélimané.

Mots-clés : berges, dégradation, cultures de décrue, Mali.

Abstract

Riverbanks are severely degraded due to a combination of negative climatic and anthropogenic factors. Indeed, population growth has created new food needs that require strong pressure on the land to be met. This pressure is most evident in alluvial plains, the area of flood recession cropping, which is an ancestral technique of resilience to climatic effects, which affect rainfed crop areas in a very negative way. The search for compensatory arable land in non-flooded areas results in very severe deforestation in the plain up to riverbanks. The stripping of banks exposes them to physical degradation due to water erosion and trampling due to overgrazing.

The biological fixation of banks aims at protecting them and identifying appropriate plant species in order to gradually restore ecological balance for sustainable development.

This study entitled "Identification of Suitable Plant Species for the Fixation of Banks and the Restoration of Degraded Lands in the Flood Recession System of the cercle of Yélimané" aims to determine the most suitable herbaceous and woody species for the biological fixation of banks.

*The plant material includes two local species (*Senegalia senegal* (L.) Willd and *Faidherbia albida* Del.) and two exotic species (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC. and *Eucalyptus camaldulensis* (Dehnh).*

The methodology adopted consisted in following the dendrometric parameters for the selection of the most appropriate species for the biological fixation of banks.

*The results show that *Eucalyptus camaldulensis* and *Prosopis juliflora* are the most suitable tree species for the biological fixation of riverbanks under the Yélimané conditions.*

Key words: riverbanks, degradation, flood recession crops, Mali.

Introduction

Le Projet Adaptation de l'Agriculture et de l'Élevage au Changement climatique (ACC) à travers sa composante 4 a fait de la protection des berges une de ses priorités dans les zones de culture de décrue d'où proviennent de fortes productions agricoles.

En effet, au cours des dernières décennies, les zones destinées aux cultures de décrue ne reçoivent que des crues éphémères donc peu inondées ou pas du tout, d'où le repli des populations vers les zones plus propices, à savoir les bords des ravins qui, autrefois, étaient très boisés. Jadis fixés par une végétation d'arbustes et d'arbres autochtones (*Acacia nilotica*,...), ces bords de ravins sont soumis actuellement à une forte pression anthropique croissante (coupes abusives de bois, surpâturage, non-respect des itinéraires techniques de production agricole, etc.).

À cela s'ajoutent les sécheresses récurrentes de ces deux dernières décennies. Ces différents facteurs ont eu pour conséquences l'élargissement et la sédimentation du lit majeur de la rivière compromettant ses capacités de stockage de l'eau à long terme.

Melalih, 2012, signale que l'élément déclencheur de l'accélération de l'érosion dans les zones arides et semi-arides est la disparition de la couverture végétale qui peut être causée par un changement climatique à long terme ou plus directement par le surpâturage. La perte de la couverture végétale entraîne une exposition du sol à l'érosion éolienne et hydrique et la perte des sols fait diminuer le potentiel de production agricole avec comme conséquence une diminution de la charge animale des parcours.

La réinstallation du couvert végétal sur les berges dégradées est une technique qui permet la restauration et la récupération des sols.

Les travaux de réinstallation des espèces ligneuses ne sont pas des techniques récentes. Beaucoup d'espèces sont utilisées dans les aménagements des zones inondées, caractérisées par un excédent hydrique durant plusieurs mois. De tels travaux ont été réalisés dans le Nord du Mali par l'installation d'espèces comme *Eucalyptus camaldulensis*, *Acacia coleii*, *Senegalia senegal* (Maïga, 2011).

En Mauritanie, pour la stabilisation des dunes mobiles qui avaient commencé à envahir les champs rizicoles et les routes, l'installation de *Prosopis juliflora* a été un succès assez spectaculaire (Diagana, 2010).

À Madagascar, le phragmite (*Phragmites communis*) et le vétiver (*Vetiveria zizanioides*) ont été plantés en bandes alternées de 20 m de large sur la berge. Cette technique a permis de stopper l'érosion (Randrianjafy, 2000). L'expérience menée avec les riziculteurs de Madirovalo a permis de démontrer que *Phragmites communis* est l'une des plantes autochtones intéressantes pour la fixation des berges et son utilisation à d'autres fins (Randrianjafy, 2000). En Algérie, on recommande les espèces comme Tamaris (*Tamarix articulata* et *Tamarix gallica*), Acacia (*Acacia cyanophylla*), Laurier (*Nerium oleander*) (Abdelbaki *et al.*, 2009).

Dans la zone de Yélimané, aucune opération de développement ne s'est intéressée à la fixation biologique des berges. Cependant, les travaux de fixation mécanique de certaines berges et des barrages ont été réalisés par le Programme d'Appui au Développement Durable de Yélimané (PADDY) et l'Association d'Appui aux Actions de Développement Rural (ADR). Ces résultats sont visibles sur le terrain (Maïga *et al.*, 2012).

Les objectifs de l'étude sont :

- déterminer le comportement des espèces en plantation pour la fixation des berges des cours d'eau ;
- identifier les espèces les plus appropriées pour la fixation biologique des berges dans la zone de Yélimané.

Matériel et méthodes

Sites et choix des paysans

L'étude a été menée le long des ravins de la rivière Babassangué, à 2 km environ de la ville de Yélimané. La zone a une pluviosité comprise entre 350 et 550 mm par an. Les sols du cercle varient de sablo-limoneux peu profonds et pierreux des hauts plateaux à limono-argileux à argileux des cuvettes, parties centrales des cuvettes et bords des cuvettes; en passant par les terrasses alluvionnaires dans les vallées élevées, basses, les bourrelets de berges et les marigots qui sont sablo-limono-argileux à souvent argileux (PIRT, 1986). Le sol est de nature friable qui s'effrite au moindre passage de l'eau dans le ravin (Photos 1 et 2).

Le choix des paysans a été fait sur la base du volontariat. Trois paysans ont participé aux travaux de recherche.



Photo 1 : Situation de la zone avant l'implantation, juillet 2012



Photo 2 : Ravinement des berges à Babassangué. Action du passage des eaux collinaires, juillet 2013, lors de la visite de terrain du Directeur Général de l'IER

Matériel végétal

Deux espèces locales (*Senegalia senegal* et *Faidherbia albida*) et deux espèces exotiques (*Prosopis juliflora* et *Eucalyptus camaldulensis*) ont été présélectionnées sur la base de critères racinaires et de leur écologie.

Critères de choix des espèces

Le choix des espèces est déterminant pour une bonne végétalisation.

Les espèces ont été choisies sur la base de leur plasticité et leur adaptabilité à des conditions extrêmes de vie. Les plants ont été produits dans la pépinière du Conseil de Cercle de Yélimané (Photo 3).

Faidherbia albida (Del.) A. Chev.: cette espèce affectionne les sols profonds, légers et pourvus d'une nappe phréatique, même profonde (CTFT, 1988) et les sols sableux et drainés. Le système racinaire est développé en surface avec des pivots profonds (Gilman, 1990). Les conditions optimales sont entre 500-800 mm de précipitations annuelles. Dans l'Est de l'Afrique, l'espèce pousse bien avec des précipitations comprises entre 8 à 1 800 mm ou moins, à condition qu'elle puise l'eau souterraine.



Photo 3 : Vue des plants dans la pépinière à Yélimané, juin 2012

Senegalia senegal: l'aire de répartition de cette espèce est comprise entre les isohyètes 100 et 800 mm de précipitations avec une préférence entre 300-400 mm (Maydel Von., 1983). Le choix de cette espèce est dû à sa forte capacité de développement, mais aussi sa faible dépendance de l'eau de pluie. Son système racinaire bien développé puise l'eau dans les nappes les plus profondes (-30 m). L'espèce est donc bien résistante aux conditions draconiennes des milieux secs (Diagana, 2010).

Eucalyptus camaldulensis: les peuplements naturels sont localisés dans des zones avec une pluviosité annuelle qui oscille entre 250-2500 mm mais les arbres plantés peuvent survivre dans des régions qui ne reçoivent que 150 mm par an. L'arbre développe une forte racine pivotante et les racines latérales pouvant atteindre en longueur 2,5 fois la hauteur de l'individu, ce qui le rend particulièrement efficace dans la lutte contre l'érosion (Web 4).

Prosopis juliflora: cette espèce en bordure des littorales, ne supporte pas les sols mal drainés. Elle se développe dans les isohyètes 150-700 mm (De Condole, 1962). Elle développe latéralement des racines au-delà de 1,50 m (Cazet, 1989).

L'enracinement est très profond, parfois jusqu'à 50 m; les racines latérales, très superficielles, s'éloignent souvent du tronc sur une vingtaine de mètres et captent l'humidité matinale.

Méthodes

Rencontre avec les paysans riverains de la rivière Babassangué

Une rencontre de sensibilisation des paysans riverains du ravin de Babassangué a été effectuée en présence des autorités politiques, administratives, techniques et les chefs de village et de l'arrondissement central du cercle de Yélimané. Ensuite, elle a été suivie par une visite de terrain pour le choix participatif des sites.

Dispositif

Il a été adopté un dispositif expérimental en blocs complets randomisés avec deux facteurs. Le premier facteur est la rive avec 2 modalités (rive droite et rive gauche, Photo 4) et le second facteur est l'espèce avec 4 espèces, à savoir *Senegalia senegal*, *Faidherbia albida*, *Prosopis juliflora* et *Eucalyptus camaldulensis*.

L'essai comporte 8 traitements représentant la combinaison des modalités des deux facteurs ($2 \times 4 = 8$). Quatre lignes de plantation ont été installées sur chaque rive



Photo 4 : Vue d'un côté de la berge (rive), arbres (*E. camaldulensis*) âgés de 30 mois

en quinconce sur 200 m avec les quatre espèces (*Senegalia senegal*, *Faidherbia albida*, *Prosopis juliflora* et *Eucalyptus camaldulensis*).

Les plants ont été installés sur la première ligne à 0,50 m du bord du ravin. La distance entre deux lignes consécutives est de 5 m et les plants sont en quinconce.

Les dimensions des trous de plantation sont de 30 cm x 30 cm x 30 cm.

La plantation a été réalisée en juillet 2012.

Les entretiens ont consisté à désherber manuellement les parcelles au besoin et à les protéger de la dent du bétail par une clôture individuelle.

Collecte et traitement des données

Les données collectées ont porté sur le taux de survie, le diamètre à la base et la hauteur des plants 30 mois après la plantation.

Le pourcentage de reprise et le taux de survie ont été obtenus en faisant le rapport en pourcentage entre le nombre de plants vivants et le nombre total de plants installés. La hauteur et le diamètre des 40 plants ont fait l'objet de mensuration par ligne. Chaque ligne comportait 40 plants.

La statistique descriptive et l'analyse de variance ont été utilisées pour le traitement des données. Le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % a été utilisé pour la séparation des moyennes.

Résultats

La pluviosité annuelle durant les trois dernières années

L'année de plantation a été très pluvieuse par rapport à la moyenne de la zone qui est de 550 mm (Tableau 1).

Tableau 1 : Hauteur moyenne (mm) et nombre de jours de pluie

Année	2012	2013	2014
Hauteur (mm)	751	667,5	563
Nombre de jours	43	29	36

Source : PADDY, Yélimané (2015)

Évolution du pourcentage de reprise et du taux de survie

Le tableau 2 montre que sur la rive droite, le pourcentage de reprise en octobre 2012 a varié de 50 % pour *Faidherbia albida* et *Senegalia senegal* à 100 % pour *Eucalyptus camaldulensis*. Sur la rive gauche, il est compris entre 22,50 et 87,50 %.

Quant au taux de survie, il a été très élevé pour *Eucalyptus camaldulensis* (100%) et faible à très faible pour les autres espèces sur les deux rives. À partir de décembre 2012, le taux de survie est resté constant pour toutes les espèces.

Tableau 2 : Pourcentage de reprise et taux de survie

Rive	Espèces	Pourcentage de reprise (%)			Taux de survie (%)		
		08/08/12	08/09/12	08/10/12	08/12/12	08/12/13	19/12/14
Droite	<i>F. albida</i>	100	50,00	50,00	5,00	5,00	5,00
	<i>S. senegal</i>	100	75,00	50,00	25,00	25,00	25,00
	<i>E. camaldulensis</i>	100	100,00	100,00	100,00	100	100
	<i>P. juliflora</i>	100	75,00	75,00	20,00	20,00	20,00
	Moyenne	100	75,00	68,75	37,5	37,5	37,5
Gauche	<i>F. albida</i>	100	62,50	50,00	7,50	7,50	7,50
	<i>S. senegal</i>	100	62,50	22,50	17,5	17,5	17,5
	<i>E. camaldulensis</i>	-	-	-	100	100	100
	<i>P. juliflora</i>	100	100,00	87,50	7,50	7,50	7,50
	Moyenne	100	75,00	50,00	33,12	33,12	33,12

- : les plants de *Eucalyptus camaldulensis* n'étaient pas disponibles en cette période.

NB : *F. albida* (*Faidherbia albida*) ; *S. senegal* (*Senegalia senegal*) ; *E. camaldulensis* (*Eucalyptus camaldulensis*) ; *P. juliflora* (*Prosopis juliflora*)

Évolution de la circonférence initiale au collet en centimètre pendant les premiers mois de l'implantation

L'analyse statistique a montré qu'il y a une différence hautement significative entre les espèces pour la croissance au collet (Tableau 3) et pour la croissance en hauteur (Tableau 4).

La croissance au collet des différentes espèces a évolué normalement pendant toute la durée de l'expérimentation avec un maximum en décembre 2014. Les plus fortes croissances au collet ont été observées sur *Eucalyptus camaldulensis* avec 50,60 et 54,20 cm. Elle est suivie respectivement par *P. juliflora* (40 et 33,33 cm), *S. senegal* et *F. albida* (36 et 33 cm; 21,17 et 22 cm).

Tableau 3 : Évolution de la circonférence au collet (cm) par espèce

Rive	Espèces	08/11/2012	08/12/2012	19/12/2014
Droite	<i>F. albida</i>	1,00	1,80	21,17
	<i>S. senegal</i>	1,83	2,07	36,00
	<i>E. camaldulensis</i>	1,25	1,74	50,60
	<i>P. juliflora</i>	0,93	1,24	40,00
Moyenne		1,34	1,68	36,94
Gauche	<i>F. albida</i>	0,91	1,88	22,00
	<i>S. senegal</i>	1,65	2,13	33,00
	<i>E. camaldulensis</i>	1,28	1,73	54,20
	<i>P. juliflora</i>	0,6	1,04	33,33
Moyenne		0,955	1,37	35,63
Rive		NS	NS	NS
Espèces		HS	HS	HS
Rive x Espèces		NS	NS	NS
HS : hautement significatif; NS : non significatif NB : <i>F. albida</i> (<i>Faidherbia albida</i>) ; <i>S. senegal</i> (<i>Senegalia senegal</i>) ; <i>E. camaldulensis</i> (<i>Eucalyptus camaldulensis</i>) ; <i>P. juliflora</i> (<i>Prosopis juliflora</i>)				

Évolution de la hauteur des différences espèces

Sur les deux rives, durant toute la durée de l'expérimentation, la hauteur la plus élevée a été observée chez *Eucalyptus camaldulensis* suivie de *Prosopis juliflora* et des acacias (Tableau 4).

Tableau 4 : Évolution de la hauteur en mètre par espèce					
Rive	Espèces	08/08/12	08/09/12	08/12/12	14/12/2014
Droite	<i>F. albida</i>	0,36	0,38	0,25*	3,40
	<i>S. senegal</i>	0,33	0,34	0,41	3,30
	<i>E. camaldulensis</i>	0,51	0,66	0,84	10,25
	<i>P. juliflora</i>	0,34	0,51	0,66	3,60
Moyenne		0,39	0,47	0,54	5,14
Gauche	<i>F. albida</i>	0,27	0,31	0,19	2,80
	<i>S. senegal</i>	0,45	0,43	0,83	4,60
	<i>E. camaldulensis</i>	-	-	0,97	8,30
	<i>P. juliflora</i>	0,39	0,44	0,434	4,16
Moyenne		0,37	0,39	0,61	4,96
Probabilité					
Rive		NS	NS	NS	NS
Espèces		HS	HS	HS	HS
Rive x Espèces		NS	NS	NS	NS
NB : <i>F. albida</i> (<i>Faidherbia albida</i>) ; <i>S. senegal</i> (<i>Senegalia senegal</i>) ; <i>E. camaldulensis</i> (<i>Eucalyptus camaldulensis</i>) ; <i>P. juliflora</i> (<i>Prosopis juliflora</i>) * : Au moment de l'évaluation il y avait 3 plants - : les plants de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> n'étaient pas disponibles en cette période. HS : hautement significatif ; NS : non significatif					

À partir d'octobre 2012, soit trois (3) mois après transplantation, il y a une évolution spectaculaire en hauteur de toutes les espèces.

Cette évolution est très importante chez *Eucalyptus camaldulensis* sur toutes les rives.

Accroissement annuel de la circonférence et de la hauteur des différentes espèces

- **Accroissement annuel de la circonférence au collet (AAC00)**

Eucalyptus camaldulensis se distingue nettement des autres espèces avec le plus grand accroissement annuel au collet (20,24 cm pour la rive droite et 21,28 cm pour la rive gauche) et le plus petit accroissement a été observé chez *Senegalia senegal* (13,20 et 14,40 cm) et *Faidherbia albida* (8,47 et 8,80 cm) (Tableau 5).

- **Accroissement annuel de la circonférence à hauteur d'homme (AACHH)**

L'accroissement annuel de la circonférence à hauteur d'homme (AACHH = 130 cm) est plus élevée chez *Eucalyptus camaldulensis* sur les deux rives (14,62 cm pour la rive droite et 16,52 cm pour la rive gauche), suivie de *F. albida* (6,32 cm) sur la rive droite. Cette dernière espèce est suivie de *Prosopis juliflora* (5,57 cm et 6,41 cm) et *Senegalia senegal* (4,13 et 6,19 cm) sur les deux rives. Cependant sur la rive gauche, *E. camaldulensis* (16,52 cm) vient en tête, suivie de *P. juliflora* (6,41 cm), de *S. senegal* (6,19 cm) et enfin de *F. albida* (4,33 cm) (Tableau 5).

- **L'accroissement annuel de la hauteur**

Comme pour la circonférence, l'accroissement annuel de la hauteur est toujours dominé par *E. camaldulensis* sur les deux rives (3,38 m et 4,34 m). Sur la rive droite, *E. camaldulensis* (4,34 m) est suivie de *F. albida* (1,45 m), *P. juliflora* (1,36 m) et *S. senegal* (1,33 m). Par contre sur la rive gauche, elle est suivie de *S. senegal* (1,74 m) et *P. juliflora* (1,72 m) qui sont suivies de *F. albida* (1,20 m) (Tableau 5).

- **Houppier**

De part et d'autre des deux rives (Tableau 5), *S. senegal* et *P. juliflora* ont les plus grands houppiers (1,61-1,85 m et 1,81-1,83 m). Ces deux espèces sont suivies par *E. camaldulensis* (1,00-1,02 m) et *F. albida* (0,60-0,83 m).

Tableau 5 : Accroissement annuel des paramètres biophysiques

Rive	Espèces	En centimètre (cm)		En mètre (m)	
		AAC00	AACHH	Accroissement annuel en haut	Houppier
Droite	<i>F. albida</i>	08,47	06,32	1,45	0,83
	<i>S. senegal</i>	14,40	04,13	1,33	1,85
	<i>E. camaldulensis</i>	20,24	14,62	4,34	1,00
	<i>P. juliflora</i>	16,00	05,57	1,36	1,81
Gauche	<i>F. albida</i>	08,80	04,33	1,20	0,60
	<i>S. senegal</i>	13,20	06,19	1,74	1,61
	<i>E. camaldulensis</i>	21,68	16,52	3,38	1,02
	<i>P. juliflora</i>	13,33	06,41	1,72	1,83

NB : AAC00 = Accroissement annuel de la circonférence au collet; AACHH = Accroissement annuel de la circonférence à hauteur d'homme

Discussion

La pluviosité enregistrée au cours des 30 mois qui ont suivi la plantation des espèces ligneuses retenues pour notre étude a été supérieure à la moyenne annuelle. Les berges sont restées humides et fréquemment inondées durant les trois mois après l'installation des plants.

Le pourcentage de reprise

Le pourcentage de reprise est plus élevé chez les espèces introduites (*E. camaldulensis* (100 %) et *P. juliflora* (75 à 87,50 %)). Cela s'explique par leur adaptation aux conditions très humides du milieu. Pendant la même période, les pourcentages de reprise des espèces autochtones (*F. albida* et *S. senegal*) ont diminué de moitié (50%). Elles ne supportent pas les conditions d'inondations prolongées et préfèrent les milieux bien drainés. Ce résultat s'accorde avec ceux obtenus par Maydel Von (1983) et MEE (2011) qui indiquent que les deux *acacias* préfèrent les sols bien drainés. L'inondation prolongée a certainement provoqué une asphyxie des plantes d'où le faible pourcentage de reprise. La forte mortalité enregistrée au niveau des *acacias* peut s'expliquer par la submersion des rives pendant les hautes eaux.

Le taux de survie

L'adaptation des espèces végétales aux conditions du milieu s'apprécie par le taux de survie. Ainsi, une échelle de valeur permet d'apprécier la qualité du reboisement.

Passée la période d'inondation, toutes les espèces, exceptée *E. camaldulensis*, ont un faible taux de survie (5 à 25 %). Après, ce taux est resté constant pendant toute la durée de l'expérimentation, donc qualifié d'insuffisant selon l'indice (Diallo, 2009).

Selon cet indice, *F. albida* a un taux de survie de 10 %, donc également considéré comme très faible. Les espèces *S. senegal* et *P. juliflora* ont respectivement un taux de survie de 25 et 20 % sur la rive gauche. *F. albida* a montré une faible tolérance à l'engorgement saisonnier des sols.

Cazet (1989), signale qu'à 30 mois, dans la zone centrale du Sénégal, les taux de survie étaient très satisfaisants soit 95 % pour *P. juliflora*, 97 % pour *F. albida* et 98 % pour *S. senegal*.

Des taux de survie de 100 % ont été observés pour *E. camaldulensis* sur les deux (2) rives du ravin Babassangué. Selon Diallo (2009), un taux compris entre 95 et 100 % est

qualifié de très élevé (Yossi *et al.*, 1988), 28 mois après plantation. *E. camaldulensis* dans la forêt classée de la Faya (Mali), a atteint un taux de survie de 78 %. Ce taux, compris entre 60 et 80 %, a été qualifié d'élevé.

La stabilité du taux de survie à partir de la première année de l'expérimentation peut s'expliquer par l'adaptation des espèces et le retrait de l'eau aux mois d'octobre, novembre de l'année en cours. Leurs systèmes racinaires longs et pivotants pourraient également expliquer aussi cette adaptation.

Hauteur des plants

Selon BFT (1989), *F. albida*, a une croissance moyenne annuelle en hauteur de 1-1,50 m sur les sites favorables. Ces valeurs sont comparables aux valeurs 1,2 et 1,4 m de hauteur obtenues en moyenne avec *F. albida* à Babassangué. BFT (1989) et Cazet (1989), ont signalé une croissance annuelle moyenne en hauteur comprise entre 0,5 et 0,7 m, dans les conditions moyennes en Afrique. La croissance de *F. albida* au stade juvénile est particulièrement faible. En effet, à l'âge de 30 mois, il atteint en moyenne 0,66 m de hauteur avec 1,2 cm de diamètre (Cazet, 1989).

Eucalyptus camaldulensis, 30 mois après sa transplantation, a atteint une hauteur moyenne supérieure à 8 m sur les deux côtés du ravin Babassangué. Cette hauteur est nettement supérieure à celle observée par Kouyaté (1995) dans la forêt classée de la Faya, zone beaucoup plus arrosée où 28 mois après sa transplantation, l'espèce a atteint une hauteur moyenne de 5,21 m.

Des taux de croissance annuels de 4-7 m en hauteur et 4-6 cm en diamètre (soit 12,56-18,84 cm en circonférence) ont été enregistrés pour des provenances bien adaptées sur des stations favorables dans des régions tropicales, et dans des zones sèches du Zimbabwe (Web 2). Des croissances annuelles en hauteur de 3,6 et 4,5 m ont été respectivement obtenues à Pointe-Noire et à Loudima au Congo en zone équatoriale (Web 5). Le résultat obtenu est comparable à celui obtenu à Babassangué.

Selon Nizinski (2008), dans le bassin de Kouilou (République de Congo), la futaie de *Eucalyptus camaldulensis* âgée de 5 ans, a une hauteur de 24,4 m (soit un accroissement annuel moyen de 4,88 m/an) et une circonférence de 54,3 cm (soit 10,86 cm/an).

Les individus de *P. juliflora*, en zone irriguée de l'Office du Niger, village de ND14, au Mali, ont atteint une hauteur de 1,40 m à 1 an après la plantation (Dakouo *et al.*, 1997). Ce résultat est comparable à celui observé pour les plantations de Babassangué.

Cependant au Niger, sa croissance en hauteur a varié de 50 à 60 cm par an pendant les dix premières années (MEE, 2011).

Les individus de *S. senegal*, au Sénégal, à l'âge de 30 mois, ont atteint 5,3 cm de diamètre au collet, soit un accroissement en circonférence de 6,66 cm/an et une hauteur de 2,40 m, soit un accroissement de 0,96 m/an (Cazet, 1989). Au Niger, *S. senegal* a eu une croissance très lente avec une moyenne de 8 cm seulement dans une cuvette (Laminou *et al.*, 2009). Ces résultats sont nettement en dessous de ceux obtenus à Yélimané. Cependant, dans une plantation de *S. senegal* mise en place à Gassi, à 300 m du fleuve Chari au Tchad, le plus grand plant avait 12,5 m à 7 ans après la plantation, soit 1,78 m/an et mesurait 56 cm de circonférence à hauteur de poitrine, soit 8 cm/an (Ngaryo *et al.*, 2010). Ce résultat, pour la circonférence à hauteur de poitrine est supérieur à celui obtenu à Babassangué.

Dans le Sud de l'Éthiopie, des arbres de 5 ans ont un accroissement en hauteur moyen de 5,0 m (1 m/an d'accroissement moyen annuel) et un diamètre moyen à hauteur d'homme de 7,4-7,7 cm (4,77 cm/an d'accroissement moyen annuel) sur des sites à 1580-1650 m d'altitude qui ont une précipitation annuelle de 625-690 mm.

Houppier

L'envergure des houppiers des espèces végétales joue un rôle très important dans la lutte contre l'érosion. Ainsi, la concurrence entre les arbres se fait d'abord au niveau des houppiers pour capter le maximum de lumière bien plus qu'au niveau du sol.

Le houppier dense des espèces ligneuses est défavorable à la croissance des plantes du type C4, c'est-à-dire les espèces qui préfèrent la lumière.

P. juliflora et *S. senegal* ont les plus grandes envergures et leur forme est buissonnante. En dépit de son houppier et sa dissémination rapide, *P. juliflora* est aussi considérée comme une plante envahissante (Amani et Barmo, 2010).

La structure de *E. camaldulensis* et de *F. albida* ainsi que leur grande taille permettent un bon développement des cultures céréalières de décrue.

Conclusion

Face aux problèmes de dégradation des sols qui freinent la production agricole dans les pays en développement, la recherche d'espèces performantes adaptées pour la fixation biologique des berges est une nécessité primordiale. L'expérience menée dans la zone de Babassangué a permis de tirer les conclusions suivantes :

- les différents résultats ont montré que l'inondation temporaire prolongée est défavorable à la reprise et à la survie des espèces comme *F. albida*, *S. senegal* et *P. juliflora*, par opposition à *E. camaldulensis*;
- les espèces exotiques (*E. camaldulensis* et *P. juliflora*) sont les plus performantes en termes de croissance;
- Les paramètres de croissance contribuent en général à la réussite d'une fixation biologique des berges;
- le transfert et la diffusion des méthodes utilisées à d'autres zones pourraient remédier à l'impact négatif des effets du changement climatique et permettre la récupération des terres dégradées.

Les leçons tirées

La mise en œuvre de cette activité a permis de comprendre que :

- en zone de décrue la meilleure période de plantation est celle de démarrage de l'installation des cultures (octobre-novembre pour Yélimané) pour bénéficier de 5 à 6 mois où le cheptel n'a pas accès à la zone de cultures;
- les plants à la plantation doivent être bien vigoureux pour supporter la concurrence avec les cultures;
- la protection et le gardiennage doivent être assurés pendant la première saison chaude qui suit la plantation.

Impacts

- associée au dispositif mécanique (barrages filtrants), la plantation de protection a permis de maintenir la rivière dans son lit initial à Babassangué.
- le nombre de paysans collaborateurs est passé de 3 en première année à 16 en 3^e année à Yélimané.
- la superficie des champs ayant bénéficié de la technique est de 300 à 400 ha. La superficie des champs abandonnés avant l'application de la technologie et remise en culture avec la technologie est de 60 ha.

- la construction de maisons par les trois (3) paysans collaborateurs de Yélimané a été rendue possible grâce aux perches produites dans la plantation de protection des berges qui ont servi comme traverses pour la toiture.
- le revenu des producteurs s'est amélioré par la vente du bois sorti de la plantation.
- la plantation a permis la régénération naturelle de *Combretum aculeatum* et *Piliostigma reticulatum*.
- la régénération naturelle de *Eucalyptus camaldulensis* à partir des semences provenant de la plantation a été réalisée.

Références

- Abdelbaki A., Abdelbaki C., Ouldache E., Semmar H., 2009. Mise en place d'un système d'information géographique pour l'élaboration d'un plan d'aménagement de protection anti-érosive. Cas du sous-bassin versant de Oued Bouguedfine, wilaya de Chlef, Algérie, Revue Nature et Technologie, Juin 2009, 1 : 24-32.
- Amani A. et Barmo S., 2010. Contribution à l'Etat des connaissances de quelques plantes envahissantes au Niger. Cabinet du Premier Ministre, 40p.
- Barbry Y., 2002. Guide d'Application des techniques végétales pour la protection des berges des voies navigables. PDF, 24p.
- Bois et Forêts des Tropiques (BFT), 1989. *Faidherbia albida* (Del.) A Chev. (Synonyme: *Acacia albida*). Caractères sylvicoles et méthodes de plantation. Revue Bois et Forêts des tropiques (BFT). 4^e trimestre 1989, 222 : 55-68.
- Cazet M., 1989. Les plantations linéaires denses sur les sols sableux dégradés de la zone centre-Nord du Sénégal. Comportement et effets sur les cultures adjacentes de quelques espèces locales et introduites, 18p.
- CTFT, 1988. Centre Technique Forestier Tropical, *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. (Synonyme: *Acacia albida* Del.). Monographie CTFT, 71p.
- Dakouo J.M., Timbély D., Sylla Y., Diallo O., Koné Y., Touré M., 1997. Résultats et Projets d'activités du Programme Ressources Forestières du Centre de Niono, Ségou, Mali, 29p.
- Diallo S, 2009. Cours de Sylviculture à l'attention des Etudiants IPR/IFRA. Koulikoro, 54p.
- Diagana, 2010, <https://www.google.com/search?ei=2yjJXYeHN9HCxg OslKLA AQ&q>.
- DDEP, 2011. Développement Durable de l'Environnement et des Parcs. Guide d'analyse des projets d'intervention dans les écosystèmes aquatiques, humides et riverains assujettis

- à l'article 22 de la Loi sur la qualité de l'environnement. Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 10p.
- De Condole A., 1962. *Prosopis juliflora*, caractères sylvicoles et méthodes de plantations. Revue bois et forêts des tropiques, Mars-Avril 1962, 82 : 33-38.
- Gilman E.F., 1990. Tree Root Growth and Development. II. Response to Culture, Management and Planting. Journal of Environmental Horticulture, 8 : 220-227.
- Kouyaté A.M., Sidibé M., Sénou O., Diallo O.I., Yossi H., Timbély D. et Sanogo S., 1995. Bilan des activités de recherche du Programme collaboratif IER/OAPF, MDRE/IER/DS/PRF, Sotuba, 19p.
- Laminou M.O., Campanella B. & Paul R., 2009. Sélection d'espèces ligneuses adaptées à la fixation biologique de dunes au Niger, Geo-Eco-Trop., 2009, 33 (n.s) : 99-106.
- Maïga A.Y., 2011. Rapport de mission de prospection dans la zone de Yélimané, du 22 mai au 2 juin 2011, 3p.
- Maïga A.Y., Timbély D., Maïga Y.T., 2012. Rapport de mission de prospection dans la zone de Yélimané, mai, 2012, 20p.
- MEE, 2011. Plantations dans les conditions arides au Niger, 74p.
- PIRT, 1986. Projet Inventaire des Ressources Terrestres au Mali, Zonage agro-écologique du Mali vol. I. Bamako, Gouvernement malien/USAID, TAMS, New York, p. 130 + Annexes.
- Melalih A., 2012. Analyse des techniques de conservation de l'eau et du sol dans la zone aride cas bassin versant d'AIN SEFRA, pour l'obtention du diplôme de magister en sciences agronomiques Option : Systèmes de cultures intégrés et gestion conservatoire. Mémoire de Fin de Cycle. Algérie, 144p.
- Ngaryo F.T., Goudiaby V.C., Akpo L.E., 2010. Caractéristiques d'une gommierie d'*Acacia senegal* (L.) Wild. dans la région du Chari Baguirmi au Tchad. Journal des Sciences, 10(2) : 13-23. DOI : <http://www.cadjds.org>.
- Nizinski J.J., Morand D., Loumeto J.-J., Galat-Luong A. & Galat G., 2008. Bilan hydrique comparé d'une savane et d'une plantation dans le bassin du Kouilou, Congo-Brazzaville, Climatologie, 5 : 99-112.
- Poupon H., 1972. Description des appareils aérien et souterrain d'*Eucalyptus camaldulensis* Dehn. introduite en Tunisie du Nord. Cah. ORSTOM, Sénégal, sér. Biol, 17 : 47-59.
- Randrianjafy Z.J.N., 2000, Une technique biologique pour la protection des berges de cours d'eau de la région de Mahajanga, Madagascar, p. 157-164.
- Von Maydell, H.-J., 1983. Arbres et arbustes du Sahel, leurs caractéristiques et leurs utilisations. Publication 147. Eschborn, Germany, GTZ, 531p.

Web1. [https://uses.plantnet-project.org/fr/Acacia_senegal_\(PROTA\)](https://uses.plantnet-project.org/fr/Acacia_senegal_(PROTA)).

Web2. <https://www.google.com/search?ei=pBa7XYO8FNaS8gLW1Z6gDw&q=Eucalyptus>.

Web3. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Houppier>.

Web4. [https://uses.plantnet-project.org/fr/Eucalyptus_camaldulensis_\(PROTA\)](https://uses.plantnet-project.org/fr/Eucalyptus_camaldulensis_(PROTA)).

Web5. <https://www.google.com/search?q=Eucalyptus+:+hauteur+de+3,6+et+4,5+m++%C3%A0+Pointe-Noire+et+%C3%A0+Loudima+au+Congo>.

Yossi H., Niamabaly Nt., Sonogo M., 1988. Rapport final, arbres autochtones, 170p.

Évaluation du volume de bois sur pied de la plantation de *Eucalyptus camaldulensis* à Yélimané en zone sahélienne au Mali

Assessment of the Standing Timber Volume of the *Eucalyptus camaldulensis* Plantation in Yélimané in the Sahelian Zone of Mali

Kouyaté Amadou Malé¹, Keïta Moussa¹, Dembélé Isaïe¹, Timbély Dommo¹, Sénou Oumar¹, Maïga Mahamane Halidou², Maïga Abdou Yéhiya¹

¹Institut d'Économie Rurale (IER) Bamako, - BP 258, Mali

²Institut supérieur de formation et de Recherche Appliquée (ISFRA), - BP E 475, Bamako, Mali

*Auteur pour la correspondance : moussakeita59@yahoo.fr

Résumé

L'approvisionnement de la ville de Yélimané en bois constitue un vrai problème en raison de la surexploitation et de l'accroissement de la population. La fixation biologique des berges avec des essences à croissance rapide peut être une solution. L'évaluation du volume de bois sur pied des plantations réalisées permet de mieux apprécier les voies et moyens pour un meilleur approvisionnement de la ville. La vulgarisation de ces plantations peut permettre de diminuer la pression sur les formations végétales naturelles en vue de leur restauration. Il s'agit de faire prendre conscience aux populations et les amener à planter des arbres pour la satisfaction de leurs besoins de même que la protection des berges contre la dégradation par la plantation d'arbres pour une meilleure résilience aux changements climatiques.

L'objectif visé était d'évaluer le volume des différents produits issus de la plantation.

Le matériel végétal utilisé est l'espèce *Eucalyptus camaldulensis*. La méthodologie a consisté pour l'évaluation du volume de bois sur pied en un inventaire pied par pied ou le dénombrement pied par pied. La circonférence à 1,30 m de tous les arbres ayant au moins 22 cm de circonférence a été mesurée. Le volume de l'arbre entier ou volume tige a été déterminé en utilisant le tarif de cubage à une entrée qui donne le volume en fonction de la seule circonférence. Les résultats ont donné un volume total de l'arbre entier de 90,168 m³/ha. Le volume total du houppier a atteint 36,72 stères/ha, soit 14,688 m³/ha. Le volume total de bois exploité à Babassangué est de 104,856 m³/ha, soit une productivité de 34,952 m³/ha/an.

Mots-clés : approvisionnement, surexploitation, fixation biologique, Mali.

Abstract

Supplying the city of Yélimané with wood is a real challenge due to overexploitation and population growth. Biological bank fixation with fast-growing species can be a solution. An assessment of the volume of standing timber in the plantations makes it possible to determine how to improve the city's wood supply. The popularization of these plantations can help reduce pressure on natural plant formations so as to restore them. The aim is to raise awareness among the people and encourage them to plant trees to meet their needs, as well as to protect river banks from degradation by planting trees to improve their resilience to climate change.

The objective was to assess the volume of the various products derived from the plantation.

The plant material used is Eucalyptus camaldulensis. The methodology consisted in assessing the volume of standing timber through an inventory or count of individual plants (DGEE, 1982). The circumference at 1.30 m of all the trees with a circumference of 22 cm or more was measured. The whole-tree volume or stem volume was determined using the single-input cubing rate which gives the volume based on circumference only. The result of the assessment was a total whole-tree volume of 90,168 m³/ha. The total crown volume reached 36.72 steres/ha, or 14.688 m³/ha. The total volume of wood harvested in Babassangué is 104.856 m³/ha, representing a productivity of 34,952 m³/ha/year.

Key words: *supply, exploitation, biological fixation, Mali.*

Introduction

Face à l'éboulement des bordures et à l'ensablement du chenal de Babassangué à Yélimané, l'urgence de protéger ce chenal s'imposait. Cette protection a été faite dans le cadre de la composante 4 du projet Adaptation de l'agriculture et de l'élevage aux changements climatiques qui est chargée de la protection durable des chenaux d'alimentation et des berges des cours d'eau du cercle de Yélimané. Plusieurs solutions ont été envisagées pour trouver des voies et moyens afin de protéger et d'enrichir les sites dégradés (Yossi *et al.*, 2008). Il s'agit des diguettes antiérosives, des digues filtrantes, du zaï, des demi-lunes, du tapis herbacé, du compostage et des plantations d'arbres. Parmi ces solutions, notre choix a été centré sur la fixation biologique afin de concourir à la résilience des populations aux effets néfastes des changements climatiques. Cette fixation biologique a été traduite par des plantations à base de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., en vue de fixer le sol des berges et de contribuer à l'augmentation de la biodiversité. Nous entendons par berge la bande de protection qui se trouve de part et d'autre du chenal ou du cours d'eau.

Des plantations de *Eucalyptus camaldulensis* ont été réalisées en quinconce sur les deux rives du chenal de Babassangué dans les conditions de décrue. Au regard du stade de développement de ces plantations, il s'est avéré intéressant d'évaluer le potentiel ligneux.

Le présent travail traite de l'évaluation du volume de bois sur pied de la plantation de *Eucalyptus camaldulensis* dans les conditions de décrue.

Matériel et méthodes

Matériel

Aperçu sur le matériel végétal

Le matériel végétal concerné par la présente étude est l'espèce *Eucalyptus camaldulensis* de la famille des *Myrtaceae*. L'espèce est exotique. Elle est connue sous les noms d'Eucalyptus rostré, d'Eucalyptus rouge, de Gommier rouge, de *Mentilatium jiri* ou *Chinoijiri* (Fagui, 2015).

E. camaldulensis est une espèce qui vit dans les zones sahélienne, soudanienne et guinéenne des régions de Kayes, Koulikoro, Ségou et Sikasso. L'espèce se trouve sur divers types de sols. C'est un arbre sempervirent, atteignant 50 m de hauteur et 1 à 2 m de diamètre, à fût droit, à écorce lisse, blanche, grise, jaune-verte, gris-verte ou gris-

rosée. Les feuilles sont alternes, pendantes, simples et entières. Les fleurs sont bisexuées, régulières, ivoires à blanchâtres, avec un pédicelle mince et long de 0,5 à 1,4 cm. Les fruits sont des capsules hémisphériques ou ovoïdes, longues de 0,4 à 1 cm, larges de 0,3 à 1 cm et contenant de nombreuses graines minuscules. L'arbre fleurit entre octobre et mars mais peut fleurir à tout moment de l'année en fonction de l'âge du sujet et de l'humidité de l'air. Sa fructification se situe entre février et mars mais peut se dérouler aussi à tout moment de l'année. En santé humaine, l'espèce est utilisée comme antitussif, expectorant, fébrifuge, tonique, astringent, antiseptique, hémostatique et vermifuge. Les feuilles sont utilisées contre la fièvre. Comme autres utilisations, l'espèce est utilisée comme bois d'œuvre, de service, de chauffe, charbon de bois, plante mellifère et brise-vent (Fagui, 2015).

Matériel technique

Le matériel technique utilisé comprend des rubans, des décamètres, une règle coulissante, un appareil digital numérique, un calepin, des bics et des cahiers.

Méthodes

L'évaluation du volume sur pied a été réalisée sur des plantations de *Eucalyptus camaldulensis* âgées de 3 ans. Au niveau de chaque rive du chenal (Photo 1), les plantations ont été réalisées sur une bande longue de 200 m et large de 10 m, soit une superficie de 0,2 ha.



Photo 1 : Vue du chenal de Babassangué

Dans le cadre de cette évaluation, trois activités ont été menées. Il s'agit de l'évaluation proprement dite du volume sur pied, l'évaluation de la hauteur dominante de la plantation et l'estimation des produits issus de la coupe des arbres.

Évaluation du volume sur pied des arbres

Pour évaluer le volume du bois sur pied, le type d'inventaire utilisé est l'inventaire pied par pied ou le dénombrement pied par pied (DGEF, 1982). La démarche a consisté à mesurer la circonférence à 1,30 m de tous les arbres ayant au moins 22 cm de circonférence à l'aide d'un ruban car le volume des arbres sur pied est estimé en fonction de leur diamètre ou leur circonférence. Pour les arbres à double tige dont la fourche se trouve en dessous de 1,30 m du sol, chaque tige a été considérée comme un arbre. Par contre, ceux dont la fourche se trouvait au-delà de 1,30 m du sol ont été considérés comme un seul arbre.

Le volume de l'arbre entier ou volume tige a été déterminé en utilisant le tarif de cubage à une entrée qui donne le volume en fonction de la seule circonférence. Nous entendons par tarif de cubage, un tableau ou une équation donnant le volume en fonction du diamètre ou la circonférence à 1,30 m et ou la hauteur. Les tarifs de cubage à une seule entrée (arbre entier et houppier) utilisés sont ceux mis au point par l'IER (Dakouo *et al.*, 1989) en zone sahélienne à laquelle appartient Yélimané. Il s'agit de :

Volume de l'arbre entier = $- 0,0112 + 0,8439 C^2_{1,30\text{ m}}$ où C = circonférence à 1,30 m

Le volume total de l'arbre entier à l'hectare a été déterminé suivant la formule ci-après :

$$V_t = V_m \times N$$

V_t : volume total de l'arbre entier (m³/ha)

V_m : volume moyen de l'arbre entier (m³/ha)

N : nombre d'arbres

Volume du houppier = $0,0139 + 0,0680 C^2_{1,30\text{ m}}$ où C = circonférence à 1,30 m

Le volume total du houppier à l'hectare a été déterminé suivant la formule ci-dessous :

$$V_{hp} = V_{hpm} \times N$$

V_{hp} : volume total du houppier (stère/ha)

V_{hpm} : volume moyen du houppier (stère/ha)

N : nombre d'arbres.

Le volume total de bois à Babassangué a été déterminé suivant la formule ci-dessous :

$$V = V_t + V_{hp}$$

V : volume total de bois (m³/ha)

V_t : volume total de l'arbre entier (m³/ha)

V_{hp} : volume total du houppier (stère/ha). Ce volume est à convertir en m³/ha en divisant V_{hp} par 2,5 m³, car 1 m³ est égal à 2,5 stères.

La productivité a été déterminée en divisant le volume total de bois par l'âge de la plantation.

Évaluation de la hauteur dominante

Nous entendons par hauteur dominante la hauteur moyenne des 100 plus gros arbres à l'hectare. La hauteur dominante de la plantation a été préférée à la hauteur moyenne puisque les éclaircies ou les coupes d'amélioration affectent peu les grands arbres qui sont en général les plus gros et les plus beaux. Pour déterminer la hauteur dominante, nous avons mesuré la hauteur moyenne des 100 arbres à l'hectare qui ont la plus grande circonférence à l'aide d'une règle coulissante (DGEF, 1982).

Estimation des produits

Le choix sélectif des arbres à couper a été adopté afin de respecter l'idée de protection des berges. L'exploitation a concerné 13 arbres situés au centre de la bande large de 10 m et longue de 200 m. La coupe des arbres a été faite à une hauteur de 25 cm du sol par les paysans à l'aide d'une hache (Dakoué *et al.*, 1989 ; Photo 2).



Photo 2 : Hauteur de coupe de l'arbre à 25 cm du sol

Les arbres coupés ont fait l'objet d'une série de mesures qui sont les suivantes :

- mesure de la circonférence au bout fin de la tige, soit 21 cm, à l'aide d'un ruban ;
- mesure de la circonférence au gros bout de la tige à l'aide d'un ruban ;
- mesure de la longueur du bois fort tige, c'est-à-dire la longueur allant du bout fin au gros bout à l'aide d'un décimètre.

À partir de ces mesures, nous avons fait l'estimation des catégories de produits en utilisant les normes dimensionnelles des produits de *Eucalyptus camaldulensis* mises au point par l'IER (Dakouo *et al.*, 1989 ; Diallo et Sanogo, 1991). Ces normes dimensionnelles, fixées selon les exigences du marché, sont caractéristiques des assortiments suivants :

- **perche de construction**

Une perche de construction est caractérisée par une longueur de 4 à 6 m, une circonférence au gros bout de 45 à 60 cm et une circonférence au bout fin de 35 à 45 cm ;

- **perchette**

Une perchette est caractérisée par une longueur de 2 à 6 m, une circonférence au gros bout de 30 à 45 cm ;

- **latte ou bois de feu**

Une latte ou bois de feu est caractérisée par une longueur de 1 à 1,5 m et une circonférence médiane de 9 à 30 cm. Pour avoir ce type de produit, le houppier a été façonné en billons de 1 m de longueur dont la circonférence à mi-longueur a été mesurée à l'aide d'un ruban (Photo 3).



Photo 3 : Façonnage des billons de 1 m de longueur

Résultats

Superficie, nombre d'arbres et circonférence à 1,30 m des arbres

La superficie de la plantation, le nombre d'arbres mesurés et la circonférence prise à 1,30 m du sol sont donnés dans le tableau 1.

Plantation	Superficie (ha)	Nombre d'arbres	Circonférence prise à 1,30 m du sol (cm)
Rive gauche	0,2	66	48,44
Rive droite	0,2	138	43,10
Moyenne	0,2	102	45,77

La plantation de *Eucalyptus camaldulensis* âgée de 3 ans a en moyenne 45,77 cm de circonférence prise à 1,30 m du sol, soit un accroissement annuel moyen de 15,26 cm. Cette circonférence a varié de 43,10 cm au niveau de la rive droite à 48,44 cm sur la rive gauche. Le nombre d'arbres a varié de 66 au niveau de la rive gauche à 138 sur la rive droite.

Hauteur dominante

La hauteur dominante de la plantation de *Eucalyptus camaldulensis* âgée de 3 ans est donnée dans le tableau 2.

Plantation	Superficie (ha)	Nombre d'arbres	Hauteur dominante (m)
Rive gauche	0,2	66	13,87
Rive droite	0,2	138	13,86
Moyenne	0,2	102	13,86

La plantation de *Eucalyptus camaldulensis* âgée de 3 ans a mesuré 13,86 m de hauteur dominante. Cette hauteur dominante a varié entre 13,86 m au niveau de la rive droite et 13,87 m sur la rive gauche. Une telle hauteur atteinte à 3 ans indique que le site d'étude est fertile. Cette fertilité peut être expliquée par l'affleurement quasi-permanent de la nappe phréatique au niveau du chenal.

Volume

Le volume de la plantation de *Eucalyptus camaldulensis* âgée de 3 ans est donné dans le tableau 3.

Tableau 3 : Volume du bois sur pied de la plantation de *Eucalyptus camaldulensis* âgée de 3 ans à Babassangué

Plantation	Volume de l'arbre entier (m ³ /ha)	Volume houppier (stères/ha)
Rive gauche	1	0,38
Rive droite	0,768	0,34
Moyenne	0,884	0,36

Le volume moyen de l'arbre sur pied a atteint 0,884 m³/ha. Il a varié entre 0,768 m³/ha au niveau de la rive droite et 1 m³/ha sur la rive gauche. Le volume moyen du houppier a atteint 0,36 stère/ha. Il a varié entre 0,34 stère/ha sur la rive droite et 0,38 stère/ha sur la rive gauche.

Le volume total de bois sur pied à Babassangué est donné dans le tableau 4.

Tableau 4 : Volume total de bois sur pied à Babassangué

Plantation	Volume total de l'arbre entier (m ³ /ha)	Volume total du houppier (m ³ /ha)	Volume total (m ³ /ha)	Productivité (m ³ /ha/an)
Babassangué	90,168	14,688	104,856	34,952

Le volume total de l'arbre entier est de 90,168 m³/ha. Le volume total du houppier a atteint 36,72 stères/ha, soit 14,688 m³/ha. Le volume total de bois exploité à Babassangué est de 104,856 m³/ha, soit une productivité de 34,952 m³/ha/an. Cette productivité est supérieure au rendement moyen caractéristique des sols pauvres qui est de 10 m³/ha/an (Anderson *et al.*, 1991). Elle est également supérieure aux valeurs obtenues (24,621 à 21,884 m³/ha/an) en zone irriguée de l'Office du Niger (Dakouo *et al.*, 1989). Cette productivité élevée pourrait s'expliquer entre autres par les conditions particulières d'humidité résiduelle de ce site.

Catégories de produits

Les catégories de produits issus de la coupe de quelques arbres sont données dans le tableau 5.

