

UNIVERSITE ASSANE SECK DE ZIGUINCHOR



UFR DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

ECOLE DOCTORALE SCIENCES, TECHNOLOGIES ET INGENIERIE (EDSTI)

THESE DE DOCTORAT

ANNEE : 2022

N° d'ordre : 75

LA PRATIQUE DE LA REGENERATION NATURELLE ASSISTEE DANS LE BASSIN ARACHIDIER DU SÉNÉGAL: ADOPTION, CONSEQUENCES AGROÉCOLOGIQUES ET STRATÉGIES D'OPTIMISATION FACE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

par

M. Baba Ansoumana CAMARA

pour obtenir le grade de

Docteur en Sciences Agronomiques et Environnement

Spécialité : Agroforesterie et Productions Végétales

Soutenue publiquement le 07/12/2022, devant le jury composé de :

Président	M. Cheikh Tidiane BA	Professeur titulaire, FST/UCAD
	M. Saliou NDIAYE	Professeur titulaire, ENSA/UIDT
Rapporteurs	M. Ngor NDOUR	Maître Conférences, UFR-ST/UASZ
	M. Malainy DIATTA	Maître de Recherches, ISRA
Examineurs	M. Antoine SAMBOU	Maître Assistant, UFR-ST/UASZ
	M. Mohamed Mahamoud CHARAHABIL	Maître Conférences, UFR-ST/UASZ
Directeur de Thèse	Mme. Diaminatou SANOGO	Maître de Recherches, ISRA
Co-Directeur de Thèse	M. Ousmane NDIAYE	Maître de Conférences, ENSA/UIDT

DEDICACES

À mon père qui n'a ménagé aucun effort pour la réussite de ses enfants;

À ma mère, pour tout l'amour que vous portez à notre égard;

À toute la famille, merci pour tous les conseils qui me sont d'une très grande utilité.

Je vous remercie pour votre patience, vos nombreux encouragements, votre compréhension et votre soutien inconditionnel qui m'ont permis de surmonter les moments difficiles

Que ce travail soit le témoignage de ma profonde gratitude et de ma sympathie.

AVANT-PROPOS

Au terme de cette étude, je rends grâce à Dieu, Le Clément, Le Miséricordieux de m'avoir donné la santé, le courage, la patience et toutes les capacités physiques et mentales qui m'ont permis de réaliser cette thèse.

Ce travail est le résultat d'une collaboration fructueuse entre l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) et l'Université Assane SECK de Ziguinchor (UASZ). Que les responsables de ces institutions trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à toutes les personnes qui, à des degrés divers, à différentes étapes de l'évolution de ce travail, m'ont accordées leur temps et fait bénéficier de leurs conseils.

Ma pensée va en premier lieu à ma Directrice de thèse, Dr. Diaminatou SANOGO, à qui je dois l'initiative et la direction scientifique de cette thèse. J'ai eu le privilège de travailler à vos côtés et d'apprécier vos qualités et vos valeurs. Votre dévouement, votre compétence et votre sens du devoir nous ont énormément marqué. Veuillez trouver ici l'expression de notre profonde admiration pour toutes vos qualités scientifiques et humaines.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à mon Co-directeur de thèse, Pr. Ousmane NDIAYE qui, malgré les prérogatives qui sont siennes, a accepté sans réserve de co-diriger cette thèse. Vous vous êtes grandement impliqué par vos directives, remarques et suggestions, mais aussi par vos encouragements.

Je témoigne toute ma gratitude au Pr. Cheikh Tidiane BA pour m'avoir fait l'honneur non seulement de juger ce travail mais aussi de présider le jury. Je remercie vivement Dr. Ngor NDOUR, Dr. Malainy DIATTA et Pr. Saliou NDIAYE d'avoir accepté d'être rapporteurs de cette thèse. Mes remerciements vont également à l'endroit de Dr. Antoine SAMBOU et Dr. Mohamed Mahamoud CHARAHABIL qui ont accepté d'examiner cette thèse. Je suis sensible à l'honneur que vous me faites en acceptant de juger ce travail malgré vos multiples occupations. Trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude. Vos jugements et suggestions objectifs seront d'un apport significatif pour rehausser la facture scientifique de cette thèse.

Il m'est agréable de remercier mes co-équipiers Dr. Marcel BADJI et Mr. Mouhamadou DIOP pour les remarques, conseils et critiques faites au cours de ce travail et lors de la rédaction du document. Sachez que j'ai beaucoup appris à vos côtés.

J'adresse mes sincères remerciements à tous ceux qui m'ont appuyé dans la collecte et le traitement des données. Je veux nommer Dr. Pape Bilal DIAHATE, Mr. Birane NGUERE, Mr. Mbaye Nder YADE, Mle. Marie Louise THIOYE, Mme. Ndèye Ami NGOM DIOUF. Merci pour votre soutien.

C'est un grand plaisir de témoigner ma profonde reconnaissance à tous les enseignants du département d'Agroforesterie notamment Dr. Ngor NOUR, Dr. Mohamed Mahamoud CHARAHABIL, Dr. Siré DIEDHIOU, Dr. Djibril SARR, Dr. Ismaïla COLY, Dr Aly DIALLO, Dr. Antoine SAMBOU, Dr. Boubacar CAMARA.

