

**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

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

<b>Chapitre 4 : Le système de décrue de Yélimané en zone sahélienne au Mali</b>	<b>129</b>
<b>Caractéristiques physico-chimiques des horizons de surface des sols de décrue à Gory, Dougoubara et Yaguiné, cercle de Yélimané</b>	<b>131</b>
Traoré Kalifa, Traoré Bouya, Aune Jens Bernt, Traoré Boubacar, Coulibaly Boubacar, Togo Daouda	
<b>Caractérisation de l'entomofaune dans le système de décrue du cercle de Yélimané en zone sahélienne au Mali</b>	<b>147</b>
Noussourou Moussa, Hamadoun Abdoulaye, Traoré Kalifa, Aune Bernt Jens, Coulibaly Boubacar	
<b>Détermination des dépôts de terre et de nutriments par la crue dans la zone de Yélimané en zone sahélienne au Mali</b>	<b>159</b>
Traoré Bouya, Traoré Kalifa, Aune Jens Bernt, Famanta Mahamoudou, Togo Daouda, Traoré Boubacar, Coulibaly Boubacar	
<b>Chapitre 5 : Options techniques agricoles d'adaptation en agriculture de décrue</b>	<b>171</b>
<b>Amélioration de la productivité du sorgho de décrue par une meilleure installation des cultures dans le cercle de Yélimané</b>	<b>173</b>
Traoré Kalifa, Traoré Bouya, Noussourou Moussa, Hamadoun Abdoulaye, Aune Jens Bernt, Traoré Boubacar, Coulibaly Boubacar, Togo Daouda, Yossi Harouna, N'Diaye Ibrahima	
<b>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</b>	<b>191</b>
Théra Aïssata Traoré, Traoré Kalifa, Diarra Alioune, Traoré Bouya, Coulibaly Boubacar, Traoré Boubacar, Togo Daouda	
<b>Chapitre 6 : Protection des berges dans les systèmes de décrue</b>	<b>207</b>
<b>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</b>	<b>209</b>
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	
<b>Évaluation du volume de bois sur pied de la plantation de <i>Eucalyptus camaldulensis</i> à Yélimané en zone sahélienne au Mali</b>	<b>227</b>
Kouyaté Amadou Malé, Keïta Moussa, Dembélé Isaïe, Timbély Dommo, Sénou Oumar, Maïga Mahamane Halidou, Maïga Abdou Yéhiya	
<b>Chapitre 7 : Conservation des sols, des eaux et de la végétation</b>	<b>239</b>
<b>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</b>	<b>241</b>
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	
<b>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)</b>	<b>255</b>
Maïga Abdou Yéhiya, Sénou Oumar, Goïta Oumarou, Soumaré Aly, Keïta Kibili Demba, Timbély Dommo	

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



## **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 Djitèye, 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).*

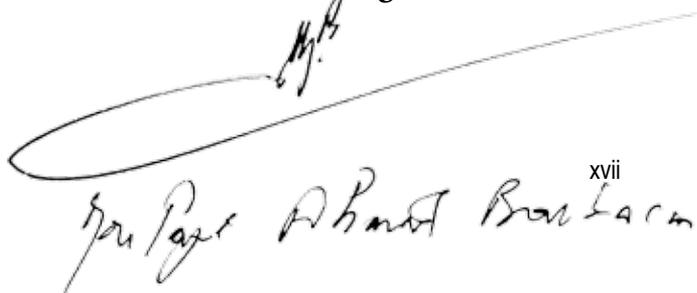
*At the national level, a Steering Committee chaired by the Minister of Agriculture was the responsible for monitoring, guiding and steering the project. May its members find here the expression of our sincere gratitude.*

**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 A. Diallo

# 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 Ibrahima<sup>1</sup>, Yossi Harouna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut 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 Ibrahima<sup>1</sup>, Yossi Harouna<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Institut 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.*