Tableau 5 : Catégories de produits issus de la coupe de quelques arbres de *Eucalyptus camaldulensis*, 3 ans après la plantation

Plantation	Nombre de perches/ha	Nombre de perchettes/ha	Nombre de lattes/ha
Rive gauche	30	30	685
Rive droite	30	20	9 535
Moyenne	30	25	5 110

Les résultats ont montré que les produits issus des coupes sont la perche, la perchette et les lattes. Il a été dénombré en moyenne 30 perches/ha, 25 perchettes/ha et 5 110 lattes ou bois de feu/ha.

Dans la forêt classée de Farako située entre 11°11' et 11°20' de latitude nord et entre 5°21' et 5°31' de longitude ouest en zone soudanienne dans le Sud du Mali, les plantations de *Eucalyptus camaldulensis* âgées de 10 ans ont donné 247 perches/ha et 340 perchettes/ha (Diallo et Sanogo, 1991). Il ressort que les plantations âgées de 3 ans ont fourni des perches et des perchettes plus tôt que celles de Farako. Cette production précoce des perches et des perchettes à Babassangué peut être attribuable aux conditions particulières d'humidité résiduelle de ce site.

Conclusion

Les résultats obtenus en matière de production et de productivité de *Eucalyptus camaldulensis* dans les conditions de décrue à Babassangué montrent que cette espèce peut être utilisée pour améliorer la résilience des populations au changement climatique. Ceci nécessiterait la réalisation de plantations à grande échelle sur des sites ayant les mêmes caractéristiques écologiques que Babassangué.

Le travail ainsi réalisé montre que la protection des berges du chenal et la satisfaction des besoins des populations en produits ligneux peuvent être réalisées simultanément.

Les rejets issus des coupes doivent être recepés en laissant deux (2) rejets alternes et opposés au niveau des souches. Il est utile d'estimer le niveau de séquestration du carbone au niveau des plantations réalisées.

Références

- Anderson J., Kouyaté A.M., Senou O. et Koné J., 1991. Documents Techniques et Projets de programme 1991-1992. Commissions Techniques Spécialisées des Productions Forestières et Hydrobiologiques. INRZFH. 45p.
- Dakouo J.M., Kouyaté A.M., Sylla Y., Tiénou S., 1989. Rapport du séminaire de diffusion des résultats de recherche forestière en zone irriguée-Office du Niger. Ministère de l'Environnement et de l'Élevage, Institut National de la Recherche Zootechnique, Forestière et Hydrobiologique, Station de Recherche sur les Plantations Forestières en Zone Irriguée N'Débougou ND 14. Séminaire du 19 au 21 septembre 1989 à Bamako, 44p.
- DGEF, 1982. Manuel pratique d'aménagement. Ministère de l'Agriculture, Royaume du Maroc, 262p.
- Diallo O.I. et Sanogo S., 1991. Suivi des plantations industrielles, Résultats campagne de mesure 1990. Plantations 1985 et 1987 à Farako et Zamblara. Note technique OARS n° 6. MEE-DNEF/IER-PAFOMA-OARS, Sikasso, Mali.
- Fagui, 2015. Répertoire des espèces forestières des régions de Kayes, Koulikoro, Sikasso et Ségou, 339p.
- Yossi H., Sanogo Z.J.L., Diakité C.H., Kergna A.O., Ouattara S. et Soumaré S., 2008. Etude Sahel, Impacts des investissements dans la Gestion des ressources naturelles au Mali, IER, 20p.



CHAPITRE 7 :

Conservation des sols, des eaux et de la végétation

Évaluation de l'impact des cordons pierreux et des demi-lunes associés ou non à la plantation d'espèces végétales dans la conservation des sols à Yélimané

Assessment of the Impact of Stone Bunds and Half-moons combined or not with the Planting of Plant Species for Soil Conservation in Yélimané

Maïga Abdou Yéhiya¹, Timbély Dommo^{1*}, Sénou Oumar¹, Maïga Abba Sékou¹, Keïta Moussa¹, Dembélé Fadiala², Coulibaly Dounanké¹, Yossi Harouna¹, Traoré Diakaridia², Bengaly MPIè¹, Kouyaté Amadou Malé¹

¹Institut d'Économie Rurale (IER) - BP 258, Bamako, Mali

²Institut Polytechnique Rural/Institut de Formation et de Recherche Appliquée (IPR/IFRA) - BP 06, Koulikoro, Mali

*Auteur pour la correspondance : dommotimbely@hotmail.com

Résumé

Au Mali, la dégradation des sols s'est traduite par une baisse généralisée de la fertilité et par la dégradation physique des terres. Environ 7 à 15 % des terres mises en valeur sont actuellement abandonnées à cause de la perte de la fertilité. Il s'ensuit une perturbation dans le système d'occupation traditionnelle des terres entre les grandes zones d'affectation des différentes productions (agriculture, élevage, pêche, forêts) mais aussi à l'intérieur d'une même zone. Au regard de l'augmentation de la population, les dispositifs anti-érosifs apparaissent comme une solution pour la restauration des terres dégradées en vue d'atteindre la neutralité de la dégradation des terres prônées par la convention des Nations Unies pour la lutte contre la désertification pour un développement durable. Les cordons pierreux et les demi-lunes associés ou non à la plantation d'espèces végétales ont été ainsi utilisés à Yélimané pour fixer les terres en cours de dégradation et protéger ainsi la vallée destinée aux cultures de décrue.

Dans la région de Kayes en général et dans le cercle de Yélimané en particulier, il existe une rupture démographique et environnementale de plus en plus inquiétante avec pour conséquence l'appauvrissement des populations et la migration (exode rural).

Les dispositifs mécaniques anti-érosifs ont favorisé la reconstitution de la végétation. Les cordons pierreux sans plantation ont eu le maximum de biomasse herbacée et le pourcentage de recouvrement le plus élevé. Il y a une augmentation du nombre d'espèces herbacées dans tous les traitements.

Comme impact, l'activité a permis de restaurer le sol et la végétation sur un sol induré nu avant notre intervention. La position du site situé sur le tronçon Yélimané - Kirané a permis à un nombre important de personnes de voir le résultat et de promettre de faire la même expérience dans leurs villages. Notre travail a également permis de montrer à la population que la restauration des sols et de la végétation est possible.

Mots-clés : dégradation, fertilité, restauration.

Abstract

In Mali, soil degradation has resulted in a physical degradation and fertility decrease of land. About 7 to 15% of developed land is currently abandoned due to fertility loss. This has resulted in a disruption of the traditional land occupation system between and within the various major assigned production areas (agriculture, livestock, fisheries, forestry). In view of population growth, anti-erosion systems appear as a solution for the restoration of degraded lands to achieve land degradation neutrality as advocated by the United Nations Convention to Combat Desertification to achieve sustainable development. Stone bunds and half-moons combined or not with the planting of plant species were used in Yélimané to fix degrading lands and protect the valley intended for flood recession cropping.

In the region of Kayes in general, particularly in the cercle of Yélimané, there is a more and more worrying demographic and environmental breakage that is causing the impoverishment and migration (rural exodus) of populations.

Anti-erosion schemes have helped restore the vegetation. Stone bunds with no planting have the highest proportion of grassy biomass and cover. The number of herbaceous species is on the increase in all the treatments.

In terms of impact, our intervention has helped restore the soil and vegetation on the previously bear and hardened soil. The position of site, located on the Yélimané-Kirané road section, allowed many people to see the results and encouraged them to resolve to replicate the same experience in their respective villages. Our work has also shown to the population that soil and vegetation restoration is possible.

Keys words: degradation, fertility, restoration.

Introduction

Dans les pays sahéliens, la priorité pour les acteurs ruraux (agriculteurs, éleveurs, exploitants forestiers et pêcheurs) et les décideurs demeure la question de la sécurité alimentaire, question étroitement liée à la dégradation des terres et donc à sa gestion durable.

Les facteurs de la dégradation des terres au Mali sont essentiellement d'ordre climatique et anthropique. Les cycles de sécheresse, la forte croissance démographique (2,4%), l'utilisation des terres et des ressources naturelles pour la production commerciale, la forte incidence de la pauvreté pouvant conduire à une pression de plus en plus forte sur l'environnement, rendent la sécurité alimentaire du Mali plus problématique. En effet, la combinaison de tous ces facteurs peut aboutir à une exploitation non raisonnée et donc abusive des terres avec pour conséquences la modification des équilibres écologiques et la «dégradation des terres», terme désignant «la diminution ou la disparition, dans les zones arides, semi-arides et subhumides sèches de la productivité biologique ou économique du fait de l'utilisation des terres ou d'un ou de plusieurs phénomènes, notamment des phénomènes dus à l'activité de l'homme et à ses modes de peuplement» (UNCCD, 1994, Article 1).

La dégradation ainsi induite se manifeste principalement par :

- la salinisation des terres agricoles et l'alcalinité (zone rizicole) ;
- la lixiviation des nutriments (perte de la fertilité du sol dans toutes les zones) et l'encroûtement des sols ;
- la diminution de la couverture végétale et la perte de biodiversité ;
- la réduction de la profondeur de la terre végétale, entraînant une baisse de la capacité de rétention de l'eau et des nutriments (toutes les zones) ;
- la perte de la structure du sol par l'érosion éolienne et la création de dunes de sable (zone septentrionale).

L'éradication du processus de dégradation des terres est indispensable au maintien des activités économiques des populations rurales. En effet, le secteur de l'agriculture constitue le principal moyen de subsistance des populations rurales à travers notamment la culture céréalière, le maraîchage, l'élevage, la pêche et l'exploitation forestière. Les produits agricoles représentent la base de l'alimentation des populations rurales et une source de revenus que les producteurs agricoles génèrent à travers la commercialisation de ces produits. La dégradation des terres consécutive aux modifications écosystémiques

engendrer une perte de la productivité des sols et donc des pertes de revenus agricoles considérables.

L'économie du Mali repose essentiellement sur le secteur agro-pastoral (qui occupe près de 80 % de la population et intervient pour plus de 40 % dans le PIB et 3/4 des exportations). Ce secteur continuera à jouer un rôle moteur dans le développement économique du pays malgré les faibles productivités agricoles et animales (AEDD, 2015).

La dégradation des terres, des écosystèmes aquatiques et la détérioration du cadre de vie représentent les principaux défis au processus de développement et de réduction de la pauvreté au Mali concernant particulièrement les populations pauvres qui dépendent fondamentalement des ressources naturelles.

Selon l'évaluation économique de la gestion environnementale au Mali (MEA, 2009 b), les dommages environnementaux et l'utilisation inefficace des ressources naturelles et des énergies coûteraient chaque année environ 21 % de la richesse produite. La dégradation des sols et des forêts coûterait ainsi entre 4 et 6 % du PIB, affectant principalement la production agricole, pastorale et forestière.

La neutralité de la dégradation des terres prônée par la Convention des Nations Unies pour la Lutte Contre la Désertification est un engagement pour le Mali en vue d'un développement durable.

Le présent projet se situe dans le cadre de la restauration des terres déjà dégradées.

Pour la restauration des sols et de la végétation, il s'agit de :

- évaluer l'impact des cordons pierreux dans la restauration des sols et de la végétation ;
- évaluer l'impact des demi-lunes dans la restauration des sols et de la végétation ;
- identifier les meilleures espèces végétales pouvant être associées aux dispositifs mécaniques pour l'accélération du processus de restauration des sols et de la végétation.

Matériel et méthodes

Matériel

Présentation générale des sites d'étude

Le climat

Le climat est de type sahélien avec une alternance de trois saisons : i) une saison froide de décembre à mars ; ii) une saison chaude et sèche d'avril à juin avec une température pouvant atteindre 45°C ; iii) une saison de pluies de juin à septembre qui varie de 350 à 500 mm par an.

L'harmattan, vent chaud et sec, est le vent dominant qui souffle du Nord-est à l'ouest accompagné de brumes de poussières réduisant la visibilité. Il souffle du Nord au Sud en provenance du Sahara entre janvier et mi-mars. Il repousse progressivement les vents frais chargés d'humidité empêchant ainsi les pluies à cette période de l'année. D'où un réchauffement progressif jusqu'en avril-mai où il fait très chaud. L'évapotranspiration moyenne est d'environ 6,8 mm/jour.

Hydrologie

Le relief peu accidenté de la région et la pente irrégulière favorisent la formation de lacs et de mares peu profonds. Ainsi le bassin drainé par deux (2) affluents du fleuve Sénégal, à savoir la Térékolé, la Kolombiné et le lac Magui s'étend sur 25 000 km². Des débits de 230-233 millions de m³/an (7,4-7,3 m³/s) sont mesurés respectivement sur la Térékolé-Tango et Térékolé-Yélimané. Il en résulte un charriage important de matériaux dont les débits solides sur le lac Magui par exemple variaient de 32 à 159 tonnes par jour. En règle générale, les cours d'eau sont nombreux mais souffrent des contraintes suivantes : tarissement précoce, dégradation des berges, ensablement, inondation, érosion.

Les sols

Les sols de la région varient de sablo-limoneux peu profonds et pierreux dans les hauts plateaux à limono-argileux à argileux dans les cuvettes, les parties centrales des cuvettes et les bords des cuvettes, en passant par les terrasses alluvionnaires dans les vallées élevées, basses, les bourrelets de berges et les marigots qui sont sablo-limono-argileux à souvent argileux.

Végétation

La formation végétale de l'espace sylvo-pastoral est la savane arbustive. La taille des arbustes est de l'ordre de 2 à 10 m. Les principales espèces végétales rencontrées sont :

- ligneux : *Bauhinia rufescens*, *Acacia seyal*, *Balanites aegyptiaca*, *Guiera senegalensis*, *Hyphaene thebaïca*, *Ziziphus mucronata*, *Adansonia digitata*, *Piliostigma reticulatum*, *Acacia tortilis*, *Calotropis procera*, *Ficus capensis*, *Combretum micranthum*, *Combretum adenogonium*, *Senegalia senegal*, *Borassus aethiopum*, *Faidherbia albida*;
- herbacées : *Andropogon* spp, *Cenchrus biflorus*, *Digitaria* spp, etc.

Agriculture

L'agriculture est essentiellement dominée par le système de décrue. En fait, la Térékolé qui a une longueur totale de 145 km (Gtz, 1983) traverse cette zone d'ouest en est, sur une longueur d'environ 90 km avec une large vallée qui reçoit de nombreux affluents. Les superficies cultivées en sorgho, maïs et niébé associé varient en fonction de l'intensité des crues et du rythme de la décrue qui libère progressivement les zones cultivables : semis échelonné dès que les sols sont libérés de l'inondation. La durée de l'inondation est un des facteurs déterminants (remplissage de la capacité de rétention des eaux du sol) du niveau de production (PAGDGRNCY, 2009). On y cultive du sorgho, du maïs, des arachides, du niébé, le calebassier, du gombo, etc. La préparation du sol est faite de façon extensive avec un semis dans des poquets profonds de 15-20 cm avec une densité de 0,80 m x 0,80 m ou de 1 m x 1 m.

Matériel végétal

- *Senegalia senegal* provenance Soudan ;
- *Balanites aegyptiaca* provenance Yélimané.

Matériel technique

- équerre isocèle avec un fil à plomb pour la détermination des courbes de niveau ;
- raccord en matière plastique contenant de l'eau avec principe de vase communiquant pour la détermination des courbes de niveau ;
- pics et pelles.

Méthodes

Le dispositif expérimental a été les blocs complets randomisés avec 8 traitements en 5 répétitions. Les traitements ont été les suivants : sans aucune intervention (T0), cordon pierreux simple (T1), cordon pierreux avec *Senegalia senegal* (T2), cordon pierreux

avec *Balanites aegyptiaca* (T3), demi-lune simple (T4), demi-lune avec *Senegalia senegal* (T5), demi-lune avec *Balanites aegyptiaca* (T6), plantation simple avec *Senegalia senegal* et *Balanites aegyptiaca* (T7).

L'étude de composition floristique a été faite en utilisant l'échelle d'abondance-dominance de Braun-Blanquet *et al.* (1952) dont les coefficients sont les suivants :

- 1 très rares = 1-5 % de recouvrement ;
- 2 (rares) = 5-25 % de recouvrement ;
- 3 (abondants) = 25-50 % de recouvrement ;
- 4 (très abondants) = 50-75 % de recouvrement ;
- 5 (extrêmement très abondants) = 75-100 % de recouvrement.

Pour la mise en place, on a procédé pour chaque traitement à la détermination du sens de la pente et à la matérialisation des courbes de niveau.

Le test de Newman-Keuls au seuil de 5 % a été utilisé pour la séparation des moyennes.

Les paramètres étudiés ont été pour les ligneux plantés la hauteur, le diamètre, et pour la végétation herbacée, la composition floristique, la biomasse et la contribution spécifique.

Résultats

Effet des dispositifs anti-érosifs mécaniques associés ou non à la plantation d'espèces végétales sur la végétation

L'observation des photos 1, 2, 3, 4, 5 et 6 montre que, d'année en année, les dispositifs ont favorisé la reconstitution de la végétation herbacée. La végétation herbacée est plus dense autour des dispositifs. En octobre 2015, les traitements avec dispositifs se sont confondus.



Photo 1 : Cordon pierreux (mai 2013)



Photo 2 : Cordon pierreux (octobre 2013)



Photo 3 : Cordon pierreux (octobre 2015)



Photo 4 : Demi-lune (mai 2013)



Photo 5 : Demi-lune (octobre 2013)



Photo 6 : Demi-lune (octobre 2015)

Au moment de l'installation du dispositif, cinq (5) espèces herbacées (*Shoenefeldia gracilis*, *Cassia tora*, *Zornia glochidiata*, *Panicum laetum*) dont une (1) sous forme de traces étaient présentes sur l'aire d'étude (Tableau 1). Par la suite, le nombre d'espèces herbacées a augmenté d'une année à l'autre (Tableau 1).

Ainsi en année deux, les parcelles avec demi-lunes plus *Balanites* (T4) avaient le nombre d'espèces le plus élevé (5 espèces) et les parcelles avec *Senegalia* et *Balanites* (T7) avaient le plus faible nombre d'espèces (2 espèces). Les autres parcelles avaient entre 3 et 4 espèces. En troisième année, quinze (15) espèces herbacées ont été inventoriées dont onze (11) sous forme de traces. Les parcelles avec demi-lunes plus *Balanites* (T4) qui avaient le nombre d'espèces le plus élevé (10) étaient suivies des parcelles avec cordons pierreux plus *Senegalia* avec 8 espèces et les parcelles témoin (T0), avec 7 espèces (Tableau 1).

Tableau 1 : Effet des dispositifs antiérosifs mécaniques associés ou non à la plantation d'espèces végétales sur l'abondance-dominance et recouvrement des espèces herbacées en 2014 et 2015

Traitements	Sc. Gracilis	P. laetum	C. tora	E. tremula	Z. glochidiata	Digitaria	Eragostic	Allissicarpus	Borreria sp.	Mimosa	Indigofera	Ipomea	Loudetia	Dactylo	P. pedicelatum	Corchorus	Nombre espèces
Année	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	2 3	3
Témoign hors test autour de la parcelle	3	1	1					t									4
T0 (Témoign)	4 4	3 3	1 2	1	3			t		t							4 7
T1 (Cordons plus Senegalia)	3 4	4 3	1 2	2	t 2	t	t	t					t				4 8
T2 (Demi-lune sans plantation)	4 4	3 2	1 1	1	3			t									4 4
T3 (Demi-lune plus Senegalia)	3 3	3 2	1 1		3			t t									4 4
T4 (Demi-lune plus Balanites)	3 3	4 2	1 2	2	t 2	t	t	t t					t	t	t	t	5 10
T5 (Cordons sans plantation)	4 3	5 2	1 4	4	3												3 4
T6 (Cordons plus Balanites)	3 4	5 2	1 1	1	1												3 4
T7 (Senegalia et Balanites)	3 4	5 3	1 1	1	1												2 4
Moyenne	3,4 3,6	3,86 2,62	1,25 1,86	1 1	2												3,63 5,63

NB : Sc. gracilis (Shoenefeldia gracilis) ; P. laetum (Panicum laetum) ; C. tora (Cassia tora) ; E. tremula (Eragrostis tremula) ; Z. glochidiata (Zamia glochidiata) ; t = trace (Digitaria spp.; Eragostic tremula; Alysicarpus spp.; Borreria spp.; Mimosa spp.; Indigofera spp.; Ipomea spp.; Loudetia togoensis; Dactylosperrum spp.; Pennisetum pedicelatum; Corchorus tridens).
 NB : 1 (très rares) = 1-5% ; 2 (rare) = 5-25% ; 3 (abondant) = 25-50% ; 4 (très abondant) = 50-75% ; 5 (extrêmement très abondant) = 75-100% (Braun Blanquet-Josias, 1952).
 La phytosociologie sigmatiste ou de l'école « zuricho-montpelliéraine » a été élaborée par Josias Braun-Blanquet.
 2 = 2014 ; 3 = 2015

Pourcentage de reprise en 2013 et le taux de survie des plants en 2015

Le pourcentage de reprise en octobre 2013 des plants était plus élevé dans les parcelles avec plantation simple de *Senegalia senegal* avec 62,96%, suivi des parcelles de cordons plus *Balanites*, de demi-lune plus *Senegalia senegal*, cordons plus *Senegalia senegal* et enfin des parcelles avec demi-lune plus *Balanites* avec 42,22% (Tableau 2). Entre octobre 2013 et juillet 2014, la saison sèche a été trop rude, tous les plants sont morts. En hivernage 2014 (août 2014), les traitements devant contenir des plants ont été à 100% regarnis, en plus suivi d'un arrosage hebdomadaire pendant la saison sèche. Pendant la dernière évaluation en octobre 2015, le taux de survie des plants observés a été faible (Tableau 2).

Paramètres biophysiques

Le diamètre moyen et la hauteur moyenne les plus élevés étaient le traitement T7 et ceux du T6 étaient les plus faibles (Tableau 2).

Concernant le nombre de rameaux et le houppier moyen, l'analyse statistique n'a montré aucune différence significative (Tableau 2).

Tableau 2 : Effet des dispositifs anti-érosifs mécaniques associés ou non à la plantation d'espèces végétales sur le pourcentage de reprise des plants en 2013 et le taux de survie des plants en 2015

Traitements	Reprise en 2013	Survie en 2015	Diamètre à la base (cm)	Hauteur des plants (cm)	Nombre de rameaux	Houppier moyen
Témoin						
Cordons plus <i>Senegalia senegal</i>	48,82	01,65	0,43ab	25,53b	2,75	16,75
Demi-lune sans plantation						
Demi-lune plus <i>Senegalia senegal</i>	48,88	11,11	0,44ab	23,52b	3,93	17,50
Demi-lune plus <i>Balanites</i>	42,22	11,11	0,33bc	16,95c	4,00	8,00
Cordons sans plantation						
Cordons plus <i>Balanites</i>	53,32	03,70	0,29c	16,78c	1,86	12,89
Plantation simple de <i>Senegalia senegal</i> et de <i>Balanites</i>	62,96	20,07	0,52a	31,29a	4,50	23,25
Moyenne	50,72	9,53	0,40	22,81	3,49	15,70
Probabilité			0,00 (HS)	0,00 (HS)	0,53 (NS)	0,51 (NS)

HS = Hautement significatif ; NS : Non significatif

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes.

Le test de Student-Newman-Keuls au seuil de 5% a été utilisé pour la séparation des moyennes.

Effet du dispositif sur la production de Biomasse herbacée

Durant les trois saisons de pluie, la quantité de biomasse herbacée a varié selon le traitement (Tableau 3).

L'analyse de variance a montré une différence hautement significative (HS: 0,000) entre les traitements pendant les 2 premières années et une différence significative (0,040) a été observée entre les traitements en 3^{ème} année.

En 2013, les traitements demi-lune sans plantation, cordons plus *Senegalia* et cordons sans plantation ont eu le maximum de biomasse herbacée. Le minimum de biomasse a été observé dans les parcelles avec plantation simple de *Senegalia senegal* et de *Balanites* et les parcelles témoin.

En deuxième année (2014), les parcelles avec cordons sans plantation et demi-lune sans plantation ont produit le maximum de biomasse. Le minimum de biomasse a été observé dans les parcelles témoin.

En troisième année (2015), le maximum de biomasse herbacée a été observé dans les parcelles avec cordons sans plantation. Le minimum de biomasse a été observé dans les parcelles avec demi-lune plus *Senegalia senegal*, et avec cordons plus *Balanites*.

On note que la production de biomasse herbacée a augmenté de 2013 à 2015 pour les traitements.

Tableau 3 : Biomasse herbacée en tonne par ha pendant les 3 hivernages successifs (2013, 2014 et 2015)

Traitement	Tonnes/ha en octobre		
	2013	2014	2015
Témoin	0,117(0,054)b	0,126(0,025)e	2,450(1,518)ab
Cordons plus <i>Senegalia senegal</i>	0,936(0,326)a	0,736(0,147)b	2,415(0,874)ab
Demi-lune sans plantation	1,031(0,652)a	0,979(0,121)a	2,43(0,766)ab
Demi-lune plus <i>Senegalia senegal</i>	0,431(0,186)b	0,559(0,120)cd	2,15(0,315)b
Demi-lune plus <i>Balanites</i>	0,231(0,175)b	0,578(0,136)cd	2,46(252)ab
Cordons sans plantation	0,975(0,788)a	1,072(0,175)a	4,30(1,724)a
Cordons plus <i>Balanites</i>	0,512(0,264)ab	0,685(0,124)bc	2,04(1,062)b
Plantation simple de <i>Senegalia senegal</i> et de <i>Balanites</i>	0,384(0,294)b	0,507(0,130)d	2,27(0,717)ab
Moyenne	0,5773(0,515)	0,655(0,123)	2,52(1,187)
Probabilité			
Bloc	0,332 (NS)	0,619 (NS)	NS
Traitement	0,000 (HS)	0,000 (HS)	0,040 (S)
Bloc x Traitement	0,305 (NS)	0,600 (NS)	NS

NS : non significatif ; HS : hautement significatif ; S : significatif

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par le test de Student- Newman-Keuls.

Recouvrement

Le recouvrement le plus élevé a été observé dans les parcelles avec cordons sans plantation. Il est suivi des parcelles avec cordons plus *Senegalia senegal*. Le plus faible recouvrement a été observé dans les parcelles avec demi-lune plus *Senegalia senegal* (Tableau 4).

Tableau 4 : Recouvrement de la végétation %	
Traitement	2015
Témoin	53,75
Cordons plus <i>Senegalia senegal</i>	65,50
Demi-lune sans plantation	60,00
Demi-lune plus <i>Senegalia senegal</i>	46,88
Demi-lune plus <i>Balanites</i>	58,50
Cordons sans plantation	79,44
Cordons plus <i>Balanites</i>	58,13
<i>Senegalia senegal</i>	58,75
<i>Balanites</i>	60,57
Probabilité	0,707

Discussion

L'aménagement permet donc d'améliorer la production de biomasse par rapport aux témoins non aménagés.

Sur les sites aménagés au Burkina Faso, en 4 ans, la biomasse a varié de 420 à 2 090 kg/MS/ha soit en moyenne entre 1 000 et 1 200 kg/ha contre 70 à 110 kg/MS/ha sur les parcelles témoins (CE/CILSS, 2009).

Les travaux de recherche effectués par Kessler *et al.* (1998), Kiema *et al.* (2006) ont montré que les mesures de conservation des eaux et des sols induisent une amélioration significative du couvert végétal.

Dans les régions de Djibo et de Gourcy, la biomasse herbacée sur des sites jadis complètement improductifs varie de 800 à 2000 kg MS/ha pour une pluviométrie comprise entre 300 et 400 mm (Zoubga, 2002).

Conclusion

Au niveau du dispositif anti-érosif, les taux de reprise les plus élevés ont été obtenus avec *Senegalia senegal* (77%) et *Balanites aegyptiaca* (53%) trois (3) mois après plantation en 2013 mais il y a eu de fortes mortalités chez *Senegalia senegal* suite à une invasion de rats en 2014 et de chaleur très forte. Dans les conditions des zones arides et semi-arides, les plants utilisés doivent être bien vigoureux pour prétendre à un résultat. Les cordons pierreux ont donné le meilleur résultat comparativement aux demi-lunes.

Les plants de *Senegalia senegal* plantés seuls ont eu la plus forte croissance en diamètre à la base trois (3) mois après plantation. Ils sont suivis par ceux plantés en association avec les demi-lunes et les cordons pierreux, toujours en 2013.

Le rôle joué par les cordons pierreux et les demi-lunes s'est manifesté à travers la production de la biomasse herbacée. Partout, la production de biomasse est supérieure à 2 tonnes/ha. La parcelle fait l'objet de convoitise par les pasteurs qui y passent la nuit en l'absence des gardiens pour faucher les herbacées.

Comme impact, l'activité a permis de restaurer le sol et la végétation sur un sol induré nu avant notre intervention. La position du site situé sur le tronçon Yélimané - Kirané a permis à un nombre important de personnes de voir le résultat et de promettre de faire la même expérience dans leurs villages. Notre travail a également permis de montrer à la population que la restauration des sols et de la végétation est possible.

Références

- AEDD (Agence de l'Environnement et du Développement Durable), 2012. Stratégie nationale du développement durable, 54p. Mali.
- Belemvire A., Maïga A., Sawadogo H., Savadogo M., Ouedraogo S., 2008. Evaluation des impacts biophysiques et Socio-économiques des investissements dans les actions de gestion des ressources naturelles au Nord du Plateau central du Burkina Faso. Etude Sahel Burkina Faso, Rapport de synthèse, 94p.
- CNRA (Comité National de la Recherche Agricole), 2008. Plan Stratégique Régional de la Recherche Agricole de Kayes, 39p.
- Commission Européenne au Burkina Faso FERSOL, Comité permanent Inter-États de Lutte contre la Sécheresse dans le Sahel (CILSS) PRA SA LCD POP DEV Contrat de subvention-FOOD/2007/144-101, 2009. Récupération des sols fortement dégradés à des fins sylvo-pastorales, Une évaluation quantitative des aménagements mécaniques à partir de la charrue Delfino réalisés par l'ONG REACH au Burkina Faso, 3p.

- Gtz, 1983. Office allemand de la coopération, Rapport sur les études topographiques, Campagnes de 1979 à 1982; février 1983. (Gtz: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit).
- Kessler J.J., Slingerland M. A., Savadogo M., 1998. Regeneration of sylvopastoral lands in the sahel zone under village management conditions. *Land degradation and development* 9: 95-106.
- Kiema A., Nianogo A. J., Savadogo M., 2006. Effets du sous-solage sur la production fourragère des pâturages naturels en région sahélienne du Burkina Faso. *Etudes et Recherches* 11: 25-33.
- PIRT, 1989. Projet Inventaire des Ressources Terrestres au Mali, Zonage agro-écologique du Mali vol. I. II et III Bamako, Gouvernement malien/USAID, TAMS, New York, p.130 + Annexes.
- MEA, 2009b. Outil pour l'analyse des écosystèmes et des techniques GDT au Mali, (Ministère de l'Environnement et de l'Assainissement: MEA) 5p.
- Projet d'appui à la gouvernance du développement et à la gestion des ressources naturelles du cercle de Yélimané, 2009. Monographie de la commune rurale de Guidimé, 115p.
- Projet d'appui à la gouvernance du développement et à la gestion des ressources naturelles du cercle de Yélimané, 2009. Monographie du cercle de Yélimané, 92p.
- Projet d'appui à la gouvernance du développement et à la gestion des ressources naturelles du cercle de Yélimané, 2009: Monographie de la commune rurale de Gory, 92p.
- Projet d'appui à la gouvernance du développement et à la gestion des ressources naturelles du cercle de Yélimané, 2009. Monographie de la commune rurale de Toya, 95p.
- UNCCD, 1994. Texte intégral de la Convention des Nations Unies de Lutte Contre la Désertification. Dernières modifications, 25 mai 2001, 144p.
- Sanon A., 2014. Impacts des cordons pierreux végétalisés sur la végétation et les propriétés physico-chimiques du sol. Mémoire de fin de cycle. Université Polytechnique de Bobo-Dioulasso 79p.
- Zoubga T. S. 2002. Etude de l'impact du travail du sol des charrues Delphino et Tréno sur le sol et la végétation des terres dégradées du Soum (Burkina Faso). Mémoire Inspecteur des Eaux & Forêts, ENEF, 90p.

Effet de la mise en défens sur la dynamique de la végétation en zone saharienne – Résultats préliminaires sur l'état de référence de la mise en défens de Kamaïna (Cercle de Goundam)

Impact of Land Prohibition on the Dynamics of the Vegetation in the Saharan Zone – Preliminary outcome for the Land Prohibition on the state of reference in Kamaïna (cercle of Goundam)

Maïga Abdou Yéhia¹, Sénou Oumar¹, Goïta Oumarou¹, Soumaré Aly², Keïta Kibili Demba³, Timbély Dommo¹

¹Institut d'Économie Rurale IER - BP 258, Bamako, Mali

²Centre Régional de Recherche Agronomique de Gao, IER - BP 117, Gao, Mali

³Étudiant en Master, Institut Supérieur de Formation et de Recherche Appliquée (ISFRA) - BP E 475, Bamako, Mali

*Auteur pour la correspondance : oumarsenou2@yahoo.fr

Résumé

L'ensablement des chenaux d'alimentation en eau du système Faguibine ne permet plus un remplissage normal des différents lacs. Cet ensablement est la conséquence de la dégradation généralisée des couverts végétaux de la zone suite à une synergie des aléas climatiques et des actions de l'homme.

La présente étude vise à faire l'état de lieu de la végétation de Kamaïna dans la perspective de son suivi après la mise en défens. Les résultats attendus de cette étude sont la restauration de la couverture végétale ligneuse et l'amélioration du recouvrement des herbacées dans le but d'une bonne fixation du sol et de protéger ainsi les chenaux de l'ensablement. Ainsi, il a été réalisé des relevés phytoécologiques dans la végétation de la zone mise en défens selon la méthode du Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive de Montpellier adaptée par Pierre Hiernaux aux formations végétales sahéliennes. Les résultats ont montré une faible densité des peuplements ligneux, une faible richesse spécifique et un recouvrement lâche du tapis herbacé.

Mots-clés : chenaux d'alimentation, dégradation, recouvrement, Mali.

Abstract

The silting up of water supply channels of the Faguibine system do not allows for a normal filling of the various lakes. It is the consequence of a widespread degradation of the vegetation cover of the area due to a synergy between hazards and human action.

This study aims to assess the vegetation of Kamaïna with a view to monitoring it after grazing prohibition. The expected outcomes are a restoration of the wood cover and a recovery of the grass cover to strongly fix the soil and protect channels from silting. The study used is the method of the Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive of Montpellier adapted by Pierre Hiernaux to Sahelian plant formations. The results showed a low density of wood populations, a low specific richness and a loose grass cover.

Keys words: (water) supply channels, degradation, recovery, Mali.

Introduction

Le système Faguibine est situé à 16°45' de latitude nord et à 4° de longitude ouest à quelques 80 km à l'ouest de Tombouctou. Il est un complexe de 5 cuvettes (lacs) et de canaux qui forment les plaines inondables les plus septentrionales du Delta Intérieur du Fleuve. Il prend sa source sur le fleuve Niger auprès du village de Sadjilambo ou Farabango et se termine à Ras el ma (la tête de l'eau littéralement) qui est la pointe du lac Faguibine.

Depuis quelques décennies, le système Faguibine est confronté à des difficultés de remplissage des lacs (ACC, 2010). Seul le lac Télé reçoit régulièrement de modestes quantités d'eau. Quant au Kamango et au Gouber, ils sont devenus des lacs morts, complètement asséchés (ACC, 2011). Le principal facteur explicatif de ce dysfonctionnement est l'ensablement des chenaux d'alimentation et des fonds des lacs. En effet, quelle que soit la péjoration du climat, toutes les études ont montré que le fond des lacs est situé de 5 à 10 mètres plus bas que l'étiage du Niger. Pour assurer un écoulement normal des eaux vers les lacs, l'étude la plus récente a estimé à 1,5 million de m³ le volume de sable à déblayer de façon prioritaire, principalement au niveau des différents seuils d'ensablement dont Kamaïna suite à la dégradation du couvert végétal (PNUE, 2009). Ce manque de remplissage a eu comme conséquences, la réduction des superficies cultivables, la disparition des pêcheries et des pâturages, la fragilisation des conditions d'existence des populations ainsi que l'exode vers des zones plus clémentes.

Matériel et méthodes

Matériel

Présentation de la zone de l'étude

Située entre 3°43' et 3°47' de la longitude ouest et entre 16°39' et 16°45' de la latitude nord, la commune rurale de Bintagoungou, où se trouve Kamaïna, couvre une superficie estimée à 92 km². Le climat de type sahélien est caractérisé par des écarts de température très importants entre 06 heures et 18 heures, et dispose de deux saisons dont, une sèche allant de septembre à juin et une pluvieuse allant de juillet à août. La commune est servie par le lac Faguibine, son hydrographie est composée des eaux de surface et souterraines. Les eaux de surface sont constituées d'eaux de mares et celles des lacs. Les eaux souterraines sont celles des nappes phréatiques. La commune compte 9637 habitants répartis dans 08 villages. Sa population est composée de sonrhaïs

comme agriculteurs, les tamasheqs éleveurs, et quelques bozos qui vivaient surtout des produits de la pêche (Anonyme, 2006). Ces différentes couches ont toujours su vivre en parfaite symbiose.

Matériel technique

Le matériel technique comprenait :

- un GPS,
- un appareil photo numérique,
- un ruban de 100 m,
- des boîtes de peintures rouge et blanche pour le marquage des transects, un carré métallique de 1 m².

Méthodes

Le site a fait l'objet d'une délimitation par bornage sur 50 hectares précédée par un marquage à la peinture (Photo 1) suivie d'un inventaire initial de la végétation. Un



Photo 1 : Matérialisation du site de Kamaïna

panneau de signalisation du site a été installé. La méthode du Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive a été utilisée pour l'étude de la végétation. Les mesures ont été effectuées sur 1 km avec des parcelles de relevé de 0,5 ha espacées de 100 m pour la végétation ligneuse et des parcelles de relevé de 1 m² espacées de 50 m pour les herbacées. Compte tenu de la superficie de l'aire de la mise en défens, deux transects parallèles, distants de 100 m ont été suivis pour les relevés.

Les paramètres mesurés pour les ligneux ont été la hauteur, la circonférence, l'abondance-dominance, la fréquence et le recouvrement.

Pour les herbacées, ont été mesurés la composition floristique, la contribution spécifique, l'abondance-dominance et le recouvrement.

Résultats

Les résultats portent sur l'état de référence de la végétation de l'espace mis en défens.

Effectifs de pieds des espèces ligneuses dans la mise en défens

Le tableau 1 donne le nombre de pieds par espèce ligneuse.

Espèces	Nombre de pieds
<i>Acacia raddiana</i>	182
<i>Balanites aegyptiaca</i>	267
<i>Leptadenia pyrotechnica</i>	105
<i>Salvadora persica</i>	2
<i>Maerua crassifolia</i>	27
Total	583

Comme on peut le constater, *Balanites aegyptiaca* a le plus grand effectif (267 pieds) suivi par *Acacia raddiana* (182 pieds). Viennent ensuite respectivement *Leptadenia pyrotechnica* avec 105 pieds, *Maerua crassifolia* avec 27 pieds et *Salvadora persica* avec seulement 2 pieds. Ramené à l'hectare, on a une densité de 11,65 arbres. Ces espèces rencontrées sont caractéristiques du Sahel (Von Maydell, 1983 ; Jaouen, 1988, <http://www.fao.org/3/i1488f/i1488f10.pdf>).

Le tableau 2 donne la structure du peuplement par forme biologique par espèce.

Espèces	Arbres	Arbustes	Arbrisseaux	Souches
<i>Acacia raddiana</i>	49	65	68	0
<i>Balanites aegyptiaca</i>	1	134	59	73
<i>Leptadenia pyrotechnica</i>		105		0
<i>Salvadora persica</i>		2		0
<i>Maerua crassifolia</i>		22	5	
Total	50	328	132	73

Le plus grand nombre d'arbres est rencontré dans le peuplement de *A. raddiana* (49). Au niveau des arbustes, *B. aegyptiaca* vient en première position avec 134 sujets. Il est suivi de *L. pyrotechnica* avec 105 individus, de *A. raddiana* avec 65 individus, de *M. crassifolia* avec 22 sujets, et de *S. persica* venant en dernière position avec seulement 2 individus. En ce qui concerne les arbrisseaux, *A. raddiana* occupe la première place avec 68 sujets. Il est suivi de *B. aegyptiaca* avec 59 sujets et de *M. crassifolia* avec seulement 5 individus. Seul *B. aegyptiaca* présente des souches visibles sur le terrain.

Nombre d'espèces herbacées et fréquence

Il a été recensé 22 espèces herbacées dans la strate herbacée de la zone de mise en défens de Kamaïna. Le tableau 3 donne les différentes espèces rencontrées et leur fréquence dans les relevés. *Cenchrus biflorus* de la famille des *Poaceae* est l'espèce la plus représentée dans 70 % des relevés. Elle est suivie par *Borreria radiata* de la famille des *Rubiaceae* (60 % des relevés), *Aristida mutabilis* de la famille des *Poaceae* et *Gisekia pharnacinoides* de la famille des *Molluginaceae* (50 % des relevés). Viennent ensuite *Eragrostis tremula* de la famille des *Poaceae*, *Mollugo cerviana* de la famille des *Molluginaceae*, *Indigofera prioureana* de la famille des *Fabaceae* et *Chrosophora bracchiana* de la famille des *Euphorbiaceae* avec une fréquence de 30 % dans les relevés. *Aerva javanica* de la famille des *Amaranthaceae* est rencontrée dans 20 % des relevés. Toutes les autres espèces ne sont représentées que dans seulement 1 % des relevés (Tableau 3).

Tableau 3 : Fréquence relative et familles des espèces herbacées rencontrées dans la mise en défens

N°	Espèces	Fréquence en %	Familles
01	<i>Tragus racemosus</i>	10	Poaceae
02	<i>Eragrostis tremula</i>	30	Poaceae
03	<i>Dactyloctenium aegyptium</i>	10	Poaceae
04	<i>Tribulis terrestris</i>	10	Fabaceae
05	<i>Chloris pilosa</i>	10	Poaceae
06	<i>Gisekia pharnacinoides</i>	50	Molluginaceae
07	<i>Eragrostis sp.</i>	10	Poaceae
08	<i>Mollugo cerviana</i>	30	Molluginaceae
09	<i>Panicum turgidum</i>	10	Poaceae
10	<i>Cenchrus biflorus</i>	70	Poaceae
11	<i>Euphorbia convolvuloides</i>	10	Euphorbiaceae
12	<i>Borreria radiata</i>	60	Rubiaceae
13	<i>Aristida mutabilis</i>	50	Poaceae
14	<i>Tragus berterorianus</i>	10	Poaceae
15	<i>Heliotropium sp.</i>	10	Turneraceae
16	<i>Indigofera priureana</i>	30	Fabaceae
17	<i>Mollugo nudicaulis</i>	10	Molluginaceae
18	<i>Trianthema pentandra</i>	10	Poaceae
19	<i>Aristida sieberiana</i>	10	Poaceae
20	<i>Digitaria longiflora</i>	10	Poaceae
21	<i>Digitaria ciliaris</i>	10	Poaceae
22	<i>Chrosophora bracchiana</i>	30	Euphorbiaceae
23	<i>Aerva javanica</i>	20	Amaranthaceae

Les 23 espèces se répartissent entre 7 familles (Tableau 4). La famille des *Poaceae* est la plus représentée avec 14 espèces. Suivent les familles des *Molluginaceae* avec 3 espèces, la famille des *Fabaceae* avec 2 espèces et les familles des *Rubiaceae*, *Euphorbiaceae*, *Turneraceae* et *Amaranthaceae* avec une espèce chacune.

Tableau 4 : Les différentes familles représentées

N°	Familles	Espèces
01	<i>Rubiaceae</i>	1
02	<i>Euphorbiaceae</i>	1
03	<i>Turneraceae</i>	1
04	<i>Amaranthaceae</i>	1
05	<i>Fabaceae</i>	2
06	<i>Molluginaceae</i>	3
07	<i>Poaceae</i>	14

Conclusion

L'étude de l'état de référence de la végétation de Kamaïna a montré une faible densité des espèces ligneuses. La composition spécifique est aussi très pauvre. L'effet du surpâturage se manifeste à travers le caractère arbustif de la végétation ligneuse.

La végétation herbacée est composée de 23 espèces et est dominée par les *Poaceae*. Seulement 7 familles se partagent les espèces herbacées de la zone.

Références

- ACC, 2010. Programme d'appui – Recherche/Développement. Adaptation de l'Agriculture et l'Elevage au Changement Climatique au Mali, 76p.
- ACC, 2011. Diagnostic de base de la zone du système Faguibine dans le cercle de Goundam. <https://www.google.com/search?q=ACC,+2011+:+Diagnostic+de+base>.
- FAO, 2010. Annexes 1. Quelques espèces ligneuses et herbacées utilisées pour la fixation des dunes. In Lutte contre l'ensablement. L'exemple de la Mauritanie. Etude FAO: Forêt 158, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome 2010, 59 p. <http://www.fao.org/3/i1488f/i1488f10.pdf>.

- Jaouen X., 1988. Arbres, arbustes et buissons de Mauritanie. Centre culturel français, Nouakchott, Mauritanie, 113p.
- PNUE, 2009. Gestion des écosystèmes du Faguibine (Mali) pour le bien-être humain : adaptation aux changements climatiques et apaisement des Conflits. Version 5 Avril 2009, 42p.
- PSA. Bintagoungou, 2006. Plan de sécurité alimentaire commune rurale de Bintagoungou, 15p.
- Von Maydell H. J., 1983. Arbres et arbustes du sahel : leurs caractéristiques et leurs utilisations, 531p. ISBN: 3-88085-195-6.

Comportement de quatre variétés de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) dans les conditions agro-climatiques du cercle de Yélimané en zone sahélienne dans la région de Kayes au Mali

Behavior of four varieties of date palm (Phoenix dactylifera L) in the agro-climatic conditions of the cercle of Yélimané in sahelian zone in the region of Kayes in Mali

Maïga Abba Sékou¹, Timbély Dommo², Maïga Abdou Yéhia², Sénou Oumar³, Keïta Moussa⁴, Coulibaly Dounanké⁵, Yossi Harouna³, Maïga Mahamane Halidou⁶

¹Centre Régional de Recherche Agronomique (CRRRA) de GAO - BP 117, Gao, Mali

²Institut d'Économie Rurale (IER) - BP 258, Bamako, Mali

³Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba - BP 262, Bamako, Mali

⁴Centre Régional de Recherche Agronomique de Mopti - BP 205, Mali

⁵Centre Régional de Recherche Agronomique de Kayes - BP 28, Mali

⁶Institut Supérieur de Formation et de Recherche Appliquée (ISFRA) BP E 475, Bamako, Mali

*Auteur pour la correspondance : abbaskoumaiga@yahoo.fr

Résumé

Le fruit du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) constitue la principale source alimentaire des populations nomades dans les régions Nord du Mali. Les conséquences néfastes de la variabilité climatique dans la région de Kayes ont entraîné un repli des agriculteurs dans les bas-fonds et la vallée des cours d'eau où diverses espèces sont cultivées avec des productions souvent très faibles. Le palmier-dattier cultivé dans les régions à climat chaud et sec est caractéristique du paysage végétal sahélien.

La présente étude a pour objectif d'évaluer le comportement de quatre (04) variétés de palmier dattier introduites dans la zone de décrue à Fougou (cercle de Yélimané).

Le matériel végétal est constitué des variétés de palmier (Saggai, Shishi, Barhee et Zambli) et deux pieds mâles Fard.

La méthodologie adoptée a consisté à déterminer les paramètres physiologiques des plants de palmier dattier, notamment la taille, la circonférence à la base et le nombre de palmes des plants.

Les résultats ont montré que la variété Saggai a le plus fort taux de mortalité, 56%, suivie par la variété Shishi avec un taux de mortalité de 6%.

De même, on a observé que les paramètres physiologiques des variétés Zambli et Barhee sont meilleurs à ceux des variétés Shishi et Saggai.

De bons résultats tant au niveau de la survie que des paramètres végétatifs ont été observés au niveau des plants mâles.

Mots-clés: comportement des plants, Kayes, palmier dattier, variation climatique.

Abstract

The fruits of date palm trees (Phoenix dactylifera L.) are the main source of food for nomad populations in the Northern regions of Mali. The negative effects of climate variability in the region of Kayes have caused farmers to fall back on lowlands and river valleys, where diverse species are grown often with very low yields. Date palm growing in hot and dry climate regions is typical of the Sahelian landscape.

The present study entitled “Behavior of Four Varieties of Date Palm (Phoenix dactylifera L.) in the Agro-climatic Conditions of the cercle of Yélimané in the Sahelian Zone, region of Kayes, Mali” aimed to assess the behavior of the date palm varieties introduced in Fougou (cercle of Yélimané).

The plant material was made up of four palm varieties (Saggai, Shishi, Barhee and Zambli) and two male plants (Fard).

The method adopted for the study consisted in determining the physiologic parameters of date palm plants, including the height, the circumference at the basis and the number of palms per plant.

The results show that the Saggai variety has the highest mortality rate (56%) followed by the Shishi variety with only 6%.

We also found that the physiologic parameters of the Zambli and Barhee varieties were better than those of the varieties Shishi and Saggai.

Male plants also showed a good performance in term of survival rate as well as vegetative parameters.

Key words: plant behavior, Kayes, date palm, climatic variation.

Introduction

La culture du palmier dattier est une vieille tradition pour les régions du Nord Mali. Historiquement, l'Adrar des Ifoghas est la zone où le palmier est le plus anciennement cultivé au Mali.

Dans le cadre du Changement Climatique, les études prospectives réalisées en 2010 dans certains villages (Gossi, Hombori, Kobokiré, Drawal, Ebanguemalangué, Imbossotane et Gao) ont permis de conclure que les activités d'inventaire, de caractérisation effectuées en 2001 ont recensé 3 139 pieds dans les différentes zones. La production annuelle moyenne est d'environ 39 tonnes pour 1 311 pieds productifs. La zone de Hombori possède les meilleures conditions pedo-climatiques pour le développement de la phœniciculture. Les sites prospectés renferment une grande diversité génétique. Environ une centaine de cultivars a été identifiée dans les régions prospectées (Maïga, 2010).

Les conditions édapho-climatiques favorables à la culture existent dans les régions de Kayes, Kidal, les zones de Hombori et la boucle du Niger. De nos jours, au Mali les tentatives de culture du dattier les plus importantes sont les plantations de Kidal, de Hombori (Mopti), d'Indélimane, de Goléa et de Diéfilani dans la région de Gao et de Trougounbé à Nioro dans la région de Kayes (Togo, 2000). Le dattier serait une solution d'atténuation ou d'adaptation des maraîchers de Yélimané aux effets néfastes des variations climatiques. C'est dans cette optique et dans le cadre du Projet Adaptation de l'Agriculture au changement climatique que l'on a jugé nécessaire d'évaluer le comportement des variétés de palmiers dattiers introduites à différents stades végétatifs dans les conditions agro-climatiques de Yélimané dans la région de Kayes en zone sahélienne au Mali.

Matériel et méthodes

Matériel

Site d'implantation

L'essai a été installé dans le Village de Fougou situé à 135 km de la ville de Kayes.