J'adresse mes vifs remerciements au Directeur du Centre National de Recherches Forestières (CNRF) Dr. Tamsir MBAYE et à tous les chercheurs du centre notamment Dr. Botié KOÏTA, Dr. Mame Sokhna SARR, Dr. Ma Anta MBOW, Dr. Marème Fall BA, Mme Halimatou Sadyane BA, pour votre appui scientifique, logistique et les multiples conseils et encouragements formulés à mon égard. Je vous remercie de m'avoir facilité l'accès au CNRF où je passe plus de temps que chez moi.

J'exprime également ma gratitude à tout le personnel administratif du CNRF à savoir Mr. Mactar Dao NDIAYE, Mr. Mamadou Lamine NDOYE et Mme. Ndèye Fatou FAYE DIENG.

Les chauffeurs Mr. Daour Khairi WADE, Mr. Pape FALL, Mr. Cheikh DIOUF, Mr. El hadji DIOUF et Mr. Moussa MANE m'ont été d'une aide cruciale sur le terrain dans la phase de collecte des données. Qu'ils trouvent ici le fruit de leur effort.

Je ne saurais me passer d'exprimer toute ma reconnaissance à Mr. Moussa DIOP gestionnaire de la bibliothèque du CNRF ainsi qu'à tous mes collègues étudiants avec qui j'ai partagé des moments dans ce temple du savoir notamment Dr. Fatou GNING, Dr. Oulimata DIATTA, Mle. Marième DRAME, Mle. Maïmouna GNING, Mle. Aissatou DIENG, Lt. Ndèye Ami MOUTHÀ, Lt. Dado WAGUE, Lt. Abasse SECK, Mr. Hamidou DIALLO.

J'associe à mes remerciements les gestionnaires de la pépinière du CNRF à savoir Mr. Ibou COLY et Mr. Thérance MANGA ainsi qu'à tous les étudiants qui y sont affectés.

J'ai une pensée spéciale à tous les étudiants du département d'agroforesterie, mention spéciale à mes camarades de la deuxième promotion. Trouvez ici ma profonde gratitude pour votre dévouement amical.

J'adresse mes sincères remerciements à tout le personnel de la COPROSEM de Kahi notamment Mr. Ousmane NDIONE, Mr. Demba NDIONE, Tonton FALL et Mr. Ablaye BADIANE pour votre soutien sans faille.

Il m'est agréable d'exprimer mes remerciements, ma reconnaissance et toute ma gratitude à Papa Nassardine AÏDARA, Maman Bintou SARR et à la famille pour votre hospitalité, votre générosité et pour toute l'affection que vous m'avez donnée durant tout ce temps qu'a duré mes travaux de recherches ayant abouti à la rédaction de mon mémoire de master et cette thèse de doctorat.

Que tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de cette thèse, et qui n'ont pas été cités, soient assurés de ma reconnaissance.

Table des matières

DEDICACES	i
AVANT-PROPOS	ii
Sigles et abréviations.....	viii
Liste des tableaux	ix
Liste des figures	x
Liste des Annexes.....	xi
Résumé	xii
Abstract	xiii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTERATURE	3
1.1. Description des parcs agroforestiers	4
1.2. Etat actuel des parcs agroforestiers	5
1.3. Stratégies de gestion durable des parcs agroforestiers	6
1.3.1. La Régénération Naturelle Assistée (RNA).....	6
1.3.2. L'agro-écologie.....	8
CHAPITRE 2 : PRESENTATION DU MILIEU BIOPHYSIQUE ET HUMAIN.....	10
2.1. Situation géographique.....	11
2.2. Caractéristiques climatiques.....	11
2.3. Relief, sols et végétation	12
2.6. La population et ses activités	12
2.6.1. La population	12
2.6.2. Les activités socio-économiques.....	13
CHAPITRE 3 : PERCEPTION PAYSANNE SUR LA REGENERATION NATURELLE ASSISTEE ET LES DETERMINANTS DE SON ADOPTION DANS LE SUD BASSIN ARACHIDIER DU SENEGAL	15
Résumé	16
3.1. Introduction	17
3.2. Matériel et méthodes	18
3.2.1. Méthodes d'échantillonnage	18
3.2.2. Méthode de collecte des données.....	19
3.2.3. Profil des répondants.....	19
3.2.4. Spécification du modèle probit	19
3.2.5. Variables utilisées	20

3.3. Analyse des données	23
3.4. Résultats	23
3.4.1. Perception paysanne sur la densité de la RNA et des espèces conservées	23
3.4.2. Catégorisation d'usage et raisons de conservation des espèces en RNA.....	23
3.4.3. Durée et motivation de pratique de la RNA.....	24
3.4.4. Avantages et contraintes de la RNA	24
3.4.5. Facteurs socio-économiques discriminatoires de l'adoption de la RNA	25
3.4.6. Estimations économétriques des déterminants de l'adoption de la RNA.....	27
3.5. Discussion	29
3.6. Conclusion.....	32
CHAPITRE 4 : DENSITE OPTIMALE D'ARBUSTES A CONSERVER DANS UN AGRO- SYSTEME DU SUD BASSIN ARACHIDIER AU SENEGAL	33
Résumé	34
4.1. Introduction	35
4.2. Matériel et méthodes	36
4.2.1. Dispositif expérimental	36
4.2.2. Rendement et ses composantes	39
4.2.3. Prélèvement de sol	40
4.3. Analyse des données	41
4.4. Résultats	41
4.4.1. Caractéristiques chimiques du sol.....	41
4.4.2. Variation du nombre de poquets de mil selon la densité d'arbustes.....	43
4.4.3. Rendement en biomasse aérienne sèche et grains de mil en milieu contrôlé	43
4.4.4. Rendement en biomasse aérienne sèche et grains de mil en milieu naturel	44
4.4.5. Relation entre paramètres dendrométriques des arbustes et ceux du rendement....	45
4.5. Discussion	46
4.6. Conclusion.....	49
CHAPITRE 5 : EFFET D'UN PAQUET TECHNOLOGIQUE AGROFORESTIER CLIMATO RESILIENT SUR LE RENDEMENT DU MIL (<i>Pennisetum glaucum</i> (L.) R. BR.) DANS LE BASSIN ARACHIDIER DU SENEGAL	50
Résumé	51
5.1. Introduction	52
5.2. Matériel et Méthodes	54
5.2.1. Caractéristiques pluviométriques.....	54

5.2.2. Matériel végétal	54
5.2.3. Méthode	55
5.3. Analyse des données	58
5.4. Résultats	58
5.4.1. Technologies/pratiques prioritaires face au changement climatique	58
5.4.2. Evaluation des effets du PTACR et de la PP sur le rendement du mil	59
5.4.3. Caractéristiques chimiques du sol.....	60
5.4.4. Matériel agricole	61
5.4.6. Répartition du temps de travail	62
5.4.7. Charges d'exploitation selon les scenarios	63
5.4.8. Revenus tirés de la production en fonction des scenarios.....	63
5.4.9. Compte d'exploitation des différents scenarios	64
5.4.10. Analyse financière.....	64
5.4.11. Analyse économique	65
5.5. Discussion	66
5.6. Conclusion.....	68
CHAPITRE 6 : DISCUSSION GENERALE.....	69
6.1. Perception paysanne de la RNA dans la zone d'étude	70
6.2. Déterminants socio-économiques de l'adoption de la RNA par les communautés	71
6.3. Densité optimale d'arbuste à conserver en RNA	72
6.4. Effet du paquet technologique agroforestier climato-résilient	73
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	76
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	79
ANNEXES	101

Sigles et abréviations

AIC	Agriculture Intelligente face au Climat
ANACIM	Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie
ANSD	Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie
C(total)	Carbone total
CCAFS	Climate Change, Agriculture and Food Security
CRA	Centre de Recherches Agronomiques
CGIAR	Consultative Group on International Agricultural Research
CNRF	Centre National de Recherches Forestières
CE	Conductivité Electrique
CIAT	Centre International d'Agriculture Tropicale
CIRAD	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CORAF	Conseil ouest et centre africain pour la recherche et le développement agricoles
CRES	Consortium pour la Recherche Economique et Sociale
CSE	Centre de Suivi Ecologique
CTA	Centre technique de coopération agricole et rurale
DAPSA	Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques Agricoles
FAO	Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
ICRAF	Centre international pour la recherche en agroforesterie
ISRA	Institut Sénégalais de Recherche Agricole
JAS	Jour Après Semis
MAER	Ministère de l'Agriculture et de l'Equipement Rural
MEDD	Ministère de l'Environnement et du Développement Durable
MEPN	Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature
MS	Matière Sèche
N(total)	Azote total
PTACR	Paquet Technologique Agroforestier Climato-Résilient
Pass	Phosphore assimilable
PFL	Produits Forestiers Ligneux
PFNL	Produits Forestiers Non Ligneux
pH	Potentiel Hydrogène
PIC	Prévisions et Informations Climatiques
PP	Pratique Paysanne
RNA	Régénération Naturelle Assistée
TRI	Taux de Rentabilité Interne
USD	Dollar Américain
VAN	Valeur Actualisée Nette
WVS	World Vision Sénégal