Les travaux ont été réalisés dans un jardin où le palmier dattier est cultivé en association avec des cultures maraîchères (Photo 1).



Photo 1 : Un pied de palmier dattier dans le jardin maraîcher de Fougou

Des analyses préalables ont été réalisées avant l'implantation de l'essai. Elles ont porté sur les paramètres climatiques de la zone et les propriétés physico-chimiques des sols.

Caractérisation des paramètres climatiques du milieu: elle a porté sur les caractéristiques et l'évolution de la pluviosité, des températures, de la vitesse du vent, de l'évapotranspiration et de l'humidité relative de l'air.

Détermination des propriétés physico-chimiques des sols

Une fosse pédologique a été creusée dans la parcelle à une profondeur de 1 m (Photo 2). Une description du profil a été faite afin de mettre en évidence les caractéristiques des diverses couches constituant le sol et d'évaluer leur différenciation.



Photo 2: Fosse pédologique dans le jardin maraîcher de Fougou

Prélèvements de sol

Les prélèvements de sol ont été effectués sur trois points du site suivant la diagonale en vue de caractériser les types de sols dans les horizons 0-10 cm ; 10-20 cm ; +20 cm du sol.

Ces échantillons ont été analysés au Laboratoire Sol, Eau, Plantes du Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba pour déterminer quelques caractéristiques physiques et chimiques du sol.

Les paramètres mesurés ont porté sur la granulométrie (le sable % > 0,05 mm, le limon fin % 0,05-0,002 mm et l'argile % < 0,002 mm), le pH (eau), le pH (K Cl), la conductivité spécifique meq./100 g, la matière organique % C, l'azote total % N, le phosphore assimilable ppm P, le phosphore total ppm P, les points de fleurissement

PF 2,5, PF 3,0, PF 4,2, le CEC acétate d'ammon.meq/100 g, les bases échangeables Ca, Mg, K, Na, le Potassium assimilable mg/100 g K, le Fer en ppm et le Zinc en ppm.

Matériel végétal

Il est constitué de vitro plants de palmier dattier de quatre (4) variétés (Saggai, Shishi, Barhee et Zambli) et deux pieds mâles Fard.

Méthodes

Le dispositif en blocs complets randomisés a été utilisé, conçu avec les quatre variétés (Saggai, Shishi, Barhee et Zambli) de palmier dattier. Comme l'illustre la figure 1, le nombre de répétitions a été de 3 et les variétés représentent les traitements. Chaque traitement est représenté par une ligne de 6 plants d'une variété de palmier dattier. Deux plants mâles ont été plantés dans le dispositif. La superficie d'un bloc est de 50 m x 50 m = 2500 m². La superficie de la parcelle d'essai a été de 7500 m² (2500 m² x 3). L'écartement entre les plants a été de 10 m x 10 m.

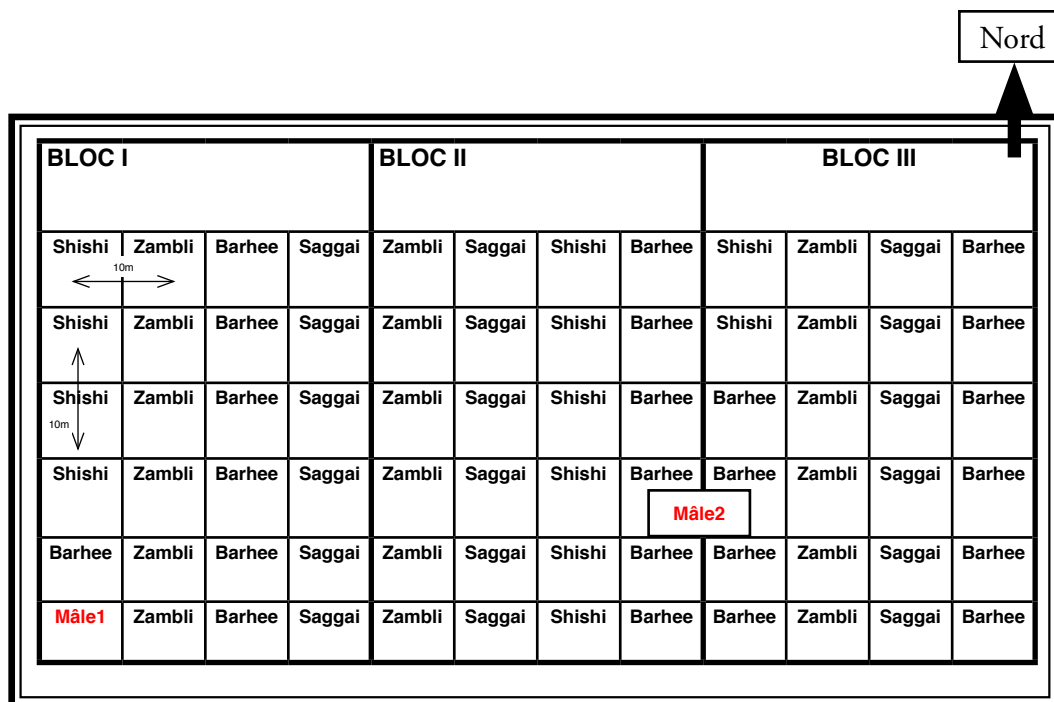


Figure 1 : Plan de masse de l'essai

Les paramètres à observer ont été la hauteur et le diamètre du collet par plant/variété; le nombre de palmes par plant/variété; le nombre de rejets par plant/variété; le nombre de palmes attaquées par plant/variété; le nombre d'inflorescences par plant/variété.

Résultats

Caractéristiques climatiques

La pluviosité a connu des variations au cours des années 1950 à 2015 avec une tendance régressive de 965,4 mm/an en 1952 à 436,9 mm/an en 2014.

Les températures ont également varié mais avec une tendance croissante et des maximales de 40°C en 1952 et 44°C en 2013, des minimales de 27°C en 1952 et 29°C en 2012.

Caractéristiques du sol

Les résultats des analyses des échantillons ont montré que le sol de la parcelle est sablo-limoneux. Le pH se situe entre 6,8 et 7,9. Le sol est pauvre en matière organique (de 0,06 à 0,53%) et en azote (de 0,01 à 0,03 %) et la CEC varie de 4,27 à 9,87 méq./100 g.

Évolution des paramètres biophysiques des plants des variétés de palmier dattier

Taux de reprise et taux de survie des variétés de palmier dattier

L'essai a été installé en mai 2013 et les taux de reprise ou pourcentages de reprise des variétés ont été évalués trois mois après plantation (mai, juillet et août 2013) et les taux de survie durant les trois années après plantation (2013, 2014 et 2015). Les résultats obtenus sont mentionnés dans le tableau 1.

Tableau 1 : Taux de reprise trois mois après plantation et taux de survie des variétés de palmier dattier trois ans après plantation

Variétés	Pourcentage de reprise			Taux de survie (%)		
	Mai 2013 - Juin 2013	Juillet 2013	Août 2013	Décembre 2013	Décembre 2014	Novembre 2015
Shishi	100	100	100	100	100	94
Zambli	100	100	100	100	100	100
Barhee	100	100	100	100	100	100
Saggai	100	100	100	88	44	44

Les plants de toutes les variétés de palmier dattier introduits dans le jardin de Fougou ont repris durant les trois premiers mois après la plantation. Pendant cette période, aucune mortalité n'a été observée. Concernant la survie des plants, nous constatons des mortalités au niveau de la variété Saggai. Cette mortalité de plants de Saggai au cours des trois années d'observation était de 12 % en 2013, 56 % en 2014 et en 2015. On note aussi une faible mortalité au niveau de la variété Shishi en 2015 (6%). Malgré ces cas de mortalités, les variétés de palmier dattier introduites ont résisté aux conditions agro-climatiques de Yelimané (températures maximales 35 à 43°C et températures minimales variant de 15 à 20°C).

Évolution de la circonférence à la base du collet des plants

L'apparition du tronc est très lente chez le palmier dattier ; elle peut durer jusqu'à 6 ou 7 ans après plantation selon les localités et les variétés. Pour estimer la croissance en largeur du jeune plant on mesure la circonférence à la base du collet. Les résultats de l'évolution de cette circonférence sont consignés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Évolution de la circonférence à la base des plants des variétés de palmier dattier trois ans après la plantation (cm)

Variétés	Années	2013	2014	2015
Barhee		3,43b	10,82b	18,41a
Saggai		3,02b	8,11b	8,95b
Shishi		3,36b	10,03b	17,17a
Zambli		4,58a	12,12a	20,4a
Probabilité		<0,001	<0,001	0,001
Signification		HS	HS	S
CV (%)		18,4	37,4	54,8

CV : coefficient de variation ; S : significatif ; HS : hautement significatif
Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% suivant le test Newman-Keuls

L'analyse de la variance a montré qu'il y a une différence hautement significative entre la croissance de la circonférence à la base du collet des plants des variétés de palmier dattier en 2013, hautement significative en 2014 et significative en 2015.

En 2013, les circonférences moyennes enregistrées ont varié de 3,02 cm à 4,58 cm et c'est la variété Zambli qui a obtenu la plus grande circonférence à la base du collet

(4,58 cm) tandis que la plus petite circonférence à la base du collet a été observée chez la variété Saggai (3,02 cm). Les valeurs observées en 2014 ont varié de 12,12 cm à 8,11 cm et c'est la même tendance qu'en 2013 car c'est la variété Zambli qui a obtenu la plus grande circonférence à la base du collet (12,12 cm) et la variété Saggai, la faible circonférence (8,11 cm). En 2015, les valeurs ont augmenté et ont varié entre 20,4 cm et 8,95 cm et ont suivi la tendance des années 2013 et 2014 avec la variété Zambli qui se positionne au premier rang (20,4 cm) et Saggai au dernier rang (8,95 cm).

Évolution du nombre de palmes des plants

Les palmes sortent du cœur et constituent les feuilles et jouent à cet effet un rôle important dans la photosynthèse et la croissance du palmier dattier. L'émergence des palmes peut varier de 15 à 20 par plant et par an selon les cultivars. Le tableau 3 montre l'évolution du nombre moyen de palmes par plant des variétés de palmier dattier introduites au cours des trois années d'observations.

Tableau 3 : Évolution du nombre moyen de palmes des plants des variétés de palmier dattier trois ans après la plantation

Variétés	Années	2013	2014	2015
Barhee		9ab	20a	44b
Saggai		9ab	16b	17c
Shishi		8c	20a	42b
Zambli		10a	22a	51a
Probabilité		0,005	0,001	0,001
Signification		S	HS	HS
CV (%)		15,7	36,9	36,4

CV : coefficient de variation ; S : significatif ; HS : hautement significatif

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% suivant le test Newman-Keuls

L'analyse de la variance a permis de mettre en évidence une différence significative à hautement significative entre le nombre de palmes des plants des variétés de palmier dattier introduites de 2013 à 2015.

En 2013, le nombre moyen de palmes a varié de 8 à 10. La valeur la plus petite a été observée chez la variété Shishi (08) et le plus grand nombre (10) a été observé chez la

variété Zambli. Les valeurs observées en 2014 ont montré que la variété Zambli a eu le plus grand nombre de palmes (22) contre 16 pour la variété Saggai qui a eu le plus petit nombre de palmes. La même tendance a été observée en 2015 car c'est la variété Zambli qui a eu le plus grand nombre de palmes (51) et Saggai le plus petit nombre (17).

Évolution de la hauteur des plants

Le palmier dattier est une monocotylédone arborescente. Il ne possède pas de branche et les palmes apparues ne sont pas pérennes. Les vieilles se dessèchent et tombent. Donc, elles peuvent servir de paramètres de mesure de la hauteur des plants. Ainsi, la croissance en hauteur du palmier dattier se mesure par le niveau du cœur.

Les résultats de l'évolution de la hauteur des plants au cours des trois années de notre étude sont donnés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Évolution de la hauteur des plants des variétés de palmier dattier (cm) trois ans après plantation

Variétés	Années	2013	2014	2015
Barhee		31,09	53,27a	94,65a
Saggai		30,84	39,93b	35,91c
Shishi		28,90	48,26a	79,20b
Zambli		30,47	52,69a	97,92a
Probabilité		0,005	< 0,001	< 0,001
Signification		NS	HS	HS
CV (%)		9,3	32	34,8

CV : coefficient de variation ; HS : hautement significatif ; NS : non significatif

Les moyennes suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% suivant le test Newman-Keuls

L'analyse des résultats du tableau 4 a permis de mettre en évidence une différence hautement significative entre les variétés.

En 2013, les valeurs moyennes de la hauteur observées ont varié de 28,90 cm à 31,09 cm. La variété Barhee a eu la plus grande taille (31,09 cm) ; en revanche, les plus faibles valeurs ont été observées chez la variété Shishi (28,9 cm).

En 2014, elles ont varié de 53,27cm à 39,93 cm et c'est la variété Barhee qui a eu la plus grande taille (53,27 cm) mais les plus faibles valeurs ont été observées chez la variété Saggai (39,93 cm).

En 2015, les valeurs observées ont montré que la variété Zambli a eu la plus grande taille avec 97,92 cm contre 94,65 cm pour la variété Barhee ; la plus faible taille a été observée chez la variété Saggai (35,91 cm).

Les deux pieds mâles ont également évolué différemment et le tableau 5 illustre cette tendance.

Les deux pieds mâles introduits se sont adaptés aux conditions du jardin maraîcher. Ils sont aussi prometteurs pour l'obtention de meilleures productions du palmier dattier à Yélimané (Tableau 5).

Tableau 5: Évolution de la circonférence au collet, du nombre moyen de palmes et de la hauteur moyenne des plants mâles du palmier dattier trois ans après la plantation (cm)

Années	2013	2014	2015	2013	2014	2015	2013	2014	2015
	Circonférence au collet (cm)			Nombre moyen de palmes			Hauteur moyenne (cm)		
Mâle 2	4	9,92	18	10	24	44	28,00	51,75	81,67
Mâle 1	2,4	8,07	17,33	9	18	32	20,00	38,37	59,33

Discussion

Les textures sableuses ou sablo-limoneuses (sols légers) observées dans la parcelle sont favorables à la culture du palmier dattier et le sol du jardin de Fougou se rapproche de ceux des pays considérés comme grands producteurs de datte (Algérie, Maroc et Tunisie). Cela confirme les résultats de plusieurs auteurs qui ont travaillé sur le palmier dattier. Munier (1973) a indiqué que dans l'Oued Rhir (sud algérien), les sols légers à forte proportion de sable fin sont considérés meilleurs. Selon Peyron (2000), le comportement du palmier dattier diffère selon le type de sol sur lequel il est planté; il manifeste nettement sa préférence pour les sols légers.

Les plus belles palmeraies se trouvent sur de profonds limons sableux (Toutain, 1967).

Le pH observé dans les trois parcelles a varié entre 6,8 et 7,9. Cela montre que ces sols sont favorables à l'agriculture car Aho et Kossou (1997) indiquent que les bonnes terres agricoles doivent avoir un pH voisin de la neutralité et la nitrification demande un pH compris entre 6,9 et 8.

La survie de ces plants de palmier dattier dans le jardin de Fougou pendant les périodes chaudes de l'année montre qu'ils peuvent être le pivot de l'agriculture dans la zone de Yélimané. Ces constats confirment les résultats de ELHoumaizi (2002) qui ont montré la remarquable adaptation du palmier dattier aux conditions climatiques sévères qui fait de lui une composante essentielle de l'écosystème oasien.

L'évolution rapide des plants de dattier en 2014 se rapproche de la physiologie normale du palmier dattier car selon Bouguedoura (1979) le dattier commence sa croissance vers la deuxième année de plantation avec l'apparition de nouvelles palmes.

Conclusion

Cette étude a permis de savoir que les conditions climatiques de Yélimané ne gênent pas le développement des quatre variétés étrangères de palmier dattier (Zambli, Saggai, Shishi et Barhee) introduites dans la zone.

La nature sablo-limoneuse des sols de la parcelle maraîchère de Fougou sont favorables à la culture du palmier dattier. Son pH voisin de la neutralité le rend propice à l'agriculture de façon générale.

La croissance en hauteur et en diamètre et surtout l'augmentation du nombre de palmes des plants de palmier dattier dans la zone de Yélimané indiquent que cette zone se prête à la culture du palmier dattier et constituent des indicateurs prometteurs pour une bonne production de datte dans le cercle.

Références

- Aho N. et Kossou D.K., 1997. Précis d'Agriculture Tropicale. Bases et éléments d'application. Ed. Flamboyant. Cotonou, Bénin, 464 p.
- Bouguedoura N., 1979. Contribution à la connaissance du palmier dattier *Phoenix dactylifera* L.: étude des productions axillaires, Thèse de Doctorat Troisième Cycle en Science Biologique, USTHB, Laboratoire de Physiologie Végétale de l'Université de Montpellier II, France et USTHB d'Alger, 64 p.

- ELHoumaizi M.A., 2002. Modélisation de l'architecture du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) et application à la simulation du bilan radiatif en oasis. Thèse de fin d'étude du Troisième Cycle, Université Cadi-Ayyad, Marrakech au Maroc, 160 p.
- Maïga A.S., 2010. Synthèse des résultats de travaux de recherche sur le palmier dattier au Mali. In Biotechnologie du palmier dattier. Collection Colloques et Séminaires Paris, 2010. Actes du 3^e Séminaire du Réseau AUF-BIOVEG « Biotechnologies du palmier dattier », Montpellier, France, 18-20 novembre 2008. IRD Éditions Institut de recherche pour le développement. Éditrice scientifique Frédérique Aberlenc-Bertossi, p. 33-44, IRD.
- Munier P., 1973. Le palmier dattier. Maisonneuve & Larose, Paris. 25-28-31-32-40-48-141-142-221-367 p.
- Peyron G., 2000. Cultiver le palmier dattier, G.R.I.D.A.O, Montpellier, p. 109-129.
- Togo I., 2000. Amélioration des techniques culturales du palmier dattier. Rapport de campagne 1999-2000. Mali, IER, 47 p.
- Toutain G., 1967. Le Palmier dattier. Culture et production. Al Awamia Rabat 25: 83-151.

CHAPITRE 8 :

Le dromadaire au Mali : amélioration des connaissances

Diagnostic du système d'élevage du dromadaire dans la région de Kidal au Nord-est du Mali

Diagnosis of the Dromedary Farming System in the Region of Kidal in North-eastern Mali

Ouologuem Bara¹, Mohomoudou Moussa¹, N'Diaye Mohamed², Baradji Issa¹, Sissoko Penda³, Boré Fanta Guindo⁴, Nialibouly Ousmane⁵, Coulibaly Lassine¹, Kouriba Aly⁶, Soumaré Aly⁷

¹Institut d'Économie Rurale, Programme Bovin/Camelin, Sotuba - BP 262, Bamako, Mali

²Institut d'Économie Rurale, Direction Scientifique - BP 258, Bamako, Mali

³Institut d'Économie Rurale, Équipe Système de Production et Gestion des Ressources Naturelles, Sotuba, Bamako

⁴Institut d'Économie Rurale, Laboratoire de Technologie Alimentaire, Sotuba - BP 262, Bamako, Mali

⁵Institut d'Économie Rurale, Station de Recherche Agronomique de Niono - BP 238, Ségou, Mali

⁶Comité National de la Recherche Agricole - BP E 1911, Bamako, Mali

⁷Institut d'Économie Rurale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Mopti - BP 205, Mali

*Auteur pour la correspondance : ouologuembara@yahoo.fr

Résumé

En 2012, la région de Kidal détenait 52,9 % du cheptel de dromadaires du pays. Malgré son importance numérique et socio-économique, peu de données sont disponibles sur cet élevage. Pour combler cette lacune une enquête a été menée en 2011 sur un échantillon de 194 exploitations. Au total, 74,3 % des interviewés (chef de ménage ou personne la plus impliquée dans l'élevage), ne font que l'élevage comme activité; les autres le combinent avec d'autres activités telles que le commerce. Le dromadaire est la seule espèce élevée par 55,8 % des éleveurs, tandis que 29,5 % détenaient des dromadaires, des ovins et des caprins. Différents types de dromadaires sont élevés dans la zone. Quatre classes de troupeaux ont été identifiées : 1) petits troupeaux, jusqu'à 50 dromadaires; 2) troupeaux moyens de 50 à 100 têtes; 3) grands troupeaux de 100 à 150 têtes et 4) très grands troupeaux >150 têtes. La taille moyenne du troupeau était de $75,7 \pm 3,4$ têtes (de 10 à 266 têtes). Quarante-vingt-quinze pourcents des éleveurs ne vaccinaient pas leurs animaux et 84 % ne les déparasitaient pas. Les principales pathologies étaient les charbons (50 %) et les dermatoses (12,5 %). Le taux de mortalité des chamelons était de 14,4 % contre 8,4 % pour l'ensemble du troupeau. L'âge à la première saillie était de trois ans pour 65 % des éleveurs et quatre ans pour 20 %. La production déclarée de lait trait était de 2,6 l/jour pendant la saison des pluies et 1,3 l/jour durant la saison sèche. Le lait caillé était dans 73,9 % des cas le principal produit transformé à partir du lait de dromadaire. Le lait frais et le caillé sont autoconsommés.

Pour le quart de la population enquêtée, le dromadaire constitue la seule source de revenu du ménage, tandis que pour les 75 %, la contribution du dromadaire varie entre 90 % et 60 %. Les principales difficultés sont l'alimentation, les pathologies et la faible organisation des éleveurs.

Mots-clés : dromadaire, composition du troupeau, contrainte, gestion, Kidal, Mali.

Abstract

In 2012, the region of Kidal held 52.9% of the national dromedary herd. Despite the numerical and socioeconomic importance of dromedary farming, there is little data on this activity. To fill this gap, a survey was conducted in 2011 with a sample of 194 farms using a questionnaire administered to the head of the household or directly to the person in charge of the farming. A total of 74% of respondents were engaged in dromedary farming as their main activity, while 25.7% combined this activity with others, including trade. Dromedary was the only species reared by 55.8% of farmers, while 29.5% had sheep and goat in addition to dromedaries. Different types of dromedaries were reared in Kidal. Four classes of herds were identified: (1) small herds with up to 50 heads; (2) medium herds, between 50 and 100 heads; (3) large herds, 100 to 150 heads; and (4) very large herds, more than 150 heads. The average herd size was 75.7 ± 3.4 heads, with extremes of 10 and 266 heads. Ninety-five percent (95%) of farmers did not vaccinate and 84% did not deworm their herds. The main diseases were anthrax (50%) and animal dermatosis (12.5%). The mortality rate of young dromedaries was 14.4%, compared with 8.4% for the whole herd. The first mating age was 3 years for 65% of farmers and 4 years for 20% of them. The reported milk production was 2.6 l/day during the rainy season and 1.3 l/day during the dry season. In 73.9% of cases, sour milk was the primary product processed from dromedary milk. Fresh milk and sour milk were self-consumed. For a quarter of the surveyed population, dromedaries were the only source of household income, while for 75% of them, the contribution of these animals varied between 90% and 60%. The main challenges facing dromedary farmers were related to feed, diseases and poor farmer organization.

Key words: dromedary, herd composition, constraint, management, Kidal, Mali.

Introduction

En 2012, l'effectif national de dromadaires du Mali a été estimé à 959 783 têtes dont 97% dans les régions de Kidal, Gao et Tombouctou. La région de Kidal comptait 507 725 têtes soit 52,9% de l'effectif national (DNPIA, 2013). Malgré cette importance numérique, très peu de recherche a été menée sur cette espèce afin d'identifier les opportunités et les contraintes de son élevage. Les principaux résultats d'études bibliographiques ou d'enquêtes réalisées sur le dromadaire au Mali ont été présentés lors du séminaire national sur le dromadaire en 1985 dans la région de Gao (Dahl, 1987). Diall *et al.* (1994) ont déterminé la prévalence de la trypanosomose cameline dans la région de Gao. Ouologuem *et al.* (2008a et 2008b) ont effectué le diagnostic dans la région de Gao. Quant à la région de Kidal, le Programme Intégré de Développement de la Région de Kidal (PIDRK) a commandité une étude sur les avortements en 2010 (PIDRK, 2010) et les pratiques de la médecine vétérinaire traditionnelle en 2011 (PIDRK, 2011). De ce fait, le diagnostic du système d'élevage camelin dans la région de Kidal qui fait l'objet du présent article est la première étude qui prend en compte tous les aspects de l'élevage du dromadaire.

Matériel et méthodes

Présentation de la zone d'étude

La région de Kidal est située dans la zone saharienne du Nord-Est du Mali entre 18° et 21° de latitude Nord, 43° de longitude Est et 19° de longitude Ouest. Elle couvre une superficie de 260 000 km², soit 21% du territoire national. Elle est limitée au Nord par la République d'Algérie, au Sud par la région de Gao, à l'Est par la République du Niger et à l'Ouest par la région de Tombouctou. La pluviosité y est très faible et décroît du Sud (121 mm par an) vers le Nord (75 mm par an). Administrativement, la région comprend les cercles de Kidal, Tessalit, Tina-Sako et Abéibara. Quatre grandes zones écologiques caractérisent la région: 1) l'Adagh, zone des montagnes plus ou moins hautes mais toujours massives, située dans la partie centrale de la région. Elle est jalonnée d'est en ouest par des vallées qui drainent l'eau des pluies; 2) la vallée du Telemsi qui occupe le Sud-ouest de la région constitue une vallée fossile, véritable réceptacle des eaux drainées par les grandes vallées qui descendent de l'Adagh et des meilleures terres salées pour le bétail telles qu'Aslagh, Eghabab, Takabart; 3) le Tamesna, situé à la lisière est de l'Adagh, est une vaste suite de plaines, de plateaux, de dunes, d'ergs et de regs arides. Malgré une pluviosité faible (environ 100 mm/an), cette zone recèle d'excellents pâturages herbacés et ligneux, surtout en saison sèche froide; 4) enfin, le Timtaghène est une zone dominée par un massif montagneux situé à l'extrême ouest de la région, séparée de l'Adagh par la vallée de Telemsi (PIDRK, 2011).

On distingue les saisons suivantes : saison des pluies de juillet à septembre, saison sèche froide d'octobre à février et saison sèche chaude de mars à juin.

Enquête

Avant de commencer l'enquête, des rencontres ont eu lieu entre l'équipe de recherche, les responsables des services de vulgarisation et les chefs des communautés locales pour établir la meilleure manière pour atteindre les éleveurs de dromadaires. Il a été décidé de prendre 50 éleveurs dans les quatre cercles de la région de Kidal ; ensuite, à l'intérieur de chacun d'eux, cibler les zones de concentration des troupeaux. C'est ainsi que 200 éleveurs ont été visés comme échantillon à enquêter.

L'enquête a été menée entre juillet et novembre 2011 auprès de 194 éleveurs de la région à l'aide d'un questionnaire individuel. Dans chaque localité, avant l'administration du questionnaire, une réunion d'information a été organisée sous la présidence des maires ou de leurs adjoints au niveau des communes et de chefs de fractions ou leurs conseillers au niveau des fractions. Ensuite, le questionnaire a été administré individuellement au chef de ménage ou à la personne la plus active dans l'activité d'élevage.

Les données ont été analysées par les méthodes d'analyses descriptives (fréquence, moyenne, médiane, écart-type). Toutefois, les données de la production de lait ont fait l'objet d'analyse de variance en considérant comme facteurs la catégorie des troupeaux et les cercles de la région en utilisant General Linear Model du logiciel SPSS version 16.

Résultats

Activités principales des enquêtés

L'élevage constitue la seule activité pour 74,2% des personnes enquêtées ; 21,1% l'associent au commerce, 2,1% au salariat ; 2,5% exerçaient une troisième activité telle que l'artisanat en plus de l'élevage et du commerce. Les objectifs de l'élevage sont multiples. En effet, même si 39,7% ont déclaré le lait comme seul objectif de l'élevage, 30,9% des éleveurs, en plus du lait, le pratiquent pour de la viande et pour se procurer un revenu monétaire, 20,6% en plus du lait, pratiquent cet élevage pour la viande, 6,2% en plus du lait, élèvent le dromadaire pour la viande, les cuirs et pour obtenir un revenu monétaire, 1% des personnes enquêtées pratique cette activité pour le revenu monétaire et enfin 1,5% pour la viande et autres. Sur le plan organisationnel, 97,3% des éleveurs ne sont pas membres d'organisations professionnelles.

Le dromadaire est élevé par plus de la moitié des enquêtés. Toutefois, l'élevage de cette espèce en association avec celui des caprins, des ovins et des bovins dans différentes combinaisons est une pratique courante dans la région (Figure 1).

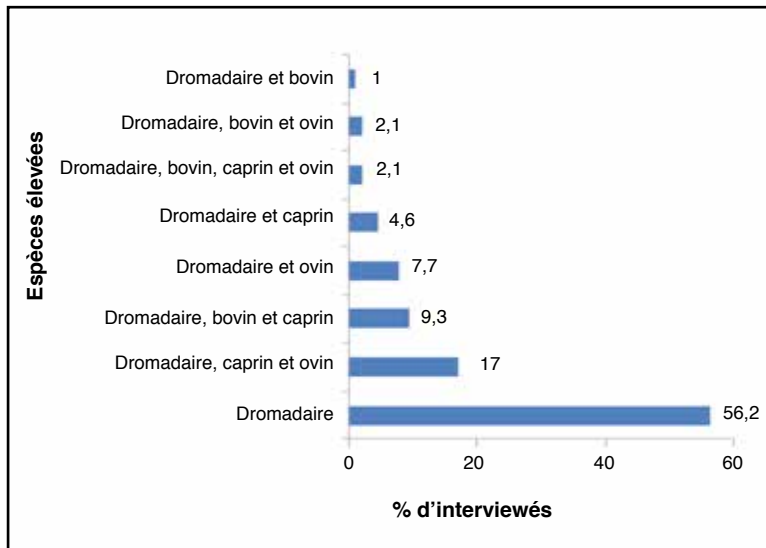


Figure 1 : Répartition des espèces animales dans les formes d'élevage pratiquées par les éleveurs enquêtés

Effectif et structure moyenne des troupeaux de dromadaires enquêtés

L'effectif des troupeaux enquêtés a été de 14 618 dromadaires. La taille moyenne du troupeau a été de $75,7 \pm 3,4$ têtes, mais la médiane a été de 60 têtes. Le troupeau le plus petit était constitué de 10 têtes, tandis que le plus gros comprenait 266 dromadaires. Toutefois, le classement de ces troupeaux selon leur taille a indiqué que les « moyens » et « petits » sont les plus nombreux. Ils sont suivis de loin par la catégorie « grands » et « très grands » (Tableau 1).

Tableau 1 : Répartition des troupeaux de dromadaires selon leur effectif

Classement des troupeaux	Nombre de troupeaux	Effectif moyen du troupeau	Écart-type
Petits	71	35	8
Moyens	73	70	14
Grands	35	127	14
Très grands	13	192	31
Total	192	75,7	3,4

Dans la répartition des troupeaux par cercle, Abéibara ne comptait que de petits troupeaux, tandis que dans les trois autres, toutes les catégories étaient présentes. Les troupeaux de taille moyenne étaient plus nombreux dans le cercle de Kidal, suivi par Tessalit et Tin-Essako. Par contre, Tessalit avait plus de grands et de très grands troupeaux que les trois autres cercles (Figure 2).

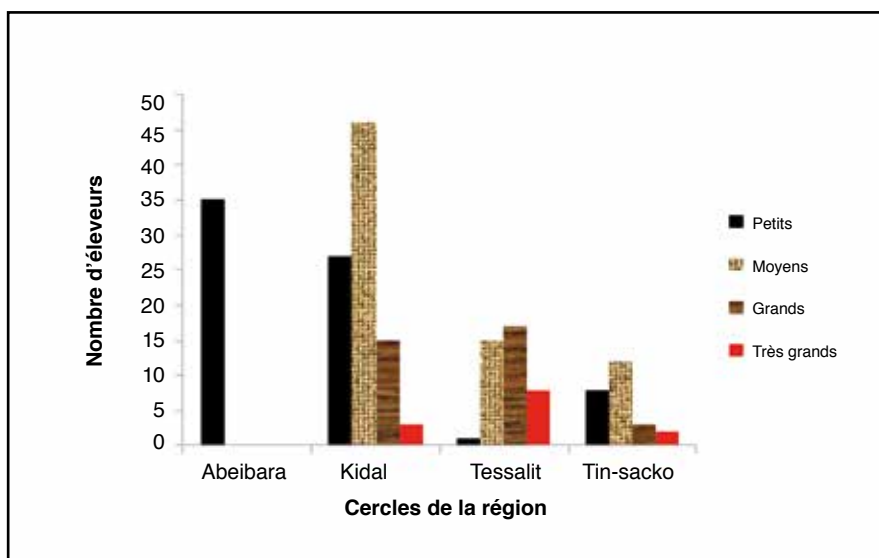


Figure 2 : Répartition des troupeaux par cercle de la région

Les femelles adultes tarées étaient dominantes dans la structure, suivies par les mâles adultes non géniteurs et les mâles castrés. La tendance était la même dans toutes les quatre classes de troupeaux (Tableau 2).

Tableau 2 : Structure des troupeaux (%) en fonction de leur taille

Classe de troupeau	Jeunes mâles non sevrés	Jeunes femelles non sevrées	Jeunes mâles	Jeunes femelles	Mâles adultes non géniteurs	Femelles adultes tarées	Femelles en lactation	Mâles castrés	Géniteurs
Petits	11	11	11	11	13	18	13	11	3
Moyens	8	8	11	11	14	25	9	12	3
Grands	6	7	10	11	17	27	5	14	2
Très grands	6	7	13	9	13	26	11	13	2
Moyenne	8	8	11	11	14	24	10	13	3

Gestion du troupeau

Conduite du troupeau

De l'avis de 59 % des enquêtés, la conduite du troupeau est effectuée par un membre de la famille. Les bergers ont un salaire dans 24,6 % des cas, tandis que dans 75,4 %, cette main-d'œuvre n'est pas rémunérée.

Santé animale

Les troupeaux ne sont pas vaccinés par 94,8 % des éleveurs et 84,0 % ne font pas de déparasitages interne et externe modernes. Plusieurs arguments sont avancés par les éleveurs tels que l'inaccessibilité des services vétérinaires (45,4 %), le manque de vaccin (24,0 %), la méconnaissance des bienfaits de ces pratiques (11,7 %). La vaccination est faite par 5,2 % des éleveurs. Le charbon bactérien est la pathologie contre laquelle la vaccination a été la plus fréquente (75 %).

Le taux moyen de mortalité était inférieur à 10 % (Tableau 3). Il a été plus faible dans les petits et moyens troupeaux que dans les grands et très grands troupeaux. Le taux de mortalité a été plus élevé chez les jeunes allaitants mâles et femelles notamment dans les très grands et grands troupeaux. Toutefois, dans les petits troupeaux, les jeunes mâles sevrés ont payé un lourd tribut.

Tableau 3 : Taux de mortalité des dromadaires selon les classes des troupeaux

Classe de troupeau	Mâles adultes	Femelles adultes	Jeunes mâles sevrés	Jeunes femelles sevrées	Jeunes mâles non sevrés	Jeunes femelles non sevrées	Moyenne
Grand	6,2	7,5	5,8	2,9	17,7	14,2	9,1
Moyen	3,8	6,5	6,4	2,5	10,8	7,2	6,2
Petit	8,3	8,2	13,7	8	12,9	11,5	6,2
Très grand	4,3	6,5	9,8	11,2	26,1	14,5	12,1
Moyenne	5,7	7,2	8,9	6,2	16,9	11,9	8,4

Reproduction

La majorité des éleveurs (74,2 %) gère la reproduction par le retrait du géniteur du troupeau, tandis que 24,0 % le garde durant toute l'année. L'âge au sevrage est fixé à 12 mois par 77 % des éleveurs, tandis que 9,4 % le prolonge jusqu'à 18 mois. L'âge à la première saillie des génisses a été de trois ans pour 65,3 % des éleveurs et quatre ans

pour 19,6 %. Pour le reste il a varié entre 2,5 ans et 3,5 ans. Les mâles non retenus pour la reproduction sont soit castrés (24 % des éleveurs), soit sortis du troupeau pour servir de monture (35,1 %) ou utilisés dans divers travaux (23,5 %). L'intervalle entre mises-bas a été de deux ans pour 65,5 % des éleveurs, tandis que 19,4 % l'ont situé à trois ans.

Alimentation et abreuvement des troupeaux

L'élevage est entièrement extensif et les animaux sont nourris presque exclusivement sur pâturage (94,4 %) ; par contre, 5,6 % ont déclaré donner des sous-produits d'oléagineux tels que le tourteau de coton comme complément. La transhumance a été pratiquée par 76,3 % des éleveurs. Pour 85 % des éleveurs, le mouvement concerne toutes les catégories de dromadaires à l'exception de quelques laitières et des animaux faibles. La distance moyenne de la transhumance a été de 76 km, mais elle a varié de 10 à 400 km. La durée moyenne de la transhumance a été de 3,4 mois, mais elle a varié de 2,7 mois à Tin-Essako à 4,1 mois à Tessalit. À Kidal et à Abéïbara, la durée a été de 3,3 mois. Quelques éleveurs (12,5 %) pratiquent encore le nomadisme. En plus de la transhumance, les éleveurs ont adopté différents modes de pâture tels que la pâture de jour et de nuit ou celle du jour uniquement selon les mois.

Le point d'abreuvement des animaux se trouvait en moyenne à 20 km du lieu de pâture, mais la distance a varié de 2 à 100 km en fonction des éleveurs et des saisons. Toutefois, pendant la saison des pluies, les animaux ont accès aux eaux de ruissellement et aux mares temporaires de proximité.

Écotypes de dromadaires

Cinq types de dromadaires, dont quatre considérés comme des purs sangs et le 5^e un produit de croisement entre les premiers, ont été signalés par les éleveurs en fonction des zones écologiques (Photos 1 - 5). Ainsi, le type Talamt-Nadagh ou Tolmen-Nadagh est rencontré principalement dans l'Adrar, le Talamt-tan Tamesna dans le Tamesna, le Talmarokit à Tessalit et dans le Tilemsi et enfin le Tatawgite dans le Timétrine à l'ouest de la région à la frontière avec la région de Tombouctou. Toutefois, ces types n'ont pas encore fait l'objet de caractérisation ni phénotypique ni génotypique détaillée.



Photo 1 : Talamt-Nadagh



Photo 2 : Talamt-tan Tamesna



Photo 3 : Talmarokit à Tessalit



Photo 4 : Tatawgitte



Photo 5 : Produit de croisement

Production et gestion du lait

La traite est faite deux fois par jour par 84,1% des éleveurs, alors que seuls 2,9% l'ont fait trois fois par jour. Le produit a été géré dans 98,6% par la femme du chef de ménage ou sous sa responsabilité. La quantité de lait prélevée par le berger pour la consommation familiale et estimée par la personne enquêtée a été statistiquement identique entre les catégories de troupeaux (Tableau 4). La même observation a été faite entre les quatre cercles de la région.

Tableau 4 : Quantité déclarée de lait prélevé par le berger (pour la consommation familiale) selon les saisons (litres)

Classe de troupeau	Quantité prélevée par le berger en saison des pluies	Quantité prélevée par le berger pendant la saison sèche
Grands	2,6 (0,7)	1,4 (0,4)
Moyens	2,7 (0,8)	1,4 (0,5)
Petits	2,5 (0,7)	1,3 (0,5)
Très grands	2,4 (0,5)	1,2 (0,5)
Moyenne	2,6 (0,7)	1,3 (0,5)
Signification	P = 0,282	P = 0,578
Les chiffres entre parenthèses indiquent les écarts-types.		

Le lait produit est géré dans 98,4 % des cas par la femme du chef de ménage. Il est destiné à l'autoconsommation pour 88,0% des répondants ou donné aux voisins ou parents qui n'ont pas les moyens. Dans 98,0 % des cas, le lait de dromadaire n'est pas vendu. La raison principale est d'ordre culturel (87,6 %) et l'insuffisance de lait ou l'inaccessibilité du marché (12,4 %). Le lait caillé est le principal produit transformé à partir du lait de dromadaire (73,9 %), mais 2,6 % ont déclaré faire du beurre en plus du lait caillé et 1,7 % du fromage.

Pour le quart de la population enquêtée, le dromadaire a constitué la seule source de revenu du ménage, tandis qu'il contribue à 90 % du revenu pour 23,0 % des exploitations, à 80 % pour 30,8 % et à 60 % pour 21,6 % des ménages.

Contraintes

L'alimentation et les pathologies ont constitué les préoccupations majeures des éleveurs de dromadaires. Les difficultés d'ordre alimentaire ont été dues à la faible productivité des pâturages, la disparition de certaines essences fourragères qui sont plus appréciées et très riches sur le plan nutritionnel, l'insuffisance d'eau, surtout en saison sèche chaude. Elles obligent beaucoup d'éleveurs à se déplacer pour la recherche de pâturages et de l'eau sur de longues distances.

L'insuffisance de la couverture sanitaire a fait que les pathologies comme le charbon bactérien, les maladies abortives, la diarrhée des chameçons et les dermatoses ont constitué un souci majeur des éleveurs.

Discussion

Le diagnostic de l'élevage du dromadaire a permis d'apprécier l'importance de cette espèce dans la vie socio-culturelle de la région de Kidal. Il confirme ce qu'un intervenant disait en 2008 lors de l'élaboration du plan stratégique de la recherche agricole pour la période 2009 - 2018 « à Kidal, l'élevage respire par le dromadaire et tout programme de développement rural de la région qui n'en tient pas compte n'a pas d'avenir ». Au Mali, la place du dromadaire a été mieux perçue après les sécheresses des années 1970, 1985 et 2003 par sa résistance par rapport à toutes les autres espèces animales élevées de la zone. Cette assertion est confirmée par Bourzat et Wilson (1987) et Bourdanne (1998) qui ont affirmé que la population de dromadaires a augmenté dans le Sahel et en Afrique du Nord après la grande sécheresse. L'élevage du dromadaire constitue de ce fait le sommet dans la hiérarchie des éleveurs dans la région parce que toutes les autres espèces animales gravitent autour de lui. La combinaison de l'élevage du dromadaire avec celui d'autres espèces animales semble être une attitude de sécurisation du système contre les aléas climatiques. Cette combinaison a été observée aussi par Traoré *et al.* (2014), Chaïbou (2009) et Faye *et al.* (2012).

L'information sur l'effectif du troupeau a été la plus sensible lors de l'enquête car les éleveurs n'hésitent pas à comparer cette question à celle de savoir quelle somme d'argent avez-vous dans votre compte bancaire ? Quelques craintes sont à la base de cette attitude: 1) la crainte de l'imposition lorsque les chiffres sont communiqués à l'administration; 2) traditionnellement, le fait de donner le nombre d'animaux du troupeau porte malheur à celui-ci. Mais la sensibilisation a permis de surmonter cette méfiance. La taille moyenne des troupeaux de dromadaires observée dans la présente étude a été comparable à celle observée par Koussou (2009) au Tchad qui était de 66 ± 26 têtes. Au Niger, Chaïbou et Faye (2005) avaient trouvé que 58 % des éleveurs détenaient entre 50 et 100 dromadaires, ce qui est comparable à nos résultats. Toutefois, dans le bassin laitier d'Agadez, Chaïbou (2009) a indiqué que le troupeau camelin compte en moyenne 28 têtes.

Le mode de vie du chamelier constitue en lui-même une gestion de son élevage. En effet, le mode de conduite, la mobilité du troupeau, les cures salées, l'utilisation des plantes sont des manières traditionnelles de gestion du troupeau sur le plan de l'alimentation, la reproduction et la santé animale. Cette idée est partagée par Chaïbou et Faye (2005), Chaïbou (2009) et Mabrouk *et al.* (2010) qui ont indiqué que la mobilité du troupeau est une composante essentielle de gestion du troupeau. La connaissance ancestrale des plantes médicinales a permis aux éleveurs de soigner certaines affections dans un milieu

où le vétérinaire est rarement accessible. Ces pratiques ont fait l'objet d'étude par Diallo et Traoré (2009), Antoine-Moussiaux *et al.* (2005) et Kane *et al.* (2003).

L'âge de mise en reproduction de trois ans à quatre ans a été comparable aux données de Moslah *et al.* (2004), Zarrouk *et al.* (2003) et Titaouine (2006). L'intervalle entre deux mises-bas consécutives de deux ans a été aussi comparable aux résultats de ces auteurs.

La mobilité comme mode de gestion de l'alimentation est bien connue dans l'élevage des dromadaires (Traoré *et al.*, 2014 ; Chaïbou, 2009 ; Titaouine, 2006). Aussi les distances sont fonction de la disponibilité des ressources alimentaires et de l'eau d'abreuvement.

Les écotypes de dromadaires rencontrés dans la région augurent bien toute la potentialité en termes de thèmes de recherche en amélioration génétique. Il semble que les meilleurs coursiers du pays proviennent de cette région. Par conséquent, des recherches assez spécifiques doivent être menées pour leur caractérisation.

La traite journalière de lait de 2,6 l pendant la saison des pluies et 1,3 l durant la saison sèche (pour la consommation familiale surtout) a été comparable à celles trouvées par Traoré *et al.* (2014) à Ansongo, par Titaouine (2006) dans le Sud-Est Algérien et Chaïbou (2009) au Niger, mais inférieure à celles de Nadio (1987) et de Kamoun (1995) avec supplémentation en Tunisie. Elle ne reflète pas les potentialités réelles des dromadaires. Les éleveurs ne mesurant pas d'ordinaire le lait produit, ils ne semblent pas avoir une idée bien claire de la quantité de lait en litres ou en kilogrammes. En outre, ils ne prélèvent que ce qu'il leur faut pour la consommation familiale sans avoir l'objectif d'évaluer le potentiel laitier. Toutefois, il faut noter aussi qu'ici la pluviosité est extrêmement faible et que les animaux n'ont subi aucun traitement vétérinaire (vaccination et déparasitage).

Conclusion

Ce premier diagnostic général de l'élevage du dromadaire dans la région de Kidal a permis de montrer toute l'importance de cet élevage, mais aussi ses difficultés. Un véritable programme de suivi et d'amélioration permettra d'assurer une sécurité alimentaire tant souhaitée dans la zone et d'augmenter sa part dans l'économie régionale et nationale. Il doit inclure la sensibilisation des éleveurs, l'amélioration des conditions d'alimentation et de santé des animaux, la caractérisation génétique et la mise en place d'un système de collecte du lait pour ravitailler les centres urbains. La création de ce marché va stimuler l'amélioration de cet élevage par les éleveurs et contribuer à diminuer ainsi la mobilité du troupeau.

Références

- Antoine-Moussiaux N., Faye B., Vias G.F., 2005. Tuareg ethnodagnostic skill of Camel diseases in Agadez area (Niger). *Journal of Camel Practice and Research*, 12(2): 85-93.
- Bourdanne, 1998. L'élevage du dromadaire au Mali : Approche socio-économique et culturelle. Thèse de doctorat, Ecole Inter-Etats des Sciences et Médecine Vétérinaires, Dakar, 13 : 120p.
- Bourzat D. et Wilson R.T., 1987. La recherche cameline en Afrique. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 6(2) : 375-382.
- Chaïbou Mahamadou, 2009. Le bassin laitier d'Agadez au Niger : Caractéristiques et potentiel de production en lait. *Annales de l'Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger. Numéro Spécial* : 15- 26.
- Chaïbou M. et Faye B., 2005. Production laitière des chamelles Abzin élevées par les Touaregs nomades du Niger. In Lhoste F. (édit) *Lait de chamelle pour l'Afrique. Atelier sur la filière laitière caméline en Afrique, Niamey, 5-8 novembre 2003. Chapitre 2. FAO Production et Santé Animale, Rome, 2004.*
- Dahl G., 1987. (éditeur) *Camel forum. Séminaire national sur le dromadaire 2-9 décembre, Gao. Work paper N° 18, Somali Academy of Sciences and Arts, 110p.*
- Diall O., Bajyana E., Songa E., Magnus, Kouyate B., Diallo B., Van Meirvenne N., Hamers R., 1994. Evaluation d'un test sérologique d'agglutination directe sur carte dans le diagnostic de la trypanosomose caméline à *Trypanosoma evansi*. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, 13(3) : 793-800.
- Diallo B. O., Traoré K., 2009. Etude sur la médecine vétérinaire traditionnelle dans la région de Kidal, PIDRK, 57p.
- DNPIA, 2013. Rapport annuel 2012, Mali, 87 pages+annexes.
- Faye B., Chaïbou M. and Vias Gilles, 2012. Integrated Impact of Climate change and Socioeconomic Development on the Evolution of Camel Farming Systems. *British Journal of Environment & Climate Change*, 2(3) : 227-244.
- Kamoun M., 1995. Le lait de dromadaire: production, aspects qualitatifs et aptitude à la transformation. In : Tisserand J.-L. (éd.). *Elevage et alimentation du dromadaire. Zaragoza: CIHEAM* : 81 -103.
- Kane Y. Diop A., Isselmou E., Kaboret Y., Ould Mekhalla M. et Diallo B. C., 2003. Contraintes majeures de l'élevage camelin en Mauritanie. *Revue Africaine de Santé et de Productions Animales, RASPA*, 1(1) : 31-37.
- Koussou M. O., 2009. Production and marketing of milk in Chad: the case of Oualad Rachid Arabes transhumants in Chad. *Abstracts of Second Conference of ISOCARD, Djerba (Tunisia)*: 78p.

- Mabrouk Seddik M., Khorchani T., Benromdhane M., 2010. Bases épidémiocliniques de la maladie du Krafft chez le dromadaire (*Camelus dromedarius*) dans le Sud tunisien. *Revue Élevage et Médecine vétérinaire Pays tropicaux*, 63(1-2): 29-33.
- Moslah M., Hammadi M., Khorchani T., 2004. Productivité de l'élevage camelin dans les parcours du Sud tunisien. In Ferchichi A. (comp.), Ferchichi A. (collab.). *Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieux méditerranéens*. Zaragoza: CIHEAM: 343-347.
- Nadio M., 1987. Elevage du dromadaire et évolution socio-économique de la société nomade dans le Nord-Est du Mali. In «Dahl Gudrun (éd.) 1985: Camel forum. Séminaire national sur le dromadaire 2 – 9 décembre, Gao. Work paper N° 18, Somali Academy of Sciences and Arts»: 23-29.
- Ouologuem B., Mohomodou M., Mamadou D. C., 2008a. Système d'élevage camelin dans la région de Gao : I. La connaissance des hommes est primordiale pour améliorer l'élevage. *Les Cahiers de l'Économie Rurale*, 6: 5-12.
- Ouologuem B., Mohomodou M., Mamadou D. C., 2008b. Système d'élevage camelin dans la région de Gao : II. Gestion des animaux. *Les Cahiers de l'Économie Rurale*, 6: 13-24.
- PIDRK, 2010. Etude sur les causes des avortements dans les espèces cameline et caprine de la région de Kidal. Commissariat à la Sécurité Alimentaire, Programme intégré de développement rural de la région de Kidal, Mali, 73 p + Annexes.
- PIDRK, 2011. Etude sur les techniques et les pratiques traditionnelles de l'élevage camélin dans la région de Kidal. GIE-3K, Mali, 106p.
- Titaouine M., 2006. Considérations zootechniques de l'élevage du dromadaire dans le Sud-Est algérien : influence du sexe et de la saison sur certains paramètres sanguins. Mémoire de Magister en sciences vétérinaires. Université El-Hadji Lakhdar, Batna, Algérie, 110p.
- Traoré B., Moula N., Toure A., Ouologuem B., Leroy P. & Antoine-Moussiaux Nicolas, 2014. Characterization of camel breeding practices in the Ansongo Region, Mali. *Tropical Animal Health and Production*, 46(6). DOI 10.1007/s11250-014-0644-z.
- Zarrouk A., Souilem O., Beckers J. F., 2003. Actualités sur la reproduction chez la femelle dromadaire (*Camelus dromedarius*). *Revue Élevage et Médecine vétérinaire Pays tropicaux*, 56(1-2): 95-102.