Liste des tableaux

Tableau 1: Nombre de répondants pour l'adoption de la Régénération Naturelle Assistée par village de la commune de Ndiognick dans le bassin arachidier au Sénégal	18
Tableau 2: Définition des variables utilisées dans le modèle probit pour l'adoption de la RN A dans la commune de Ndiognick dans le bassin arachidier au Sénégal.....	21
Tableau 3: Logique d'agrégation de certaines variables dans le modèle probit pour l'adoption de la Régénération Naturelle Assistée dans la commune de Ndiognick dans le Bassin Arachidier au Sénégal.	22
Tableau 4: Catégories d'usages/raisons de conservation des espèces en Régénération Naturelle Assistée dans la commune rurale de Ndiognick dans le bassin arachidier au Sénégal	24
Tableau 5: Statistiques descriptives des variables utilisées dans le modèle pour l'adoption de la Régénération Naturelle Assistée dans la commune de Ndiognick dans le bassin arachidier au Sénégal	26
Tableau 6: Résultats des estimations par le modèle probit de la probabilité d'adoption de la régénération naturelle assistée dans la commune de Ndiognick dans le bassin arachidier au Sénégal	28
Tableau 7: Caractéristiques dendrométriques des arbres en milieu contrôlé à Ndiognick/Kaffrine	37
Tableau 8: Caractéristiques dendrométriques des arbres en milieu réel dans les parcs à <i>C. glutinosum</i> et <i>P. reticulatum</i> de 13 ans à Ndiognick/Sénégal.....	38
Tableau 9: Caractéristiques chimiques du sol en fonction de la densité d'arbustes en milieu contrôlé à Ndiognick/kaffrine en 2016 (situation de référence) et en 2020, 5 ans après.	42
Tableau 10: Caractéristiques chimiques du sol en fonction de la densité d'arbustes en milieu paysan dans le parc à <i>Piliostigma reticulatum</i> à Ndiognick/kaffrine.....	42
Tableau 11: Nombre de poquets de mil en fonction de la densité de RNA en milieu contrôlé à Ndiognick/ Kaffrine.	43
Tableau 12: Nombre de poquets de mil en fonction de la densité de RNA en milieu paysan dans les parcs à <i>C. glutinosum</i> et <i>P. reticulatum</i> âgés de 13 ans à Ndiognick/Sénégal en 2020.	43
Tableau 13: Caractéristiques des saisons 2014 et 2020 à Daga Birame	54
Tableau 14: Prévisions climatiques saisonnières	55
Tableau 15: Description détaillée de la Pratique Paysanne (PP) et du Paquet Technologique Agroforestier Climato-Résilient (PTACR)	56
Tableau 16: Priorisation des technologies/pratiques prioritaires face au changement climatique	59
Tableau 17: Matériel agricole utilisé	62
Tableau 18: Intrants agricoles pour le PTACR.....	62
Tableau 19: Répartition du temps de travail	63
Tableau 20: Charges d'exploitation selon les scénarios	63
Tableau 21: Revenus tirés de la production en fonction des scénarii	64
Tableau 22: Compte d'exploitation de la pratique du PTACR en fonction des scénarii.....	64
Tableau 23: Flux financier pour la pratique du PTACR.....	65
Tableau 24: Analyse économique du PTACR	65

Liste des figures

Figure 1: Parc à <i>P. reticulatum</i> associé à la culture du mil à Ndimb Korky/Kaffrine	8
Figure 2: Carte de la commune de Ndiognick/région de Kaffrine	11
Figure 3: Cumul pluviométrique annuelle de la région de Kaffrine de 1950 à 2020	12
Figure 4: Densité de RNA dans les champs (a) et espèces conservées (b) en Régénération Naturelle Assistée dans la commune de Ndiognick dans le bassin arachidier au Sénégal	23
Figure 5: Durée de pratique de la Régénération Naturelle Assistée (a) et origines de sa pratique (b) dans la commune de Ndiognick dans le bassin arachidier au Sénégal	24
Figure 6: Avantages (a) et contraintes de la Régénération Naturelle Assistée (b) selon la perception paysanne de la commune de Ndiognick dans le bassin arachidier au Sénégal	25
Figure 7: Schéma du dispositif en milieu contrôlé à Ndiognick/ Sénégal	37
Figure 8: Schéma d'un bloc expérimental dans un champ paysan en milieu réel dans les parcs à <i>C. glutinosum</i> et <i>P. reticulatum</i> de 13 ans à Ndiognick/Sénégal	38
Figure 9: Pieds de <i>Piliostigma reticulatum</i> (a) et <i>Combretum glutinosum</i> (b) en association avec le mil dans la commune de Ndiognick/Kaffrine	38
Figure 10: Récolte des parcelles (a), comptage des épis fertiles (b), prélèvement des échantillons (c) et pesage des épis (d)	40
Figure 11: Prélèvement d'échantillons de sol dans le dispositif en milieu contrôlé à Ndiognick/ Sénégal	41
Figure 12: Rendement en biomasse verte (a) et grains de mil (b) en milieu contrôlé à Ndiognick/kaffrine.	44
Figure 13: Rendement en biomasse verte (a) et grains de mil (b) dans le parc à <i>C. glutinosum</i> et rendement en biomasse verte (c) et grains de mil (d) dans le parc à <i>P. reticulatum</i> en milieu paysan.	45
Figure 14: Corrélation entre les paramètres dendrométriques des arbustes et ceux du rendement de mil en milieu contrôlé (a), dans le parc à <i>C. glutinosum</i> (b) et le parc à <i>P. reticulatum</i> (c)	46
Figure 15: Epannage de la biomasse ligneuse coupée (a) et binage des parcelles (b)	56
Figure 16: Nombre d'épis fertiles (a) et infertiles (b), production de biomasse aérienne (c) et rendement en grain (d) selon le traitement	60
Figure 17: Propriétés chimiques du sol dans les parcelles de PTACR et de PP à Daga Birame/région de Kaffrine au Sénégal	61

Liste des Annexes

Annexe 1: Article publié	102
Annexe 2 : Liste des communications orales	103
Annexe 3 : Liste des communications affichées (Posters).....	106

Résumé

La Régénération Naturelle Assistée (RNA) est une pratique agroforestière qui consiste à protéger et gérer les semis et repousses naturels que produisent les souches d'arbres et d'arbustes dans les champs afin de (re)créer une végétation ligneuse. Elle est largement promue ces dernières années au Sahel comme une alternative moins coûteuse à la plantation d'arbres pour réhabiliter les terres dégradées. Au Sénégal, particulièrement dans la zone agroécologique du bassin arachidier, l'adoption de la RNA reste limitée malgré le potentiel de souches d'arbres sujettes à cette pratique. Dans cette zone, au moment de la défriche hivernale, les souches d'arbres, constituées principalement d'espèces de la famille des *Combretaceae* et des *Cesalpiniaceae*, sont généralement coupées et brûlées par les producteurs pour éviter toute concurrence avec les cultures associées. Peu d'informations existent sur les raisons de son adoption à large échelle et sur la densité adéquate des souches d'espèces à épargner. Aucune stratégie d'optimisation de cette pratique n'existe actuellement face aux effets du changement climatique notamment la faible régénération des espèces à usages multiples beaucoup plus appréciées pour la RNA dans cette zone. L'objectif de cette étude est de comprendre la perception paysanne de la RNA et les déterminants de son adoption, d'identifier les densités optimales d'arbustes à conserver en RNA dans un agro-système et de fournir les évidences scientifiques de l'utilisation d'un paquet technologique optimisant cette pratique. Des enquêtes socio-économiques ont été effectuées auprès de 197 chefs de ménage (132 adoptants et 65 non adoptants) et le modèle probit a été utilisé pour identifier les déterminants socio-économiques de l'adoption de la RNA. Des dispositifs en bloc randomisé ont été mis en place en milieu contrôlé et en milieu réel pour identifier les densités optimales de RNA. Des tests participatifs ont été également menés avec 40 producteurs pour évaluer l'effet d'une option climato résiliente d'optimisation de la RNA. Les résultats montrent que l'appartenance ethnique, l'accès aux appuis externes et l'ouverture aux innovations technologiques sont déterminants dans l'adoption de la RNA. Les principales contraintes à la mise à échelle de la RNA sont les coupes illicites (42%), la divagation animale (29%) et la gêne causée à la traction animale (12%). L'étude de la densité montre de bons compromis pour le rendement en grain avec les densités 50 et 75 arbustes.ha⁻¹. Le paquet combinant la RNA, les bonnes pratiques agronomiques et l'utilisation de l'information climatique permet d'optimiser le rendement des cultures associées avec une augmentation de 60% par rapport à la Pratique Paysanne (PP) en année de déficit pluviométrique et de 55% en année de pluviométrie excédentaire. Ce paquet technologique climato résiliente permet également une diminution des quantités d'engrais utilisés de l'ordre de 33% pour le NPK et de 71% pour l'urée par rapport à la PP. Ces résultats peuvent être mis à profit pour réussir le reverdissement à partir de la RNA afin de renforcer la résilience des communautés et des écosystèmes face aux perturbations climatiques.

Mots-clés: Adaptation, Agro-écologie, Changement climatique, Parc agroforestier, Reverdissement

Abstract

Farmer Managed Natural Regeneration (FMNR) is an agroforestry practice that consists of protecting and managing the natural seedlings and regrowths produced by tree and shrub stumps in the field in order to (re)create woody vegetation. It has been widely promoted in recent years in the Sahel as a cheaper alternative to tree planting for restoring degraded land. In Senegal, particularly in the agro-ecological zone of the groundnut basin, the adoption of FMNR remains limited despite the potential of tree stumps subject to this practice. In this area, at the time of winter clearing, tree stumps, mainly composed by species from *Combretaceae* and *Cesalpiniaceae* families, are generally cut and burned by farmers to avoid competition with associated crops. Little information exists on the reasons for its widespread adoption and on the appropriate density of species strains to be spared. No strategy for optimizing this practice currently exists in the context of climate change, particularly the poor regeneration of multipurpose species much more appreciated for FMNR in this area. The objective of this study is to understand farmers' perception of FMNR and the determinants of its adoption, to identify the optimal densities of shrubs to be conserved on FMNR in an agro-system and to provide scientific evidence for the use of a technological package optimizing this practice. Socio-economic surveys were conducted among 197 household heads (132 FMNR adopters and 65 non-adopters) and the probit model was used to identify the socio-economic determinants of FMNR adoption. Randomized block designs were set up in both controlled and real environments to identify optimal FMNR densities. Participatory tests were also conducted with 40 farmers to assess the effect of a climate-resilient option for optimizing FMNR. The results show that ethnicity, access to external support and receptivity to technological innovations are determining factors in the adoption of FMNR. The main constraints to the scaling up of this practice are, respectively, illegal logging (42%), animal roaming (29%), and the difficulties of using animal traction in a farm having many trees/shrubs (12 %). The study of density shows good trade-offs for grain yield with 50 and 75 shrubs.ha⁻¹. The package combining FMNR, good agronomic practices and the use of climate information allows for optimizing the yield of associated crops with an increase of 60% compared to the Farmers' Practice (FP) in a year of rainfall deficit and of 55% in a year of surplus rainfall. This climate-resilient technological package also allows a reduction in the quantities of fertilizer used of around 33% for NPK and 71% for urea compared to the PP. These results can be used for successful greening using FMNR in order to strengthen the resilience of communities and ecosystems to climate disturbances.