Évaluation de l'ingestion des fourrages par les dromadaires sur les pâturages sahélien et subhumide au Mali

Assessment of Forage Intake by Dromedaries in the Sahelian and Sub-humid Pastures of Mali

Moussa Mohomoudou¹, Ouologuem Bara¹, Baradji Issa¹, Dao Samba², Nialibouly Ousmane³, N'Diaye Mohamed⁴, Kouriba Aly⁵

¹Station de Recherche Agronomique de Sotuba - BP 262

²Direction Régionale des Services Vétérinaires de Ségou

³Station de Recherche Agronomique de Niono - BP 238, Ségou, Mali

⁴Institut d'Économie Rurale, Direction Scientifique - BP 258, Bamako, Mali

⁵Comité National de Recherche Agricole - BP E 1911, Bamako, Mali

*Auteur pour la correspondance : mohomodoum@yahoo.fr

Résumé

Dans le cadre d'un programme d'adaptation au changement climatique, deux troupeaux de dromadaires dont l'un en zone sahélienne (400 – 500 mm/an) à Niono et l'autre en zone subhumide (800 – 1 000 mm/an) à Sotuba ont été suivis au pâturage pendant 12 mois. Chaque mois, quatre dromadaires sont suivis par quatre observateurs sur chaque site. Les pâturages étaient plus riches en protéines à Niono (12,58 – 14,53 % MS) comparativement à ceux de Sotuba (8,20 – 9,07 % MS). La digestibilité de la matière sèche a varié entre 43,83 % et 44,28 % MS à Sotuba et 47,20 et 48,64 % MS à Niono. L'ingestion de la matière sèche était de 5,56 kg/jour/tête à Niono contre 4,96 kg à Sotuba. Il n'a pas été observé de différence significative entre les deux sites. À Sotuba, la quantité ingérée a été significativement plus élevée pendant la saison sèche froide ($5,27 \pm 0,33$ kg) que pendant la saison des pluies ($4,80 \pm 0,32$ kg). Celle de la saison sèche chaude ($5,04 \pm 0,17$ kg) a été intermédiaire entre les deux saisons. Le même constat a été fait à Niono ($7,18 \pm 0,46$ kg) en saison sèche froide; ($4,66 \pm 0,24$ kg) en saison des pluies et ($5,14 \pm 1,09$ kg) en saison sèche chaude. La connaissance de ces quantités ingérées permettra de mieux gérer la complémentation des animaux sur les deux sites.

Mots-clés : dromadaire, ingestion de fourrages, zone soudano-sahélienne, Mali.

Abstract

As part of a climate change adaptation program, two herds of dromedaries, one in the Sahelian zone (Niono, 400-500 mm/year) and the other in the sub-humid zone (Sotuba, 800-1000 mm/year) have been monitored on pasture for 12 months. Every month, four dromedaries were monitored by four observers in each site. The protein content of pastures was higher in Niono (12.58-14.53% DM) than in Sotuba (8.20-9.07% DM). Dry matter digestibility varied between 43.83-44.28% DM in Sotuba and 47.20-48.64% DM in Niono. The dry matter ingestion level was 5.56 kg/day/head in Niono, compared with 5.1 kg in Sotuba. No significant difference was noticed between the two sites. In Sotuba, the amount ingested was much higher during the cold dry season (5.27 ± 0.33 kg) than during the rainy season (4.80 ± 0.32 kg). That of the hot dry season (5.04 ± 0.17 kg) was intermediate between the two seasons. The same observation was made in Niono: 7.18 ± 0.46 kg in the cold dry season; 4.66 ± 0.24 kg in the rainy season and 5.14 ± 1.09 kg in the hot dry season. Awareness of these values will help improve feed supplementation for animals in both sites.

Key words: *dromedary, climate change, feed intake, Sudano-Sahelian area, Mali.*

Introduction

Autrefois traité en parent pauvre dans l'exploitation des ressources animales, le dromadaire fait aujourd'hui l'objet d'une attention grandissante de la part de la communauté scientifique dans tous les pays qui en font l'élevage et qui sont pour la plupart des pays en développement, africains en particulier (Faye, 1997; Faye 2013). Sa grande capacité d'adaptation aux conditions difficiles des zones arides et semi-arides fait de cette espèce une matière de travail de différents scientifiques (Faye, 2009; Faye, 2013; Faye et Al-Kharjb, 2013).

Au Mali, la zone de prédilection du dromadaire est la zone aride et semi-aride du pays (Ouologuem *et al.*, 2017), où il est élevé en mode traditionnel.

Ainsi, l'insuffisance de connaissances sur la quantité de fourrage volontairement ingérée sur les pâturages constitue un handicap pour l'amélioration de l'alimentation du dromadaire. Selon Ouologuem *et al.* (2004), le contexte alimentaire des dromadaires constitue l'une des contraintes majeures pour la production de lait et de viande dans le septentrion malien.

L'objectif de la présente étude est de quantifier l'ingestion des dromadaires sur les pâturages afin de mieux organiser la complémentation alimentaire.

Matériel et méthodes

Zones de l'étude

L'étude a été menée sur les pâturages naturels en zone sahélienne dans le ranch de la Station de Recherche Agronomique de Niono (Photo 1 A et B) et subhumide dans la Station de Recherche Agronomique de Sotuba (Photo 2 A et B) du Mali au cours des différentes saisons de l'année.

Le ranch de Niono : il couvre une superficie totale de 12 000 ha. Il est situé en zone sahélienne avec un climat sec tropical caractérisé par une seule saison des pluies qui dure quatre mois, de juin à septembre (CIPEA, 1978). Il est localisé dans le cercle de Niono situé à une altitude de 277 m avec une superficie de 23 063 km², entre 13°30' et 15°45' de latitude nord et entre 50°5' et 6°35' de longitude ouest. Le cercle a un climat de type sahélien. Avec une répartition spatiale aléatoire sur l'ensemble du cercle, les précipitations moyennes sont de 425 mm par an (SLACAER Niono, 2008). Les principales formations végétales rencontrées dans le cercle sont la steppe

arborescente avec moins de 10 m³/hectare de potentiel ligneux; la savane arborée est faiblement représentée. En 2013, les pâturages sur les formations sableuses ont présenté les mêmes caractéristiques: recouvrement et biomasse faibles dominées par *Cenchrus biflorus* et *Zornia glochidiata*. Dans les dépressions (limon), les pâturages sont soumis à une exploitation intense et sont peu productifs dans l'ensemble (937 kg/ha dans les dépressions contre 690 kg/ha sur les dunes). En 2014 à Koutiana, les résultats obtenus ont montré que la contribution des graminées a été à hauteur de 50 %, celle des légumineuses et autres à 14,63 %, et les 35,37 % restants sont constitués de sol nu et de litière. La production de biomasse a été de 2217 kg/ha dans les dépressions et 89 kg/ha sur les dunes. Sur le site de Bamada du ranch, les graminées ont contribué pour 36,87 % contre 40,57 % pour les légumineuses et autres. Le sol nu a occupé les 22,56 %. La biomasse d'herbacées en 2013 a été de 973 kg/ha dans les dépressions et 972 kg/ha sur les dunes, contre respectivement 259 kg/ha et 50 kg/ha en 2014 (Ouologuem *et al.*, 2015).



Photo 1 : État des pâturages au ranch de Niono pendant la saison sèche (A) et la saison des pluies (B)

Les principales espèces dominantes ont été *Guiera senegalensis* et *Pterocarpus lucens* sur sol limoneux, tandis que sur sol sableux *Senegalia senegal* et *Balanites aegyptiaca* ont dominé. Les taux de recouvrement sont plus élevés sur les sols des dépressions limoneuses (39 %) que sur les sols sablonneux (16 %) à Bamada et respectivement 59,8 % et 13 % à Koutiana.

Les ressources en eau de surface sont constituées principalement par les « falas » de Molodo, Boh, Méma. Elles sont fortement influencées suite à l'apport d'eau par les réseaux d'irrigation de l'Office du Niger pour le développement de la riziculture (CSA–US-AID, 2008).

La Station de recherche agronomique de Sotuba (SRA) : elle couvre une superficie de 267 hectares avec une altitude de 322 m situé entre 12° 39' 07,3" de latitude nord et 007° 55' 34,0" de longitude ouest. Le climat est de type tropical soudano-sahélien avec l'alternance d'une saison pluvieuse de courte durée allant de juin à septembre et une longue saison sèche allant d'octobre à mai. La température moyenne annuelle varie entre 25,7°C et 39°C, avec une amplitude forte. La maximale en avril peut atteindre 42°C tandis qu'en janvier, le niveau du mercure descend à 18°C (Moussa, 1999).

Globalement trois types de sols sont rencontrés dans les pâturages naturels de Sotuba :

- a) Les sols argileux à hydromorphie temporaire situés dans le littoral du fleuve Niger au Sud et au Sud-ouest des étables. Les pâturages qui s'y trouvent sont exploités en saison sèche. La végétation ligneuse dense est dominée par les divers épineux tels que *Acacia* spp et *Dichrostachys glomerata*. À côté, on observe une population de *Piliostigma* spp et *Guiera senegalensis*. La forte densité des ligneux a joué négativement sur la couverture végétale des herbacées qui est dominée par *Sporobolus granularis*, *Bracharia* spp et *Hyptis suaveolens* qui a surtout colonisé les jachères. Dans les pâturages, il est surtout abondant dans les endroits où la densité des ligneux est faible.



Photo 2 : État des pâturages à Sotuba pendant la saison sèche (A) et la saison des pluies (B)

- b) Les sols limoneux à limoneux-sableux au Sud des parcelles d'expérimentation occupés par les pâturages de saison des pluies qui constituent la grande partie des parcours de la station. Ceux-ci incluent les champs et jachères.

La végétation ligneuse est composée d'arbustes épineux. Dans ces pâturages on constate une recolonisation progressive de *Andropogon gayanus*, surtout dans les zones de dépression avec dépôt de limon. Les ligneux dominants sont surtout *Acacia* spp, *Ziziphus mauritiana*, *Dichrostachys glomerata*. La densité des ligneux

est inégalement répartie. Le tapis herbacé est constitué de *Andropogon gayanus*, *Pennisetum pedicellatum* et *Hyptis suaveolens*.

- c) Les sols sablonneux à l'est (zone de Sérothérapie). Cette partie du domaine de Sotuba fait l'objet de culture intense par les populations de Sotuba. Ici la végétation ligneuse se limite aux grands arbres dominants (savane parc à *Vitellaria paradoxa*). Le tapis herbacé est dominé par *Digitaria horizontalis*, *Cenchrus biflorus* et une forte colonisation de *Hyptis suaveolens*.

Les principales espèces ligneuses sont *Combretum adenogonium*, *Vitellaria paradoxa*, *Lannea microcarpa*, *Parkia biglobosa*, etc. La végétation ligneuse est en général dégagée ou modérément dense. Les sols, peu profonds en de nombreux endroits, comportant de grosses plaques, sont souvent attaqués par l'érosion exposant la latérite et portent parfois une couverture herbacée annuelle (Ouologuem *et al.*, 2015).

Matériel

L'étude a débuté en septembre 2014 à Sotuba et en décembre 2014 à Niono. Le matériel utilisé est composé de quatre dromadaires mâles âgés de 7 ans de race Tabayaten (race intermédiaire entre la race de l'Aïr et le Sahel) originaire d'Ansongo. Tous les animaux ont subi un traitement contre les parasites externes, les parasites gastro-intestinaux et sanguins. Les cas de blessures et les affections spécifiques sont traités par des produits appropriés tels que les antibiotiques, les anti-inflammatoires, etc.

Quatre essais ont été conduits sur chaque site durant les périodes suivantes :

- saison des pluies : juin – septembre ;
- saison sèche froide : décembre – janvier ;
- saison sèche chaude : mars – mai.

Méthodes

La méthode utilisée a été celle de Chaïbou (2005) qui consiste à procéder à la collecte totale des fèces à l'aide de sacs (Photo 3). Les sacs sont détachés deux fois par jour : entre 9 heures et 10 heures et entre 16h 00 et 16h 30.

Après chaque détachement, le poids de fèces est déterminé par pesée. Ensuite, un échantillon de 10% est prélevé par animal, pesé et conservé au congélateur ou au réfrigérateur jusqu'à la fin de l'expérience. Pour chaque animal, les fèces du soir et ceux du lendemain matin ont constitué la quantité de fèces d'une journée de pâture.

Les espèces végétales broutées ont été identifiées, ensuite un échantillon est pris en utilisant la méthode de «collecte du berger» (Chaïbou, 2005). Cette méthode consiste à prendre à la main un échantillon des espèces consommées en simulant un coup de dents de l'animal. Mais, dans le cas des épineux, il est difficile de simuler le coup de dents parce que l'animal cueille les feuilles une à une et souvent avec les épines. Dans ces cas, des échantillons ont été simplement pris sans simuler le coup de dents (Photo 4). Toutes les espèces échantillonnées ont été mises ensemble dans le même sac en cretonne qui représente la diversité du menu du jour. Ensuite, chaque sac est pesé. Enfin, une étiquette portant le numéro de l'animal, le poids de l'échantillon et la liste des espèces est mise dans chaque sac.



Photo 3 : dromadaires porteurs de culotte pour la collecte des fèces à Sotuba



Photo 4 : Prise d'échantillon main sur ligneux à Niono

Paramètres calculés

La digestibilité de la matière sèche a été calculée par la méthode *in vitro* de Telley et Terry (1963).

La quantité de matière sèche qui a été ingérée a été calculée par la formule rapportée par Chaïbou (2005) :

$MSI = MSF \times 100 / (100 - dMS \text{ en p.100})$, où

MSI : quantité de la matière sèche ingérée

MSF : quantité de la matière fécale sèche

dMS : coefficient de digestibilité de la matière sèche

Les analyses statistiques des données de la quantité de matière sèche ingérée ont été faites par la méthode d'analyse de variance en considérant comme principaux facteurs la saison et le site.

Résultats et discussion

Composition chimique des fourrages sur les pâturages de Sotuba et ceux de Niono

À Sotuba, les taux de protéines brutes étaient plus élevés durant la saison des pluies (11,2 %) que pendant les saisons sèche froide (6 %) et chaude (7,3 %) (Tableau 1). Les fourrages de la saison sèche chaude avaient un taux plus élevé que ceux de la saison froide (Tableau 1). Il en a été de même pour la cellulose (35,1 % contre 33,7 %). Le taux de cellulose était plus bas pendant la saison des pluies. Toutefois, ces taux ne semblent pas avoir influencé la digestibilité de la matière sèche qui était dans l'ensemble faible. Le taux de digestibilité était plus élevé pendant la saison sèche froide, suivie par la saison des pluies. Par contre, les fourrages de la saison sèche chaude avaient le taux de digestibilité le plus bas (35,6 %).

Tableau 1 : Composition chimique et digestibilité des fourrages sur les pâturages de Sotuba et ceux de Niono au cours de l'année (%)

Site	Période	Matière sèche	Matière organique	Cendres	Protéines brutes	Cellulose	Digestibilité
Sotuba	Saison sèche froide	32,07 (4,04)	90,0 (1,1)	10,0 (1,1)	6,0 (0,8)	33,7 (0,6)	45,2 (1,9)
	Saison sèche chaude	37,59 (4,67)	94,4 (0,2)	7,7 (0,2)	7,3 (1,8)	35,1 (1,7)	35,6 (1,5)
	Saison de pluies	34,30 (4,7)	89,9 (0,6)	10,1 (0,6)	11,2 (0,3)	32,4 (1,5)	42,0 (5,2)
Niono	Saison sèche froide	55,84 (1,25)	90,8 (0,3)	9,2 (0,3)	14,2 (1,3)	26,7 (1,0)	47,6 (1,4)
	Saison sèche chaude	55,24 (1,98)	91,2 (0,4)	8,8 (0,4)	11,4 (1,0)	28,8 (1,5)	48,9 (3,5)
	Saison de pluies	44,27 (1,99)	91,5 (0,4)	8,5 (0,4)	12,5 (0,8)	33,9 (1,6)	47,1 (2,9)

Les chiffres entre parenthèses indiquent l'erreur standard

À Niono, le taux de protéines brutes le plus élevé a été observé dans les échantillons pris durant la saison sèche froide (14,2 %), suivis par ceux de la saison des pluies (12,5 %). Celui de la saison des pluies était le plus bas (11,4 %). Par contre, la cellulose brute était plus élevée dans les fourrages de la saison des pluies (33,9 %) et plus faible dans ceux de la saison froide (26,7 %). Le taux de digestibilité a été presque similaire entre les saisons même si celui de la saison sèche chaude était légèrement plus élevé.

Dans l'ensemble, les taux de protéines et de la digestibilité étaient plus élevés à Niono comparativement à Sotuba, tandis que celui de la cellulose a une tendance inverse.

Le taux élevé de la cellulose durant la saison des pluies à Niono peut être expliqué d'une part par la rentrée tardive de l'hivernage pendant l'année d'étude et d'autre part par la présence de plusieurs fruits riches en fibres sur certains arbustes tels *Acacia ehrenbergiana* et *Sclerocarya birrea*.

Pour le moment nous n'avons pas d'explications pour le faible taux de digestibilité des fourrages de ces pâturages. Mais, le fait que les analyses aient porté sur les échantillons-mains peut avoir un effet, parce que la qualité de ce type d'échantillon est différente de celle que les animaux consomment en réalité.

Les taux de protéines observés ici sont plus élevés que ceux rapportés par Bouallala *et al.* (2013) pour certaines espèces fourragères dans le Sahara Nord-Occidental algérien. Les coefficients de digestibilité de la matière sèche obtenus dans la présente étude sont plus élevés que ceux signalés par Ben Arfa *et al.* (2004) pour des parcours dont les taux de cellulose ont varié entre 28,9 % en hiver et 37,4 % pendant le printemps. Par contre, ils sont plus proches de ceux obtenus par Farid *et al.* (1980) qui oscillaient autour de 50,8 % et de celui obtenu par Bakhit *et al.* (1986) qui était de 51 % pour un fourrage distribué.

Quantité de matière sèche ingérée sur les pâturages de Sotuba et ceux de Niono de juillet 2014 à septembre 2015

La quantité de matière sèche ingérée au pâturage par les dromadaires est rapportée dans le tableau 2. Dans l'ensemble, la quantité de matière ingérée par les dromadaires à Sotuba et à Niono a été similaire (Tableau 2).

Tableau 2 : Quantité de matière sèche de fourrage ingérée sur les pâturages selon les saisons à Sotuba et à Niono

Périodes	Quantité moyenne de matière sèche ingérée (MSI en kg MS)					
	Sotuba			Niono		
	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum
Saison sèche froide	5,27 (0,33) a	4,00	6,18	7,18 (0,46) a	5,95	8,18
Saison sèche chaude	5,04 (0,17) ab	4,73	5,30	5,14 (1,09) ab	2,49	7,70
Saison des pluies	4,80 (0,32) b	4,21	5,87	4,66 (0,24) b	3,91	5,70
Moyenne	5,1 (0,2)a			5,56 (1,2)a		

a, ab, b : les moyennes portant les mêmes lettres dans la même colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5%
 Les chiffres entre parenthèses indiquent l'erreur standard
 MSI : quantité de la matière sèche ingérée ; MS : matière sèche

À Sotuba et à Niono, la quantité de matière sèche ingérée pendant la saison sèche froide était statistiquement plus élevée que celle de la saison des pluies (Tableau 3). Par contre, la quantité ingérée pendant la saison sèche chaude a été d'une part comparable à celle de la saison des pluies et d'autre part à celle de la saison sèche froide.

Tableau 3 : Quantité de matière sèche ingérée par kilogramme du poids vif, par 100 kg de poids et par kilogramme de poids métabolique à Sotuba et à Niono

Paramètres	Sotuba				Niono			
	Saison des pluies	Saison sèche froide	Saison sèche chaude	Moyenne	Saison des pluies	Saison sèche froide	Saison sèche chaude	Moyenne
Matière sèche ingérée par kg de poids vif (g)	12,91 (1,4)a	10,36 (1,6)a	11,8 (1,0)a	12,1 (1,0)	14,33 (1,2)a	19,02 (1,0)a	13,27 (3,0)a	15,20 (1,1)
Matière sèche ingérée par 100 kg de poids (kg)	1,29 (0,1)a	1,03 (0,2)a	1,18 (0,1)a	1,2 (0,1)	1,43 (0,1)a	1,902 (0,1)a	1,32 (0,2)a	1,50 (0,1)
Matière sèche ingérée par kg de poids métabolique P ^{0,75} (g)	90,79 (4,1)a	99,69 (6,1)a	97,57 (3,7)a	94,6 (2,6)	86,48 (1,0)a	85,53 (1,2)a	87,23 (1,0)a	86,40 (0,5)

Pour chaque site, les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5%.
 Les chiffres entre parenthèses indiquent l'erreur standard

Quel que soit le site, il n'y a pas eu de différence significative entre les saisons par rapport à la quantité de matière sèche ingérée par kilogramme de poids vif, par 100 kg de poids et par kilogramme de poids métabolique.

La valeur énergétique et protéique des fourrages de Sotuba et Niono pendant les différentes saisons de l'année de 2014 à 2015 est donnée au tableau 4.

Tableau 4 : Valeur énergétique et protéique des fourrages de Sotuba et de Niono

Site	Paramètres	Saison des pluies	Saison sèche froide	Saison sèche chaude	Ensemble
Sotuba	Énergie nette (UF/kg MS)	0,68 (0,03)	0,74 (0,02)	0,67 (0,03)	0,70 (0,02)
	Matières azotées digestibles (g/kg MS)	63,10 (1,06)	55,84 (1,16)	57,70 (2,67)	58,98 (1,63)
Niono	Énergie nette (UF/kg MS)	0,68 (0,03)	0,73 (0,02)	0,74 (0,02)	0,72 (0,02)
	Matières azotées digestibles (g/kg MS)	67,49 (1,52)	67,82 (1,89)	63,72 (1,51)	66,34 (1,64)

Les chiffres entre parenthèses indiquent l'erreur standard ; UF Unité fourragère ; MS – matière sèche

Bien que la saison chaude soit la période au cours de laquelle le disponible alimentaire est plus réduit (rareté de la strate herbacée et chute des feuilles de plusieurs espèces ligneuses) la quantité ingérée est la plus élevée. Cela pourrait être lié à la présence de quelques ligneux qui portaient encore des feuilles vertes et des fleurs comme *Balanites aegyptiaca* et *Boscia angustifolia*. En plus de ces deux espèces, il y a sur les parcours *Senegalia senegal*, *Ziziphus mauritiana* et *Commiphora africana* qui étaient en début feuillaison. Il a été noté aussi la présence de fruits sur la plupart des ligneux comme *Pterocarpus lucens*, *Ziziphus mauritiana* et *Balanites aegyptiaca*.

Au Mali, des données n'existent pas pour discuter ces résultats. Mais dans la littérature internationale, quelques références ont été consultées. Ainsi, les valeurs obtenues ici sont comparables à celles de Richard (1989) dans les conditions naturelles d'élevage des dromadaires qui ont varié entre 14 et 15 g de MS/kg de poids vif (PV) pour la paille et les fourrages pauvres et de 23 à 24 g/kg de poids vif (PV) pour les fourrages de bonne qualité, ainsi que les 12 g/kg de PV rapportés par Jouany (2000) et aux 51 g/kg P^{0,75} pour le foin rapportés par Richard (1989). Le niveau d'ingestion de la matière sèche par kilogramme de poids métabolique est légèrement supérieur aux 78,9 g/kg P^{0,75} de Farid *et al.* (2010) sur des chamelles nourries au fourrage grossier.

Mais nos résultats sont inférieurs aux 2,3 à 3,4 kg de matière sèche par 100 kg de poids vif rapportés par Richard (1989) avec des dromadaires de 450 kg. Par contre, nos résultats entrent dans les intervalles obtenus par Gauthier-Pilters (1977) sur différents pâturages naturels en Mauritanie :

- sur pâturage naturel de *Aristida pungens*: 5 kg de MS/jour quel que soit le stade de la plante ;
- sur pâturage à dominante de *Panicum turgidum*: 6 à 8 kg de MS/jour ;
- sur pâturage avec *nucularia*: 9 kg de MS/jour ;
- sur pâturage à dominante de *Acacia tortilis* spp. *raddiana*, *Anabasis aretioides*, *Aristida pulmosa* soit 5,9 kg de MS/jour ;
- sur pâturage à *Gymnocarpos decandrum*, *Launaea arborescens*, *Farsetia hamiltonii*, soit 11,5 kg MS/jour ;
- sur pâturage à *Helianthemum lipii*, *Farsetia hamiltonii*, *Savignya parviflora*, soit 8,2 kg MS/jour.

Ces données relevées sur des animaux d'Afrique de l'Ouest plus légers que ceux de l'Inde indiquent que la consommation de matière sèche peut varier dans les limites de 1,6 à 3,8 kg MS/100 kg PV et cela si le poids moyen est estimé à 300 kg.

Il en est de même par rapport aux données de Abdouli *et al.* (1992) qui ont rapporté que l'ingestion moyenne sur un parcours d'halophiles obtenue était de $6,20 \pm 0,24$ kg MS/jour. Sur le même type de parcours, Hammadi (1996) a obtenu en moyenne 7,9 kg de MS/j avec des chammelles en lactation. Néanmoins, les ingestions variant de 1,2 à 12 kg MS/jour rapportées par Ben Arfa *et al.* (2004) représentaient 2,45% du poids vif d'un animal de 500 kg soit 104 g MS/kg P^{0,75}.

Nos résultats sont comparables aussi à ceux de Farid *et al.* (1979) qui ont enregistré des niveaux d'ingestion de foin de *Cynodon dactylon* variant de 1,3 à 5,3 kg MS/jour.

Conclusion

Les résultats obtenus ont confirmé la diversité de choix des dromadaires sur les parcours naturels. Les informations sur les quantités de fourrages ingérés permettent de mieux organiser la complémentation des dromadaires pour optimiser les productions.

Références

- Abdoul H., khorchani T. et A. Nefzaoui, 1992. Nutrition of the one humped camel: I. Faecal index determination and chromic oxide excretion pattern and recovery. *Anim. FeedSci. Technol.*, 39: 293-301.
- Ben Arfa A. B., Khorchani T., Hammadi M., Chammem M., El Hatmi H., El Jeni H., Abdoul H., Cheniti T.L., 2004. Digestibilité et ingestion de la végétation d'un parcours d'halophytes par le dromadaire dans le Sud tunisien. In A Ferchichi. (comp), A. Ferchichi (Edits.). *Réhabilitation des pâturages et des parcours en milieux méditerranéens*. Zaragoza: CIHEAM, Cahiers Options Méditerranéennes: 62: 301-305.
- Bouallala M., Chehma A., Hamel F., 2013. Evaluation de la valeur nutritive de quelques plantes herbacées boutées par les dromadaires dans le Sahara Nord-Occidental Algérien. *Lebanese Science Journal*, 14(1): 33-39.
- Chaïbou M., 2005. Productivité zootechnique du désert: Le cas du bassin laitier d'Agadez au Niger, Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, 310p.
- CIPEA, 1978. Evaluation des productivités des races bovines Maure et Peul à la station du Sahel, Niono, Mali, CIPEA Monographie n°. 1, Addis Abeba, 128p.
- CSA–US-AID, 2008. Synthèse des plans de sécurité alimentaire des Communes du Cercle de Niono 2008 - 2012, 14p.
- Farid M.F.A, Abdel-Wahed A.M., Safinaz M., Shaket S.M. et Hassan N.I., 2010. Diet selection, feed intake capacity and performance of growing femels camels: effets of type of roughage and level of concentrates offered. *Journal of American Science*, 6 (11): 317-326.
- Faye B., 2009. L'élevage des grands camélidés: vers un changement de paradigme, CIRAD, *Renc. Rech. Ruminants*, 16 rencontres, 345 - 348. agritrop.cirad.fr.
- Faye B, 2013. Camel Farming Sustainability: The Challenges of the Camel Farming System in the XXIth Century *Journal of Sustainable Development* 6 (12), DOI: 10.5539/jsd.v6n12p74.
- Faye B. et Al-Kharjb, 2013. Dromadaires et Chameaux: un élevage en pleine mutation soutenu par une recherche dynamique <http://camelides.cirad.fr/>; <http://www.isocard.org/http://www.cirad.fr/nos-recherches/resultats-de-recherche/2013/dromadaires-et-chameaux-un-elevage-en-pleine-mutation-soutenu-par-une-recherche-dynamique>.
- Faye B., Saint-Martin G., Bonnet, P., Bengoumi M., Dia L., 1997. Guide de l'élevage du dromadaire. 1^{ère} éd, CIRAD-IEMVT. Montpellier, France, 126p.
- Gauthier-Pilters H., 1977. Contribution à l'étude de l'écophysiologie du dromadaire en été dans son milieu naturel (moyenne et haute Mauritanie). *Bull. Inst. Fondam. Afr. Noire (IFAN)*, Série A, 39 (2): 385-459.

- Hammadi M., 1996. Effet d'une supplémentation par un aliment concentré sur les performances de production et de reproduction en période post-partum chez la chamelle (*Camelus dromedarius*) élevée sur un parcours du Sud Tunisien. Mémoire de fin de cycle de spécialisation. Institut National Agronomique de Tunisie, 102p.
- Jouany J.P., 2000. Métabolisme et nutrition de la population microbienne. In: Jarrige R., Ruckebush Y., Demarquilly C., Farce M.H., Journet M.(eds). Nutrition des ruminants domestiques. INRA. : 349-381.
- Moussa M., 1999. Rentabilité de l'utilisation de l'ensilage de maïs dans la ration des vaches métisses exotiques dans la zone périurbaine de Bamako (Kalaban-coro/Gouana). Mémoire de fin de cycle, présenté pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Zootechnicien. Spécialité Elevage Institut Polytechnique Rural/Institut de Formation et de Recherche Appliquée/ IPR/IFRA, 29p.
- Ouologuem B., Moussa M., Coulibaly M.D., 2004. Etude et amélioration du système d'élevage camelin dans la région de Gao, Rapport final, 10^e Session du Comité de Programme, IER, 45p.
- Ouologuem B., Moussa M., Kouriba A., N'Diaye M., Baradji I., Mme Boré Guindo F.G., Nialibouly O., Coulibaly L., Coulibaly N., Daou S., Traoré M.D., Soufountera M., 2015. Evaluation du comportement des dromadaires en zones sahélienne et subhumide, 21^e session du Comité de Programme de l'IER, 51p.
- Ouologuem B., Moussa M. et Coulibaly M.D., 2017. Les types de dromadaires Talabayatten et Talmarokitt au nord-est du Mali ont un potentiel laitier élevé. *Livestock Research for Rural Development. Volume 29, Article 33*. Retrieved November 6, 2019, from <http://www.lrrd.org/lrrd29/2/ouol29033.html>.
- Richard D., 1989. Ingestibilité et digestibilité des aliments par le dromadaire. In Tisserand J.-L. (ed.) - Séminaire sur la digestion, la nutrition et l'alimentation du dromadaire. Zaragoza: CIHEAM Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 2 1989 h <http://om.cih.eam.org/article.ph p.ID PD F=CI00042 7>.
- Tilley J. M. A. & Terry R. A., 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *J. Brit. Grassland Soc.* (18) 104 -11, garfield.library.upenn.edu/classics1980/A1980JL65100001.pdf.

Le dromadaire peut contribuer à la résilience au changement climatique

Dromedaries as Potential Contributors to Climate Change Resilience

Ouologuem Bara¹, Moussa Mohomodou¹

¹Institut d'Économie Rurale, Programme de Recherche sur les Bovins et les Camelins, Sotuba - BP 262, Bamako, Mali

*Auteur pour la correspondance : ouologuembara@yahoo.fr

Résumé

Le dromadaire a toujours été considéré comme un animal des zones arides et désertiques de l'Afrique, du Moyen et Proche Orient. En effet, le dromadaire est l'espèce animale domestique la plus adaptée aux conditions écologiques difficiles de ces zones. Au Mali, il a fait ses preuves lors des différentes périodes de sécheresse que la zone sahélienne a connues dans les années 1970, 1984 et 2000 durant lesquelles il a subi moins de perte que les autres espèces animales. Cette mise en parallèle n'est pas fortuite et n'est pas due au hasard. Elle s'explique par les particularités anatomiques, physiologiques et comportementales que cette espèce a développées dans ce milieu durant des siècles. C'est pourquoi dans sa zone habituelle, le dromadaire est vénéré car il joue un rôle socio-économique inestimable: source de nourriture et de revenus pour la famille, exhaure d'eau, transport de personnes et de leurs biens, parades festives, etc. Le lait de dromadaire est plus riche en vitamine C, en fer et en manganèse que celui des autres animaux d'élevage. Il est aussi reconnu pour la faible teneur en cholestérol de sa viande. Sur le plan biomédical, le lait et la viande de dromadaire intéressent de plus en plus les scientifiques en raison de leur qualité biologique et le rôle qu'ils pourraient jouer dans la médecine pour le diagnostic et/ou le traitement de certaines pathologies. Dans le domaine de l'environnement, il est reconnu que le dromadaire gère mieux son espace par son comportement ambulatoire et le choix plus varié d'espèces à consommer que tous les autres ruminants d'élevage. Par ailleurs, le dromadaire est capable de modifier son métabolisme de base afin de résister à la chaleur et à la sous-alimentation. Actuellement au Mali, l'aire d'utilisation du dromadaire commence à s'étendre de plus en plus vers le sud pour atteindre l'isohyète 400 - 600 mm. Dans ces zones, la force de traction de l'espèce est utilisée dans toutes les activités agricoles ainsi que dans le transport des biens et des personnes. Ces spécificités du dromadaire et de ses produits plaident en faveur de l'extension et la promotion de son élevage dans le cadre de la lutte contre la malnutrition, la pauvreté et la résilience des populations rurales au changement climatique.

Mots-clés : dromadaire, population, particularités, changement climatique, résilience.

Abstract

The dromedary has always been considered as an animal of arid and desert areas of Africa, the Middle and the Near East. Indeed, the dromedary is the domestic animal species most adapted to the difficult ecological conditions of these areas. In Mali, it has proved its worth during the various droughts experienced by the Sahelian zone in the 1970s, in 1984 and in the 2000s, during which it suffered less loss than the other animal species. This paralleling is not fortuitous and is not due to chance. It is based on the anatomical, physiological and behavioral particularities that this species has developed in this environment for centuries. This is why the dromedary is revered in its usual environment. It plays an invaluable socio-economic role as it is a source of food and income for the family; it is used to raise water from deep wells and carry people and their goods; it is central in festive parades, etc. Dromedary milk is richer in vitamin C, iron and manganese than other livestock milk. The dromedary is also known for the low cholesterol content of its meat. On a biomedical level, dromedary milk and meat are of increasing interest to scientists because of their biological quality and the role they could play in medicine for the diagnosis and/or treatment of some diseases. With regard to the environment, it is recognized that the dromedary manages better its space through its outpatient behavior and the more varied choices of forage it consumes than all the other farmed ruminants. In addition, the dromedary is able to modify its basic metabolism to resist heat and undernourishment. Nowadays in Mali, the area of use of the dromedary is beginning to expand towards the south up to the 400-600 mm isohyet. In these areas, the traction force of this species is used in all agricultural activities as well as in the carrying of goods and people. These specificities of the dromedary and its products speak in favor of the extension and promotion of its farming to help combat malnutrition and poverty, and ensure the resilience of rural populations to the climate change.

Key words: dromedary, population, particularities, climate change, resilience.

Introduction

Le dromadaire appartient au genre *Camelus* qui compte deux espèces *Camelus dromedarius*, (dromadaire, Photo 1) et *Camelus bactrianus* (chameau de Bactriane, Photo 2). Toutefois, il existe l'espèce *Camelus bactrianus ferus* (chameau de Bactriane sauvage de Tartarie, Photo 3) qui est souvent considérée comme la troisième espèce du Genre Camelidés. Toutes ces espèces appartiennent au groupe des grands camélidés. Bien que le dromadaire et le chameau habitent deux zones désertiques contrastées, le premier étant élevé dans les zones arides d'Afrique, du Moyen et Proche-Orient, jusqu'au désert du Thar en Inde, et le deuxième vivant dans les déserts froids d'Asie Centrale jusqu'aux confins de la Mandchourie en Chine, leurs produits de croisements sont féconds (Faye, 1997). Toutefois, les deux espèces peuvent cohabiter en quelques rares endroits tels que le Kazakhstan et la Turkménie (Konuspayeva *et al.*, 2008).



Dromadaire Maghrébi (A)



Dromadaires sahéliens au ranch de Niono (B)

Photo 1 : *Camelus dromedarius*



Photo 2 : Chameau de Bactriane domestique



Photo 3 : Chameau *Bactriane ferus* sauvage

Population

Selon les statistiques de la FAO (FAOStat, 2011), le nombre de grands camélidés dans le monde est estimé à 30 millions de têtes dont 95 % de dromadaires et 5 % de chameaux de bactriane. En outre, le dromadaire a été recensé dans 35 pays du monde (Faye, 1997) dont 80 % en Afrique et environ 60 % de cet effectif se trouvent dans la Corne de l'Afrique (Somalie, Soudan, Éthiopie, Érythrée, Djibouti, Kenya). La population mondiale augmente avec une croissance régulière de 3,8 % par an.

Suite à la désertification, de nouveaux pays ont vu l'entrée des dromadaires dans leur système, comme la Centrafrique et le Nigéria (Bourzat et Wilson, 1987). D'autres pays par contre, ont tenté de l'introduire comme la Namibie, la Hollande, la France (Faye, 2011 ; Faye *et al.*, 1995 ; Bourzat et Wilson, 1987).

Au Mali, les statistiques de la DNPIA (2016) ont montré une évolution positive de la population de dromadaires (Figure 1).

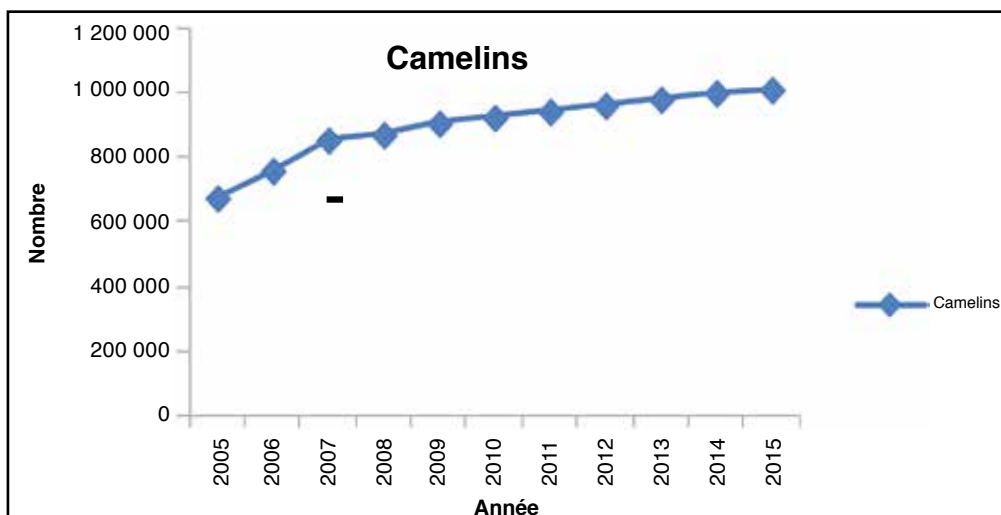


Figure 1 : Évolution de la population des dromadaires au Mali de 2005 à 2015

Cependant, son pourcentage par rapport aux bovins se situe entre 8 et 10 %, tandis que comparé à l'ensemble des ruminants (bovins et petits ruminants), ce taux est presque constant (2,2 - 2,7 %) de 2005 à 2015 (Figure 2), ce qui sous-entend que la population de dromadaires est encore faible vu l'étendue du territoire et les possibilités de son élevage.

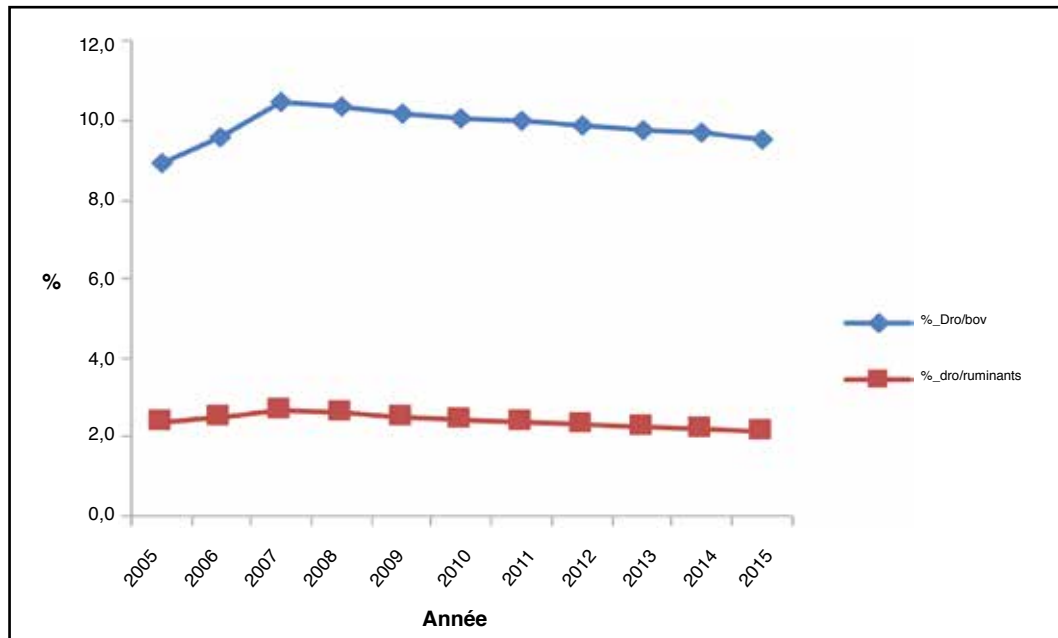


Figure 2: Pourcentage de la population de dromadaires par rapport à celui des bovins et des bovins + petits ruminants

Le dromadaire, longtemps considéré comme animal du désert où il est le plus adapté des animaux domestiques, rend de nombreux services à ses propriétaires à travers la production de lait et de viande, de laine, de cuirs, de fumier, de force de traction, de monture, etc. en exploitant les maigres ressources de cette zone. Au Mali, l'importance du dromadaire a été remarquée davantage lors des sécheresses des années 1970 et 1980, durant lesquelles, il a été l'espèce qui a le plus demeuré dans son milieu traditionnel d'élevage alors que les autres espèces avaient soit péri, soit quitté les zones.

Ces dernières décennies, suite aux manifestations permanentes du changement climatique et aux spécificités des produits du dromadaire, on assiste de plus en plus à un regain d'intérêt aussi bien des scientifiques que des développeurs pour comprendre son mécanisme d'adaptation aux conditions difficiles des zones arides, mais surtout pour valoriser les vastes espaces arides de nombreux pays (Faye *et al.*, 2009, 2013).

Cette capacité d'adaptation tient à un certain nombre de caractéristiques spécifiques de l'animal dont les plus importantes sont données dans ce qui suit.

Spécificités du dromadaire

Anatomiques

Le dromadaire présente un ensemble de particularités anatomiques telles que l'épaisseur du derme, la nature des phanères, la structure des glandes sudoripares, le réseau sanguin dans les sinus qui contribuent à sa résistance aux écarts thermiques, caractéristiques des milieux désertiques (Lee et Schmidt-Nielson, 1962).

La principale différence du dromadaire avec les autres ruminants est la forme de la plante des pieds. Dépourvu de sabot, le dromadaire est rangé parmi les digitigrades et non des onguligrades comme les autres ruminants, ce qui lui permet d'une part de marcher dans le sable sans s'enfoncer et d'autre part de ne pas détruire le couvert végétal dans les pâturages. On le compare à un pneu dont la chambre à air a été remplacée par un tissu adipeux qui donne à l'ensemble une souplesse remarquable (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Dromadaire>, consulté le 20 novembre 2016).

L'anatomie de l'appareil digestif du dromadaire diffère de celle des autres ruminants, principalement par la présence des sacs glandulaires appelés encore cellules aquifères dont chacune peut contenir 200 à 300 CC (Faye *et al.*, 1995). L'eau bue par le dromadaire assoiffé est retenue dans les pré-estomacs (sacs glandulaires) pendant 24 heures et que la réhydratation de l'animal est faite de façon progressive. Les sacs glandulaires pourraient produire des ions bicarbonates qui jouent un rôle de pouvoir tampon complétant la salive.

Le dromadaire possède une troisième paupière qui lui permet de se protéger contre les vents de sables dans le désert à l'image des amphibiens qui peuvent voir sous l'eau.

Physiologiques

La bosse du dromadaire, contrairement à une légende tenace, n'est pas une réserve d'eau, mais d'énergie sous forme de graisse. Selon Kamoun (1995) le poids de la bosse peut varier de 15 kg à 45 kg et Faye (2013) a rapporté qu'elle peut dans les cas extrêmes atteindre 100 kg pour un animal en pleine forme et bien nourri. Sa présence sur le dos lui assure un rôle thermorégulateur. En effet, cette localisation évite la répartition de la graisse sous les tissus sous-cutanés permettant ainsi la dissipation cutanée de la chaleur. L'animal se refroidit mieux car il est moins gras.

Le dromadaire transforme sa graisse en eau métabolique à la suite de réactions physiologiques d'oxydation (jusqu'à 40 litres pour un animal en bonne santé).

Il a aussi la capacité de varier sa température interne jusqu'à 6°C en fonction de la température externe économisant ainsi 5 litres d'eau. Durant les heures chaudes de la journée sa température peut atteindre 42°C sans qu'on ne puisse parler de fièvre. Par contre, durant les heures froides de la nuit, elle peut descendre à 34°C (Faye *et al.*, 1995).

Il peut se passer de boire pendant 2 à 3 semaines en saison chaude et 4 à 5 semaines en saison froide. Mais, lorsqu'il a accès à l'eau, il peut boire jusqu'à 15 l par minute, soit environ 75 litres en 5 minutes. Il est le seul mammifère à pouvoir boire autant d'eau en un si peu de temps sans conséquence sur les globules rouges.

Le dromadaire possède des mécanismes d'économie de l'eau par la réduction des pertes d'eau telles que la diminution de la diurèse, l'arrêt de la sudation, la diminution du métabolisme de base, la variation de la température corporelle, les réactions par la formation d'eau à partir de l'hydrogène et de l'oxygène de la respiration, etc. Le dromadaire peut perdre jusqu'à 30 % de son poids en eau, mais le récupère vite en cas de disponibilité d'eau (Faye, 1995). Même l'excrétion des éléments dont l'élimination nécessite de grandes quantités d'eau (glucose et urée notamment) est contrôlée de façon rigoureuse. Tous ces mécanismes, permettant un maintien d'une homéostasie vitale pour la vie, limitent la variation de la concentration des paramètres vitaux tout en assurant une excrétion maximale des déchets métaboliques.

Le dromadaire présente une meilleure capacité à digérer les fourrages pauvres que les ruminants domestiques. Elle s'explique par une plus forte rétention des particules solides dans les pré-estomacs se traduisant par un temps de contact plus long des aliments avec les micro-organismes qui les digèrent. Il supporte très mal l'excès de nourriture.

Sur le plan des minéraux, tout se passe chez le dromadaire comme si son métabolisme était tourné vers une anticipation des périodes de sous-nutrition minérale. Il signe son adaptation à ces périodes de restriction alimentaire par divers mécanismes : augmentation des capacités d'absorption en cas de pénurie, plus grande capacité de stockage de certains éléments minéraux, plus grande tolérance à certains électrolytes, maintien des activités enzymatiques de base en dépit des situations déficitaires.

Comportementales

Alimentaire

Dans le système extensif traditionnel, l'alimentation du dromadaire se caractérise par une pâture ambulatoire, c'est-à-dire parcourir de grandes distances à la recherche de

nourriture. Il est capable de consommer plusieurs types d'aliments dont certains sont rejetés par les autres ruminants. Il consomme des espèces très variées aussi bien sur le plan botanique (graminées, légumineuses, arbres, arbustes, etc.) que de composition chimique (Stiles, 1988). Le dromadaire mutile rarement une plante. Le broyage des feuilles des arbustes et des arbres ne détruit généralement pas la plante. Toutefois, l'insuffisance de grands espaces de pâturages modifie le comportement du dromadaire.

Émission de gaz à effet de serre

Il est reconnu que les ruminants dégagent de grandes quantités de méthane (gaz à effet de serre). Mais, une récente étude (Dittmann *et al.*, 2014) a démontré que les camélidés produisent moins de méthane (0,32 l/kg de poids vif) comparativement aux autres ruminants (0,58 l/kg de poids vif). Toutefois, si l'on tient en compte des quantités ingérées en termes de fibres digestibles, la différence n'est pas significative (92,7 l contre 86,2 l/kg chez les autres ruminants).

Si on extrapole ces résultats à l'ensemble de la population des herbivores ruminants et pseudo-ruminants, on peut évaluer la contribution des camélidés à l'émission de méthane à 1 % environ contre 72 % pour les bovins. Or, les camélidés ne représentent que 0,92 % de la population des ruminants domestiques alors que les bovins en représentent 38 %. Alors, si on doit sacrifier les ruminants pour diminuer l'émission des gaz à effet de serre, les camélidés ne seront pas en première position dans un avenir proche (Dittmann *et al.*, 2014).

Productions

Production de lait

Dans les conditions difficiles des zones arides, aucune espèce animale ne produit autant de lait que la chamelle. La quantité de lait produite par la chamelle dépasse celle de la vache soumise aux mêmes conditions climatiques (Faye, 1997). Des productions journalières de 2 à 15 litres ont été obtenues dans diverses conditions d'élevage de différents pays. Au Mali, Bourdanne (1998) a estimé que les chamelles du Hodh Malien produisent 6 - 7 litres de lait par jour lorsque l'alimentation est suffisante. Une production moyenne de 7 litres a été obtenue en hivernage et 6 litres en saison sèche après complémentation avec le tourteau de coton dans la zone d'Ansongo (Ouologuem *et al.*, 2017).

Au delà de sa production, le dromadaire ou le chameau se distingue des autres espèces par la composition de leur lait. Ainsi, comparé, au lait de vache, il est en moyenne

moins riche en matières grasses, présente un taux de matières azotées comparable et contient 3 fois plus de vitamines C (25 - 100 mg/kg de lait) que le lait de vache (50 mg/kg). Cette dernière caractéristique liée à la teneur faible en acide butyrique contribue à sa bonne conservation dans les conditions de température ambiante. Le lait de chamelle est également riche en acides aminés tels que la thréonine, la proline, la thiamine, la riboflavine, la niacine, l'acide pantothénique et autres vitamines selon Pacholek *et al.* (2000).

La deuxième caractéristique du lait de dromadaire est la taille plus faible de globules gras (1,2 à 2,4 μ) qui fait qu'il se conserve plus longtemps que celui des autres espèces en milieu ambiant. La troisième caractéristique est la teneur élevée du lait en facteurs antimicrobiens, notamment la lactoferrine et le lysozyme (Pacholek *et al.*, 2000; Konuspaeva *et al.*, 2004).

Sur le plan minéral, le lait de dromadaire se distingue par sa teneur élevée en manganèse ($7,96 \pm 7,4 \mu\text{g/l}$) et en fer ($3,16 \pm 0,03 \text{ mg/l}$) par rapport au lait de vache ($2,78 \pm 5,2 \mu\text{g/l}$ et $0,29 \pm 0,02 \text{ mg/l}$) et celui de la femme ($4,4 \pm 0,4 \mu\text{g/l}$ et $0,26 \pm 0,05 \text{ mg/l}$).

Ces spécificités font que le lait de dromadaire ou de chameau se conserve plus longtemps à l'air ambiant que celui des autres espèces, notamment celui de la vache et sa consommation à l'état frais permet de lutter contre certaines infections et la malnutrition, notamment l'anémie chez les enfants et les personnes âgées d'où les propriétés thérapeutiques qui lui sont attribuées.

Production de viande

Depuis 1961, la croissance de la production mondiale de viande de chameau (chameau et dromadaire) a été régulière à un rythme annuel de 2,8%, passant de 123 000 à 381 000 tonnes (FAOStat, 2011). Néanmoins, la contribution du chameau à la production mondiale de viande rouge est très marginale du fait de la taille de la population caméline. En effet, la viande de chameau représente 0,13% de la viande produite dans le monde et 0,45% de la viande rouge (Faye *et al.*, 2013). Mais dans les pays sahéliens et au Proche Orient, sa part dans la production de la viande rouge est nettement plus élevée: 4,1% en Afrique de l'Est, 4,8% en Afrique du Nord, 2,9 en Afrique de l'Ouest et 3,7% au Proche Orient.

Dans les élevages traditionnels, la viande du dromadaire est rarement consommée sauf lors de certaines manifestations festives. Mais elle est dans les habitudes alimentaires des habitants de certains pays comme le Soudan, l'Éthiopie, l'Érythrée, Djibouti et la

Somalie. En Afrique de l’Ouest, c’est surtout le Tchad, la Mauritanie et le Niger qui ont augmenté leur production de viande. Cette habitude commence à se développer dans les pays du Maghreb et du Golf et d’Asie (Pakistan, Kazakhstan, Turquie, etc.). Au Mali, la contribution de la viande cameline était estimée en 2012 à 0,12 %. En 2015, elle a été de 0,19 % sans la région de Kidal (DNPIA, 2016).

La croissance de la production de viande est liée à l’augmentation du nombre d’animaux abattus et l’augmentation du poids de la carcasse suite à la demande accrue des populations. Cette demande s’explique par des besoins de diversification des sources de protéines animales, mais surtout la qualité diététique de la viande du camelin (Faye *et al.*, 2013). En effet, elle contient moins de cholestérol que la viande des autres espèces domestiques, ce qui est un argument commercial très important (Tableau 1). Elle contient aussi des vitamines telles que la thiamine (B1) 0,12 mg/100 g; la Riboflavine (B2) 0,18 mg; la pyridoxine (B6) 0,25 mg; et l’alpha-tocophérol (vitamine E) 0,61 mg/100 g de viande.

Tableau 1 : Teneur en cholestérol de la viande de quelques espèces animales de différents auteurs rapportés par Faye *et al.* (2013)

Espèces	Cholestérol mg/100 g de viande	Auteurs
Dromadaire	50 – 61	El-Magoli <i>et al.</i> , 1973; Sinclair <i>et al.</i> , 1982; Holland <i>et al.</i> , 1991; Abou-Tarbouch et Dawood, 1993; Sales, 1996; Kadim <i>et al.</i> , 2008; Madruga <i>et al.</i> , 2008; Yousefi <i>et al.</i> , 2012, tous cités par Faye <i>et al.</i> , 2013.
Bovin	59 – 73	
Ovin	53 – 78	
Caprin	63 – 71	
Porc	60 – 80	
Poulet	57 – 76	
Autruche	62	

Intérêts biomédicaux

Au-delà des mécanismes d’adaptation du dromadaire aux conditions arides, quelques spécificités récemment découvertes intéressent les biologistes. Il s’agit des particularités structurales des immunoglobulines et les propriétés bioactives de la lactoferrine cameline, car elles peuvent ouvrir des perspectives biomédicales et industrielles (Faye *et al.*, 2013).

Les immunoglobulines: dans la thérapeutique de certaines tumeurs chez l'homme, l'utilisation d'anticorps recombinants dits de « seconde génération » tels que l'herceptine en association avec la chimiothérapie et l'anticorps chimérique comme le Rituximab est courante. Dans le cadre de la recherche d'anticorps candidats pour générer des formats d'anticorps pour l'immunothérapie et disposer notamment d'anticorps multi-spécifiques, les immunoglobulines des camélidés s'avèrent particulièrement intéressants car dépourvus de chaîne légère (Hamers-Casterman *et al.*, 1993 cités par Faye *et al.*, 2013). Des domaines variables d'anticorps simples à chaîne lourde de camélidés, reconnaissant spécifiquement un type d'antigènes, ont été sélectionnés à partir d'animaux immunisés et ont permis de concevoir divers formats d'anticorps chimérisés et humanisés. Cette découverte ouvre la voie à des applications immuno-thérapeutiques et immuno-diagnostiques de première importance pour la lutte contre certains cancers et contribuent ainsi à s'intéresser aux camélidés comme modèle biologique dans les recherches biomédicales.

La lactoferrine caméline: parmi les molécules pouvant étayer les hypothèses de propriétés médicinales et thérapeutiques du lait de la chamelle, la lactoferrine s'avère particulièrement prometteuse. En effet, une étude récente a montré que parmi toutes les lactoferrines spécifiques, celle de la chamelle possède l'activité antimicrobienne la plus forte (Konuspayeva *et al.*, 2004). D'autres types d'activités (antivirales, antifongiques, anti-inflammatoires, immunostimulantes) ont été relevés et l'intérêt pour la lactoferrine caméline s'avère d'autant plus grandissant qu'elle est plus élevée dans le lait de la chamelle (2 - 6 mg/ml) que dans celui de la vache (0,02 - 0,2 mg/ml). Par ailleurs, elle est thermorésistante selon Konuspayeva *et al.* (2004, 2008). De plus, ses dérivés polypeptidiques issus des processus de fermentation naturelle pourraient montrer des propriétés immunostimulantes et immunoadjuvantes d'intérêt biomédical.

D'autres attentes thérapeutiques sont, son utilisation dans le traitement de la tuberculose humaine surtout pour les formes résistantes aux médicaments et celui du diabète notamment chez les patients insulino-dépendants, le lait de chamelle contenant deux fois plus d'insuline (52 ui/l) que le lait de la vache (Konuspayeva *et al.*, 2004). En plus, l'insuline du lait de vache et de brebis est détruite lors du caillage par les sucs gastriques, alors que celle du lait de chamelle est absorbée sans transformation.

Les allergies au lait de vache et l'intolérance du lactose: il a été observé que la Béta-lacto globuline qui est un puissant allergène dans le lait de la vache, n'a pas été détectée dans le lait de la chamelle, ce qui fait de lui une alternative pour les enfants souffrant des allergies liées au lait (Konuspayeva *et al.*, 2004).

L'intolérance au lactose qui est une pathologie que l'on rencontre chez certaines personnes âgées n'a pas été observée avec le lait de chamelle.

Extension de la ceinture d'élevage du dromadaire

L'élevage du dromadaire est traditionnellement lié aux peuples qui vivent dans les zones arides des continents où l'animal n'a pas son pareil dans le rôle qu'il joue pour ses détenteurs: nourriture, monture, sport, exhaure d'eau, transport de biens, etc. Mais depuis une trentaine d'années, l'extension de la zone d'élevage est observée surtout dans les pays sahéliens.

D'après Faye *et al.* (2013), le climat sahélien s'est caractérisé par une sécheresse prononcée et une avancée de la désertification. Ainsi, le Sahara aurait progressé de 250 km vers le Sud depuis 1900 sur un front large de 6 000 km. Pour les périodes à venir, les experts s'accordent sur le renforcement de ces tendances avec une croissance accrue de la désertification qui affecterait environ 43 % de la zone terrestre du continent.

Au Mali aussi, on a observé le déplacement des isohyètes vers le Sud. Les isohyètes qui variaient entre 500 et 1 500 mm dans les années 1950, depuis 15 - 20 ans le maximum atteint est de 1 300 mm. Ainsi, la ville de Tombouctou qui se trouvait dans l'isohyète 200 - 400 mm entre 1951 et 1970, se trouve désormais dans l'isohyète 100 - 200 mm entre 1970 - 2000. On a observé une baisse de la pluviosité de 24,6 mm à Tessalit et de 179,2 mm à Sikasso en un demi-siècle. L'isohyète 1 200 mm se trouve désormais en dehors du Mali (Diarra, 2009).

Ce changement climatique a entraîné de nombreuses modifications dans le couvert végétal et la qualité des sols, baissant la productivité des parcours et des cultures. Mais ces changements climatiques en faveur de la désertification ont favorisé l'expansion de l'aire du dromadaire dans tous les pays sahéliens. Ainsi, par exemple au Niger, on a constaté l'augmentation sensible du nombre de dromadaires dans les zones traditionnellement agricoles telles que Tahoua, Maradi, Zinder (Faye *et al.*, 2013).

Au Tchad, les troupeaux de dromadaires ont atteint la frontière avec la Centrafrique (Faye *et al.*, 2013). Au Kenya, la population cameline a envahi une large partie du pays y compris les populations Massai, traditionnellement éleveurs de bovins (Faye *et al.*, 2013).

Au Mali, son aire habituelle était les régions dont les isohyètes sont comprises entre 100 mm et 400 mm, ce qui correspond aux régions de Kidal, de Gao et le Sud de

Tombouctou. Actuellement, le Sud et le Nord de la région de Mopti (Bankass, Koro, Douentza), constituent de nouvelles zones d'élevage du dromadaire. Dans la région de Ségou, les nomades atteignent les abords de la zone irriguée de l'Office du Niger (observations personnelles). Dans les régions de Koulikoro et de Kayes, les troupeaux de dromadaires transhumants descendent plus au Sud dans les cercles de Nara, de Nioro du Sahel et de Yélimané.

Dans les zones d'extension, les dromadaires sont principalement dans les systèmes agropastoraux. Là, les animaux sont fortement utilisés dans tous les travaux agricoles (labour, transports de fumiers, d'engrais, de travailleurs agricoles, etc.).

Conclusion

Cette revue de littérature a permis de montrer les spécificités du dromadaire en tant qu'animal domestique, ainsi que l'engouement actuel pour ses produits à travers le monde. Dans un pays comme le Mali où les 3/4 du territoire se trouvent dans la zone désertique et semi-désertique, et que le reste est sous une menace de plus en plus forte, l'importance du dromadaire doit être reconsidérée au niveau national afin de tirer le meilleur parti des nombreuses potentialités qu'offre l'espèce. Une des premières mesures doit être l'inscription du dromadaire dans la liste des animaux à vaccination obligatoire contre les principales pathologies (charbons, dermatoses, pasteurellose, etc.) par les services vétérinaires.

En effet, si la tendance de la dégradation de l'environnement se poursuit dans les années à venir, l'aire favorable à l'élevage du dromadaire s'agrandirait. Alors, une des alternatives qui s'offre à nous est de promouvoir le développement de l'élevage du dromadaire au détriment des autres ruminants pour ralentir la dégradation de l'environnement. Par ailleurs, les produits de cet élevage permettront à la plus grande partie de la population d'améliorer son statut nutritionnel et sanitaire.

Pour être dans le courant de la recherche internationale actuelle, la recherche nationale sur le dromadaire doit être intensifiée et diversifiée, notamment en impliquant davantage les spécialités des sciences médicales et des sciences environnementales.

Références

- Bourdanne, 1998. L'élevage du dromadaire au Mali: Aspects socio-économiques et culturels. Thèse de doctorat vétérinaire, EMSMV, Dakar, 120p. <http://www.beep.ird.fr/collect/eismv/index/assoc/TD98-13.dir/TD98-13.pdf>.
- Bourzat et Wilson, 1987. La recherche cameline en Afrique Rev. sci. tech. Off. int. Epiz., 1987, 6 (2) : 375-382. <https://www.oie.int/doc/ged/D8488.pdf>.
- Diarra D.Z., 2009. Généralités sur le Mali, Direction Nationale de la Météorologie, Ministère de l'Équipement et des Transports du Mali 2007. http://www.wamis.org/agm/meetings/amali09/J1_Diarra_Presentation_Formation.pdf.
- Dittmann M.T., Runge U., Lang R.A., Moser D., Galeffi C., Kreuzer M., Clauss M., 2014. Methane emission by camelids. Plos one, 9(4), e94363, 1-8 <http://journals.plos.org/plosone/articleid=10.1371/journal.pone.0094363>, consulté 17 mars 2017 à 11h00.
- DNPIA (Direction Nationale des Productions et Industries Animales), 2016. Rapport annuel 2015, Mali, 114p.
- FAOStat, 2011, <http://fasostat.fao.org>.
- Faye B., Gilles V.F., Chaïbou M., 2013. Le dromadaire profite-t-il du changement climatique ? Courrier de l'Environnement de l'INRA, 63 : 131-140.
- Faye B., Saint-Martin G., Bonnet P., Bengoumi M., Dia L., 1997. Guide de l'élevage du dromadaire. 1^{ère} éd., CIRAD-IEMVT. Montpellier, France, 126p.
- Faye B., Jouany J.P., Chacornac J.P., Ratovonahary M., 1995. L'élevage des grands camélidés. Analyse des initiatives réalisées en France, INRA, Prod. Anim., 8(1) : 3-17.
- Faye B., Abdelhadi O., Raiymbek G., Kadim I., Hocquette J.-F., 2013. La production de viande de chameau : état des connaissances, situation actuelle et perspectives, INRA Prod. Anim. 26(3) : 289-300.
- Faye B., 2009. L'élevage des grands camélidés : vers un changement de paradigme, Renc. Rech. Ruminants, 345-348.
- Kamoun M., 1995. Dromedary meat: production, quality aspects and acceptability for transformation. Options Méditerranéennes. Série B, Etudes et Recherche, 13 : 105-130.
- Konuspayeva G., Loiseau G., Levieux D., Faye B., 2008. Lactoferrin and immunoglobulin content in camel milk from Bactrian, Dromedary and hybrids in Kazakhstan. Journal of Camel Sciences, 1 : 54-62, <http://www.isocard.org>.
- Konuspayeva G., Loiseau G., Faye B., 2004. La plus-value «santé» du lait de chamelle cru et fermenté : l'expérience du Kazakhstan. Renc. Rech. Ruminants, 2004, 11 : 47-50.

- Lee Donald G. and Knut Schmidt-Nielsen, 1962. The skin, sweat glands and hair follicles of the camel (*Camelus dromedarius*) The Anatomical Record, <https://doi.org/10.1002/ar.1091430107>. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/ar.1091430107>.
- Ouologuem B., Mohomodou M. et Coulibaly M.D., 2017. Les types de dromadaires Talabayatten et Talmarokitt au Nord-est du Mali ont un potentiel laitier élevé. *Livestock Research for Rural Development* 29(2) 2017.
- Pacholek X., Vias G., Faye B., Faugère O., 2000. *Elevage camelin au Niger: Référentiel zootechnique et sanitaire*, Ministère des Ressources Animales, 100p.
- Stiles D.N., 1988. Le dromadaire contre l'avancée du désert. *Rev. La recherche*. 19(201): 948-952. Sciences.gloubik.info.

Production de lait de la chamelle dans les conditions d'élevage sahélienne et subhumide du Mali

Dromedary Milk Production under Sahelian and Sub-humid Conditions in Mali

Ouologuem Bara^{1*}, Mohomodou Moussa², Nialibouly Ousmane³, Traoré Mamadou Demba³, N'Diaye Mohamed⁴

¹Station de Recherche Agronomique de Sotuba - BP 262, Bamako, Mali

²Centre Régional de Recherche Agronomique de Gao - BP 117, Mali

³Station de Recherche Agronomique de Niono - BP 238, Ségou, Mali

⁴Direction Scientifique, Institut d'Économie Rurale - BP 258, Bamako, Mali

*Auteur pour la correspondance : ouologuembara@yahoo.fr

Résumé

Deux troupeaux de dromadaires ont été introduits dans la zone sahélienne-Sud à Niono et zone subhumide à Sotuba en 2013. Quinze femelles qui ont mis bas dans ces nouvelles zones dont 7 à Sotuba et 8 à Niono ont fait l'objet de suivi. Après le pâturage, les animaux recevaient individuellement 4 kg d'un aliment concentré contenant 484 g de protéines digestibles et 3,24 UF d'énergie nette. Sur les deux sites, la quantité de lait trait a été mesurée jusqu'au tarissement par une double traite par jour, le matin et le soir, après que le chamelon ait stimulé la descente du lait dans les mamelles. Ensuite, la durée de la lactation et la production de lait par lactation ont été calculées. Il a été observé une différence significative entre les chamelles ($P = 0,001$) aussi bien à Sotuba qu'à Niono. À Sotuba, la production journalière moyenne a été de $1,35 \pm 0,78$ kg, tandis qu'à Niono, elle a été de $4,2 \pm 1,53$ kg. La durée moyenne de la lactation a été $278,5 \pm 79,2$ jours à Sotuba et $332,3 \pm 39,0$ jours à Niono. Durant cette période, la production de lait par lactation a été de $1\ 395 \pm 306$ kg à Niono, contre $380,9 \pm 144,3$ kg à Sotuba. Il a été trouvé des coefficients de corrélation positifs entre la production journalière et celle du matin d'une part et entre celle-là et celle du soir d'autre part. Ces coefficients ont été de $r = 0,91$ et $r = 0,87$ à Sotuba; $r = 0,94$ et $r = 0,94$ à Niono. Ces résultats montreraient que les dromadaires s'adaptent dans leur nouvelle zone d'élevage. Ils constituent une base pour entamer une sélection des femelles en vue de constituer une population homogène pour la production de lait en station.

Mots-clés : dromadaires, zone sahélienne-Sud et subhumide, lait, durée lactation.

Abstract

Two herds of dromedaries were introduced in the Southern Sahel zone (Niono) and the sub-humid zone (Sotuba) in 2013. Fifteen females, i.e. 7 in Sotuba and 8 in Niono, which gave birth in these new environments, were monitored. After grazing, each animal received 4 kg of a concentrated feed containing 484 g of digestible protein and 3.24 UF of net energy. In both sites, the amount of milk was measured until drying off through double milking per day in the morning and the evening after the young dromedary has stimulated milk flowing into the udders. Then, the duration of lactation and milk production by lactation were calculated. There was a significant difference between dromedaries ($P = 0.001$) in both Sotuba and Niono. The average daily production was 1.35 ± 0.78 kg in Sotuba, while it was 4.2 ± 1.53 kg in Niono. The mean duration of lactation was 278.5 ± 79.2 days in Sotuba and 332.3 ± 39.0 days in Niono. During this period, the average milk production per lactation was $1,395 \pm 306$ kg/dromedary in Niono, compared with 380.9 ± 144.3 kg in Sotuba. Positive correlation coefficients were found between daily and morning production on the one hand and between the latter and the evening one on the other hand. These coefficients were as follows: $r = 0.91$ and $r = 0.87$ in Sotuba and $r = 0.94$ and $r = 0.94$ in Niono. These results show that dromedaries are adapting themselves to their new farming area. They also provide a basis for initiating a selection of females to form a homogenous population for in-station milk production.

Key words: *dromedaries, Southern Sahel and sub-humid zone, milk, duration of lactation.*

Introduction

Le lait de dromadaire est très important dans l'alimentation des populations pastorales qui élèvent cette espèce. Le potentiel de production de lait de la chamelle a été diversement étudié en Afrique et dans d'autres régions du monde (Mukasa, 1985; Kamoun, 1995). Plusieurs facteurs influencent le niveau de production tels que le type du dromadaire, les conditions d'élevage, la méthode de traite et même la dextérité du trayeur (Musaka, 1985; Kamoun, 1995). Au Mali, la production laitière de la chamelle est encore peu étudiée, à l'exception des données d'enquêtes ponctuelles (Nadio, 1985; Ouologuem *et al.*, 2016 et 2017). En outre, la détérioration des conditions d'élevage, suite au changement climatique, est en train de pousser le dromadaire hors de sa zone traditionnelle en direction des zones Sud plus humides. Deux troupeaux de dromadaires ont été introduits en 2013 dans le ranch de la station de recherche agronomique de Niono sis en zone sahélienne (500 - 600 mm/an de pluies) et dans la Station de Recherche Agronomique de Sotuba située en zone subhumide (800 - 1 000 mm/an). Un des critères d'adaptation des espèces animales dans une zone est la production de lait pour nourrir leurs progénitures. L'objectif du présent travail a été de déterminer la production de lait des chamelles dans leurs nouvelles zones d'élevage.

Matériel et Méthodes

L'étude a été menée au ranch de la Station de Recherche Agronomique de Niono qui a une pluviosité comprise entre 500 et 600 mm/an et la Station de Recherche Agronomique de Sotuba où la hauteur des pluies varie entre 800 et 1 000 mm/an. Sept chamelles en lactation à Sotuba et 8 à Niono ont été suivies durant toute la durée de la lactation et la quantité de lait trait a été collectée journalièrement en deux traites, le matin et le soir. Le groupe de Sotuba était composé de chamelles dont la parité variait entre 1 et 2, tandis que celles de Niono étaient toutes des primipares. Dans la matinée, les chamelles pâturaient avec le reste du troupeau et le soir à leur retour vers 16 heures, elles recevaient individuellement 4 kg d'aliment concentré commercial à base de sons de blé, de maïs et de tourteau de coton contenant 16% de protéines brutes. La quantité donnée procurait à l'animal 3,24 UF d'énergie nette et 484 g de matières azotées digestibles. Le sel a été distribué périodiquement une fois par semaine.

Après la mise-bas (Photos 1 et 2), le chamelon a été laissé téter entièrement le lait de sa mère pendant les 15 premiers jours; ensuite, les bergers ont fait la traite partielle afin d'habituer la chamelle à la traite durant les 15 jours suivants. À Niono, le temps d'adaptation des animaux a été plus long, en raison du fait que les chamelles étaient des primipares, mais aussi par l'inexpérience des bergers chargés de faire la traite. Il

a fallu les former par un chamelier sollicité de Gossi. Cette situation a fait que la production de lait des premières chamelles ayant mis bas n'a pu être suivie qu'au 3^e mois. Sur les deux sites, la quantité de lait trait a été collectée jusqu'au tarissement des chamelles par un suivi des traites quotidiennes, deux fois par jour, le matin et le soir après que le chamelon ait stimulé la descente du lait dans les mamelles (Photos 3, 4, 5).



Photo 1 : Chamelon et sa mère à Sotuba en 2015



Photo 2 : Groupe de chamelons à Niono en 2015



Photo 3 : État du pis d'une chamelle avant la traite à Sotuba



Photo 4 : Traite d'une chamelle à Niono



Photo 5 : Lait prélevé par le berger

Les données collectées ont été la quantité de lait produit par jour, la durée de la lactation et la production par lactation. Les données ont été traitées par la méthode d'analyse de variance en prenant comme facteurs principaux la chamelle et la date de mise-bas.

Résultats

La production de lait des chamelles de Sotuba est portée dans le tableau 1. On a observé une différence très hautement significative entre les chamelles ($P < 0,001$). La chamelle S04 a été la plus productive suivie successivement par les chamelles S01, S07, S10, S11, S03 et S02. La production par mois aussi a reflété celle de la production journalière, à la seule différence que la chamelle S07 a été au troisième rang avant les S10, S11 et S03. La durée de la lactation a été plus longue chez la chamelle S10, suivie de S011 et S07, puis de S01, S02, S04 et S03.

Tableau 1 : Production de lait (kg) des chamelles de Sotuba

Chamelle	Nombre de données	Production moyenne journalière (kg)	Écart Type	Minimum (kg)	Maximum (kg)
S01	196	1,85 ^b	0,74	0,1	3,3
S02	144	0,89 ^e	0,49	0,1	2,5
S03	46	0,94 ^{de}	0,58	0,1	2,5
S04	94	2,12 ^a	0,54	0,1	4,2
S07	199	1,32 ^c	0,77	0,1	4,1
S10	125	1,14 ^{cd}	0,54	0,3	4,6
S11	173	1,09 ^{de}	0,75	0,1	4,9
Moyenne	977	1,35	0,78	0,1	4,9

Dans la même colonne, les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5%.

La saison de mises-bas a eu un effet significatif sur la production de lait des chamelles ($P < 0,0001$). Les mises-bas de la saison froide ont donné une production plus élevée ($1,5 \pm 0,82$ kg), suivies par celles de l'hivernage ($1,1 \pm 0,56$ kg). Les chamelles ayant mis bas au courant de la saison sèche chaude avaient la plus faible production journalière ($0,88 \pm 0,49$ kg).

La production mensuelle de lait a été plus grande chez la chamelle S04. Elle a été suivie par les chammelles S01, S03, S07, S10. Les productions les plus faibles ont été observées chez les chammelles S02 et S11 (Tableau 2). La production moyenne du troupeau de Sotuba a été 380 kg.

Tableau 2 : Production mensuelle de lait (kg) des chammelles de Sotuba

Chamelle	Production moyenne mensuelle (kg)	Écart Type	Durée de lactation en jours	Production par lactation
S01	56,30 ^{ab}	16,27	298,0 ^c	566,2
S02	33,19 ^b	11,42	226 ^d	248,6
S03	42,20 ^{ab}	21,49	101 ^f	141,4
S04	65,62 ^a	5,26	180 ^e	396,0
S07	43,30 ^{ab}	18,79	318 ^b	445,2
S10	36,80 ^{ab}	11,02	406 ^a	487,2
S11	36,30 ^b	16,37	318 ^b	381,6
Moyenne	43,70	17,90	278,5±79,2	380,9 ± 144,3

Dans la même colonne, les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5%.

La durée moyenne de la lactation a été de 278 ± 79 jours. Mais cette durée a varié de 101 jours à 406 jours selon les femelles.

Les courbes de la lactation des femelles à Sotuba sont représentées dans la figure 1. Elles ont toutes une allure en dents de scie au début de la lactation, puis une chute brusque de la production de lait a été observée surtout entre le 7^e et le 8^e mois de lactation.

La production par lactation a montré que la chamelle S01 a eu la plus grande production (566,2 kg), suivie respectivement par S10 (487,20 kg), S07 (445,2 kg), S04 (396 kg), S02 (248 kg) et enfin S03 (143,4 kg).

Une forte corrélation positive a été trouvée entre la production du jour et celle du matin ($r = 0,91$) d'une part et celle du soir ($r = 0,87$) d'autre part. Par contre, la corrélation entre la production du matin et celle du soir a été positive mais moyenne ($r = 0,59$).

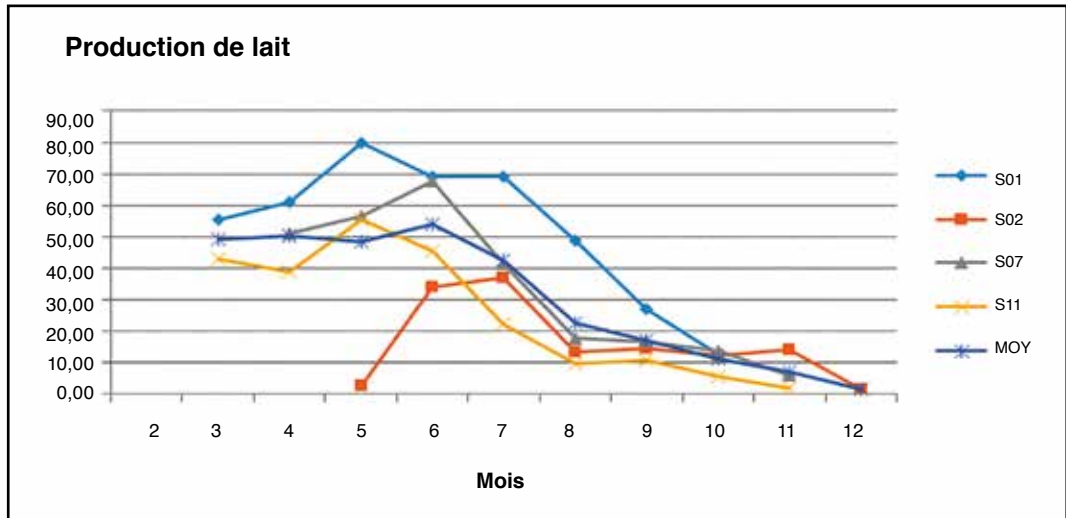


Figure 1 : Courbes de lactation mensuelle des chamelles à Sotuba

L'analyse de régression a permis d'établir les équations suivantes :

$$Y = 0,432 + 1,49X_m \quad (n = 647)$$

$$Y = 0,251 + 1,71X_s \quad (n = 647)$$

Y = production du jour

X_m = quantité de lait trait le matin

X_s = quantité de lait trait le soir

La production laitière des chamelles élevées dans le ranch de Niono est présentée au tableau 3. Ici aussi, la production journalière de lait a été significativement influencée par la chamelle. Ainsi, les plus hautes productions ont été observées chez les chamelles N⁰⁸ et N⁰³ qui ont été comparables. Les autres femelles ont donné des quantités semblables entre elles, mais statistiquement plus faibles que les deux premières chamelles. Les femelles qui ont mis bas au cours de la saison sèche avaient une production significativement plus élevée (4,6 kg) que celles qui ont vêlé durant la saison froide (4,1 kg). Toutefois, cette information doit être prise avec réserve en raison du nombre très faible d'animaux suivis en saison chaude.

Tableau 3 : Production de lait des chamelles à Niono

Chamelle	Nombre de données	Production journalière (kg)	Écart Type	Minimum (kg)	Maximum (kg)
N01	196	3,6 ^{cd}	0,96	0,6	6,8
N18	201	3,5 ^d	1,22	1,1	8,2
N02	212	3,8 ^{bcd}	1,12	1,0	6,7
N03	220	5,2 ^a	1,64	1,2	8,3
N04	206	4,0 ^{bc}	1,23	1,1	6,2
N06	252	3,8 ^{bcd}	1,09	1,5	8,1
N07	245	4,1 ^b	1,17	1,2	7,0
N08	252	5,5 ^a	1,68	2,3	8,3
Moyenne	1784	4,2	1,53	0,6	8,3

Dans la même colonne, les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5%.

Il a été observé une différence significative ($P = 0,004$) entre les chamelles (Tableau 4). Trois groupes ont été distingués. Le premier était constitué des chamelles N03 et N08 qui avaient produit les quantités les plus élevées et la femelle N01 qui avait la quantité la plus faible représentait le groupe 3. Toutes les autres chamelles (groupe 2) étaient comparables soit au groupe 1, soit au groupe 3.

Tableau 4 : Production de lait des chamelles à Niono

Chamelle	Nombre de données	Production mensuelle (kg)	Écart Type	Durée de lactation en jours	Production par lactation (kg)
N01	9	94,2 ^b	13,6	310	1 116
N18	8	99,1 ^{ab}	17,3	291	1 019
N02	8	108,0 ^{ab}	15,1	319	1 212
N03	8	152,0 ^a	21,3	296	1 539
N04	7	115,5 ^{ab}	18,4	320	1 280
N06	10	96,8 ^{ab}	14,1	405	1 539
N07	11	106,0 ^{ab}	12,6	360	1 476
N08	10	150,0 ^a	20,2	360	1 980
Moyenne		115,2	23,1	332,3 ± 39,0	1 395 ± 306

Dans la même colonne, les chiffres suivis de la même lettre ne sont pas statistiquement différents au seuil de 5%.

La durée moyenne de lactation a été de 332 ± 39 jours. Mais cette durée a varié selon les chamelles de 291 jours à 405 jours.

La production de lait par lactation a été en moyenne de 1 395 kg. Elle a varié entre les chamelles. La chamelle N08 avait la plus haute production, suivie par les chamelles N03 et N06. Les autres chamelles avaient des productions plus basses, mais plus élevées que celles qui ont été observées à Sotuba.

Les courbes de lactation des femelles sont présentées dans la figure 2. La courbe moyenne a indiqué une augmentation de la production du 3^e au 7^e mois de lactation. Ensuite, elle a baissé régulièrement jusqu'au 12^e mois avant de reprendre légèrement au 13^e mois. Les femelles N08, N03 et N07 ont présenté la même allure tandis que la chamelle N01 avait la forme la plus atypique et la plus courte.

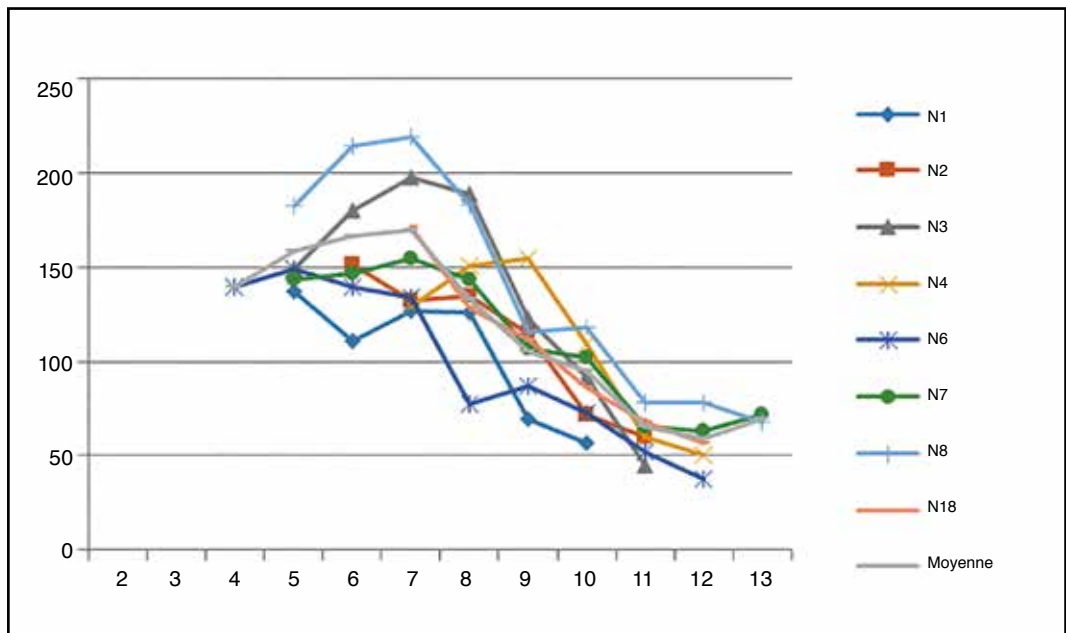


Figure 2 : Courbes de lactation mensuelle des 8 chamelles primipares

On a observé une corrélation positive élevée entre la production journalière et celle du matin d'une part ($r = 0,94$) et entre celle-là et la production du soir ($r = 0,94$) d'autre part. En outre la corrélation a été positive aussi entre les productions du matin et celles du soir ($r = 0,78$). L'analyse de régression a permis d'établir les équations suivantes :

$$1) Y = 0,283 + 1,81X_m \quad (n = 1784)$$

$$2) Y = 0,633 + 1,75X_s \quad (n = 1784)$$

$$3) Y_m = 0,640 + 0,744X_s \quad (n = 1784)$$

$$4) Y_s = 0,288 + 0,813X_m \quad (n = 1784), \text{ où}$$

Y = production journalière

Y_m = production de lait du matin

Y_s = production de lait du soir

X_m = la quantité de lait trait le matin

X_s = la quantité de lait trait le soir

Ces équations permettent d'estimer la production du jour ainsi que celle du matin ou du soir en connaissant une seule de ces productions en cas de besoins urgents de données.

Discussion

La production laitière obtenue à Sotuba était faible. Toutefois, il est nécessaire de juger ces productions en les mettant dans le contexte de la zone d'élevage subhumide et d'autres facteurs y afférents. En effet, dans un milieu où il n'était pas gagné d'avance que les animaux pourraient survivre, une production régulière de plus d'un litre par jour ne devrait pas être considérée comme mauvaise, mais plutôt comme une adaptation possible des animaux à leur nouveau milieu. Par ailleurs, d'autres facteurs pourraient avoir influencé la production, entre autres, l'inexpérience des bergers dans la conduite des chamelons les premiers jours de leur vie et dans la technique de traite des chamelles. En effet, les bergers avaient une expérience sur les vaches, mais pas sur les chamelles, ce qui expliquait souvent la remontée du lait aussitôt que le chamelon a été écarté du pis. D'après Kamoun (1995), la quantité de lait récolté dépend de la dextérité et de la vitesse du trayeur. En outre, la courte durée de la lactation (278 jours) et la baisse de la production journalière ont négativement

influé sur la production mensuelle ainsi que sur celle de la lactation. Cette baisse de la production pourrait être expliquée par l'état de gestation des femelles dans les trois à quatre mois qui ont suivi la mise-bas.

En effet, d'après Nagy *et al.* (2015), la saillie fécondante fait chuter brusquement la production de lait chez la chamelle. Mais, en cas de mortalité embryonnaire, la production peut reprendre et atteindre son niveau initial. Dans son étude, ces auteurs ont constaté un raccourcissement de la lactation de 220 jours (34,2%) à 249 jours (37,6%) et la baisse de la production totale de lait entre 1 532 litres (31,6%) et 2 151 (44,3%). Ces auteurs ont recommandé de faire saillir les chamelles à mi lactation, mais, la production de lait va chuter quatre mois après la conception. Ce phénomène pourrait être l'explication de ce que nous avons remarqué à Sotuba, mais pour lequel nous n'avons pas d'explication scientifique. En effet, ici les femelles ont été saillies en moyenne à 79 jours postpartum et la production a commencé à être irrégulière entre le 3^e et 4^e mois pour s'arrêter aux 6^e ou 7^e mois chez la majorité des femelles. Par conséquent, dans la production laitière caméline, il est nécessaire de comparer les avantages et les inconvénients avant de réduire l'intervalle entre vêlage - saillie comme il est pratiqué dans l'élevage des bovins.

Par contre, les productions des chamelles de Niono doivent être considérées très bonnes lorsqu'on considère que toutes les femelles étaient à leur première lactation.

La production obtenue sur les deux sites était plus faible que celle obtenue en élevage extensif pendant l'hivernage dans la zone de Tina-Hama (Ouologuem *et al.*, 2017) qui était de 7,0 litres par chamelle et par jour. Toutefois, nos résultats sont comparables à ceux de Hammadi (1996) qui a rapporté que la production laitière des chamelles dans le Sud de la Tunisie, élevées sur un parcours de plantes halophytes sans complémentation, varie entre 1,5 et 1,7 l/j contre 3,4 à 3,9 l/j si on donne une complémentation après le retour du pâturage. Par ailleurs, Kamoun (1995) avait indiqué que les chamelles primipares ont donné les quantités les plus faibles (5,37 l/j) contre (8,97 l/j) pour les chamelles multipares.

Les équations de régression pourraient permettre l'estimation de la production de la chamelle en ayant des données partielles (celles du matin ou celles du soir) dans les conditions de terrain, lorsqu'il n'est pas possible d'obtenir des données complètes. Toutefois, ces équations sont susceptibles d'améliorations au fur et à mesure que les données vont s'accumuler. Ces premiers résultats seront la base pour l'élaboration d'un schéma de sélection des dromadaires en station pour obtenir une population homogène de type laitier.

Conclusion

Les résultats obtenus constituent de bons signes d'adaptation des dromadaires à leur nouveau milieu. Mais il est nécessaire de confirmer ces résultats en maîtrisant davantage les conditions de traite, d'élevage des chamelons durant les premiers jours de vie et la durée de la période postpartum. Ces premiers résultats seront la base pour l'élaboration d'un schéma de sélection des dromadaires en station pour obtenir une population homogène de type laitier.

Références

- Hammadi M., 1996. Effets d'une supplémentation par un aliment concentré sur les performances de production et de reproduction en période post-partum chez la chamelle (*Camelus dromedarius*) élevée sur un parcours du Sud tunisien ; mémoire de fin d'étude du cycle de spécialisation de l'I.N.A.T., 95p.
- Kamoun M., 1995. Le lait de dromadaire: production, aspects qualitatifs et aptitude à la transformation. In «Tisserand J. L (édit.): Elevage et alimentation du dromadaire», Zaragoza, CIHEAM, options Méditerranéennes, série B, Etudes et Recherches, 13 : 81-103.
- Mukasa Mugerwa E., 1985. Le chameau (*Camelus dromedarius*): étude bibliographique. Monographie 5, CIPEA, 111p.
- Nagy P., Faigl V., Reiczigel J., Juhasz J., 2015. Effect of pregnancy and embryonic mortality on milk production in dromedary camels (*Camelus dromedarius*). J. Dairy Sci., 98, 975-986 [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(14\)00811-X/abstract](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(14)00811-X/abstract).
- Nadio M., 1987, 1985. Elevage du dromadaire et évolution socio-économique de la société nomade dans le Nord-Est du Mali. In «Dahl Gudrun (édit.), 1987: Camel Forum. Le séminaire national sur le dromadaire, 2 - 9 décembre, Gao. Work paper N°18, Somaly Academy of Sciences and Arts», 23-29.
- Ouologuem B., Moussa M., N'Diaye M., Baradji I., Penda S., Boré F.G., Nialibouly O., Coulibaly L., Kouriba A., Soumaré A., 2016. Diagnostic du système d'élevage du dromadaire dans la région de Kidal au Nord-est du Mali. Livestock Research for Rural Development, 28 (9) 2016.
- Ouologuem B., Mohomodou M. et Coulibaly M.D., 2017. Les types de dromadaires Talabayatten et Talmarokitt au Nord-est du Mali ont un potentiel laitier élevé. Livestock Research for Rural Development 29 (2) 2017.

Principales pathologies des dromadaires nouvellement introduits en zones sahélienne-Sud et subhumide du Mali

Main Pathologies of Newly Introduced Dromedaries in Southern Sahel and in Sub-humid Zones of Mali

Baradji Issa¹, Ouologuem Bara^{1*}, Cissé Youssouf Gaston², Dolo Amène Moussa¹, Moussa Mohomodou³, Sidibé Satigui², Traoré Mamadou Demba⁴, Nialibouly Ousmane⁴, N'Diaye Mohamed⁵

¹Station de Recherche Agronomique de Sotuba - BP 262, Bamako, Mali

²Laboratoire Central Vétérinaire - BP 2295, Bamako, Mali

³Centre Régional de Recherche Agronomique de Gao - BP 117, Mali

⁴Station de Recherche Agronomique de Niono - BP 238, Ségou, Mali

⁵Direction Scientifique, Institut d'Économie Rurale - BP 258, Bamako, Mali

*Auteur pour la correspondance : ouologuembara@yahoo.fr

Résumé

Deux troupeaux de dromadaires ont été introduits en février 2013 dans le ranch de la Station de Recherche Agronomique de Niono sis en zone sahélienne et dans la Station de Recherche Agronomique de Sotuba, située en zone subhumide du Mali, sites qui n'ont jamais abrité cette espèce animale. Les animaux ont été suivis de 2013 à 2015 sur le plan sanitaire par des visites quotidiennes à Sotuba ou deux à trois visites par semaine à Niono. Ils ont subi des déparasitages contre les parasites gastro-intestinaux et sanguins deux fois par an, contre les parasites externes en cas de nécessité durant la saison sèche mais tous les mois durant la saison des pluies. En plus, ils étaient tous vaccinés deux fois par an contre la pasteurellose et le charbon symptomatique. Les données collectées ont porté sur le nombre d'animaux malades, d'animaux morts, le prix et les quantités de produits utilisés dans les traitements et la prophylaxie. Le taux de morbidité a baissé au cours des trois ans de suivi de 40 % à 13 % à Niono et de 17 % à 13 % à Sotuba. Les principales pathologies ont été les parasitoses externes et internes aussi bien à Niono qu'à Sotuba, les dermatoses et les blessures. Parmi les parasites externes, l'espèce *Hyaloma* spp était la plus fréquente (92,3 %), suivie par *Amblyomma* sp (3,8 %) et *Boophilus* spp (3,8 %). À Sotuba, 50 % des échantillons avaient un niveau de nombre d'œufs par gramme (OPG) faible, tandis que le niveau moyen et le niveau lourd ont constitué chacun 25 %. Dans les parasitoses gastro-intestinales, *Trichostrongylus* sp a été l'espèce la plus fréquente (41 à 100 % à Sotuba) et 41 à 98 % à Niono. Le coût sanitaire d'entretien du dromadaire a été en moyenne de 1 540 F CFA/tête/an à Sotuba,

1 130 F CFA à Niono. Le coût de la prophylaxie a été le poste budgétaire le plus coûteux avec un coût annuel de 2 280 F CFA par animal à Sotuba et 1 184 F CFA à Niono comparativement au coût de traitement de 767 F CFA à Sotuba et 646 F CFA à Niono. Ces informations permettent de mieux conseiller les éleveurs de dromadaires dans l'entretien de leurs troupeaux dans les zones d'étude.

Mots-clés: dromadaire, morbidité, pathologies, coût sanitaire, Sahel, subhumide, Mali.

Abstract

*In February 2013, a herd of dromedaries was introduced in the ranch of the Agronomic Research Station of Niono, located in the Sahelian zone of Mali and another one in the Agricultural Research Station of Sotuba, located in the sub-humid zone, both stations having never housed this animal species before. These animals were monitored from 2013 to 2015 from a health perspective through daily visits (in Sotuba) or two to three visits per week (in Niono). They were ridded of gastrointestinal and blood parasites twice a year and of external parasites whenever necessary during the dry season, but every month during the rainy season. In addition, they were all vaccinated twice a year against pasteurellosis and blackleg. The data collected focused on the number of sick animals, the number of dead animals and the price and quantities of veterinary products used in treatment and prophylaxis. The morbidity rate dropped from 40% to 13% in Niono and from 17% to 13% in Sotuba over the three years. The main pathologies were external and internal parasitosis, dermatitis and injuries in both Niono and Sotuba. The most common the external parasite was *Hyaloma* spp (92.3%), followed by *Amblyomma* sp (3.8%) and *Boophilus* spp (3.8%). In Sotuba, 50% of the samples had a low egg per gram (EPG) level, while the average level and heavy level were 25% each. Among gastrointestinal parasites, *Trichostrongylus* sp was the most common one (41% to 100% in Sotuba and 41% to 98% in Niono). The average health care cost of dromedary maintenance was 1,540 CFA/head/year in Sotuba and 1,130 CFA in Niono. The cost of prophylaxis was the most expensive budget item with an annual cost of 2,280 F CFA per animal in Sotuba and 1,184 F CFA in Niono compared to the cost of treatment of 767 F CFA in Sotuba and 646 F CFA in Niono. This information makes it possible to better advise dromedary farmers with regard to the maintenance of their herds in the study areas.*

Key words: dromedary, morbidity, pathologies, health care cost, Sahel, sub-humid, Mali.

Introduction

L'apparition des pathologies est la première réaction d'un animal introduit dans un nouveau milieu. Le dromadaire ne fait pas exception à cette règle. Si les dromadaires sont connus dans les zones arides, leur élevage commence à s'étendre dans toute la zone sahélienne à cause de la dégradation des conditions d'élevage, résultant de l'avancée du désert. Pour comprendre l'adaptabilité des dromadaires, deux troupeaux de dromadaires ont été introduits en 2013 dans les stations situées en zone sahélienne (500-600 mm de pluies) à Niono et en zone subhumide (800-1 000 mm de pluies par an) à Sotuba. L'objectif du présent travail a été d'identifier les principales pathologies auxquelles les animaux ont été confrontés ainsi que l'efficacité des moyens de lutte utilisés.

Matériel et méthodes

Un troupeau de 35 dromadaires a été introduit en février 2013 dans le ranch sis à 20 km de la Station de Recherche Agronomique de Niono et un autre composé de 15 têtes dans la Station de Recherche Agronomique de Sotuba. Le suivi sanitaire a été effectué de 2013 à 2015 par des visites quotidiennes des animaux à Sotuba et tous les 2 ou 3 jours à Niono, au cours desquelles tous les cas pathologiques sont identifiés et enregistrés dans des cahiers de suivi. Souvent, des échantillons de sang et de fèces sont prélevés selon les cas pour confirmation ou infirmation des différentes suspicions. Ensuite, les mesures curatives nécessaires ont été prises. En plus des traitements des cas pathologiques, les animaux étaient déparasités 2 fois par an, au début et à la fin de l'hivernage contre les parasites gastro-intestinaux et sanguins. Contre les parasites externes, les animaux ont été traités chaque mois pendant l'hivernage, mais au cours de la saison sèche, selon les besoins lorsqu'on observe des tiques sous la queue, autour du rectum et de la vulve, entre les pattes et sur les trayons. Les produits utilisés étaient l'ivermectine, le flumetrine ou le sipronil (Photo 1). Les parasites gastro-intestinaux ont été traités avec l'almetic (albendazole), tandis que le diacéturate de diminazène et le dimivet ont été utilisés contre les parasitoses sanguines. Contre les infections bactériennes, l'oxytétracycline ou ses équivalents ont été utilisés.



Photo 1 : Déparasitage d'un dromadaire à Sotuba en 2013

En 2015, un protocole d'évaluation de la dynamique saisonnière des vecteurs des pathologies des dromadaires a été mis en œuvre en divisant l'année en trois saisons : saison des pluies (juin - septembre), saison sèche froide (octobre - février) et saison sèche chaude (mars - juin).

Au cours de ces sorties, des captures de vecteurs (mouches et tiques) ont été réalisées. Parallèlement, des échantillons de sang et de fèces ont été prélevés sur les animaux. Dans les échantillons de sang, les taux d'hématocrite (PCV) ont été déterminés et les plasmosoaires ont été identifiés, tandis que dans les échantillons de fèces les œufs de parasites ont été identifiés. Enfin, le coût financier d'entretien sanitaire des animaux a été calculé à partir des prix d'achat des différents produits utilisés pour les traitements, la prophylaxie parasitaire et les vaccins.

Les données ont été analysées par la statistique descriptive (fréquence, moyenne, écart type).

Résultats

Morbidité et mortalité

On a observé une baisse de la morbidité du troupeau aussi bien dans la zone sahéenne que dans la zone subhumide au cours des trois années (Figure 1). Si en 2013 et 2014 la morbidité a été plus élevée à Niono, en 2015, elle a été du même niveau que celle observée à Sotuba. La forte morbidité à Niono durant les deux premières années était principalement liée au fait que les conditions n'étaient pas encore réunies pour un suivi régulier, notamment l'application du plan de suivi sanitaire, la régularité dans l'acquisition et la distribution des aliments, l'insuffisance de compétence du personnel à gérer un troupeau de dromadaires.

Les principaux facteurs en faveur de cette baisse sont les mesures prophylactiques (vaccinations et déparasitages) et le processus de perfectionnement des agents dans la conduite de l'élevage du dromadaire en station.