Keywords: Adaptation, Agroecology, Agroforestry park, Climate change, Regreening

INTRODUCTION GENERALE

A l'instar de la plupart des pays sahéliens, le Sénégal fait face depuis plusieurs décennies à une régression des peuplements ligneux (Mbow et *al.*, 2008 ; Bakhoun, 2012 ; Ndiaye et *al.*, 2013). Cette dégradation est due en partie aux facteurs climatiques et édaphiques notamment la péjoration climatique, la morphologie du terrain, la salinisation et l'acidification des terres (MEDD, 2014 ; Brandt et *al.*, 2018). Elle est exacerbée par l'action anthropique à travers l'exploitation anarchique du bois, les feux de brousse et les techniques culturales inadaptées (Faye et *al.*, 2008 ; Bakhoun et *al.*, 2012 ; Brandt et *al.*, 2018). Cette situation est plus alarmante dans la zone agro-écologique du bassin arachidier où la production massive et continue d'arachides a favorisé une forte pression sur les terres et les ressources naturelles (Banzhaf, 2005 ; Wezel et Lykke 2006) entraînant de sérieuses dégradation des terres et des ressources naturelles (Mbow et *al.*, 2008). La mise en production des terres dégradées, sans restauration ni mesures de conservation, peut amener à des situations irréversibles d'improductivité, mettant en danger la subsistance de millions de personnes qui dépendent de ces systèmes (Winowiecki et *al.*, 2018). Il devient donc urgent de mener des actions visant à accroître le potentiel adaptatif des petits producteurs à la dégradation de la capacité productive des terres et permettre une atténuation des impacts sur leurs revenus (Sanogo, 2000).

Pour cela de nombreuses pratiques de gestion durable des terres sont promues en milieu rural à l'image de la Régénération Naturelle Assistée (RNA). Elle repose sur le maintien et l'entretien de souches et/ou de plantules d'espèces autochtones déjà en place et ne nécessite donc aucune pépinière ou plantation (Sanogo et *al.*, 2019). Beaucoup d'études ont documenté les impacts agro-écologiques et socio-économiques de la RNA (Bakhoun et *al.*, 2012 ; Badji et *al.*, 2015 ; Binam et *al.*, 2015 ; Camara et *al.*, 2017 ; Sanogo et *al.*, 2019 ; Bayala et *al.*, 2020 ; Camara et *al.*, 2021).

Malgré son importance, l'adoption de la RNA et sa mise à échelle posent un problème dans le bassin arachidier du Sénégal du fait de la rareté/absence de souches d'espèces adaptées à cette pratique et appréciées par les communautés ainsi que l'absence d'information sur la densité optimale d'arbustes à conserver pour optimiser les rendements des cultures. Dans ce contexte de changement climatique où les espèces à usages multiples appréciées pour cette pratique deviennent rares, il devient urgent de trouver des compromis d'optimisation de la RNA en vue d'accroître la productivité des cultures associées, de renforcer la résilience des communautés et d'atténuer les effets du changement climatique.

C'est dans ce contexte que cette étude a été menée. Elle a pour objectif global de contribuer à la reconstitution des parcs agroforestiers du bassin arachidier et au renforcement de la résilience des petits producteurs aux chocs climatiques. Spécifiquement, il s'agira de (i) étudier la perception paysanne de la RNA et les déterminants de son adoption ; (ii) déterminer les densités optimales de souches d'arbres de la famille des *Combretaceae* et de *Cesalpiniaceae* à régénérer ; (iii) proposer un modèle d'optimisation de cette pratique dans un contexte de changement climatique.

Le présent document est composé de six (06) chapitres. Le premier chapitre traite de la revue bibliographique. Le second chapitre présente le milieu biophysique et humain. Le troisième chapitre décrit les déterminants socio-économiques de l'adoption de la Régénération Naturelle Assistée et la perception paysanne de cette technologie agroforestière. Le quatrième chapitre étudie l'effet de la densité de *Combretum glutinosum* et *Piliostigma reticulatum* sur le rendement du mil. Le cinquième chapitre traite de l'effet d'un paquet technologique agroforestier climato résilient sur le rendement du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) et enfin, le sixième chapitre porte sur la discussion générale.

CHAPITRE 1 : REVUE DE LA LITTERATURE

1.1. Description des parcs agroforestiers

Au Sahel, depuis des siècles, les paysans mettent en œuvre des systèmes intégrés d'utilisation des terres qui associent l'arbre aux cultures et à l'élevage. Ces systèmes d'utilisation des terres connus sous la dénomination de parcs agroforestiers sont généralement définis comme des paysages agraires où des arbres adultes sont disséminés dans des champs cultivés ou des jachères récentes (Boffa, 2000). Selon Bonkougou *et al.*, (1994), les parcs correspondent à des systèmes d'utilisation des terres dans lesquels les végétaux ligneux pérennes sont délibérément conservés en association avec les cultures et/ou à l'élevage dans un arrangement spatial dispersé où des interactions écologiques et/ou économiques doivent exister entre les différentes composantes du système. Les parcs sont construits par le maintien d'arbres choisis et épargnés lors des défrichements pour la mise en culture (Boffa, 2000 ; Diop *et al.*, 2005). En général, l'espèce dominante donne son nom au parc ; c'est le cas des parcs à *Faidherbia albida* (Delile) A.Chev., *Vitellaria paradoxa* C.F.Gaertner, *Parkia biglobosa* (Jacq.) R.Br.ex G.Don, *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A.Rich.) Milne-Redh etc. Ces parcs, composés d'essences agroforestières semi-domestiques, constituent ainsi les systèmes agricoles les plus anciens et les plus répandus de la bande bioclimatique soudano-sahélienne (Seghieri, 2017). Ils sont gérés de manière à répondre aux exigences environnementales et à remplir des fonctions spécifiques (Samaké *et al.*, 2011). Traditionnellement, les paysans ébranchent, élaguent, écorcent et étêtent les arbres pour accroître la production de biomasse, de fruit et se procurer du bois. Ce mode de gestion des arbres permet également de réduire l'incidence des oiseaux et autres ravageurs sur les cultures. Les parcs à *Faidherbia albida*, *Cordyla pinnata*, *Borassus aethiopum* Mart., *Elaeis guineensis* Jacq., *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile, *Adansonia digitata* L., *Sterculia setigera* Delile, *Parkia biglobosa*, *Neocarya macrophylla* (Sabine) Prance ex F.White *et Acacia sp.* sont parmi les plus fréquents au Sénégal (MEPN, 2010 ; Diédhiou *et al.*, 2014 ; Diatta *et al.*, 2016 ; Camara *et al.*, 2017 ; Diatta *et al.*, 2020). Les parcs agroforestiers apparaissent comme une réponse potentiellement stable dans le temps et résiliente pour faire face à la pauvreté, l'insécurité alimentaire, le changement climatique et la perte de biodiversité dans les pays soudano-sahéliens (Seghieri, 2017). Ils constituent des sources d'approvisionnement en produits forestiers ligneux (bois de feu et de construction) et non ligneux (fourrage, feuilles, fruits ou graines, huile, pharmacopée, etc.). Ils jouent un rôle essentiel dans les stratégies adaptatives des agriculteurs en augmentant leur résilience en période de disette. Les fruits issus des parcs permettent aux enfants de se nourrir de façon indépendante et aux femmes de faire l'économie de la préparation d'un repas au moment où les greniers se vident (Samaké *et al.*, 2011). Les parcs constituent une source de revenus supplémentaires d'autant plus que des arbres

de grande valeur tels que *V. paradoxa*, *P. biglobosa*, *A. digitata* sont à usages multiples et divers avec un potentiel économique considérable. C'est le cas des parcs à *P. biglobosa* en Casamance dont l'exploitation rapporte au ménage un chiffre d'affaires estimé à 318 000 FCFA/saison essentiellement utilisé pour les besoins de la famille notamment la scolarité et l'habillement des enfants (Diatta et al., 2020). Camara et al., (2017) ont estimé que les revenus tirés de l'exploitation de parc à *E. guineensis* varient en moyenne entre 537 500 FCFA et 739 125 FCFA/an. Les parcs agroforestiers constituent aussi une opportunité unique car ils contribuent à la conservation des eaux et des sols, à l'atténuation des variations climatiques et à la séquestration du carbone (Albrecht et Kandji, 2003 ; Verchot et al., 2006 ; Niang et al., 2010 ; Wagué, 2016). Ils contribuent à la régulation du régime hydrique, le contrôle de la qualité de l'eau, la préservation des sols et de leur fertilité, la régulation du cycle des nutriments, la régulation des bio-agresseurs ainsi que des services culturels au bénéfice des communautés (Seghieri, 2017). L'impact des parcs agroforestiers sur les rendements des cultures associées est positif avec certaines espèces comme *F. albida* pour laquelle les rendements sont meilleurs sous le feuillage comparativement aux parcs à *V. paradoxa* et *P. biglobosa* où des études ont montré que les rendements étaient 40 – 50% plus faibles sous le feuillage (Boffa et al., 2000 ; Bonkougou et al., 2002 ; Zoumboudré et al., 2005 et Saidou et al., 2012).

1.2. Etat actuel des parcs agroforestiers

Les parcs agroforestiers se dégradent actuellement malgré leur importance économique et environnementale. Ils sont menacés du fait des coupes pour le bois, le fourrage, les divers prélèvements médicinales, les feux de brousse et l'avancée du front pionnier agricole (Lykke, 2000). A cela s'ajoute le vieillissement des arbres (Boffa, 2000 ; Sanogo et al., 2019), la faible régénération des espèces et la lenteur de la croissance des principales essences agroforestières à haute valeur ajoutée (Diop et al., 2011). Cette situation se traduit dans le bassin arachidier du Sénégal par la régression de la population des espèces originelles des parcs (*F. albida*, *C. pinnata*, *B. aethiopum*, *E. guineensis*, *B. aegyptiaca*, *A. digitata*, *S. setigera*, *P. biglobosa*, *N. macrophylla* et *Acacia sp*). Elles sont colonisées progressivement par des espèces secondaires dites « marginales » (*G senegalensis*, *P reticulatum*, *C glutinosum*) puisque coupées à ras de sol lors du défrichage, puis brûlées dans les champs pour faciliter la traction animale et minimiser la concurrence avec les cultures (Lahmar et al., 2011 ; Dossa et al., 2012 ; Diack et al., 2018 ; Chapuis-Lardy et al., 2019). Par conséquent, la reconstitution des parcs agroforestiers avec ces espèces existantes demeure une problématique majeure dans le contexte actuel des perturbations climatiques au Sahel particulièrement dans la zone agro-écologique du

bassin arachidier du Sénégal. C'est face à cette situation que la Régénération Naturelle Assistée de ces espèces est proposée comme une alternative simple et moins coûteuse pour la reconstitution des parcs agroforestiers.