Au cours de la campagne 2015, deux mortalités ont été enregistrées à Sotuba dont une par accident (chute dans un puits perdu) et la seconde à la suite d'une péritonite. À Niono par contre, aucune mortalité n'a pas été enregistrée.

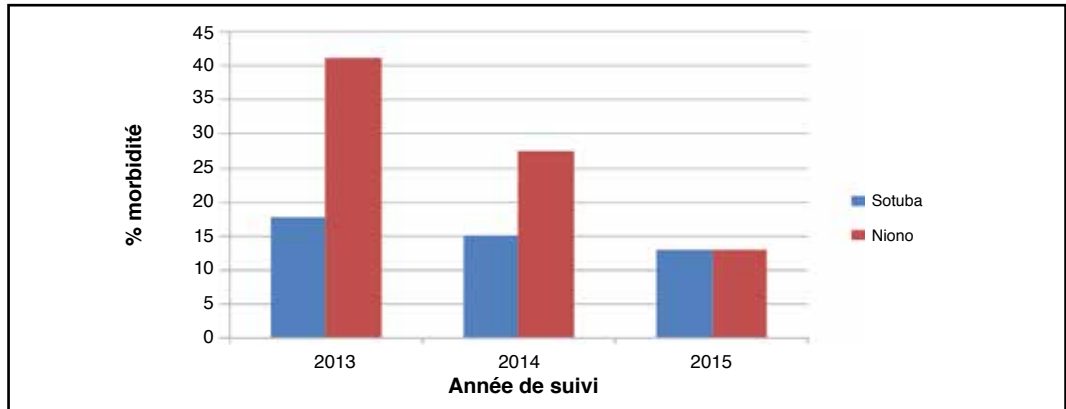


Figure 1 : Évolution de la morbidité des troupeaux de dromadaires à Sotuba et à Niono de 2013 à fin 2015

Affections rencontrées

Les principales affections observées à Sotuba sont présentées dans la figure 2. Les parasitoses ont constitué la pathologie dominante, suivies dans l'ordre décroissant par les blessures, les dermatoses et les conjonctivites. D'autres, moins importantes en pourcentage, ont été les infections microbiennes et les réactions post-vaccinales. Cet ordre d'importance a été maintenu durant les trois ans. Toutefois, en 2014 le taux des parasitoses avait légèrement baissé avant d'augmenter en 2015 mais sans atteindre celui de 2013.

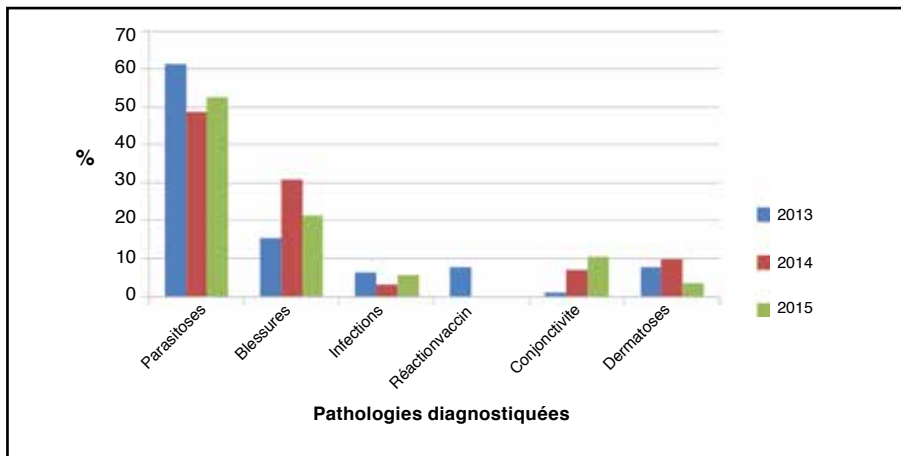


Figure 2 : Principales pathologies diagnostiquées à Sotuba entre 2013 et 2015

Les blessures ont nettement augmenté en 2014 avant de baisser en 2015. La réaction post-vaccinale n'a plus été observée après 2013 en raison de la maîtrise des techniques d'administration des vaccins. Les dermatoses qui étaient importantes en 2013 et 2014 ont nettement régressé en 2015.

À Niono, les principales pathologies observées au cours des trois années sont les parasitoses, suivies par les dermatoses et les blessures (Figure 3, Photos 2 et 3). Les parasitoses ont été plus importantes en 2014 et 2015 qu'en 2013, tandis que les dermatoses, très importantes en 2013 sont en régression en 2014 et 2015. Les blessures ont été constatées à partir de 2014 et sont en augmentation en 2015. Cette augmentation s'explique principalement par la multiplicité des querelles entre dromadaires mâles.

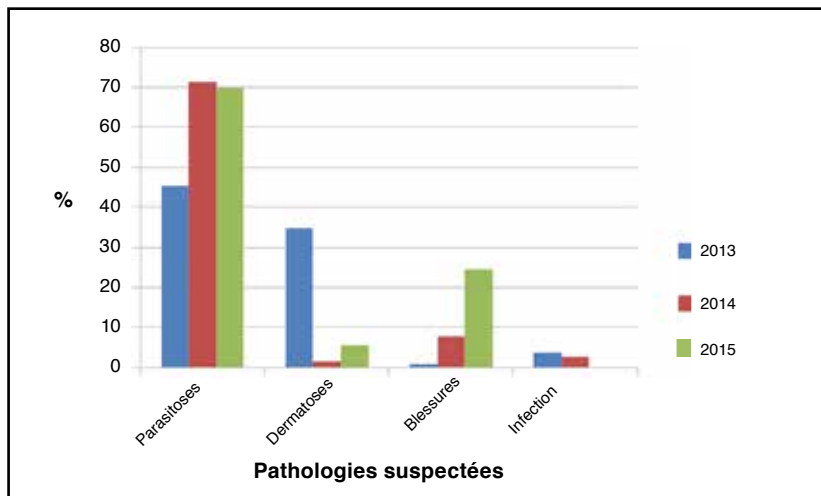


Figure 3 : Pathologies observées à Niono de 2013 à 2015

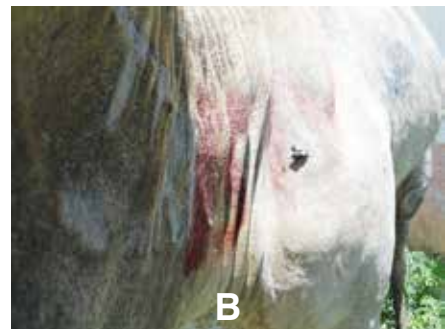


Photo 2: Invasion d'un dromadaire par des tiques (A) et de mouches piqueuses (B) à Niono en 2013



Photo 3 : Dromadaire atteint de dermatose à la patte postérieure à Niono en 2013

À Sotuba, les tiques ont constitué les affections externes dominantes (Figure 4). La fréquence de cette parasitose a progressivement augmenté entre 2013 et 2015. L'augmentation assez prononcée en 2015 pourrait s'expliquer par la forte pluviosité observée cette année qui a fait que les déparasitages ont été probablement moins efficaces. Par contre, les parasitoses internes ont été peu nombreuses en 2014 et 2015 même si elles ont été légèrement en hausse durant la dernière année. En outre, quelques cas de dermatoses et de blessures ont aussi été rencontrés (Photos 4 et 5).

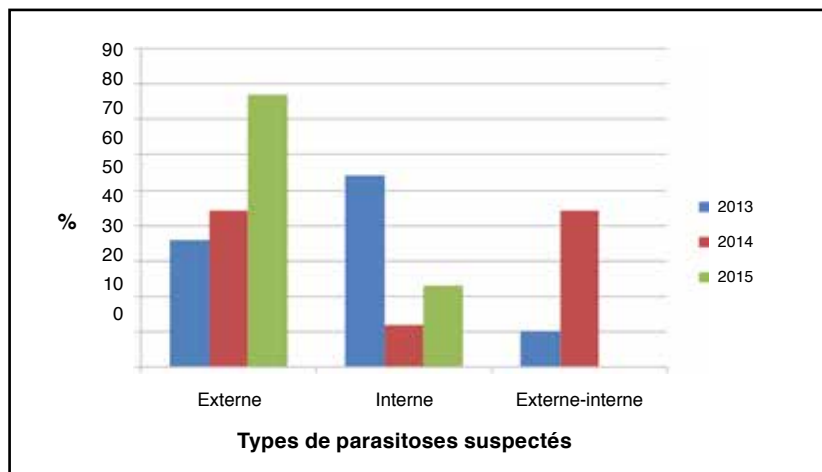


Figure 4 : Types de parasitoses rencontrés à Sotuba de 2013 à 2015



Photo 4 : Dromadaires atteints de dermatose à Sotuba en 2015



Photo 5 : Dromadaire blessé au pâturage à Sotuba en 2016

À Niono aussi, les tiques ont constitué la principale affection externe (Figure 5). Toutefois, les suspicions de parasitose interne aussi ont été faites, surtout en 2015.

Les principales pathologies suspectées par les agents de terrain ont été confirmées par les spécialistes à travers des captures, des identifications et des analyses de laboratoires.

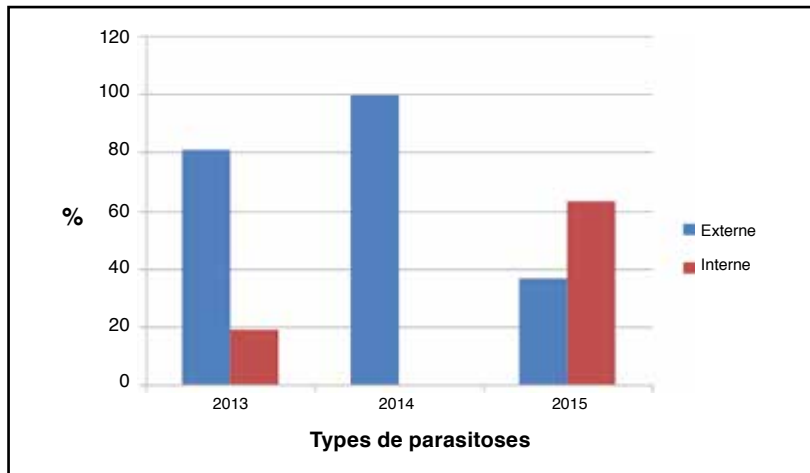


Figure 5 : Types de parasitoses rencontrés à Niono de 2013 à 2015

Parmi les tiques, l'espèce *Hyalomma* spp est la plus fréquente (92,3%), suivie par les espèces *Amblyomma* sp (3,8%) et *Boophilus* spp (3,8%) quelle que soit la saison de l'année (Figure 6).

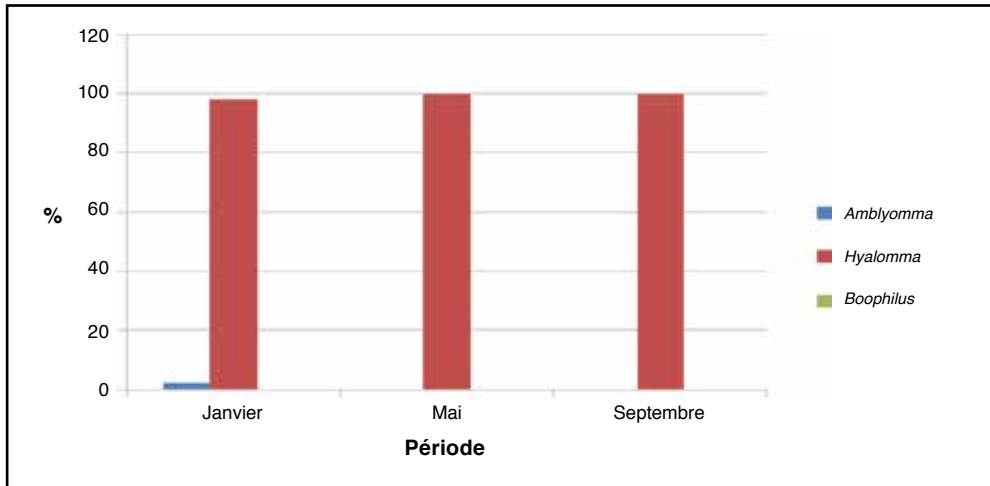


Figure 6 : Prévalence des espèces de tiques à Sotuba et Niono

Selon le sexe, le mâle a été plus fréquemment rencontré sur les animaux que les femelles pour les espèces *Amblyomma* et *Hyalomma*; par contre, chez le type *Boophilus*, il n'a pas été observé de prédominance (Figure 7).

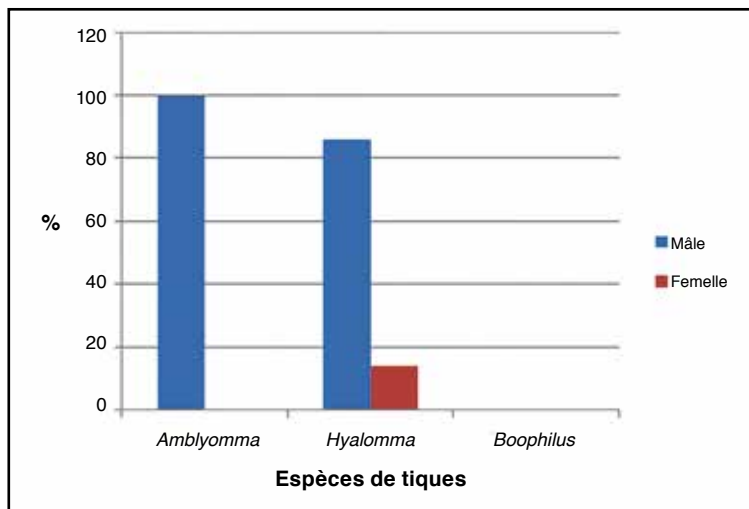


Figure 7 : Prévalence des espèces de tiques selon le sexe à Sotuba et Niono

Sur le plan des parasitoses gastro-intestinales, une confirmation a été obtenue par les analyses de laboratoires à Sotuba et à Niono. Ainsi, ces parasitoses sont rencontrées au cours de toutes les saisons de l'année. À Sotuba, leur fréquence est plus élevée à la fin de la saison des pluies comparativement à la saison sèche chaude (Figure 8), tandis qu'à Niono, la différence était faible entre ces deux saisons (Figure 9).

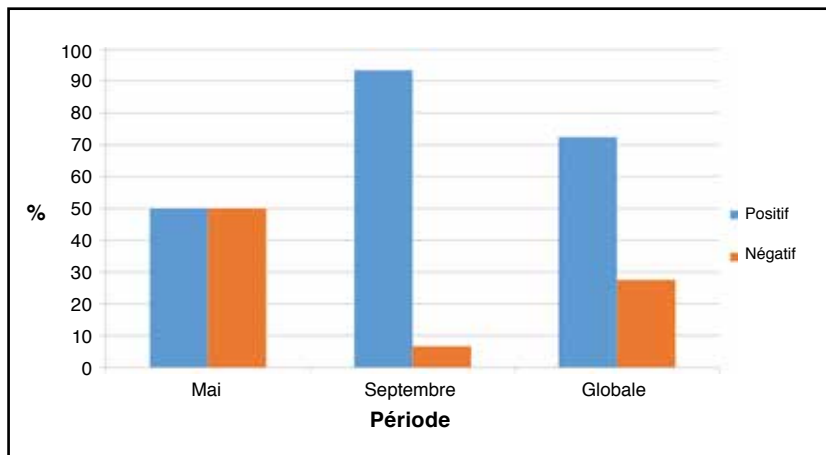


Figure 8 : Prévalence des parasites gastro-intestinaux en saison sèche et humide à Sotuba

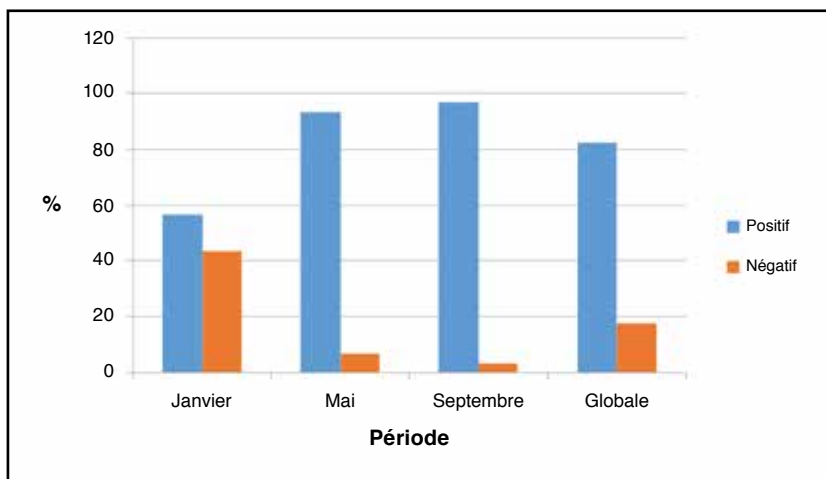


Figure 9 : Prévalence de parasitoses gastro-intestinales par saison au ranch de Niono

Malgré la fréquence du parasitisme, le poids d'œufs par gramme (OPG) a été dans l'ensemble moyen à Sotuba. L'OPG le plus lourd est observé en septembre en fin de saison des pluies (Figure 10).

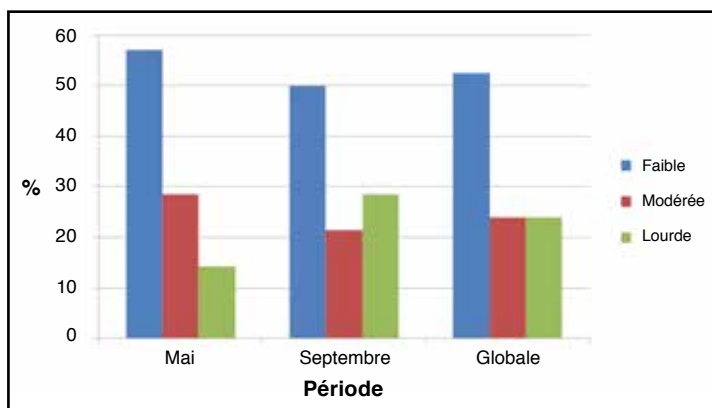


Figure 10 : Prévalence du poids d'œufs par gramme (OPG) selon les saisons à Sotuba

À Niono par contre, l'OPG a varié de modéré à lourd en saison sèche froide, lourd à modéré en mai et faible en septembre (Figure 11). Cette situation pourrait s'expliquer par la fréquence plus faible des traitements en saison sèche et rapprochée en saison des pluies.

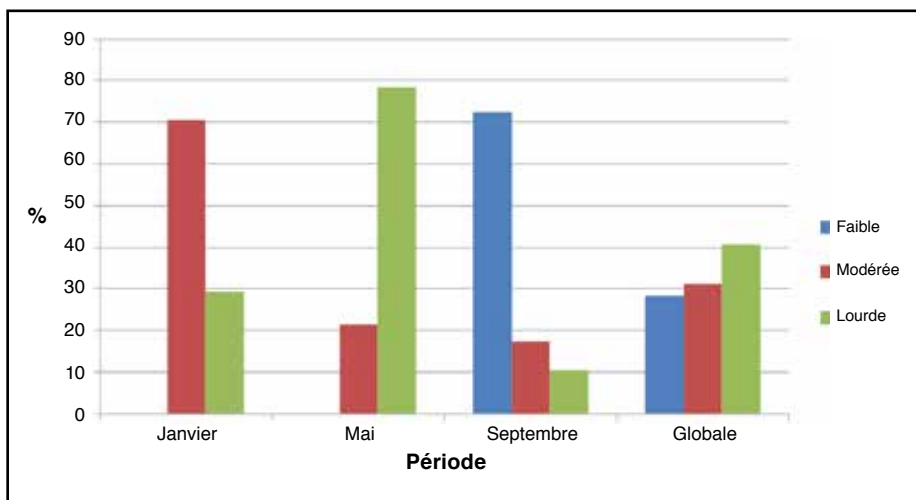


Figure 11 : Prévalence du poids d'œufs par gramme (OPG) selon les saisons à Niono

Plusieurs espèces de parasites ont été identifiées dans les fèces (Figure 12), parmi lesquelles le groupe *Trichostrongylus* a été le plus fréquent. La fréquence de ce groupe a été plus élevée en saison sèche qu'en fin d'hivernage. Cette espèce est rencontrée seule chez certains animaux ou en association avec d'autres espèces chez d'autres.

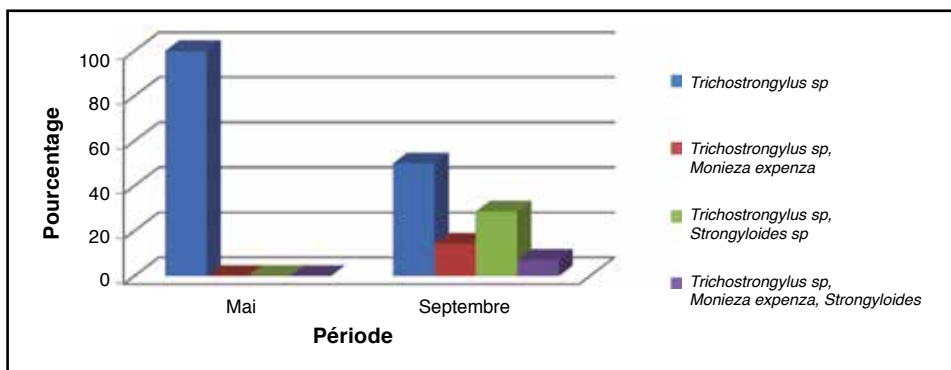


Figure 12: Espèces de parasites gastro-intestinaux identifiées à Sotuba selon la saison

À Niono, le groupe *Trichostrongylus*, seul ou en association avec d'autres espèces de parasites, a été le plus fréquent (Figure 13). Le pourcentage de ce groupe va en croissant de janvier à septembre.

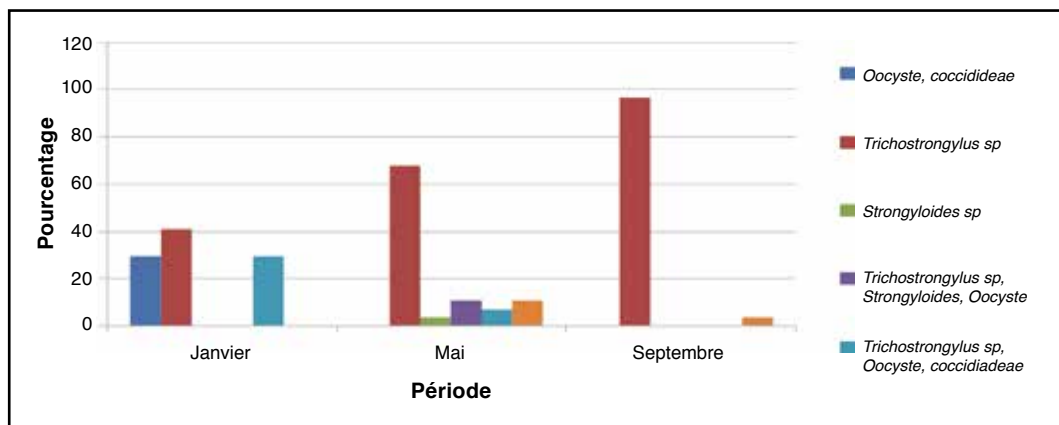


Figure 13: Espèces de parasites gastro-intestinaux identifiées à Niono selon la saison

Coût sanitaire

L'évolution des coûts de traitement et de prophylaxie des dromadaires est indiquée dans le tableau 1. À Sotuba, le coût moyen par animal était plus faible en 2013 ; ensuite, il a augmenté en 2014 pour descendre légèrement en 2015. Par contre à Niono, le coût a augmenté de 2013 à 2015. Malgré le nombre d'interventions plus élevé à Niono, le rapport sur le nombre d'animaux a montré qu'il y a eu moins d'interventions par animal qu'à Sotuba (Tableau 2). Ceci indique que les dromadaires ont nécessité moins d'interventions à Niono qu'à Sotuba.

Tableau 1 : Évolution du coût moyen d'entretien sanitaire d'un dromadaire de 2013 à 2015 à Sotuba et à Niono (en F CFA)

Année	Sotuba				Niono			
	Nombre d'interventions	Coût moyen (ES)	Mini	Maxi	Nombre d'interventions	Coût moyen (ES)	Mini	Maxi
2013	286	543 (34)	15	7 200	425	866 (77)	47	10 800
2014	342	2 068 (177)	7	13 320	556	1 281 (109)	200	14 400
2015	444	1 767 (129)	7	13 320	171	1 309 (98)	200	12 960
Ensemble	1072	1 536 (80)	7	13 320	1152	1 132 (61)	47	14 400

ES: erreur standard ; Mini : Minimum ; Maxi : Maximum

Tableau 2 : Nombre moyen d'interventions par animal à Sotuba et à Niono

Année	Sotuba	Niono
2013	19	12
2014	21	18
2015	21	6

L'analyse du détail des coûts est indiquée dans le tableau 3. Les frais des actions prophylactiques, notamment les déparasitages ont été les postes les plus coûteux.

Ce constat a été observé pendant toutes les trois années de suivi à Sotuba (Tableaux 3 et 4) et à Niono (Tableaux 5 et 6).

Tableau 3 : Coûts des différentes interventions sur les dromadaires en moyenne par animal et par an à Sotuba (F CFA)

Coûts	Nombre interventions	Moyenne (ES)	Minimum	Maximum
Par animal par an	1 072	1 536 (80)	7	13 320
Traitements	527	767 (35)	7	7 200
Déparasitages et vaccinations	545	2 280 ((148)	125	13 320
Déparasitages	493	2 487 (161)	125	13 320
Vaccinations	52	320 (0)	320	320

ES : erreur standard

Tableau 4 : Coûts des différentes interventions sur les dromadaires en moyenne par animal et par an à Sotuba selon les années

Année	Coûts	Nombre interventions	Coût moyen (ES)	Minimum	Maximum
2013	Traitements	65	692 (132)	15	7 200
	Déparasitages et vaccinations	221	499 (19)	175	1 125
	Déparasitages	208	510 (20)	175	1 125
	Vaccinations	13	320 (0)	320	320
2014	Traitements	189	919 (61)	7	3 500
	Déparasitages et vaccinations	153	3 488 (357)	200	13 320
	Déparasitages	136	3 884 (388)	200	13 320
	Vaccinations	17	320 (0)	320	320
2015	Traitements	273	680 (40)	7	3 733
	Déparasitages et vaccinations	171	3 502 (282)	7	13 320
	Déparasitages	149	3 972 (306)	125	13 320
	Vaccinations	22	320 (0)	320	320

ES : erreur standard

Tableau 5 : Coûts des différentes interventions sur les dromadaires en moyenne par animal et par an à Niono

Coûts	Nombre d'interventions	Coût moyen (ES)	Minimum	Maximum
Moyen par animal par an	1152	1 132 (61)	47	14 400
Traitements	263	646 (21)	47	2 310
Déparasitages et vaccinations	889	1 184 (82)	50	14 400
Déparasitages	699	1 436 (103)	50	4 620
Vaccinations	190	320 (0)	320	320

ES: erreur standard

Tableau 6 : Coûts des différentes interventions sur les dromadaires en moyenne par animal et par an à Niono selon les années

Année	Opérations	Nombre d'interventions	Coût moyen (ES)	Minimum	Maximum
2013	Traitements	103	537 (30)	47	1 610
	Déparasitages et vaccinations	322	971 (100)	50	10 800
	Déparasitages	256	1 139 (124)	50	10 800
	Vaccinations	66	320 (0)	320	320
2014	Traitements	119	719 (28)	280	2 310
	Déparasitages et vaccinations	374	1 618 (141)	200	14 400
	Déparasitages	313	1 875 (166)	200	14 400
	Vaccinations	62	320 (0)	320	320
2015	Traitements	41	710 (68)	200	2 170
	Déparasitages et vaccinations	192	1 118 (155)	200	12 960
	Déparasitages	130	1 498 (222)	200	12 960
	Vaccinations	62	320 (0)	320	320

ES: erreur standard

L'augmentation des frais au cours du suivi à Niono pourrait en partie être expliquée par la densité des mouches piqueuses telles que les taons contre lesquelles les produits répulsifs sont couramment utilisés non seulement durant l'hivernage mais aussi en saison sèche.

Discussion

Durant les trois ans de suivi, les parasitoses ont été les pathologies les plus fréquentes chez les dromadaires aussi bien en zone sahélienne que subhumide. La fréquence des parasitoses est liée à l'humidité de ces zones, plus favorables au développement des vecteurs que dans la zone désertique et semi-désertique. Ce constat correspond à ceux de Mukasa-Mugerwa (1985) et de Fassi-Ferhi (1987) qui ont indiqué que les helminthiases, la gale et les trypanosomoses étaient de loin les pathologies les plus largement répandues dans les zones d'élevage du dromadaire. Parmi les helminthes, Fassi-Ferhi (1987) a indiqué que le groupe *Trichostrongylus* était le plus fréquent.

Diagana (1977) a signalé qu'en Mauritanie, le dromadaire paie un lourd tribut à la trypanosomiase et aux helminthiases.

Le coût sanitaire du troupeau plus élevé à Sotuba qu'à Niono concorde avec les résultats techniques. Au cours du suivi, on a observé aussi que les médicaments spécifiques ou recommandés pour les dromadaires sont absents du marché malien. En effet, il était rare de trouver des produits dont la notice d'utilisation fait référence au dromadaire. Par conséquent, nous recommandons à nos pharmaciens d'inclure désormais les médicaments spécifiques au dromadaire dans leur plateau technique.

Dans les futurs programmes de recherche, il est à envisager de déterminer le rythme de traitements des parasitoses pour mieux concilier la santé des animaux et la baisse du coût sanitaire dans les fermes de dromadaires.

Conclusion

En conclusion, on peut dire que les dromadaires ont montré des indices d'adaptation dans leurs nouveaux milieux par la baisse de la morbidité à Sotuba et à Niono. La principale précaution à prendre reste les mesures prophylactiques, notamment les parasitoses internes et externes.

Références

- Diagana D., 1977. Contribution à l'étude du dromadaire en Mauritanie. Thèse N°1, EISMV, Dakar, 153p.
- Fassi-Fehri M.M., 1987. Les maladies des camélidés. [https://www.doc-developpement-durable.org/file/Elevages/chameau-dromadaire/Lesmaladies des camélidés.pdf](https://www.doc-developpement-durable.org/file/Elevages/chameau-dromadaire/Lesmaladies%20des%20camelidés.pdf), consulté le 1^{er} avril 2017.
- Mukasa-Mugerwa E., 1985. Le chameau (*Camelus dromedarius*): Etude bibliographique, Centre International pour l'Élevage en Afrique, Addis Abeba, CIPEA, Monographie 5: 111p.

Comportement reproductif des dromadaires femelles dans les conditions d'élevage sahélien et subhumide du Mali

Reproductive Behavior of Female Dromedaries under Sahelian and Sub-humid Conditions in Mali

Ouologuem Bara¹, Moussa Mohomodou², Dolo Moussa Amène¹, Nialiblouly Ousmane³, Traoré Mamadou Demba³, N'Diaye Mohamed⁴

¹Station de Recherche Agronomique de Sotuba - BP 262, Bamako, Mali

²Centre Régional de Recherche Agronomique de Gao - BP 117, Mali

³Station de Recherche Agronomique de Niono - BP 238, Ségou, Mali

⁴Direction Scientifique, Institut d'Économie Rurale - BP 258, Bamako, Mali

*Auteur pour la correspondance : ouologuembara@yahoo.fr

Résumé

En 2013, un troupeau de dromadaires a été introduit dans le ranch de la Station de Recherche Agronomique de Niono, situé en zone sahélienne et un autre dans la Station de Recherche Agronomique de Sotuba, sise en zone subhumide du Mali. L'objectif de cette introduction a été d'évaluer la capacité d'adaptation de cette espèce en zones sahélienne Sud et subhumide. Les femelles ont fait l'objet de suivi de la reproduction. Les données collectées ont porté sur la conception, la durée de la gestation, les avortements, la durée de l'intervalle entre la mise-bas (post-partum) et la saillie fécondante et le poids à la naissance des chamelons. Entre février 2013 et juin 2016, 15 des 17 femelles ont été saillies à Niono soit 88 % et 11 des 12 femelles à Sotuba soit 92 %. Le taux de mise-bas a été de 64 % à Niono et 91 % à Sotuba. La durée de la gestation a été en moyenne $366 \pm 11,9$ jours. Il n'a pas été constaté de différence statistiquement significative entre les deux sites ($369 \pm 20,1$ jours à Sotuba et $362 \pm 13,1$ jours à Niono). L'intervalle entre mise-bas - saillie a été de $100,4 \pm 27,8$ jours à Sotuba et $234,5 \pm 50,1$ jours à Niono. Le sexe du chamelon n'a pas eu d'effet statistiquement significatif sur la durée de la gestation ($P = 0,233$). Le poids moyen des chamelons à la naissance a été de $29,1 \pm 1,3$ kg. Il n'a pas été observé de différence significative ni entre les sites ($29,8 \pm 2,1$ kg à Sotuba et $28,3 \pm 0,9$ kg à Niono) et ni entre les mâles ($30,2 \pm 1,9$ kg) et les femelles ($27,7 \pm 0,6$ kg). Ces résultats préliminaires permettraient d'affirmer que les dromadaires s'adaptent aux conditions du Sud-sahélien et subhumide. Ils permettent d'envisager l'introduction du dromadaire dans ces zones pour une exploitation plus rationnelle des ressources naturelles. Toutefois, des investigations de plus longues durées sont encore nécessaires pour la création de fermes de production.

Mots-clés : dromadaire, zones sahélienne, subhumide, reproduction.

Abstract

In 2013, a herd of dromedaries was introduced in the ranch of the Agronomic Research Station of Niono, located in the Sahelian zone of Mali and another one in the Agricultural Research Station of Sotuba, located in the sub-humid zone. The objective of this introduction was to assess the adaptability of this species to the conditions in the Southern Sahel and sub-humid zones. The reproductive behavior of females dromedaries was monitored. The data collected included conception, the duration of gestation, abortion cases, the duration of the interval between farrowing (postpartum) and fertilizing mating, and birth weight of young dromedaries. Between February 2013 and June 2016, 15 out of the 17 female dromedaries were mated in Niono (88%) and 11 out of the 12 ones in Sotuba (92%). The farrowing rate was 64% in Niono and 91% in Sotuba. The average duration of gestation was 366 ± 11.9 days. There was no statistically significant difference between the two sites (369 ± 20.1 days in Sotuba and 362 ± 13.1 days in Niono). The interval between parturitions and farrowing was 100.4 ± 27.8 days in Sotuba and 234.5 ± 50.1 days in Niono. Sex of the young dromedary did not have any statistically significant impact on the duration of gestation ($P = 0.233$). The average birth weight of the young dromedary was 29.1 ± 1.3 kg. There was no significant difference between sites (29.8 ± 2.1 kg in Sotuba and 28.3 ± 0.9 kg in Niono) nor between males (30.2 ± 1.9 kg) and females (27.7 ± 0.6 kg). These preliminary results show that dromedaries are adapting themselves to South-Sahelian and sub-humid conditions. This allows considering the introduction of dromedaries in these zones for a more rational exploitation of natural resources. However, longer investigations are still needed as for the creation of production farms.

Key words: dromedary, Sahelian zone, sub-humid, reproduction.

Introduction

Le dromadaire est connu pour être l'une des espèces domestiques la plus adaptée aux milieux aride et semi-aride à travers le monde (Ali *et al.*, 1999 ; Faye *et al.*, 2013 ; Kamoun, 1995a ; Kamoun, 1995b ; Hammadi, 1996 ; Mukasa, 1985). Mais la dégradation de l'environnement conduit à l'élargissement des zones d'élevage du dromadaire (FAOStat, 2011). Mais de nos jours, les besoins grandissants de la production animale pour satisfaire la demande d'une population croissante nécessitent la prise en compte du dromadaire pour exploiter ses capacités exceptionnelles d'utilisation rationnelle des ressources naturelles. Ce point de vue est partagé par Ali *et al.*, 1999, Faye *et al.*, 2013. Au Mali, le dromadaire est rencontré au Sud de la zone sahélienne tel que Niono, Bankass, Koro (Ouologuem *et al.*, 2016). Un des signes d'adaptation d'une espèce dans un milieu est la reproduction. Mais aucune étude n'a été menée sur le dromadaire dans ces zones au Mali. Pour mieux comprendre cet aspect, le présent travail a été conduit pour évaluer le comportement reproductif des femelles depuis leur arrivée en février en 2013 dans le ranch de la Station de Recherche Agronomique de Niono en zone sahélienne et dans la Station de Recherche Agronomique de Sotuba en zone subhumide.

Matériel et méthodes

L'étude a porté sur 29 femelles de dromadaires dont 17 élevées dans la Station de Recherche de Niono (500 - 600 mm de pluies) et 12 femelles dans celle de Sotuba (800 - 1000 mm de pluies par an). Les animaux de Niono étaient âgés de 2 à 3 ans à leur arrivée, alors qu'à Sotuba, leur âge était entre 3 et 6 ans. Après le pâturage, les animaux recevaient en moyenne 3 kg d'aliment concentré à base de sons de blé, de maïs grain et de tourteau de coton, ayant une teneur de 16 % de protéines brutes et 0,81 UF/kg. Les données collectées ont porté sur les saillies, les avortements, les mises-bas, la durée du post-partum et le poids des veaux à la naissance. Les informations ont été recueillies de février 2013 à juin 2016 par observations directes des animaux lors des visites des troupeaux le matin et le soir et par l'intermédiaire du berger pour les événements qui se passent au moment de la pâture. Le diagnostic de la gestation a été fait par la technique traditionnelle de « la queue levée ». Les données ont été analysées par la méthode de la statistique descriptive et par analyse de variance en prenant comme facteurs le site et le sexe du fœtus.

Résultats

La situation de la reproduction des femelles à la date du 30 juin est présentée dans le tableau 1 et les photos 1 et 2. Le taux de fertilité est élevé aussi bien à Sotuba qu'à Niono, tandis que celui de la mise-bas a été plus élevé à Sotuba qu'à Niono. Le taux de mise-bas, plus faible à Niono s'explique par le fait qu'il restait encore des femelles en gestation au moment où ce document a été rédigé.

Tableau 1 : Principaux paramètres de reproduction des femelles de février 2013 au 30 juin 2016

Paramètres	Sotuba	Niono	Ensemble
Nombre de chamelles	12	17	29
Nombre de chamelles en gestation	11	15	26
Nombre de chamelles ayant mis bas au 30 juin 2016	10	9	16
Nombre d'avortement	1	1	2
Nombre de mises-bas prématurées	2	0	2
Nombre de femelles encore en gestation au 30 juin 2016	1	6	7
Taux de fertilité	91,7	88,2	90,0
Taux de mises-bas	90,9	64,0	77,5
Taux d'avortement	9,1	6,7	7,9



Photo 1 : Chamelons nés dans le ranch de Niono



Photo 2 : Chamelon né à Sotuba

Durée de la gestation et du post-partum

La durée de gestation des chamelles a été la même à Sotuba et à Niono (Tableau 2). Par contre, la durée du post-partum a été significativement plus longue à Niono qu'à Sotuba. Toutefois, il n'a pas été possible pour nous d'expliquer cette différence dans la mesure où le mode de conduite des troupeaux était le même sur les deux sites. En effet, le géniteur était en permanence dans le troupeau avec les femelles.

Tableau 2 : Durée de la gestation et du post-partum dans les troupeaux de dromadaires à Sotuba et à Niono au 30 juin 2016

Paramètres	Sotuba			Niono			Ensemble	Probabilité
	Moyenne	Minimum	Maximum	Moyenne	Minimum	Maximum		
Durée de la gestation, jours	369,5 (20,1)	278,0*	417,0	362,2 (13,1)	334,0	404,0	366,2 (11,9)	0,778
Durée du post-partum, jours	100,4 (27,8)	29,0	279,0	234,5 (50,1)	81,0	366,0	154,1 (30,5)	0,025

*Le chamelon est né prématuré et il a succombé 3 jours après sa naissance ; les chiffres entre parenthèses indiquent l'erreur standard

La durée moyenne de la gestation des chamelles ayant donné naissance à des femelles était de $375,3 \pm 10,6$ (ES) jours contre $342,0 \pm 34,0$ jours pour celles qui ont donné naissance à des mâles. Les valeurs minimale et maximale étaient de 334 jours et 417 jours chez les femelles et 278 jours et 394 jours chez les mâles. Le sexe du chamelon n'a pas eu d'effet statistiquement significatif sur la durée de la gestation ($P = 0,233$).

Mises-bas

Dans l'ensemble, les mises-bas ont été maximales entre les mois de janvier de février (Figure 1). Ensuite, elles étaient régulièrement réparties de mai à juillet. Les mises-bas ont légèrement augmenté au mois de novembre.

À Sotuba, le plus grand nombre de naissances a été enregistré au mois de février (Figure 2), tandis qu'à Niono, le mois de janvier a enregistré le maximum de mises-bas (Figure 3).

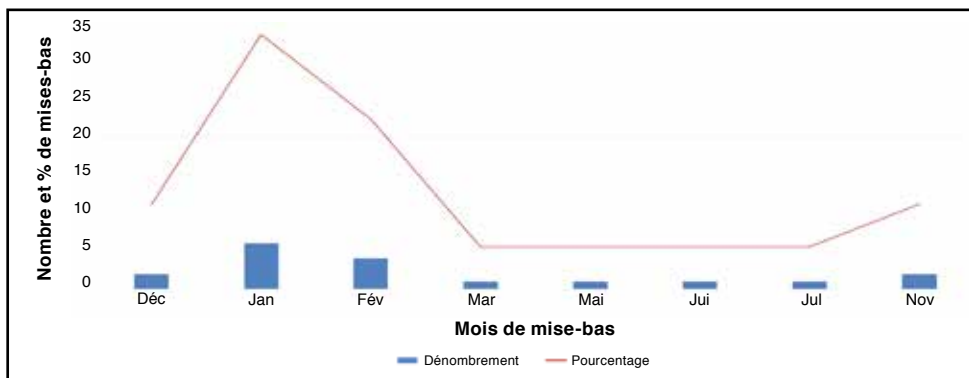


Figure 1 : Répartition des mises-bas au cours de l'année à Niono et à Sotuba

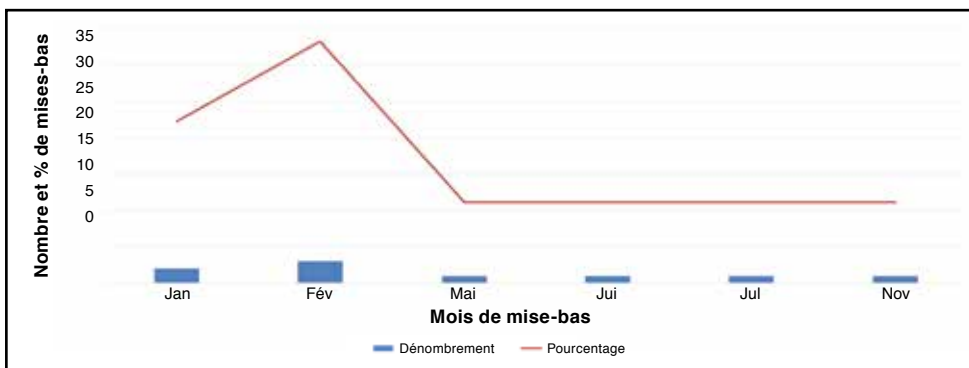


Figure 2 : Répartition des mises-bas entre les mois de l'année à Sotuba

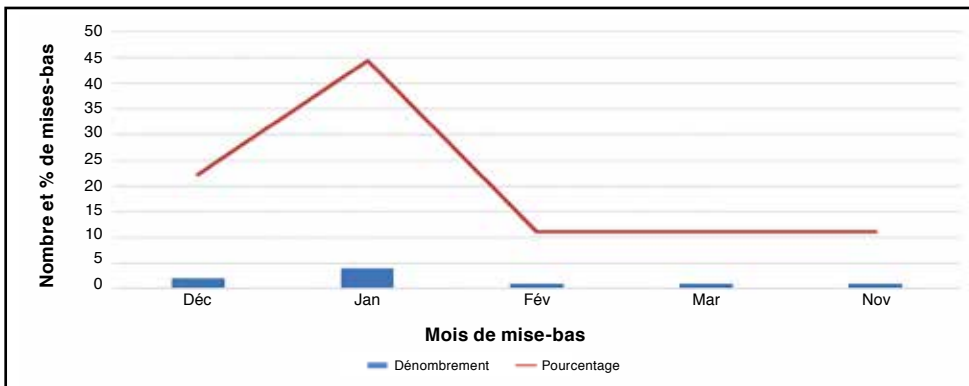


Figure 3 : Répartition des mises-bas entre les mois de l'année à Niono

Poids à la naissance des chamelons

Le poids à la naissance des chamelons est présenté dans le tableau 3. Il n'a pas été observé de différence significative entre les deux sites. Toutefois, le coefficient de variation a été plus élevé à Sotuba qu'à Niono.

Tableau 3 : Poids à la naissance des chamelons à Sotuba et à Niono

Sites	Nombre	Poids (kg)	Erreur standard	Coefficient de variation (%)	Minimum	Maximum
Sotuba	9	29,8	2,1	21,2	21,5	38,5
Niono	9	28,3	0,9	9,7	26,5	35,0
Ensemble	18	29,1	1,3	16,5	21,5	38,5
Probabilité		0,517				
Signification		NS				

NS : non significatif

De même, il n'a pas été observé de différence significative entre le poids des mâles ($30,2 \pm 1,9$ kg) et celui des femelles ($27,7 \pm 0,6$ kg) même si les premiers sont légèrement plus lourds ($P = 0,277$) avec un coefficient de variation trois fois plus élevé (20,1%) que chez les femelles (6,6%). L'augmentation de la taille de l'échantillon permettrait de mieux élucider cette question.

Il n'a pas été détecté de corrélation ni entre la durée de la gestation et le poids à la naissance du chamelon ($r = 0,079$; $P = 0,85$) ni entre le poids et la durée du post-partum ($r = 0,188$; $P = 0,65$). Par contre, il existe une corrélation négative mais non significative entre la durée de la gestation et la durée du post-partum ($r = -0,66$; $P = 0,08$). Toutefois, il faut prendre ces résultats avec réserve à cause du nombre faible de données.

Discussion

La réduction de la durée du post-partum est une performance en reproduction comparativement à l'élevage traditionnel extensif où la durée est au moins de 12 mois (Ouologuem *et al.*, 2008). Cela signifie que le caractère saisonnier de la reproduction rapporté par Faye *et al.* (1995) et Zarrouk *et al.* (2003), mérite d'être revu à partir du moment où la femelle peut venir en chaleur quelques jours après la mise-bas et être saillie lorsque les conditions nutritionnelles sont bonnes.

La durée post-partum observée dans cette étude a été plus longue que celle rapportée par Hammadi (sd) qui a trouvé un intervalle vêlage - saillie de $17,92 \pm 9,11$ jours en sevrant précocement les chamelons à 15 jours après leur naissance. L'avantage de cette réduction (environ 16 mois au lieu de 24 mois en élevage extensif) est de réduire l'intervalle entre deux vêlages successifs. Hammadi (sd) a trouvé un intervalle de $403,5 \pm 8,2$ jours (13 mois et demi) contre 714,6 jours (24 mois environ) dans les conditions traditionnelles du Sud de la Tunisie.

Mais, Nagy *et al.* (2015) ont signalé que la saillie fécondante fait chuter brusquement la production de lait chez la chamelle. Le raccourcissement de la lactation a varié de 220 jours (34,2 %) à 249 jours (37,6 %), ce qui a occasionné la baisse de la production totale de lait oscillant entre 1532 litres (31,6 %) et 2 151 litres (44,3 %). Par conséquent, dans une exploitation avec une vision laitière, il n'est pas souhaitable de raccourcir le post-partum. Ces auteurs ont recommandé de faire saillir les chamelles à mi lactation, mais, la production de lait va chuter 4 mois après la conception. La durée du post-partum observée à Niono, semble correspondre à la recommandation de Nagy *et al.* (2015).

La méthode de « queue levée » utilisée dans le diagnostic de la gestation, utilisée ici est une méthode simple et assez pratique. Mais cette technique nécessite une vérification scientifique, car, d'après Pacholeck *et al.* (2000), elle induit 10 à 20 % d'erreur de diagnostic de la gestation.

La durée moyenne de la gestation constatée dans la présente étude (362 jours) a été plus courte que les durées de 376 jours rapportées par Aichouany (2011) au Sud de l'Algérie et de 380 jours par Launois *et al.* (2002). D'après Zarrouk *et al.* (2003), cette durée est sous l'influence de plusieurs facteurs dont la race, le sexe du fœtus, la saison et le niveau nutritionnel.

Conclusion

Les résultats obtenus durant ces trois premières années d'introduction du dromadaire dans les zones sahélienne-sud et subhumide du Mali laissent présager d'une adaptation des animaux à leurs nouveaux milieux. Néanmoins, la collecte de données sur une plus longue période et l'utilisation de l'analyse hormonale sont nécessaires pour mieux comprendre les variations des paramètres reproductifs. En guise d'exemple, il est nécessaire d'établir la corrélation entre l'utilisation de la méthode de « queue levée » et l'analyse de la progestérone pour le diagnostic de la gestation. Par ailleurs, il est opportun d'éclairer les conditions d'utilisation de l'insémination artificielle chez les dromadaires au Mali pour accélérer l'amélioration génétique.

Références

- Aichouany M., 2011. Etude du potentiel reproductif et exploration de certains paramètres hématologiques et histologiques chez le dromadaire (*Camelus dromaderius*) du Sud-ouest de l'Algérie. Thèse, Université d'Oran, 201p.
- Ali Chaudhry Shaukat, Zafar Iqbal, Muhammad Sarwar and Mahr -Un-Nisa, 1999. Artificial Insemination in camel: Problems and Prospects. Int. J. Agri. Biol. 1(3) : 193-195.
- FAOStat, 2011, <http://fasostat.fao.org>.
- Faye B., Jouany J.P., Chacornac J.P., Ratovonahary M., 1995. L'élevage des grands camélidés. Analyse des initiatives réalisées en France. INRA, Prod. Anim. 8(1) : 3-17.
- Faye B., Vias-Franck G., Chaïbou M., 2013. Le dromadaire profite-t-il du changement climatique ? Courrier de l'Environnement de l'INRA, août, (63) : 131-140.
- Hammadi M. (sd). L'allaitement artificiel des chamelons: une technique pour améliorer la productivité de l'élevage camelin. Département Des Sciences Animales Institut Des Régions Arides Médenine Tunisie. CIHAM, Options Méditerranéennes, 137-141.
- Hammadi M., 1996. Effets d'une supplémentation par un aliment concentré sur les performances de production et de reproduction en période post-partum chez la chamelle (*Camelus dromedarius*) élevée sur un parcours du Sud tunisien ; Mémoire de fin d'étude du cycle de spécialisation de l'I.N.A.T., 95p.
- Kamoun M., 1995a. Dromedary meat: production, quality aspects and acceptability for transformation. Options Méditerranéennes. Série B, Etudes et Recherches, 13 : 105-130.
- Kamoun M., 1995b. Le lait de dromadaire: production, aspects qualitatifs et aptitude à la transformation. In «Tisserand J. L (édit.): Elevage et alimentation du dromadaire», Zaragoza, CIHEAM, options Méditerranéennes, série B, Etudes et Recherches, (13) : 81-103.
- Launois M., Faye B., Aoutchiki Kriska M., 2002. Le dromadaire pédagogique, coll. «Les savoirs partagés». Publ. CIRAD, Montpellier, France, 26p.
- Mukasa-Mugerwa E., 1985. Le chameau (*Camelus dromedarius*): étude bibliographique. Monographie 5, CIPEA, 111p.
- Nagy P., Faigl V., Reiczigel J., Juhasz J., 2015. Effect of pregnancy and embryonic mortality on milk production in dromedary camels (*Camelus dromedarius*). J. Dairy Sci., 98, 975-986 [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(14\)00811-X/abstract](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(14)00811-X/abstract).

- Ouologuem B., Moussa M., Baradji I., Coulibaly L., Kouriba A., N'diaye M., Boré F. Guindo, Nialibouly O., Coulibaly N., Traoré M.D., Soufountera M., Sidibé S., Benagly S., 2016. Adaptation de l'Agriculture et de l'Élevage au Changement Climatique/Composante 2: Développement de la filière lait du dromadaire, Rapport final. 23^e session du Comité de Programme de l'IER, 71p.
- Ouologuem B., Moussa M., Coulibaly M.D., 2008. Système d'élevage camelin dans la région de Gao, II. Gestion des animaux. Les Cahiers de l'Économie Rurale, (6): 13-24.
- Pacholek X., Vias G., Faye B., Faugère O., 2000. Élevage camelin au Niger: référentiel zootechnique et sanitaire. Publ. Coopération Française, Niamey, Niger. 93p.
- Zarrouk A., Souilem O., Bekers J.F., 2003. Actualités sur la reproduction chez la femelle dromadaire (*Camelus dromedarius*). Revue Elev. Méd. Vét. Pays trop. 56 (1-2): 95-102.

Comportement des dromadaires adultes sur pâturages sahélien et subhumide au Mali : Description des principales activités

Behavior of Adult Dromedaries in the Sahelian and Sub-humid Pastures of Mali: Description of Main Activities

Moussa Mohomodou¹, Ouologuem Bara^{1*}, Coulibaly Lassine¹, Coulibaly Nouhoum¹, Nialibouly Ousmane², Baradji Issa¹, Dao Samba², Traoré Mamadou Demba², N'Diaye Mohamed³ et Aune Jens Bernt⁴

¹Station de Recherche Agronomique de Sotuba, Programme Bovins/Camelin - BP 262, Bamako, Mali

²Station de Recherche Agronomique de Niono - BP 238, Ségou, Mali

³Institut d'Économie Rurale, Direction Scientifique - BP 258, Bamako, Mali

⁴Université des Sciences de la vie, NorAgric Ås, Norvège

*Auteur pour la correspondance : ouologuembara@yahoo.fr

Résumé

Dans le cadre d'un programme d'adaptation au changement climatique, deux troupeaux de dromadaires adultes ont été élevés en zone sahélienne (400 - 500 mm/an de pluies) à Niono et en zone subhumide (800 - 1 000 mm/an) à Sotuba et suivis au pâturage pendant 12 mois pour étudier leur comportement au pâturage. Chaque mois, 4 dromadaires ont été identifiés dans chacun des deux troupeaux et suivis pendant 7 jours depuis leur sortie du parc jusqu'au retour au parc. Les principales activités de chaque animal ont été notées durant une minute par intervalle de 15 minutes. À la fin du suivi, les données ont été agrégées entre les trois saisons : saison des pluies (juin - septembre), saison sèche froide (octobre - février) et saison sèche chaude (mars - mai). Le temps de broutage (63,7 %) et celui de marche (25,4 %) observés à Niono ont été plus élevés qu'à Sotuba respectivement 53,3 % et 19,4 %. Par contre, le temps de repos a été plus élevé à Sotuba (25,5 %) qu'à Niono (8,8 %). Le temps consacré au broutage a été plus élevé pendant la saison des pluies (80,0 % à Niono et 65,0 % à Sotuba) que durant la saison sèche froide (62,0 % à Niono et 58,0 % à Sotuba) et la saison sèche chaude (60,0 % à Niono et 59,0 % à Sotuba). Le temps de repos dans la position debout a été de 65,5 % à Niono contre 40,1 % à Sotuba, tandis que celui du repos en position couchée a été de 21,9 % à Niono contre 51,8 % à Sotuba. Les animaux prenaient plus de temps de rumination à Niono (21,6 %) comparativement à Sotuba (6,6 %). Les dromadaires font moins de déplacement et plus de repos en zone subhumide que sur pâturage sahélien.

Mots-clés : dromadaire, broutage, herbacées, ligneux, marche, repos, Mali.

Abstract

As part of a climate change adaptation program, two herds of adult dromedaries, one in the Sahelian zone (Research Station of Niono, 400-500 mm/year of rain) and the other in the sub-humid zone (Research Station of Sotuba, 800-1000 mm/year of rain) have been reared and monitored on pasture for 12 months for their grazing behavior. Every month, 4 dromedaries were identified in each of the two herds and were monitored for 7 days from their departure from the park to their return. The main objective was to compare the herd behaviors within and between seasons and zones. Individual animal activities were recorded for one minute at 15-minute intervals. At the end of the monitoring, data were aggregated for each of the three seasons: rainy (June-September), cold dry (October-February) and hot dry (March-May). The grazing (63.7%) and walking (25.4%) times observed in Niono were higher than those observed in Sotuba, i.e. 53.3% and 19.4% respectively. On the other hand, resting time was higher in Sotuba (25.5%) than in Niono (8.8%). Grazing time was higher during the rainy season (80.0% in Niono and 65.0% in Sotuba) than in the cold dry season (62.0% in Niono and 58.0% in Sotuba) and in the hot dry season (60.0% in Niono and 59.0% in Sotuba.). Standing resting time was 65.5% in Niono, compared with 40.1% in Sotuba, while lying resting time was 21.9% in Niono, compared with 51.8% in Sotuba. Animals took longer time to ruminate in Niono (21.6%) than in Sotuba 6.6%. Dromedaries walk less and rest more in the sub-humid zone pasture than in that of the Sahelian zone.

Key words: *dromedary, grazing, herbaceous, woody, walking, rest, Mali.*

Introduction

Le cheptel dromadaire, de 979 510 têtes (DNPIA, 2015), constitue l'une des principales richesses des 2/3 des zones arides et semi-arides du Mali. La grande sécheresse des années 1970 et 1980 a révélé le remarquable potentiel des dromadaires. D'après Ghauthier-pilters (1977), le dromadaire est l'une des rares espèces domestiques capables de mettre en valeur ces espaces arides en raison de ces spécificités anatomiques et physiologiques.

Malgré cette importance, le dromadaire a été peu étudié notamment son comportement sur le pâturage. D'après Faye et Tisserand (1989), les espèces consommées par le dromadaire sont très variées (légumineuses, graminées, arbres fourragers, plantes herbacées, plantes ligneuses...), avec une ration alimentaire d'un pourcentage total de fourrage ligneux de 90 % en saison sèche, et 50 % environ en saison de pluie. Il peut pâturer entre 4 et 8 heures par jour, voire plus, en fonction de la densité des ressources disponibles. En général, il broute préférentiellement le matin et le soir tant qu'il fait frais (Richard, 1985). Les variations saisonnières du disponible fourrager affectent de façon très importante le régime alimentaire du dromadaire (Longo *et al.*, 2007).

En raison de ces spécificités et capacités d'adaptation, Faye et Al-Kharj (2013) ont indiqué que le dromadaire est un allié précieux dans la résilience des populations des zones arides aux conséquences du changement climatique. Ce point de vue est partagé par Trabelsi *et al.* (2012). Il pourra contribuer au maintien, sinon à ralentir l'avancée de la désertification constatée dans la zone sahélienne depuis quelques décennies.

À ce jour aucune étude de comportement du dromadaire n'a été conduite au Mali. La migration de cette espèce vers le Sud, plus humide, milite en faveur d'une telle étude dans le cadre de l'adaptation de cette espèce au milieu plus humide du Sud. L'objectif de la présente étude a été d'étudier le comportement des dromadaires sur deux pâturages sahélien et subhumide au Mali.

Matériel et Méthodes

L'étude a été conduite au ranch de la Station de Recherche Agronomique de Niono, situé en zone sahélienne et à la Station de Recherche Agronomique de Sotuba en zone subhumide de juillet 2013 à juin 2014.

La Station de Recherche Agronomique (SRA) de Niono est située au nord de la ville de Niono. Elle possède un ranch de 12 000 ha à environ 12 km à l'est de la ville entre le 13°30' et le 15°45' de latitude nord et entre le 5°05' et le 6°35' de longitude ouest. Le ranch est une zone de conservation des espèces végétales pour les activités de

recherche (CIPEA, 1978). La température moyenne est de 29,2°C sur les trente ans de 1966 à 2003 et ne s'écarte pas considérablement de la moyenne annuelle qui est de 29°C obtenue sur 55 ans (Soumaré, 1996). La pluviométrie est caractérisée par une courte saison pluvieuse (de juin à septembre), suivie d'une saison sèche qui dure 8 mois (octobre à mai). La pluviosité est variable d'une année à l'autre (280 mm en 1993 et 666 mm en 1994) et d'un point à l'autre au cours d'une même année. Les hauteurs de pluies des dix dernières années sont indiquées à la figure 1. La figure montre une variation importante de la hauteur des pluies au cours de la décennie. Dans l'ensemble, 2010 a été la plus pluvieuse aussi bien à Sotuba qu'à Niono, par contre les années les plus sèches ont été 2014 à Niono et 2015 à Sotuba. Le pâturage est caractérisé par la dominance des espèces ligneuses.

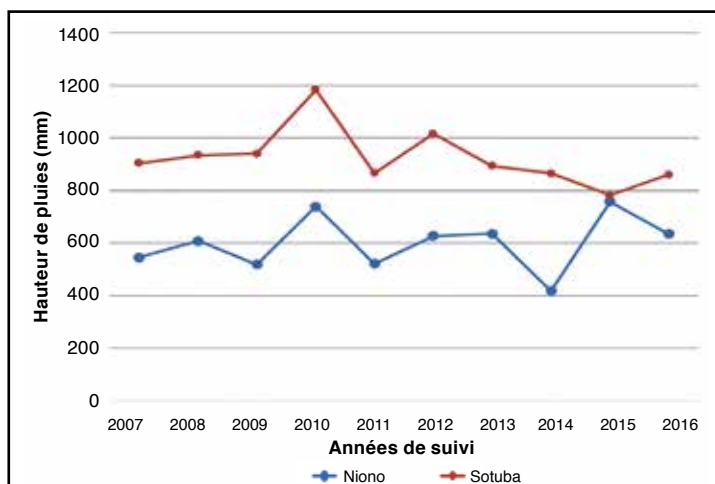


Figure 1 : Évolution des hauteurs des pluies de 2007 à 2016 à Niono et Sotuba

La Station de Recherche Agronomique (SRA) de Sotuba, couvre une superficie de 268 hectares avec une altitude de 322 m située entre le 12° 39' 07,3" de latitude nord et 007° 55' 34,0" de longitude ouest. Le climat est de type tropical soudano-sahélien avec une succession régulière d'une saison des pluies bien marquée, de courte durée, allant de juin à septembre et d'une longue saison sèche allant d'octobre à mai. La température moyenne annuelle varie entre 25,7 et 39°C, avec une amplitude forte. Les vents dominants sont l'harmattan chaud et la mousson humide. Les hauteurs de pluies de 2007 à 2016 sont indiquées à la figure 1. Elle montre une grande variation de la pluviosité au cours de la décennie. Dans l'ensemble, 2010 a été la plus pluvieuse, par contre 2015 a été la plus sèche. La végétation est de type soudano-sahélien avec des arbres et des arbustes.

Matériel

Le matériel animal a été constitué de 24 dromadaires âgés de 5 ans en moyenne dont 12 dromadaires au ranch de Niono et 12 à Sotuba. Trois (3) expériences ont été conduites sur chacun des deux (2) sites expérimentaux à raison de 4 dromadaires par expérience.

Méthodes

Le comportement des dromadaires au pâturage a été suivi mensuellement de juillet 2013 à juin 2014 à Sotuba et à Niono (Photos 1, 2 et 3). Sur chaque site, les 4 dromadaires pris au hasard du troupeau ont été suivis individuellement pendant 7 jours par 4 observateurs. Le matin, chaque observateur notait l'heure de sortie des animaux du parc. Ensuite par intervalle de 15 minutes, il notait toutes les activités de l'animal durant une minute avec un chronomètre. Lorsque l'animal se reposait, l'attitude adoptée par l'animal a été notée. Cette opération se poursuivait durant toute la journée jusqu'au retour des animaux dans le parc. Cet exercice a été répété tous les mois pendant 12 mois afin de suivre les variations liées aux saisons délimitées comme suit: saison des pluies de juin à septembre; saison sèche froide d'octobre à février; et saison sèche chaude de mars à mai. La durée de la pâture a été calculée en faisant la différence entre l'entrée des animaux au parc le soir et l'heure de sortie du matin. Une analyse descriptive des données a été effectuée (fréquence, pourcentage, moyenne, écart-type) en utilisant le logiciel Minitab version 16.



Photo 1 : Suivi de dromadaires au pâturage



Photo 2 : Identification d'une espèce végétale ingérée par un dromadaire, 2013



Photo 3 : L'abreuvement est une activité du dromadaire à Niono, 2014

Résultats

Principales activités des dromadaires sur les pâturages

Cinq principales activités ont été identifiées sur les pâturages : le broutage, le repos, la marche, l'abreuvement et le rut. Le broutage a été la principale activité à Sotuba et à Niono. Il a été suivi à Sotuba par le repos et la marche, tandis qu'à Niono, la marche a été la première activité suivie du repos (Tableau 1). L'abreuvement et la reproduction ont occupé peu de temps. Quelques cas de barbotage ont été observés, cependant le temps y afférent a été négligeable. Les animaux ont mis plus de temps au broutage et à la marche à Niono comparativement à Sotuba, tandis que le repos a été plus fréquent à Sotuba.

Tableau 1 : Principales activités des dromadaires sur les pâturages et pourcentage de temps consacré

Activités	Niono		Sotuba	
	Fréquence	%	Fréquence	%
Barbotage	12	0,4	30	0,59
Broutage	2067	61,7	2709	53,2
Marche	854	25,5	970	19
Repos	297	8,9	1292	25,4
Abreuvement	91	2,7	93	1,8
Rut	28	0,8	3	0,1
Ensemble	3349	100	5097	100

Cette répartition du temps a été peu modifiée au cours des saisons (Figure 2). Ainsi, quelle que soit la saison, le broutage a été la principale activité, suivie du repos, de la marche et de l'abreuvement. Quel que soit le site, le pourcentage de temps consacré au broutage a été plus élevé en hivernage que durant les deux saisons sèches. Par contre, la situation a été similaire entre ces deux saisons.

Les dromadaires ont adopté deux attitudes pour se reposer : la position arrêtée et la position couchée (Tableau 2). Dans les deux cas, il peut ruminer ou non. Le repos en position arrêtée a été dominant à Niono, tandis que le repos en position couchée et la rumination ont été similaires. Par contre, à Sotuba, le repos en position couchée a été plus fréquent, suivi de près par celui de la position arrêtée. Peu de temps a été consacré

à la rumination. Le barbotage dans l'eau ou sur le sol a été une activité de repos qui a été observée à Sotuba bien que la fréquence ait été faible.

Tableau 2 : Différentes attitudes de repos des dromadaires

Positions de repos	Niono		Sotuba	
	Fréquence	%	Fréquence	%
Repos debout	160	56,5	518	40,1
Repos couché	62	21,9	670	51,8
Rumination	61	21,6	86	6,6
Barbotage	0	0	19	1,5
Ensemble	283	100	1293	100

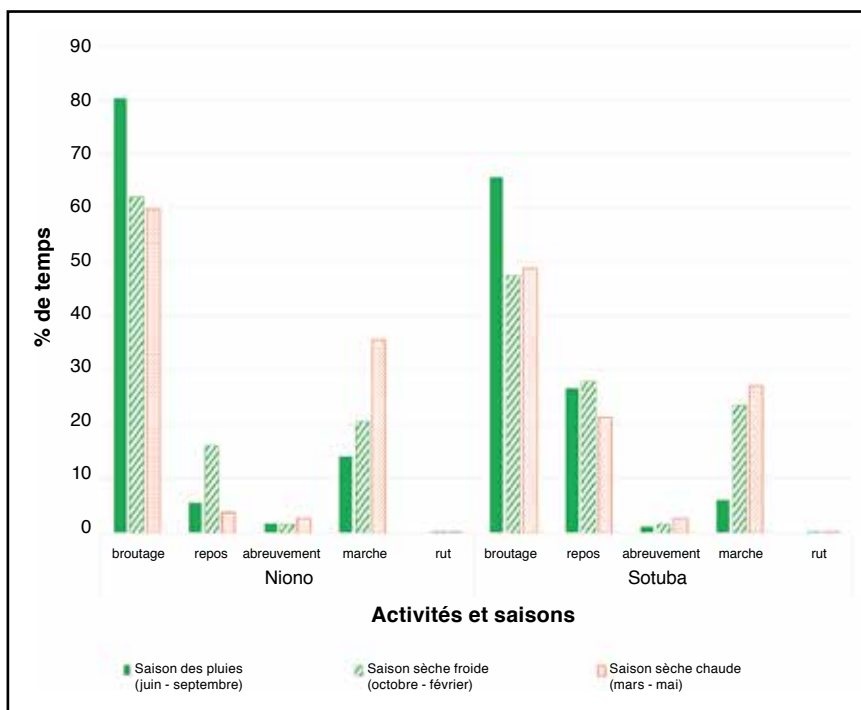


Figure 2 : Principales activités des dromadaires au pâturage selon les saisons à Niono et à Sotuba

Les attitudes de repos n'ont pas été identiques selon les saisons (Tableau 3). Ainsi, à Niono, il n'a pas été noté de repos en position couchée pendant la saison des pluies et très rarement durant la saison sèche chaude. Pendant la saison sèche froide aussi, le repos en position debout a été plus fréquent que celui de la position couchée. La rumination n'a pas été observée au pâturage pendant la saison des pluies, tandis que durant la saison sèche froide sa fréquence a été proche de celle du repos en position couchée, mais au cours de la saison sèche chaude, la rumination avait la moitié du temps de repos en position couchée.

Tableau 3 : Différentes positions des dromadaires au repos selon les saisons à Niono et Sotuba

Saison	Types de repos	Niono		Sotuba	
		Fréquence	%	Fréquence	%
Saison de pluies (juin - septembre)	Repos debout	28	100	112	21,7
	Repos couché	0	0	365	70,7
	Rumination	0	0	20	3,9
	Barbotage	0	0	19	3,7
	Ensemble	28	100	516	100
Saison sèche froide (octobre - février)	Repos debout	89	43,8	297	51
	Repos couché	61	30,1	257	44,2
	Rumination	53	26,1	28	4,8
	Barbotage	0	0	0	0
	Ensemble	203	100	582	100
Saison sèche chaude (mars - mai)	Repos debout	43	82,7	109	55,9
	Repos couché	1	1,9	48	24,6
	Rumination	8	15,4	38	19,5
	Barbotage	0	0	0	0
	Ensemble	52	100	195	100

À Sotuba, le repos en position couchée a été plus fréquent pendant la saison des pluies, tandis que durant les deux autres saisons, le repos en position debout a été dominant. La rumination a été plus fréquente pendant la saison sèche chaude que durant les deux autres saisons. Le barbotage n'a été observé que pendant la saison des pluies.

Fréquence des activités au cours de la journée de pâture

Les activités n'ont pas eu les mêmes fréquences au cours de la journée. Ainsi, à Niono, à la sortie du parc, la principale activité a été la marche pour atteindre la zone de pâture (Tableau 4). À partir de 11h - 12h, le repos commence à être de plus en plus important pour atteindre son pic entre 15h et 16h. Ensuite, la marche devient à nouveau importante pour le retour au parc.

Tableau 4 : Répartition des activités au cours de la journée de pâture (% de temps)

Site	Activités	Horaires de pâture								
		08h - 09h	09h - 10h	10h - 11h	11h - 12h	12h - 13h	13h - 14h	14h - 15h	15h - 16h	16h - 17h
Niono	Abreuvement	0	0	0	0	3,8	4,4	0,5	2,5	0
	Broutage	27,6	62,8	33,7	75,5	82,8	69,7	66,8	42,6	25
	Marche	72,4	36,2	66,3	19,7	5,8	11,6	11,4	25,8	75
	Repos	0	0	0	4,5	7,6	14,4	21	29,1	0
	Rut	0	0	0	0,3	0	0	0,3	0	0
Sotuba	Abreuvement	0	0	0,9	3,1	1,3	1,6	2	1,8	5,3
	Broutage	0	70	63,2	64,1	54	47	43	40,8	78,9
	Marche	0	25	29,1	16,5	13,7	14,8	14,7	28,9	10,5
	Repos	0	5	6,8	16,1	30,8	36,5	40,3	28,4	5,3
	Rut	0	0	0,2	0,1	0	0	0	0	0

À Sotuba, le broutage a été la principale activité dès la sortie du parc jusqu'à 12 - 13h ; entre 13h et 15h le repos a été aussi fréquent que le broutage. À partir de 15h, le broutage reprend le dessus jusqu'au retour au parc.

Selon les saisons, le comportement des dromadaires a été légèrement modifié (Figure 3). La marche est dominante entre 8h et 9h, par la suite le broutage devient plus important jusqu'à 12h - 13h. De 13h à 15h, le broutage et la marche ont été comparables. Enfin, entre 16 h et 17 h, les animaux retournent au parc, la marche a été la seule activité en ce moment.

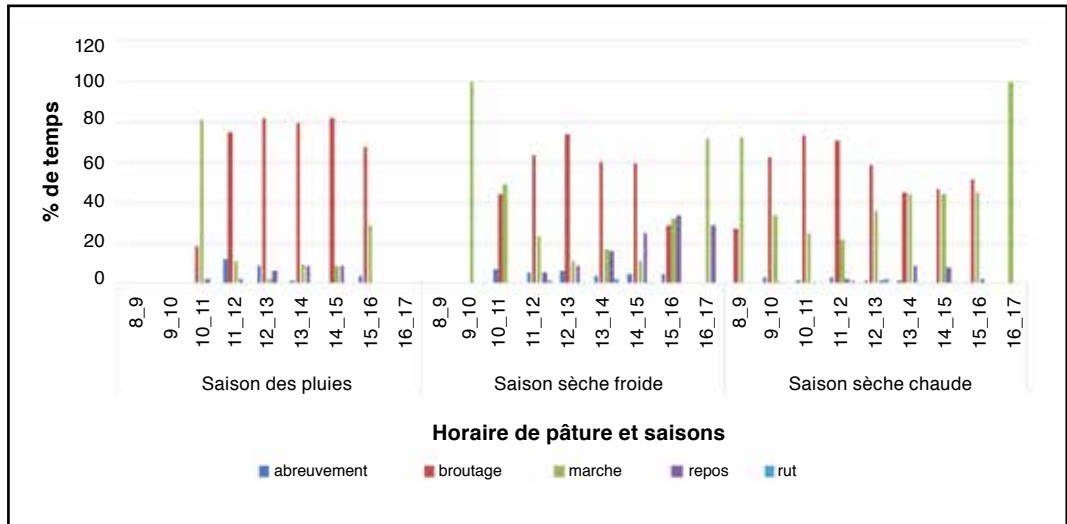


Figure 3 : Temps des activités des dromadaires en fonction de la saison sur le site de Niono

À Sotuba, les animaux sortaient toujours entre 9h et 10h, quelle que soit la saison (Figure 4). Pendant la saison des pluies, le broutage et le repos ont été les plus importantes activités durant toute la durée de la pâture. Au cours de la saison sèche froide, la marche a été la première activité entre 9h et 10h pour atteindre les pâturages, ensuite, le broutage jusqu'à 12 h. Entre ce temps et 14 h, le broutage a été aussi important que le repos. Pendant ce temps le pourcentage du temps de la marche a augmenté aussi. Entre 14h et 15h, le repos a été plus fréquent que les autres activités. Enfin, la marche a été dominante entre 15h et 16h, lorsque les animaux retournaient au parc.

Durant la saison sèche froide, la marche a constitué l'unique activité entre 9h et 10h. Puis, le broutage est devenu plus fréquent jusqu'à 12h - 13h. Ensuite, entre 12h et 14h le broutage et le repos ont été similaires. Par la suite, le repos a été plus important entre 14h et 15h. À partir de cette heure, le temps de marche a été légèrement supérieur à celui du broutage et de repos.

Pendant la saison sèche chaude, la marche a été aussi la principale activité entre 9h et 10h, puis, le broutage a été dominant de 10h jusqu'à 15h. À partir de 15h, la marche a surpassé les autres activités.

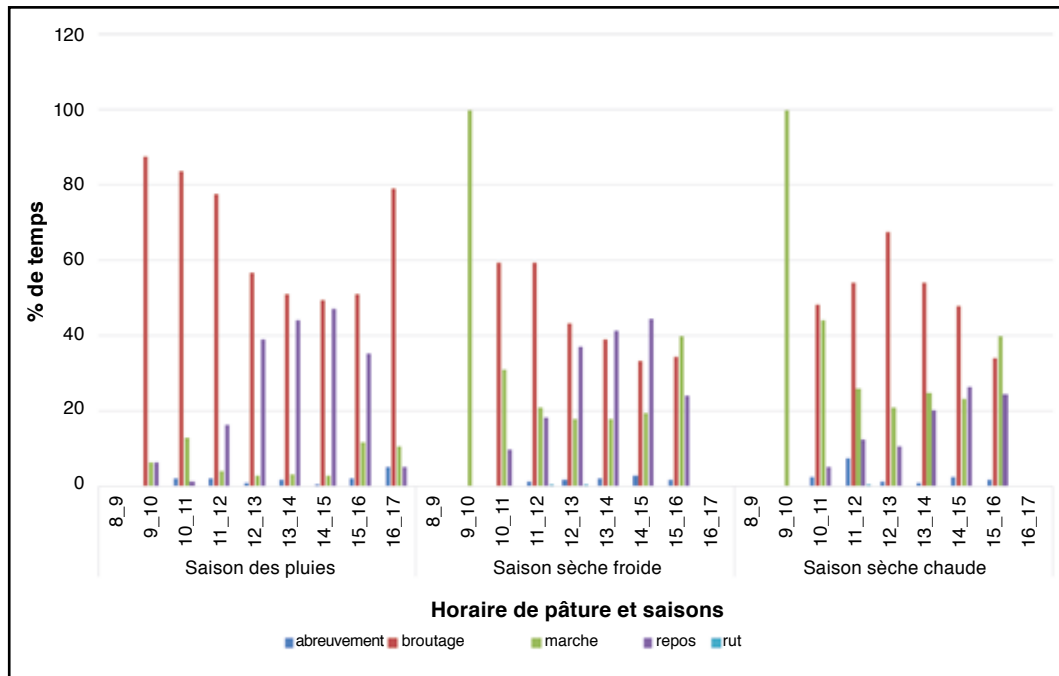


Figure 4 : Pourcentage de temps des activités des dromadaires en fonction des saisons à Sotuba

La durée de pâture est présentée au tableau 5. Le troupeau de Sotuba a environ une heure de plus de temps de pâture que celui de Niono quelle que soit la saison.

Tableau 5 : Durée de la pâture à Niono et à Sotuba

Site	Saison	Minimum	Maximum	Moyenne	Déviat ion standard
Niono	Pluies	03 h 30	05 h 01	04 h 22	00 h 23
	Sèche froide	04 h 00	04 h 45	04 h 35	00 h 17
	Moyenne	03 h 30	05 h 01	04 h 31	00 h 20
Sotuba	Pluies	03 h 03	06 h 45	05 h 26	00 h 50
	Sèche froide	04 h 45	06 h 00	05 h 36	00 h 20
	Moyenne	03 h 04	06 h 45	05 h 22	00 h 30

Discussion

Au pâturage, les principales activités du dromadaire sont le broutage, la marche, le repos et l'abreuvement. Ce constat est similaire à celui de Chaïbou (2005) au Niger sur pâturages naturels à l'exception que celui-ci a distingué le déplacement - broutage et la rumination comme des activités indépendantes. Dans la présente étude le déplacement-marche a été assimilé au broutage, tandis que la rumination a été confondue au repos. Le broutage a été l'activité la plus fréquente aussi bien sur le pâturage sahélien que celui de la zone subhumide quelle que soit la saison. Le repos devient important dans l'après-midi entre 14h et 15h, ce qui correspond aux heures chaudes de la journée. Le rythme journalier des activités, observé dans la présente étude, a été différent de celui de Chaïbou (2005). Cette différence s'explique par le fait que cet auteur a étudié les troupeaux de dromadaires dans un mode d'élevage traditionnel extensif dont la conduite allait de 8h à 20h, alors que dans le présent cas, les animaux étaient en station, par conséquent un horaire de conduite a été fixé de 8 - 9h - 17h, quelle que soit la saison. Pendant la saison des pluies, les animaux sortaient à partir de 10h après la visite matinale consacrée aux prises des données zootechniques et sanitaires et pour éviter aussi la rosée matinale. Au cours des saisons sèche froide et sèche chaude, les animaux sortaient plus tôt (9h). Les animaux ont eu ainsi moins de temps de pâture, ce qui a eu probablement pour conséquence l'accélération du rythme de pâture.

Toutefois, Faye *et al.* (1997) ont indiqué que le temps de pâture du dromadaire peut varier de 4 à 8 heures voire plus en fonction de la densité des ressources disponibles.

Le pourcentage du temps de broutage plus élevé observé pendant la saison des pluies semble être lié au disponible fourrager au cours de cette période. En effet, pendant cette période, les animaux ont besoin de moins de déplacement pour avoir accès au fourrage. Par contre pendant la saison sèche, le fourrage devient rare au fur et à mesure que la saison avance. Ce qui explique que le déplacement et le broutage aient été plus fréquents et le repos plus rare. Ce constat est confirmé par Hoshino *et al.* (2017) qui ont indiqué que la vitesse du déplacement des dromadaires est plus importante en saison sèche (4,85 km/h) que durant la saison des pluies (2,81 km/h), tandis que, la vitesse du broutage a évolué dans le sens inverse: 0,32 km/h pendant la saison des pluies, contre 1,027 km/h en saison sèche. Ce qui indique que, durant la saison sèche la ressource fourragère disponible est plus limitée et par conséquent le dromadaire se déplace plus pour y accéder.

Conclusion

Les principales activités des dromadaires ont été semblables sur les pâturages, des zones sahélienne et subhumide. Toutefois, la fréquence de ces activités dans la journée a différé légèrement. Le temps de marche a été plus élevé dans le pâturage sahélien que dans celui de la zone subhumide, tandis que le repos a été moins long. Les données obtenues sur le comportement des animaux permettent ainsi de mieux organiser la conduite des troupeaux dans le cadre de la sédentarisation du dromadaire et d'optimiser la complémentation au retour des pâturages.

Références

- CIPEA, 1978. Evaluation des productivités des races bovines maure et peulh à la Station du Sahel, Niono, Mali. CIPEA, Addis-Abeba, Monographie (1): 128p. https://books.google.com/books/about/Evaluation_des_productivités_des_races.htmlid...
- Chaïbou M., 2005. Productivité zootechnique du désert: Le cas du bassin laitier d'Agadez au Niger. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, France 310p. camelides.cirad.fr/fr/science/these_chaibou.html.
- Direction Nationale de la Production et des Industries Animales (DNPIA), 2015. Rapport annuel d'activités 2015, DNPIA, 114p. mali.countrystat.org/.../RAPPORTANNUEL_DNPIA_2015docxvf.pdf.
- Gauthier-Pilters H., 1977. Contribution à l'étude de l'écophysiologie du dromadaire en été dans son milieu naturel (moyenne et haute Mauritanie). Bull. Inst. Fondam. Afr. Noire, 39 (2): 385-459. Retrouvé à partir de <https://books.google.ml/booksisbn=2865378969>.
- Faye B., Saint-Martin G., Bonnet P., Bengoumi M., Dia L., 1997. Guide de l'élevage du dromadaire. 1^{ère} éd, CIRAD-IEMVT, Montpellier, France, 126p.
- Faye B. et Tisserand J. L., 1989. Problème de la détermination de la valeur alimentaire des fourrages prélevés par le dromadaire. Opt. médit. Série séminaires. n°2, 61-65. Retrouvé à partir de: om.ciheam.org/article.phpIDPDF=CI000428.
- Faye B. et Al-Kharj, 2013. Dromadaires et Chameaux: un élevage en pleine mutation soutenu par une recherche dynamique <http://camelides.cirad.fr/> Retrouvé à partir de <http://www.isocard.org/http://www.cirad.fr/nos-recherches/resultats-de-recherche/2013/dromadaires-et-chameaux-un-elevage-en-pleine-mutation-soutenu-par-une-recherche-dynamique>.
- Hoshino Buho, Sara Marioka, Nami Hasegawa, Mei Sugawara, Kaoru Imamura, Satomi Ishii, naruya Saito, Ruslan Salmurzauli, Sabyr Nurtazan, Kanyi Hashimoto, 2017. A new methodology for evaluation of ecological characteristic of the camel - A case study of climate change and breeding of camel. Journal of Arid Land Studies. Retrouvé à partir de

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jals/26/4/26_213/_.../ja/ http://dx.doi.org/10.14976/jals.26.4_213, 213-217.

Richard D., 1985. Le dromadaire et son élevage. Editions IEMVT Collection « Etudes et synthèses », CIRAD-Montpellier. 161p. Retrouvé à partir de <https://www.decitre.fr> ' ... ' Sciences de la vie ' Agriculture tropicale & subtropicale.

Longo-Hammouda H.F., Siboukheur O.E., Chehma A., 2007. Aspects nutritionnels des pâturages les plus appréciés par *Camelus dromedarius* en Algérie. Cah. Agr., 16(6) : 477-483. Retrouvé à partir de revues.cirad.fr/index.php/cahiers-agricultures/article/view/30677.

Soumaré A., 1996. Utilisation des éléments nutritifs par deux arbres du Sahel : *Acacia seyal* et *Sclerocarya birrea*. Thèse de Doctorat ISFRA, Bamako, Mali, 98p.

Trabelsi H., Senoussi A., Chehma A., 2012. Etude de la dissémination des graines des plantes spontanées dans les fèces du dromadaire dans le Sahara septentrional Algérien. Sécheresse 23(2) : 94-101. Retrouvé à partir de : www.jle.com/.../etude...graines_des_plantes_spontanees.../article.phtml...

Concentration sérique du calcium, phosphore, magnésium, fer, sodium, potassium, chlore et protéine totale chez les dromadaires élevés en zones sahélienne et subhumide du Mali

Total Serum Concentration of Calcium, Phosphorus, Magnesium, Iron, Sodium, Potassium, Chlorine and Protein in Dromedaries Raised in the Sahelian and Sub-humid Zones of Mali

Ouologuem Bara¹, Moussa Mohomodou¹, Traoré Fatoumata², Tangara Moussa³

¹Station de Recherche Agronomique de Sotuba, BP 262

²Société de Distribution de Matériel Avicole (SEDIMA) - BP 1616, Bamako, Mali

³Institut Polytechnique Rural de Formation et de Recherche Appliquée de Katibougou, Annexe de Bamako, Mali

*Auteur pour la correspondance : ouologuembara@yahoo.fr

Résumé

L'absence de données sur les normes de concentrations sériques des minéraux et des protéines constitue une contrainte pour l'amélioration de la santé et de la productivité des dromadaires. Dans l'objectif de contribuer à combler cette lacune, des échantillons de sang ont été pris sur des dromadaires cliniquement sains, élevés en zones sahélienne (500 - 600 mm de pluies/an) et subhumide (800 - 1100 mm de pluies/an) pour déterminer les concentrations sériques des protéines totales et des minéraux suivants: calcium (Ca), phosphore (P), magnésium (Mg), potassium (K), sodium (Na), chlore (Cl) et fer (Fe) par les méthodes colorimétriques sur automates de biologie. Les teneurs sériques de la protéine totale, du calcium, du sodium et du fer n'ont pas été influencées par le site. En effet, elles ont été pour la protéine totale de $56,4 \pm 2,0$ g/l à Niono et $53,6 \pm 2,7$ g/l à Sotuba, pour le calcium de $2,75 \pm 0,08$ mmol/l à Niono et $2,55 \pm 0,07$ mmol/l à Sotuba et pour le sodium de $1,33 \pm 5,09$ mmol/l à Niono et $119,0 \pm 16,2$ mmol/l à Sotuba et le fer de $15,4 \pm 1,84$ μ mol/l à Niono et $9,07 \pm 1,21$ μ mol/l à Sotuba. Par contre, les concentrations de phosphore, de potassium et de chlore ont été plus élevées à Niono que sur le site de Sotuba. Elles étaient de $5,53 \pm 0,28$ mmol/l à Niono et $2,49 \pm 0,51$ mmol à Sotuba de pour P, de $3,76 \pm 0,13$ mmol/l à Niono et $2,64 \pm 0,10$ mmol/l à Sotuba pour le K, et $132,64 \pm 2,77$ mmol/l à Niono et $116,27 \pm$

4,99 mmol/l à Sotuba pour Cl. La teneur des protéines, du Ca, du Na, du Cl et du Fe n'étaient pas significativement différentes entre les femelles ($56,7 \pm 2,0$ mmol/l) et les mâles ($53,9 \pm 2,9$ mmol). Mais, celle du phosphore était plus élevée chez les mâles ($5,00 \pm 0,53$ mmol/l) que chez les femelles ($4,39 \pm 0,40$). La même tendance a été observée pour le K ($3,75 \pm 0,18$ mmol/l) pour les mâles et ($3,26 \pm 0,150$ mmol/l) chez les femelles à l'opposé du Mg dont les concentrations étaient de $0,67 \pm 0,043$ pour les femelles et $0,55 \pm 0,05$ mmol/l pour les mâles. En ce qui concerne la teneur en protéine totale, une différence significative a été observée ($P = 0,008$) entre les adultes ($58,9 \pm 1,7$ g/l) et les jeunes ($47,8 \pm 3,2$ g/l). Un pareil constat ($P = 0,001$) a été fait pour la teneur en phosphore chez les jeunes ($4,66 \pm 0,74$ mmol/l) et chez les mâles adultes ($4,59 \pm 0,74$ mmol/l). Les concentrations des autres minéraux n'étaient pas significativement différentes entre les deux catégories. La connaissance de ces valeurs, contribuera à une meilleure prise en charge de la santé des dromadaires et facilitera l'organisation de leur alimentation.

Mots-clés : dromadaires, protéines, minéraux sériques, zones sahélienne, subhumide, Mali.

Abstract

The lack of data on the serum concentration standards of minerals and proteins is a constraint for the improvement of the health and productivity of dromedaries. In order to help fill this gap, blood samples were taken from clinically healthy dromedaries in Sahelian zone (500-600 mm of rain/year) and sub-humid (800-1100 mm of rain/year) to determine the serum concentrations of the total protein and following minerals: calcium (Ca), phosphorus (P), magnesium (Mg), potassium (K), sodium (Na), chlorine (Cl) and iron (Fe) using colorimetric methods on automated biology machines. Serum contents of total protein, calcium, sodium and iron did not vary according to the site. Indeed, they amounted to 56.4 ± 2.0 g/l in Niono and 53.6 ± 2.7 g/l in Sotuba for total protein; 2.75 ± 0.08 mmol/l in Niono and 2.55 ± 0.07 mmol/l in Sotuba for calcium; 1.33 ± 5.09 mmol/l in Niono and 119.0 ± 16.2 mmol/l in Sotuba for sodium; and 15.4 ± 1.84 μ mol/l in Niono and 9.07 ± 1.21 μ mol/l in Sotuba for iron. On the other hand, concentrations of phosphorus (P), potassium (K) and chlorine (Cl) were higher in Niono than in Sotuba. They stood at 5.53 ± 0.28 mmol/l in Niono and 2.49 ± 0.51 mmol in Sotuba for P; 3.76 ± 0.13 mmol/l in Niono and 2.64 ± 0.10 mmol/l in Sotuba for K; and 132.64 ± 2.77 mmol/l in Niono and 116.27 ± 4.99 mmol/l in Sotuba for Cl. The protein, Ca, Na, Cl and Fe contents did not vary significantly between female dromedaries (56.7 ± 2.0 mmol/l) and male ones (53.9 ± 2.9 mmol). On the other hand, P content was higher among males (5.00 ± 0.53 mmol/l) than it was among females (4.39 ± 0.40). The same trend was observed for K (3.75 ± 0.18 mmol/l among males and 3.26 ± 0.150 mmol/l among females), unlike Mg which concentrations amounted to 0.67 ± 0.043 for females and 0.55 ± 0.05 mmol/l for males. In terms of total protein content, a significant difference ($P = 0.008$) was observed between adult (58.9 ± 1.7 g/l) and young (47.8 ± 3.2 g/l) dromedaries. A similar difference ($P = 0.001$) was observed for phosphorus content, with 4.66 ± 0.74 mmol/l among young dromedaries, compared with 4.66 ± 0.74 mmol/l among adult ones. Concentrations of other minerals were not significantly different between the two categories. Awareness of these values will contribute to improve the management of dromedary health and facilitate the planning of their feeding.

Key words: dromedaries, proteins, serum minerals, Sahelian, sub-humid zones, Mali.

Introduction

Des études récentes sur les particularités du métabolisme des minéraux chez le dromadaire ont montré qu'il se distingue des autres espèces par une adaptabilité remarquable à la sous-nutrition minérale (Faye et Bengoumi, 2000). Cependant, face à des expositions prolongées à cette sous-nutrition, le dromadaire pourrait souffrir de carences en éléments minéraux essentiels (El Khasmi et Faye, 2011). La concentration des métabolites sanguins est sensible aux changements saisonniers dans l'apport de nutriments surtout dans les périodes de pénurie. Par conséquent, elle pourrait être utilisée comme indicateur de l'état nutritionnel des dromadaires (Alia SA Amin *et al.*, 2007). Les informations sur la concentration sérique des minéraux et des protéines des dromadaires n'étant pas disponibles au Mali, la présente étude a été exécutée pour contribuer à combler cette lacune. Elle a été menée à la station de Sotuba et au ranch de Niono pour évaluer l'état nutritionnel des dromadaires.

Matériel et méthodes

Présentation des sites

L'étude a été menée à la Station de Recherche Agronomique (SRA) de Sotuba et celle de Niono. La station de Sotuba, située en zone subhumide, a une pluviosité comprise entre 800 et 1100 mm. Le parcours est dominé par les herbacées *Pennisetum pedicellatum*, *Andropogon pseudapricus* et les ligneux *Dichrostachys glomerata* et *Ziziphus mauritiana*.

Dans la station de Niono, l'étude a été menée au ranch situé à 12 km à l'est de celle-ci. Le pâturage du ranch est dominé par les herbacées *Shoenofeldia gracilis*, *Zornia glochidiata*, *Bracharia* sp et les ligneux *Guiera senegalensis* et *Pterocarpus lucens* sur sol limoneux, tandis que sur sol sableux poussent *Senegalia senegal* et *Balanites aegyptiaca*.

Matériel

Le matériel animal était composé de 53 têtes dont 38 adultes et 15 jeunes. L'âge des adultes variait entre 5 et 10 ans, tandis que celui des jeunes oscillait entre 4 et 18 mois.

Méthodes

Le prélèvement de sang a été effectué sur tous les dromadaires des deux sexes et de toutes les catégories (Photos 1A et 1B) par ponction de la veine jugulaire (Photo 2) le matin avant le départ au pâturage sans dispositif expérimental spécifique. Tous les animaux adultes et jeunes partaient au pâturage le matin et en revenaient le soir. Les

chamelons au pis restaient dans le parc et en plus du lait recevaient le même aliment concentré que tous les autres animaux. Ce concentré était composé de sons de blé, de tourteau de coton et de maïs grain. Les quantités distribuées variaient entre 3 kg et 3,5 kg par tête et par jour pour les adultes et 1 kg pour les jeunes. Le sang est prélevé à l'aide de tubes vacutainer sans anticoagulant munis d'aiguilles avec un adaptateur, portant le numéro de l'animal. Il a été conservé dans la glace au cours du transport. Ensuite, les échantillons prélevés ont été centrifugés à 1 600 tours/min., pendant 10 minutes. Les sérums ainsi recueillis ont été prélevés à l'aide d'une pipette munie d'un embout et transvasés dans des cryotubes, puis conservés à 4°C dans le réfrigérateur jusqu'au jour de l'analyse (Photo 3).



Photo 1 : Dromadaire femelle, mâle et chamelons pour le prélèvement de sang



Photo 2 : Prise de sang dans la veine jugulaire



Photo 3 : Formation du personnel sur les techniques d'analyses du sang

Les analyses ont été effectuées dans le laboratoire de biochimie de l'École Nationale d'Élevage en Santé Animale (ENESA) du Burkina Faso (Ouagadougou). Les paramètres analysés ont été la protéine totale et les minéraux suivants : Ca, P, Mg, K, Na, Cl et Fe. Les dosages ont été faits par les méthodes colorimétriques sur automates de biologie (Thermo Scientifique, Genesys 105Vis Spectrophotomètre d'Absorption) en utilisant un protocole spécifique pour chaque paramètre.

Les données ont été analysées par la méthode de statistique descriptive et l'analyse de variance en prenant comme facteurs la zone écologique, le sexe, la catégorie et l'âge chez les jeunes. Les interactions entre les facteurs de variation ont été prises en compte dans les modèles statistiques. Enfin, une analyse de corrélation entre les éléments a été faite.

Résultats

Teneur en minéraux et protéine totale en fonction du site

Les teneurs sériques de la protéine totale, de calcium, de sodium et de fer n'ont pas été influencées par le site (Tableau 1). Par contre, les concentrations du P, du K et du Cl ont été plus élevées à Niono qu'à Sotuba.

Tableau 1 : Teneur en minéraux et protéine totale en fonction du site

Paramètres	Niono			Sotuba			Moyenne générale	Probabilité
	Moyenne ± ES	Mini	Maxi	Moyenne ± ES	Mini	Maxi		
Protéine totale (g/l)	56,4±2,0	29,8	93,7	53,6±2,7	34,9	66,7	55,7	0,942
Calcium (mmol/l)	2,75±0,08	1,13	4,26	2,55±0,07	2,19	3,01	2,69	0,092
Phosphore (mmol/l)	5,53±0,28	2,24	9,42	2,49±0,51	1,10	6,82	5,17	0,000
Magnésium (mmol/l)	0,68±0,03	0,20	1,089	0,45±0,06	0,19	0,94	0,62	0,003
Potassium (mmol/l)	3,76±0,13	1,77	5,02	2,64±0,10	1,88	3,25	3,45	0,000
Sodium (mmol/l)	133,58±5,09	60,16	272,8	119,0±16,2	55,2	255,5	129,6	0,643
Chlore (mmol/l)	132,64±2,77	100,9	194,21	116,27±4,99	89,23	145,48	128,3	0,018
Fer (µmol/l)	15,40±1,84	0,18	45,4	9,07±1,21	0,92	14,16	13,88	0,06

ES = erreur standard ; Mini = minimum ; Maxi = maximum

Teneurs en minéraux et protéine totale en fonction du sexe

Les résultats sont donnés dans le tableau 2. Les teneurs des protéines, du Ca, du Na, du Cl et du Fe n'étaient pas significativement différentes entre les femelles et les mâles. Par contre, le P et le Mg étaient plus élevés chez les mâles que chez les femelles, tandis que le K était plus élevé chez les femelles que chez les mâles.

Tableau 2 : Teneur en minéraux et protéine totale en fonction du sexe

Paramètres	Femelle			Mâle			Moyenne générale	Probabilité
	Moyenne ± ES	Mini	Maxi	Moyenne ± ES	Mini	Maxi		
Protéine totale (g/l)	56,7±2,0	39,9	93,7	53,9±2,9	29,8	77,4	55,7	0,764
Calcium (mmol/l)	2,728±0,09	1,13	4,26	2,64±0,07	1,632	3,039	2,69	0,493
Phosphore (mmol/l)	4,39±0,40	1,10	9,42	5,00±0,53	1,600	7,201	4,611	0,360
Magnésium (mmol/l)	0,67±0,043	0,20	1,089	0,55±0,05	0,193	1,006	0,62	0,01
Potassium (mmol/l)	3,26±0,150	1,77	4,918	3,75±0,18	1,884	5,015	3,45	0,041
Sodium (mmol/l)	131,22±7,87	60,16	272,8	127,34±8,28	55,22	240,25	129,6	0,548
Chlore (mmol/l)	124,56±2,54	89,23	148,62	134,05±5,14	91,22	194,21	128,3	0,185
Fer (µmol/l)	15,43±2,05	1,48	45,4	11,74±2,03	0,18	34,88	13,88	0,195

ES = erreur standard ; Mini = minimum ; Maxi = maximum

Teneur en minéraux selon la catégorie des animaux

Il a été observé une différence significative entre les adultes et les jeunes par rapport à la teneur en protéine totale et en phosphore (Tableau 3). Les concentrations des autres minéraux n'étaient pas significativement différentes entre les deux catégories d'animaux.

Tableau 3 : Teneur en protéines, Ca, P, Mg, K, Na, Cl et Fe dans le sérum chez les adultes et les jeunes dromadaires

Paramètres	Adultes			Jeunes			Moyenne générale	Probabilité
	Moyenne ± ES	Mini	Maxi	Moyenne ± ES	Mini	Maxi		
Protéine totale (g/l)	58,9±1,7	39,9	93,7	47,8±3,2	29,8	66,7	55,7	0,008
Calcium (mmol/l)	2,72±0,07	1,13	4,26	2,64±0,11	1,63	3,26	2,69	0,748
Phosphore (mmol/l)	4,59±0,35	1,10	9,42	4,66±0,74	1,6	8,36	4,61	0,001
Magnésium (mmol/l)	0,62±0,04	0,19	1,09	0,61±0,06	0,21	1,00	0,62	0,983
Potassium (mmol/l)	3,49±0,14	2,36	5,01	3,39±0,27	1,77	4,99	3,45	0,823
Sodium (mmol/l)	127,24±7,10	55,22	272,80	135,61±9,47	67,58	240,2	129,6	0,545
Chlore (mmol/l)	129,12±2,57	89,23	162,76	126,29±6,64	91,22	194,21	128,3	0,373
Fer (µmol/l)	13,63±1,42	0,37	34,88	14,46±3,72	0,18	45,4	13,88	0,575

ES = erreur standard ; Mini = minimum ; Maxi = maximum

Teneur en protéine totale et en minéraux en fonction de l'âge des chamelons

Les concentrations en protéine totale et en fer sont données dans le tableau 4. Pour la protéine totale, les valeurs obtenues ont augmenté jusqu'à 6 mois. Par la suite la tendance n'était pas nette, les valeurs variaient en dents de scie. Pour le fer, le pic de la concentration a été atteint à 6 mois d'âge. Par la suite elle a continué à chuter jusqu'à 18 mois. Toutefois, il n'y a pas de différence selon les âges des chamelons par rapport à la protéine et au fer.

Tableau 4 : Teneur en protéine totale et fer en fonction de l'âge des chamelons

Âge (mois)	Nombre	Protéine Totale (g/l)				Fer (µmol/l)			
		Moyenne	ES	Mini	Maxi	Moyenne	ES	Mini	Maxi
4	2	31,4	1,6	29,8	33,0	12,5	12,3	0,2	24,7
5	2	46,2	0,3	45,9	46,6	18	16,3	1,7	34,3
6	4	50,7	45,0	43,9	63,2	26,39	8,83	3,69	45,4
7	1	41,7	*	41,7	41,7	14,21	*	14,21	14,21
12	1	48,1	*	48,1	48,1	12,18	*	12,18	12,18
14	1	34,9	*	34,9	34,9	9,97	*	9,96	9,96
17	2	65,2	0	65,2	65,2	3,51	2,03	1,48	5,54
18	2	52,0	14,7	37,3	66,7	3,51	2,58	0,92	6,09
Probabilité		0,174				0,730			

ES = erreur standard ; Mini = minimum ; Maxi = maximum
*quantité de sérum insuffisante

Les teneurs du Ca, du P et du Mg étaient statistiquement semblables chez les chamelons dont les âges sont compris entre 4 mois et 18 mois (Tableau 5).

Tableau 5 : Teneur en calcium, phosphore et magnésium dans le sérum en fonction de l'âge des chamelons

Âge (mois)	Nombre	Calcium (mmol/l)				Phosphore (mmol/l)				Magnésium (mmol/l)			
		Moy.	ES	Mini	Maxi	Moy.	ES	Mini	Maxi	Moy.	ES	Mini	Maxi
4	2	2,88	0,08	2,80	2,97	*	*	*	*	0,64	0,03	0,60	0,67
5	2	3,13	0,13	3,00	3,26	5,35	1,78	3,58	7,13	0,69	0,10	0,59	0,79
6	4	2,59	0,32	1,63	3,06	5,45	1,46	3,98	8,36	0,78	0,11	0,57	1,00
7	1	2,83	*	2,82	2,82	6,33	*	6,32	6,33	0,87	*	0,87	0,87
12	1	2,44	*	2,44	2,44	6,03	*	6,03	6,03	0,64	*	0,64	0,64
14	1	2,57	*	2,57	2,57	0,016	*	0,01	0,01	0,28	*	0,28	0,27
17	2	2,28	0,34	1,94	2,62	3,88	2,28	1,6	6,16	0,49	0,11	0,38	0,61
18	2	2,37	0,14	2,23	2,52	4,36	2,46	1,9	6,81	0,29	0,08	0,21	0,37
Probabilité		0,69				0,230				0,12			

ES = erreur standard ; Mini = minimum ; Maxi = maximum ; Moy. = moyenne
*quantité de sérum insuffisante

Il a été observé une différence statistiquement significative dans la teneur en potassium selon l'âge des chamelons (Tableau 6). Les concentrations les plus élevées ont été observées entre 4 mois et 7 mois. Ensuite, elles ont baissé et sont restées presque constantes entre 12 et 18 mois. Les teneurs du sodium et du chlore n'avaient pas de tendance nette et il n'a pas été observé de différence statistique due à l'âge des chamelons.

Tableau 6 : Concentration du potassium, sodium et chlore en fonction de l'âge des chamelons

Âge (mois)	Nombre	Potassium (mmol/l)				Sodium (mmol/l)				Chlore (mmol/l)			
		Moy.	ES	Mini	Maxi	Moy.	ES	Mini	Maxi	Moy.	ES	Mini	Maxi
4	2	3,79	0,11	3,63	3,85	136,05	5,6	130,45	141,65	132,9	26,2	106,6	159,1
5	2	4,43	0,04	4,39	4,47	140,1	9,18	130,92	149,28	128,1	3,56	124,54	131,65
6	4	3,84	0,42	3,11	4,99	135,22	6,45	119,01	150	142,2	17,9	113,8	194,20
7	1	4,92	*	4,92	4,92	153,82	*	153,82	153,82	116,28	*	116,28	116,28
12	1	2,05	*	2,05	2,05	139,7	*	139,7	139,7	113,27	*	113,27	113,27
14	1	3,25	*	3,25	3,25	108,38	*	108,38	108,38	145,48	*	145,48	145,48
17	2	2,12	0,36	1,77	2,48	115,6	17,1	98,5	132,7	120,63	5,01	115,61	125,64
18	2	2,29	0,40	1,88	2,693	153,9	86,3	67,6	240,2	93,57	2,35	91,22	95,92
Probabilité		0,029				0,986				0,645			

ES = erreur standard ; Mini = minimum ; Maxi = maximum ; Moy. = moyenne
 *quantité de sérum insuffisante

Corrélation générale entre les minéraux

Il a été observé une corrélation positive significative de faible à moyenne entre les teneurs du phosphore et du chlore ($r = 0,37$; $P = 0,007$), entre le sodium et le magnésium ($r = 0,31$; $P = 0,027$), le fer et le potassium ($r = 0,37$; $P = 0,008$), entre le fer et le potassium ($r = 0,53$; $P = 0,042$) et entre le potassium et le chlore ($r = 0,54$; $P = 0,036$).

Par ailleurs, il a été observé une corrélation négative significative entre l'âge et le calcium ($r = - 51$; $P = 0,05$), l'âge et le phosphore ($r = - 0,54$; $P = 0,037$) et entre l'âge et le potassium ($r = - 0,78$ et $P = 0,001$).

Discussion

L'étude des constituants du sang fournit un avantage précieux sur la santé générale des animaux. L'observation d'un écart de certains paramètres du sang à partir de leurs limites physiologiques pourrait être un indicateur pour le diagnostic d'un état pathologique. La connaissance des métabolites sanguins chez le dromadaire contribue à la compréhension de la physiologie de cette espèce (Babeker *et al.*, 2011). Ces paramètres biochimiques sont facilement influencés par différents facteurs.

Protéïnémie: la teneur en protéine sérique totale a varié entre 29,8 g/l et 93,7 g/l à Niono et 34,9 g/l et 66,7 g/l à Sotuba avec des moyennes respectives de 56,4 g/l et 53,6 g/l. Ces moyennes sont comparables aux données de Yadav et Bissa (1998), qui ont rapporté des concentrations des protéines sériques comprises entre 5,6-7,3 g/dl soit 56 et 73 g/l et à ceux de Romdhane *et al.* (2003) qui ont varié entre 56 g/l et 78 g/l. Vyas *et al.* (2011) ont eu une valeur de $5,63 \pm 0,18$ g/dl (soit 56,3 mmol) chez le dromadaire en post-partum. Nos moyennes sont plus faibles que celles d'Osman *et al.* (2003), mais nos intervalles contiennent leurs valeurs. Nos moyennes ont été plus élevées que celles de Baraka *et al.* (2000) sur des dromadaires sains ($9,2 \pm 0,60$ g/l).

Calcémie: la teneur moyenne en calcium a été de 2,78 mmol/l (1,13 et 4,26) à Niono et 2,55 mmol/l (2,19 et 3,01) à Sotuba. Ces résultats sont comparables à ceux de Romdhane *et al.* (2003) qui variaient entre 1,0 et 2,8 mmol avec une moyenne de 2,4 mmol/l. Faye et Mulato (1991) ont trouvé une teneur moyenne de 9,5 mg/dl avec des extrêmes de 8,5 et 11,3 mg/dl à Djibouti. En Éthiopie, Temesgen *et al.* (2012) ont trouvé des concentrations de 5,91 mEq/l durant la saison des pluies et 4,79 mEq/l durant la saison sèche ce qui est comparable à nos résultats. Nos résultats sont légèrement plus élevés que ceux de Baraka *et al.* (2000) qui ont obtenu $1,58 \pm 0,16$ mmol/l.

Phosphoremie: la teneur moyenne en phosphore a varié de 1,1 à 9,4 mmol/l avec une moyenne de 4,6 mmol/l. Nos résultats sont comparables à ceux de Barakat *et al.* (2007) qui ont signalé une moyenne de $3,79 \pm 0,49$ mmol/l et ceux de Babeker *et al.* (2011) qui ont trouvé une teneur de $6,09 \pm 0,41$ mg/dl soit 1,97 mmol/l. Romdhane *et al.* (2003) ont rapporté une teneur moyenne de 1,6 mmol et variant entre 0,7 et 3,4 mmol, teneur légèrement inférieure à nos résultats. Baraka *et al.* (2000) ont signalé une valeur de $1,28 \pm 0,12$ mmol/l, qui est plus faible aussi que la moyenne de la présente étude.

En fonction du sexe, la phosphoremie a été de 1,60 à 7,20 mmol/l avec une moyenne de $5,00 \pm 0,53$ mmol/l pour les mâles; chez les femelles, elle a varié de 1,10 à 9,42 mmol/l

avec une moyenne de $4,38 \pm 0,40$ mmol/l. Barakat et Fattah (1970) ont rapporté des valeurs de $4,7 \pm 0,01$ mEq/l chez les chameaux égyptiens adultes des deux sexes.

Magnésie: en fonction du site, les valeurs obtenues ont varié de 0,19 à 1,08 mmol/l avec une moyenne de $0,68 \pm 0,03$ à Niono et de 0,19 à 0,94 mmol/l avec une moyenne de $0,44 \pm 0,06$ mmol/l pour Sotuba. Nos résultats sont comparables à ceux de Romdhane *et al.* (2003) dont les valeurs variaient entre 0,6 mmol et 1,4 mmol. Faye et Mulato (1991) ont signalé des teneurs variant entre 1,1 et 3,9 mg/dl avec une moyenne de 2,3 mg/dl.

La magnésie obtenue en fonction du sexe a varié de 0,19 à 1,00 mmol/l avec une moyenne de $0,54 \pm 0,04$ mmol/l pour le mâle et de 0,19 à 1,08 mmol/l avec une moyenne de $0,66 \pm 0,04$ mmol/l pour les femelles. Nos résultats sont comparables à ceux de Kumalu *et al.* (sans date) qui ont rapporté une valeur de $0,72 \pm 0,10$ mmol/l dans la détermination des minéraux des fluides extracellulaires chez le dromadaire dans la région Nord-Est du Nigéria. Mais nos résultats sont inférieurs à ceux de Singh *et al.* (2015) et d'Aichouni (2011) qui ont obtenu respectivement $1,90 \pm 0,07$ mmol/l chez les chamelles en lactation et 1,19 mmol/l chez le mâle et 1,03 mmol/l chez la femelle. Ils sont inférieurs aux résultats obtenus par Osman *et al.* (2003) qui ont rapporté des valeurs de $2,16 \pm 0,19$ mmol/l chez la chamelle, et à ceux de Temesgen *et al.* (2012) obtenus en Éthiopie durant la saison des pluies, 2,29 mEq/l. Par contre nos résultats sont plus proches de ceux de ces auteurs obtenus durant la saison sèche, 1,14 mEq/l.

Kaliémie: les teneurs observées ont varié de 1,76 à 5,01 mmol/l avec une moyenne de $3,75 \pm 0,12$ mmol/l pour Niono et $1,88$ à $3,24$ mmol/l avec une moyenne de $2,63 \pm 0,10$ mmol/l à Sotuba. Ces résultats sont plus bas que ceux de Romdhane *et al.* (2003) qui ont varié entre 4,9 et 7,6 mmol avec une moyenne de 5,9 mmol. En Éthiopie, Temesgen *et al.* (2012) ont obtenu 4,79 mEq/l durant la saison des pluies et 5,6 mEq/l en saison sèche.

La kaliémie en fonction du sexe a varié de 1,88 à 5,01 mmol/l avec une moyenne de $3,74 \pm 0,18$ mmol/l pour les mâles et de 1,76 à 4,91 mmol/l chez les femelles avec une moyenne de $3,25 \pm 0,15$ mmol/l. Ces résultats sont comparables à ceux d'Osman *et al.* (2003) qui ont obtenu une valeur de $4,0 \pm 0,2$ mmol/l chez la chamelle et ceux de Sing *et al.* (2015) qui ont rapporté une valeur de $4,45 \pm 0,06$ mmol/l chez les chamelles allaitantes. Ils sont aussi semblables à ceux de Kalamu *et al.* (sans date) qui ont rapporté une valeur de $4,65 \pm 0,16$ mmol/l dans les fluides extracellulaires au Nord-Est du Nigéria. Aichouni (2011) a rapporté une valeur de 6,69 mmol/l pour les mâles et de 5,52 mmol/l pour les femelles du Sud-ouest de l'Algérie. Ces résultats

ont été supérieurs aux résultats de l'étude. Le sexe semble avoir un effet significatif sur la kaliémie quelle que soit la zone d'étude. Baraka *et al.* (2000) ont obtenu $25,75 \pm 2,35$ mmol/l, ce qui est beaucoup plus élevé que nos résultats.

Natrémie et chlorémie : la teneur en sodium de nos animaux a varié entre 55,22 mmol/l et 272,8 mmol/l avec une moyenne de 129,6 mmol/l. Si nos moyennes étaient plus faibles que celles de Romdhane *et al.* (2003) qui étaient dans l'intervalle de 148 - 180 mmol/l, avec une moyenne de 160 mmol/l, mais nos valeurs extrêmes incluaient les données de ces auteurs. Par contre notre moyenne (129,6 mmol/l) concordait avec celle obtenue par Omer *et al.* (sans date) qui ont rapporté une valeur de $127,29 \pm 3,08$ mmol/l chez les chamelons sevrés à un âge supérieur à 1 an. Mais nos résultats moyens ont été inférieurs à celui d'Al-Rukibat *et al.* (2014) qui ont rapporté $199,3 \pm 40,49$ mmol/l chez les jeunes chameaux cliniquement normaux, dont l'âge était compris entre 9-12 mois. Nos résultats étaient comparables aussi à ceux de Temesgen *et al.* (2012) qui ont obtenu en Éthiopie, 192 mEq/l (142 - 243 mEq/l) durant la saison des pluies et 170 mEq/l (8,5 - 204 mEq/l) en saison sèche. D'après ces auteurs, la teneur en Na sérique du dromadaire est considérée généralement plus élevée que chez les autres ruminants. Les valeurs plus élevées observées au cours de la saison des pluies pourraient être expliquées par le fait que certains éleveurs supplémentent leur troupeau en cette période. Baraka *et al.* (2000) ont trouvé $109,83 \pm 5,65$ mmol/l. La moyenne est plus faible que les nôtres, mais elle entre dans l'intervalle de nos valeurs extrêmes. Par contre, nos résultats sur le chlore ont été plus élevés que celui de Baraka *et al.* (2000) qui était en moyenne de $31,47 \pm 0,32$ mmol/l.

Fer : la concentration du Fe a été en moyenne de 13,88 $\mu\text{mol/l}$ dont 15,4 à Niono et 9,09 $\mu\text{mol/l}$ à Sotuba. Il n'a pas été observé de différence entre adultes et jeunes ($13,63 \pm 1,42$ $\mu\text{mol/l}$ contre $14,46 \pm 3,72$ $\mu\text{mol/l}$). Il n'y a pas de différence selon l'âge des chamelons. Osman *et al.* (2003) ont obtenu $80,2 \pm 16,0$ $\mu\text{g/dl}$. Yassien (2003) avait trouvé au Soudan des concentrations variant entre 16,7 et 432,5 $\mu\text{g/dl}$ avec une moyenne $169 \pm 209,9$ $\mu\text{g/dl}$. Faye *et al.* (2005) ont trouvé 190,3 $\mu\text{g}/100$ ml (fer). Cette concentration était significativement plus élevée chez les mâles (213,1 $\mu\text{g}/100$ ml) que chez les femelles (177,8). Les animaux âgés de plus de 8 ans ont une plus haute concentration (283 $\mu\text{g}/100$ ml) que les jeunes, 174,1/100 ml pour 3 - 4 ans d'âge et 171,5/100 ml pour les 5 - 7 ans d'âge. En Éthiopie, Temesgen *et al.* (2012) ont signalé une teneur de Fe (76 mEq/l en saison des pluies et 80 mEq/l durant la saison sèche).

Actuellement, il est difficile d'avancer des raisons pour expliquer ces différences entre nos résultats et ceux de la littérature tant les facteurs comme la géographie, le sexe, l'âge, les conditions d'alimentation et d'abreuvement, le stress, peuvent influencer la

concentration des minéraux sériques et des protéines. Par conséquent, il est nécessaire de répéter ce genre de recherche dans différentes conditions écologiques et d'élevage de notre pays afin d'établir des normes de concentration de ces constituants biochimiques sériques pour les dromadaires maliens. Pour y arriver, une description détaillée des conditions d'élevage et de manipulations des animaux est nécessaire pour une meilleure comparaison des résultats. C'est dans ce sens que les nouvelles recherches doivent s'orienter.

Conclusion

Ce travail a été réalisé pour posséder des référentielles biologiques des valeurs usuelles de minéraux sériques et des protéines chez le dromadaire. Il est loin d'être parfait, mais constitue néanmoins une base pour des approfondissements de ce domaine de la physiologie de cette espèce. Nos résultats peuvent constituer une référence pour l'évaluation de l'état nutritionnel des dromadaires et d'éventuelles carences alimentaires qui pourraient être diagnostiquées à l'état sub-clinique. D'autres travaux futurs seront nécessaires pour consolider nos résultats. La mise en place d'un laboratoire de biochimie animale faciliterait les analyses ultérieures.

Références

- Aichouni Ahmed M., 2011. Etude du potentiel reproductif et exploration de certains paramètres hématologiques et histologiques chez le dromadaire (*Camelus dromedarius*) au Sud-Ouest de l'Algérie. Thèse en vue de l'obtention du diplôme Doctorat d'Etat, 201p.
- Al-Rukibat Raida et Bani Ismail Zuhair, 2014. Analyse biochimique du sérum et de liquide synovial chez les jeunes chameaux cliniquement normaux (*Camelus dromedarius*).
- Journal scientifique de l'Université King Faisal (Sciences Appliquées de base), 11(1) 1431 (2010): 161-167.
- Alia SA Amin, Khalid A., Abdoun Abdalla, M. Abdelatif, 2007. Seasonal Variation in Blood Constituents of One-humped Camel (*Camelus dromedarius*). Pakistan Journal of Biological Sciences, 10: 1 250-1 256.
- Babeker E A., Elmansoury Y.A. H. et Suleem A.E., 2011. L'influence des saisons sur le sang de constituants de dromadaire (*Camelus dromedarius*). 2011, Science line Publication. Journal en ligne des animaux et les aliments pour la recherche, 3(1): 01-08 (2013) ISSN 2 228-7 701p.
- Barakat M.Z. et Fattah M.A. 1970. Biochemical Analyse de la normale Camel sang. Zentble Médecine Vétérinaire. 17: 550-557.

- Baraka T.A., El-Sherif M.T., Kubesy A.A., Illik J., 2000. Clinical studies of selected ruminal and blood constituents in dromedary camels affected by various diseases. *Acta Vet. Brno*, 69, 61-68, https://actavet.vfu.cz/media/pdf/avb_2000069010061.pdf.
- Barakat. S.M., Turkey. I.Y., El Bashir S.M., Ali S. A. and Omer S. A.,2007. Comparison of some blood constituents in stabled and grazing camels (*Camelus dromedarius*) in Sudan. *Journal of Science and Technology* 2007, [17], 8: 21-26.
- El Khasmi and Faye B., 2011. Parathyroid Hormone-Related Peptide and Vitamin D in Phosphocalcic Metabolism for Dromedary Camel. Review Article, *Iranian Journal of Applied Animal Science* (2011) 1(4): 203-211.
- Faye B. et Bengoumi M., 2000. Le dromadaire face à la sous nutrition minérale: un aspect méconnu de son adaptabilité aux conditions désertiques. *Sécheresse* 11 : 155-161.
- Faye B., Seboussi R., Mostafa A., 2005. Trace elements and heavy metals status in Arabian camel. *J. Camel Res. Pract.*, 12, 1-6.
- Faye B., Mulato C., 1991. Facteurs de variation des paramètres protéo-énergétiques, enzymatiques et minéraux dans le plasma chez le dromadaire de Djibouti, *Revue d'Elevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 44 (3) : p. 325-334.
<https://pdfs.semanticscholar.org/8651/8e7a2cba9380f891ffe1bd613b7361745f13.pdf>.
- Kamalu T.N., OKPE G.C. and William A. (sans date). Minerals content of extracellular fluids in Camel and cattle in the North East Sahel region of Nigeria. *Nigerian veterinary journal*, 24(1): 13-20.
- Omer S.A., Salawa M. E. Khougali, H. Agab and Gussey, H.A. Samad (sans date). Studies on some biochemical and haematological indices of Sudanese camels (*Camelus dromedarius*). 7p.
- Osman P.I., Tag El Asfia A., Al-Busadah Co. and Khalid Ahmed I., 2003. Trace-Elements Status in Saudi Arabian Camels: A comparative study. Final report, 23-3-1424 H. (24-5-2003 G.), 38 p. https://www.kfu.edu.sa/ar/Deans/Research/Documents/20_23.pdf.
- Romdhane S. B., Romdane M.N., Feki M.,Sanhagi H., Kaabachi N. et M'Bazaa A., 2003. Valeurs usuelles des principaux constituants biochimiques sériques du dromadaire (*Camelus dromedaries*). *Revue Méd. Vét.*, 154(11) : 695-702.
- Sing Sajjan, Dedar R.K., Legha R.A., Bala P.A. et Patil N.V., 2015. Minéraux et électrolytes profil chez la chamelle en allaitement et gestantes indiennes. *Journal of Camel Practice and Research*, IP- 59, 90, 174-186p.
- Temesgen D., Mohammed Y. K. and Beneberu S., 2012. Critical macro and micro minerals concentration in the blood serum of camel (*Camelus dromedarius*) in Jijiga district, Eastern Ethiopia. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 24, Article 60. Retrieved March 24, 2017, from <http://www.lrrd.org/lrrd24/4/desa24060.htm>.

- Vyas S., Saini N., Das Kiradoo B., Lukha A., Nand K., Gorakh L.T.A. et Krishna M.L., 2011. Profil minéral Biochemical et tracer en post-parturiente Dromadaire (*Camelus dromedarius*). Indien Journal d'Animal les sciences 81, juin 2011(6): 586-587 p. http://camelides.cirad.fr/fr/science/drom_sous_nut.html, 12:51 le 09 mars 16: (Adaptation du dromadaire à la sous-nutrition minérale (septembre 2001)).
- Yadav S.B. and Bissa U.K., 1998. Factors Affecting Some Blood Constituents in Camel. Proceedings of the Third Annual Meeting for Animal Production under Arid Conditions, © 1998 United Arab Emirates University, 2: 32-48.
- Yassien A. B. M., 2003. Microminerals level in grasses, some organs and serum of camel in Butana region, Sudan. Thèse de MSc. University of Khartoum, 70p. <http://khartoumspace.uofk.edu:8080/bitstream/handle/123456789/8231/MicromineralslevelinGrasses,SomeOrgansand.pdfsequence=1&isAllowed=y>.

N'Diaye Ibrahima¹, Yossi Harouna¹

¹Institut d'Économie Rurale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba - BP 262, Bamako, Mali

Variabilité climatique au Mali et prévisions du climat

Pays sahélien d'une superficie de 1 241 238 km², le Mali est situé entre les 10° et 25° parallèles de latitude nord et entre les 4° de longitude est et 12° de longitude ouest.

Son climat, de type tropical sec, comporte une période humide de quatre (4) à trois (3) mois concentrée sur une seule saison entre juin et octobre (hivernage) alternant avec une période sèche de neuf (9) à huit (8) mois.

Le régime pluviométrique au Mali est très affecté par la variabilité et les changements climatiques. À l'échelle du pays, on note une diminution de la pluviosité couplée à une forte variabilité interannuelle et intra-saisonnière des précipitations. Au cours des 70 dernières années (1941-2010), la pluviosité a diminué dans tout le pays par rapport à la période de référence de 1941 à 1970. Même si, en certains endroits tels que Bamako, Bougouni, Kayes, Mopti, Nioro et Ségou, la pluviosité a légèrement augmenté au cours des 30 dernières années (1981-2010 comparativement à 1971-2000), elle demeure plus faible depuis 1970. Le déficit d'ensemble varie entre 10 et 28%. Depuis la fin des années 1970, l'évolution du climat au Mali s'est traduite également par un réchauffement rapide avec des augmentations de températures allant de 0,2°C à 0,8°C (CEDEAO, 2009a).

Le scénario climatique le plus plausible prévoit une diminution de la pluviosité et une augmentation de la température. Cette situation pourrait rendre l'agriculture de plus en plus précaire en réduisant l'utilisation de l'eau dans les systèmes agricoles.

Ainsi, le secteur Agricole doit faire face à un climat très changeant et s'y adapter.

En ce qui concerne la prévision du climat, le constat général, en dépit des efforts déployés, est la faiblesse du réseau des mesures rendant difficile d'avoir des prévisions fiables du climat à court, moyen ou long terme. Il se pose alors avec acuité la planification et la mise en œuvre entre autres, de programmes de réhabilitation et surtout d'extension du réseau de mesures du climat du Mali, de renforcement des capacités nationales sur les changements climatiques tant au niveau des services de la Météorologie Nationale qu'au niveau des administrations, acteurs privés et ONG concernés par ces aspects climatiques. Il s'agira aussi de renforcer et de promouvoir le développement et le recours aux modèles de prévision saisonnière et leur utilisation par les opérateurs agricoles.

Perceptions des populations des manifestations du changement climatique, des impacts et stratégies d'adaptation paysannes en zone de décrue à Yélimané et dans le système Faguibine

Les changements récents du climat sont bien perçus par les populations et sont en concordance avec les constats scientifiques. Selon Sultan *et al.*, 2015, « *cette adéquation entre perceptions sociales et observations scientifiques du climat est particulièrement bonne lorsque les changements climatiques sont rapides, manifestes pour tous et quand ils ont un impact sur les modes de vie et les niveaux de production* ». Ces changements se sont manifestés globalement au cours des trois dernières décennies dans la zone de décrue du cercle de Yélimané et dans le système Faguibine par des sécheresses, des pluies insuffisantes, des tarissements de mares et des cours d'eau, des vents forts, la faiblesse des crues, l'ensablement et de fortes températures.

Les impacts de ces phénomènes ont été observés par les populations sur les ressources et sur leurs modes d'existence ; les conséquences se sont traduites notamment, à travers la baisse des rendements des cultures, la baisse des productions animales, forestières et halieutiques, par la pauvreté et l'insécurité alimentaire au niveau des exploitations agricoles. Ainsi, des stratégies d'adaptation individuelles et collectives ont été développées par les communautés parmi lesquelles on peut citer l'utilisation de variétés adaptées, la diversification des cultures, la pratique des associations de cultures dans la zone de décrue, l'exode rural, l'utilisation des techniques de conservation des sols et de l'eau, le stockage des résidus de récolte, la supplémentation des animaux. Les stratégies énumérées ont été citées par d'autres auteurs en zone sahélienne (Nicole Clot, 2008 ; Woodfine, 2009 ; Ouédraogo *et al.*, 2010 ; USAID, 2014). Les contraintes à leur mise en œuvre sont financières, matérielles, techniques et d'accès à l'information.

Des opportunités techniques d'amélioration durable des capacités adaptatives des populations

Les technologies et connaissances rapportées dans l'ouvrage visent l'adaptation au changement climatique défini par le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) comme « *un ajustement des systèmes naturels ou des systèmes humains face à un nouvel environnement ou un environnement changeant* » (Tubiana *et al.*, 2010). L'adaptation au changement climatique vise donc à amoindrir les conséquences de l'évènement climatique. Il s'agit « *de veiller à ce que son impact sur la société soit le plus faible que possible* » (Tubiana *et al.*, 2010).

Le système de culture de décrue

La caractérisation des sols et celle de l'entomofaune sont des éléments qui sous-tendent l'amélioration de la productivité et de la production agricoles dans le système de décrue de Yélimané en zone sahélienne. En effet, les connaissances générées orientent les actions à mener en procurant les informations de base permettant notamment la gestion de la fertilité des sols et une gestion intégrée des nuisibles des cultures. Les teneurs en matière organique et en azote des sols sont très faibles et constituent des contraintes majeures pour la production des cultures nécessitant, pour une production durable des cultures, un suivi régulier du statut de la fertilité des sols de décrue à Yélimané et y apporter les corrections appropriées.

Le semis direct est quasiment la seule pratique de mise en place des cultures dans l'agriculture de décrue à Yélimané. Le repiquage et le trempage des semences ont permis d'augmenter les rendements du sorgho comparativement à la pratique paysanne du semis direct et les gains sont d'environ 500 kg/ha. La fertilisation azotée a toujours eu un effet significatif positif sur la production du sorgho puisque les sols sont carencés en cet élément. Un gain de 400 kg/ha a été observé.

Le repiquage des plants de sorgho après un séjour de 15 jours en pépinière a été introduit. Les opinions des paysans ont fait ressortir plusieurs avantages de la pratique agricole dont le raccourcissement du cycle des cultures dans les champs, la réduction des dégâts sur les récoltes, une meilleure occupation du sol et enfin une bonne vigueur des plants issus du trempage.

Quatre (4) variétés de sorgho dénommées Yélimané 1, Yélimané 2, Yélimané 3 et Yélimané 4 ont été créées pour l'agriculture de décrue. Ces variétés ont été inscrites au catalogue de la Communauté Économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO).

La culture de tubercules a été introduite dans les plaines de décrue de Yélimané pour renforcer la résilience des paysans face aux effets du changement climatique en diversifiant les produits agricoles et les sources de revenus.

Toutes les variétés de pomme de terre et de patate douce introduites ont produit des tubercules. Les rendements ont été variables selon les variétés et les localités. Ils ont atteint 30 t/ha pour la pomme de terre et plus de 20 t/ha pour la patate douce.

Un engouement important a été noté chez les femmes qui s'identifient bien comme productrices de tubercules en zones de décrue, vu le faible coût de production et la facilité des travaux de mise en place des tests. En effet, si les racines et les tubercules sont généralement produits et consommés par les populations vulnérables qui vivent dans des conditions de sécurité alimentaire précaire, ils peuvent servir aussi comme source d'emplois et de génération de revenus dans les zones vulnérables, surtout pour les femmes (Scott *et al.*, 2000).

La dégradation des berges des cours, des mares, des canaux et leur comblement ont rendu nécessaire la recherche de technologies appropriées de protection et de réhabilitation de cet environnement vital pour les populations. À cet égard, *Eucalyptus camaldulensis* a été une espèce ligneuse exotique performante pour la fixation biologique des berges des cours d'eau dans les conditions de Yélimané et pour la satisfaction des besoins des populations en produits ligneux.

Les conditions climatiques de Yélimané ont été propices au développement des quatre variétés étrangères de palmier dattier (Zambli, Saggai, Shishi et Barhee) introduites dans la zone laissant augurer une bonne productivité et une amélioration du revenu dans les périmètres maraîchers.

En matière de restauration des espaces indurés et dénudés, l'utilisation des dispositifs anti-érosifs (cordons pierreux et demi-lunes) a permis leur récupération et la production de biomasse herbacée. Partout, la production de biomasse a été supérieure à 2 t/ha.

Le système de culture pluvial

Dans le système pluvial, les technologies mises au point ont amélioré de façon significative le rendement des cultures de mil et de sorgho. Il s'agit entre autres de la sélection de grosses graines pour le semis, l'utilisation de semences trempées dans de l'eau, le traitement des semences à l'insecticide/fongicide et l'application de microdoses d'engrais minéral et de fumier. Une évaluation de l'introduction du microdosage et

du trempage des semences au Mali a montré que le rendement a augmenté entre 50 et 100 % dans les champs paysans (Djiga, 2015). Ces technologies et d'autres approches développées peuvent être considérées comme un paquet de départ pour l'intensification agricole.

La mécanisation du semis, de l'épandage d'engrais et du sarclage dans les petites exploitations agricoles familiales

Les semis manuels et mécanisés sont pratiqués dans la zone sahélo-soudanienne. Il existe des semoirs à traction animale, mais récemment des semoirs motorisés, simples d'utilisation, ont été développés par l'Institut d'Économie Rurale (IER) au Mali et ses partenaires.

Le semoir en usage au Mali peut également être utilisé pour le placement de l'engrais minéral en microdoses et pour le désherbage en montant les dents de sarclage sur celui-ci et des disques appropriés de semis. Traditionnellement, les mauvaises herbes sont enlevées manuellement, mais c'est une opération laborieuse et le sarclage est souvent fait trop tard. Le semis manuel donne aussi une grande variabilité du nombre de graines semées. Les semoirs peuvent fournir une densité, une profondeur de semis et un nombre de graines par poquet plus uniformes. Avec une densité de semis de 25 000 poquets à l'hectare, l'économie de main-d'œuvre par la mécanisation par rapport au semis manuel est d'environ 80 % (Coulibaly et Aune, 2020). Le semoir permet de semer à une période plus optimale. Si les doses d'engrais de l'ordre de 0,3 g par poquet sont utilisées, il est possible de mélanger les semences et les engrais dans la trémie du semoir, permettant ainsi l'application simultanée des graines et de l'engrais. Cela ne nuit pas à la semence tant que la dose d'engrais est faible.

La combinaison des technologies d'amélioration de rendement avec la mécanisation des opérations agricoles peut engendrer une double intensification assurant une grande productivité des terres et du travail agricole.

La mécanisation motorisée semble être une option réalisable pour les agriculteurs qui cultivent plus de 5 hectares. L'accès au crédit et ou à la subvention sera nécessaire pour une mise à échelle rapide de cette forme d'intensification agricole.

Développement de l'élevage du dromadaire

Enquête diagnostique dans la région de Kidal

Ce premier diagnostic général de l'élevage du dromadaire dans la région de Kidal a permis de montrer toute l'importance de cet élevage, mais aussi ses difficultés. Le dromadaire a constitué la seule source de revenus du ménage pour le quart de la population enquêtée, tandis que pour les 75 %, la contribution du dromadaire a varié entre 90 % et 60 %. Les principales difficultés sont l'alimentation, les pathologies et la faible organisation des éleveurs.

Pathologies et biologie du dromadaire

La tendance actuelle de péjoration des conditions climatiques et de dégradation de l'environnement présagerait l'élargissement de l'aire d'élevage du dromadaire compte tenu des potentialités de l'animal. Son inscription dans la liste des animaux à vaccination obligatoire contre les principales pathologies (charbons, dermatoses, pasteurellose, etc.) par les services vétérinaires serait une mesure opportune à prendre. Les mesures prophylactiques sont indispensables, notamment par rapport aux parasitoses internes et externes.

L'absence de données sur les normes de concentrations sériques des minéraux et des protéines constitue une contrainte pour l'amélioration de la santé et de la productivité des dromadaires. Les premiers résultats obtenus peuvent constituer une référence pour l'évaluation de l'état nutritionnel des dromadaires et d'éventuelles carences alimentaires qui pourraient être diagnostiquées à l'état sub-clinique. La mise en place d'un laboratoire de biochimie animale faciliterait les analyses ultérieures.

Quelques pistes de réflexion pour la recherche

L'adaptation de l'Agriculture au changement climatique se fonde entre autres sur des technologies et connaissances produites et leur utilisation par les populations pour réduire les effets et impacts du climat sur la production et la société. Il s'agit de réponses en réaction à une situation donnée. Face à cette réalité au Mali, la réflexion doit continuer de se faire sur la consolidation des acquis pour rendre toujours l'Agriculture moins vulnérable aux effets/impacts du changement climatique. La part de la qualité de l'information (technologique, météorologique) apportée et son suivi sont de première importance.

La réflexion pourrait concerner les points suivants :

- Rendre l'Agriculture moins vulnérable au changement climatique par l'utilisation des prévisions météorologiques ;
- Stratégies pour une utilisation accrue de l'information météorologique ;
- Durabilité des technologies de résilience ;
- Durabilité des systèmes de production de la décrue ;
- Mécanisation légère des opérations culturales dans les systèmes de production et son accompagnement ;
- Prise en compte constante de la dimension changement climatique ;
- Savoirs et savoir-faire locaux sur le changement climatique et stratégies d'intégration ;
- Caractérisation génétique du dromadaire ;
- Intensification et diversification de la recherche nationale sur le dromadaire, notamment en impliquant davantage les spécialités des sciences médicales et des sciences environnementales ;
- Compréhension des variations des paramètres reproductifs (diagnostic de la gestation) ;
- Utilisation de l'insémination artificielle chez les dromadaires pour accélérer l'amélioration génétique.

Références

- CEDEAO, 2009 a. Programme d'Action Sous-Régional de Réduction de la Vulnérabilité aux Changements Climatiques en Afrique de l'Ouest. Partie I : Aperçu de la vulnérabilité de l'Afrique de l'Ouest face aux changements climatiques et stratégies d'intervention, Communauté Economique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO).
- Coulibaly, A. and J. B. Aune, 2020. Intensification of sorghum and Pearl Millet Production in the Sahel-Sudanian Climatic Zones of Mali. ©Springer Nature Switzerland AG 2020. B.R. Singh *et al.* (eds). Climate Impact on Agricultural and Natural Resource Sustainability on Africa. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37537-9_8.
- Djiga A., 2015. Évaluation de l'impact du projet d'établissement des cultures vivrières dans les zones sahéennes et soudano-sahéennes du Mali. Groupe de coordination des zones arides, Oslo.

<http://drylands-group.org/assets/documents/Impact-Evaluation-Mali-FINAL.pdf>.

Nicole Clot N., 2008. Changement climatique au Mali, introduction et développement du thème Changement climatique dans la Délégation Inter coopération Sahel, avril 2008. 27p.

Ouédraogo M., Dembélé Y. et Somé L., 2010. Perceptions et stratégies d'adaptation aux changements des précipitations : cas des paysans du Burkina Faso. Sécheresse 21(2), avril mai-juin, 2010 : 87-96.

Scott G.J., Rosegrant M.W. et Ringler C., 2000. Racines et tubercules pour le 21^e siècle : tendances, projections et choix de politiques. RECAPITULATIF 2020 N° 66 Vision 2020 pour l'Alimentation, l'Agriculture et l'Environnement. Traduit de l'anglais.

Sultan B., Lalou R., Amadou Sanni M., Oumarou A., Soumaré M.A., 2015. Les sociétés rurales face aux changements climatiques et environnementaux en Afrique de l'Ouest. IRD Editions ; Institut de Recherche pour le Développement. Collection Synthèses, Marseille 2015, 463p.

Tubiana L., Gemenne F., Magnan A., 2010. Anticiper pour s'adapter : Le nouvel enjeu du changement climatique. Pearson Education France, 206p.

USAID, 2014. Adaptation de l'Agriculture au Changement climatique dans le Sahel. Profils des pratiques de gestion agricole. Projet Résilience Africaine et Latino-Américaine au Changement Climatique (ARCC), août 2014, 64p.

Woodfine A., 2009. L'Adaptation au Changement Climatique et l'Atténuation de ses effets en Afrique Subsaharienne au moyen des pratiques de gestion durable des terres. Guide d'orientation – version 1.0. TERRAFRICA, 89p. www.terrafrica.org.

N'Diaye Ibrahima¹, Yossi Harouna¹

¹Institut d'Économie Rurale, Centre Régional de Recherche Agronomique de Sotuba - BP 262, Bamako, Mali

Climate Variability and Forecasting in Mali

Mali is a Sahelian country with an area of 1 241 238 km² that lies between 10th and 25th parallels of North latitude and between 4^oE and 12^oW longitudes.

The climate is tropical and dry, with a wet period covering four (4) to three (3) months – between June and October – making up a single rainy season, which alternates with a dry period of nine (9) to eight (8) months.

The rainfall regime in Mali is seriously affected by climate variability and change. At the national level, there is a decrease coupled with a high inter-annual and intra-seasonal variability in rainfall. Over the last 70 years (1941-2010), rainfall has decreased throughout the country compared to the 1941-1970 baseline period. Although rainfall has increased slightly in some places such as Bamako, Bougouni, Kayes, Mopti, Nioro and Ségou, over the last 30 years (1981-2010 compared to 1971-2000), it has remained lower since 1970. The overall deficit varies between 10 and 28%. Since the end of the 1970s, climate change in Mali has also resulted in a fast warming, with temperature increases ranging from 0.2°C to 0.8°C (CEDEAO, 2009a).

The most plausible climate scenario predicts a decrease in rainfall and an increase in temperature. This could make agriculture increasingly precarious by reducing water use in agricultural systems.

Therefore, the agricultural sector has to face and adapt to a highly changing climate.

With regard to climate forecasting, despite the efforts made, the general observation is that the measurement network is weak, making it difficult to have reliable short,

medium- or long-term data. It is therefore absolutely necessary to plan climate measurement network rehabilitation and especially expansion programs, among others. In Mali, there is a need of national capacity building programs on climate change for National Meteorological Services, administrations, private sector and NGOs dealing working on climate and climate change. Another key point is the need to strengthen and promote development and use of seasonal forecasting models, especially by stakeholders in agricultural sector.

Farmers' Perceptions of the Manifestations and Impacts of Climate Change and Adaptation Strategies in the Flood Recession Area in Yélimané and in the Faguibine System

Recent change in climate has been well perceived by populations and is consistent with scientific findings. According to Sultan *et al.*, 2015, “such consistency between social perceptions and scientific observations of climate is particularly good when climate change is fast, evident to all and when it impacts on lifestyles and production levels”. Overall, this change has occurred during the last three decades in the flood recession area of the *Cercle* of Yélimané and in the Faguibine system in the form of droughts, inadequate rainfall, drying up of ponds and rivers, strong winds, low floods, silting and high temperatures.

The impacts of these phenomena have been observed by the populations both on resources and on their own livelihoods. The consequences have resulted especially in a drop in crop yields; a decrease in animal, forestry and fish production; poverty and food insecurity at the farm level. Therefore, individual and collective adaptation strategies have been developed by the communities, including the use of adapted varieties, crop diversification, crop association in flood recession area, rural migration, adoption of soil and water conservation techniques, storage of crop residues, and animal supplementation. Those strategies have been cited by other authors in the Sahelian zone (Nicole Clot, 2008; Woodfine, 2009; Ouédraogo *et al.*, 2010; USAID, 2014). Their implementation is hampered by financial, material and technical constraints and by poor access to information.

Technical Opportunities for a Sustainable Improvement of the Adaptive Capacities of Populations

The technologies and knowledges reported in this paper are aimed at adaptation to climate change, defined by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) as “adjustment in natural or human systems to a new or changing environment.” (Tubiana

et al., 2010). Therefore, the objective of climate change adaptation is to mitigate the consequences of climate event. It is a matter of “ensuring that its impact on society is as low as possible” (Tubiana *et al.*, 2010).

Flood Recession Cropping System

Soil characterization and entomofauna characterization are elements underlying the improvement of agricultural productivity and production in the Yélimané flood recession system, in the Sahelian zone. Indeed, the knowledge generated guides actions to be carried-out by providing basic information notably for soil fertility management and integrated management of crop pests. Soil organic matter and nitrogen contents are very low, which is a major constraint for crop production, requiring regular monitoring of the status of soil fertility in Yélimané and making appropriate corrections, for sustainable crop production.

Direct seeding is almost the only crop establishment practice in flood-recession farming in Yélimané. Crop transplanting and seed priming helped increase sorghum yields compared to the farmers’ practice of direct seeding; the gain is about 500 kg/ha. Nitrogen fertilization has always had a significant positive effect on sorghum production since soils are deficient in this element. A gain of 400 kg/ha was observed.

Sorghum transplanting after a 15-day stay in the nursery has been introduced. Farmers’ opinions highlighted several advantages of this farming practice including shorter crop cycle in farms, reduced crop damage, improved land use and finally robustness of plants resulting from priming.

Four (4) sorghum varieties named as Yélimané 1, Yélimané 2, Yélimané 3 and Yélimané 4 were created for flood recession agriculture. These varieties were registered in the catalog of the Economic Community of West African States (ECOWAS).

Tuber farming was introduced in the flood plains of Yélimané to enhance farmers’ resilience to climate change by diversifying agricultural products and sources of income.

All the potato and sweet potato varieties introduced yielded tubers. Yields varied among varieties and localities. They reached 30 t/ha for potato and over 20 t/ha for sweet potato.

There was great interest among women, who identified themselves as tuber producers in flood recession areas, given the low cost of production and the ease of setting-up the trials. Indeed, while roots and tubers are generally produced and consumed by vulnerable populations living in precarious food security conditions, they can also be a source of employment and income in vulnerable areas, especially for women (Scott *et al.*, 2000).

The degradation of river banks, ponds and canals and their filling have made it necessary to seek appropriate technologies for the protection and rehabilitation of this vital environment for populations. In this respect, *Eucalyptus camaldulensis* has been a well performing exotic woody species for the biological fixation of river banks in the Yélimané conditions and for meeting populations' wood product needs.

The climatic conditions in Yélimané were suitable for the development of the four foreign varieties of date palm (Zambli, Saggai, Shishi and Barhee) introduced in the area, which augurs well for good productivity and higher income for market gardeners.

With regard to the restoration of hardened and bare areas, the use of anti-erosive systems (stone bunds and half-moons) has enabled their recovery and the production of herbaceous biomass. Biomass production was above 2 t/ha everywhere.

The Rainfed Farming System

In the rainfed system, the technologies developed have significantly improved the yields of millet and sorghum. These include the selection of large seeds for sowing, the use of seed priming, seed treatment with insecticide/fungicide and microdosing of mineral fertilizer and manure. An assessment of the introduction of microdosing and seed priming in Mali showed that yields increased by 50-100% in farms (Djiga, 2015). These technologies and other approaches developed can be seen as a starting package for agricultural intensification.

Mechanization of Seeding, Fertilizer Application and Weeding in Small Farms

Both manual and mechanized seeding are practiced in the Sahelo-Sudanian zone. Animal-drawn seeders exist, but recently easy-to-use motorized seeders have been developed by the Institute of Rural Economy (l'Institut d'Économie Rurale - IER) in Mali and its partners.

The seeder in use in Mali can also be used for the application of mineral fertilizer microdoses as well as for weeding by mounting weeding tines and appropriate sowing discs on it. Traditionally, weeding has been done manually. But this is an arduous operation and it often occurs too late. Manual seeding also results in a significant variability in the number of seeds sown. Seeders can provide a more uniform density, seeding depth and number of seeds per hole. At a seeding rate of 25,000 holes per hectare, labor savings from mechanization compared to manual seeding is about 80% (Coulibaly et Aune, 2020). The seeder allows seeding at a more optimal time. Using fertilizer rates of around 0.3 g per hole, it is possible to mix seed and fertilizer in the seeder hopper, which allows simultaneous application of seed and fertilizer. This does not harm the seed as long as the fertilizer application rate is low.

The combination of yield-enhancing technologies with mechanization of farm operations can lead to a double intensification, ensuring high productivity of land and farm work.

Motorized mechanization appears to be a feasible option for farmers cultivating more than 5 hectares. Access to credit and/or subsidy will be necessary for a rapid scaling-up of this form of agricultural intensification.

Development of Dromedary Farming

Diagnostic Survey in the Region of Kidal

This first general diagnosis of dromedary farming in the region of Kidal has shown the importance of dromedary farming, but also the challenges associated with it. Dromedaries were the only source of household income for a quarter of the population surveyed, while for the 75%, the contribution of dromedaries varied between 90% and 60%. The main challenges include feeding, pathologies and the poor organization of farmers.

Dromedary Pathologies and Biology

The current trend of worsening climatic conditions and environmental degradation is expected to foreshadow the expansion of dromedary farming area given the potential of this animal species. Its inclusion in the list of animals subject to compulsory vaccination against the main pathologies (anthrax, dermatosis, pasteurellosis, etc.) by veterinary services would be an appropriate action to be taken. Prophylactic measures are essential, particularly in relation to internal and external parasitosis.

The weak availability of data on serum mineral and protein concentration standards is a constraint to improving dromedary health and productivity. The first results obtained can be a baseline for the evaluation of the nutritional status of dromedaries and possible dietary deficiencies that could be diagnosed in the sub-clinical state. The creation of an animal biochemistry laboratory would facilitate subsequent analyses.

Some Ideas for Research

The adaptation of agriculture to climate change is based, among other things, on the technologies and knowledge produced and their use by people to reduce the effects and impacts of climate on production and society. These are responses to a given situation. In the light of this reality in Mali, reflection must continue on the consolidation of achievements to always make Agriculture less vulnerable to the effects of climate change. The quality of information (technological, weather) provided and its application are of primary importance.

Reflection could focus on the following issues:

- Making Agriculture less vulnerable to climate change through the use of weather forecasts;*
- Strategies for increasing the use of weather information;*
- Sustainability of resilience technologies;*
- Sustainability of flood recession production systems;*
- Light mechanization of cropping operations in production systems and support to it;*
- Taking permanently into account climate change issues;*
- Local knowledge and know-how on climate change and integration strategies;*
- Genetic characterization of dromedary;*
- Intensification and diversification of national research on dromedary, especially by involving more specialties in medical and environmental sciences;*
- Understanding variations in reproductive parameters (pregnancy diagnosis);*
- Use of artificial insemination in dromedaries to accelerate genetic improvement.*



Ce(tte) œuvre est mise à disposition selon les termes de la Licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

L'évolution de la pluviosité saisonnière, la qualité des intrants Agricoles (agriculture, élevage, pêche, foresterie), l'installation des cultures, la fertilité des sols, le contrôle des nuisibles, la préservation de l'environnement et la gestion des ressources naturelles, comptent au nombre des principaux facteurs qui conditionnent la production et la productivité Agricoles au Sahel. Le présent ouvrage pluridisciplinaire, aborde le changement climatique au Sahel aussi bien dans le système pluvial que de décrue, essentiellement sous l'angle de la résilience des producteurs. En passant en revue les effets sur l'augmentation du rendement des cultures, de technologies de résilience, relatives à l'utilisation par les producteurs d'intrants de qualité, au trempage dans l'eau de la semence sélectionnée, au traitement phytosanitaire approprié de la semence, à la production en pépinière et au repiquage des plants de céréales, au microdosage de l'engrais, et à la mécanisation à traction animale ou motorisée du placement de la semence et de la micro dose d'engrais, l'ouvrage laisse transparaître les possibilités réelles qu'offre l'adoption et l'utilisation à grande échelle des technologies de résilience à la variabilité du climat pour l'amélioration de la sécurité alimentaire et nutritionnelle des populations et celle des revenus. Dans le système de décrue, les connaissances générées sont aussi une contribution à une meilleure compréhension des caractéristiques physico-chimiques des terres de culture en vue d'améliorer la productivité agricole. L'inventaire de l'entomofaune dans le système de décrue en zone sahélienne jette les bases du développement de méthodes de lutte intégrée pour le contrôle des nuisibles. La végétalisation des berges des cours d'eau et la récupération des terres dégradées au moyen de techniques appropriées apparaissent comme des technologies à promouvoir pour la durabilité des systèmes agricoles de décrue. Les connaissances sur le dromadaire couvrent une gamme élargie de domaines touchant notamment le diagnostic du système d'élevage, la biologie de l'animal, ses pathologies. Elles visent le développement de son élevage au Mali.

L'ouvrage "Adaptation de l'Agriculture et de l'Élevage au Changement Climatique au Mali - Résultats et leçons apprises au Sahel", est proposé à l'utilisation d'un large public dont les agents en charge du secteur rural, les professionnels encadreurs du secteur agricole, les enseignants-chercheurs et les étudiants.