1.3. Stratégies de gestion durable des parcs agroforestiers

1.3.1. La Régénération Naturelle Assistée (RNA)

C'est une technique agroforestière qui consiste à protéger et gérer les semis et repousses naturels que produisent les souches d'arbres et d'arbustes dans les champs afin de (re)créer une végétation ligneuse (Larwanou et Tougiani, 2008 ; Larwanou *et al.*, 2010 ; Botoni *et al.*, 2010). De nombreuses études menées en Afrique de l'Ouest ont montré que la RNA joue un rôle socio-économique significatif dans la vie des populations rurales (Butari *et al.*, 2004 ; Belemvire *et al.*, 2008 ; ICRAF, 2009 ; Botoni *et al.*, 2010) et présente des avantages agro-écologiques non négligeables (Badji *et al.*, 2015 ; Camara *et al.*, 2017).

L'un des impacts majeurs de la RNA sur le plan socio-économique est la diversification de l'alimentation avec un impact positif sur la nutrition et la santé (Awaiss, 2010). Dans beaucoup de cas, les fruits et les feuilles de certaines espèces régénérées constituent les seules sources alimentaires permettant aux communautés de lutter contre la famine (Rinaudo, 2010). Au Niger, selon Botoni et Reij (2009), la RNA a permis aux femmes de disposer de plus de produits forestiers non ligneux dont la vente contribue significativement à l'économie locale. La RNA contribue à l'allègement des tâches des femmes grâce à la réduction du temps consacré à la collecte de bois (Botoni *et al.*, 2010). Aussi, Larwanou et Tougiani (2008) trouvent qu'en 5 ans de RNA, un paysan peut obtenir plus de 100 000 FCFA sur la vente de bois de chauffe et de service et ces bénéfices augmentent avec l'âge de la RNA. Dans le Centre-Sud bassin arachidier du Sénégal, (Sanogo *et al.*, 2019) ont constaté qu'un ménage adoptant la RNA gagne en moyenne 72,65 USD/saison sur la vente de Produits Forestiers Non Ligneux.

Sur le plan agronomique, la présence d'arbustes en milieu aride constitue des «îlots de fertilité», sous et à proximité des touffes de végétation (Wezel *et al.*, 2000 ; Housman *et al.*, 2007). Ces zones sont ainsi caractérisées par une meilleure disponibilité en eau et une activité biologique plus intense participant à une décomposition de la matière organique, à une fourniture d'azote et autres nutriments (Berg et Steinberger, 2008 et Berg et Steinberger, 2010). Les travaux de Kizito *et al.*, (2006) ont permis de démontrer les effets bénéfiques des arbustes locaux sur la dynamique de l'eau dans la mesure où ils permettent le transfert d'eau des couches profondes vers les couches superficielles du sol. Ce phénomène qualifié d'«ascenseur hydrique» permet le maintien d'une certaine humidité en surface qui est profitable à la culture associée (Kizito *et al.*, 2006). La présence de l'arbre influe positivement sur les rendements des cultures associées

(Toudou *et al.*, 2006 ; Tougiani *et al.*, 2013 ; Camara *et al.*, 2017). L'augmentation des rendements serait due à la micro-régulation du climat, à l'amélioration de la fertilité du sol et aux impacts potentiels sur la disponibilité de l'eau pour les cultures (Bayala *et al.*, 2014). Les conditions particulières d'humidité, combinées à l'exsudation racinaire et à l'apport de nutriments par décomposition de la matière organique apportée, contribuent au maintien d'organismes qui ne peuvent pas se développer dans le sol en dehors du couvert végétal, notamment en saison sèche (Diédhiou *et al.*, 2013). Des études récentes sur les parcs agroforestiers sahéliens ont révélé que le sol sous les arbres présente une porosité plus élevée que les zones nues (Sanou *et al.*, 2010).

Sur le plan écologique, la RNA contribue à la résilience des agro-écosystèmes jadis dégradés à travers l'augmentation de la densité des arbres (Toudou *et al.*, 2006 ; Reij *et al.*, 2009 ; Bagnian *et al.*, 2013). Les arbres des parcs agroforestiers peuvent réduire la vitesse du vent tout en augmentant l'humidité de l'air et réduire les maladies comme les attaques fongiques (Bayala *et al.*, 2014). La RNA peut réduire la dépendance aux pesticides grâce au retour des prédateurs naturels d'insectes notamment les oiseaux, les lézards, les mantes religieuses etc. Ce qui contribue indirectement à l'amélioration des rendements des cultures en réduisant les populations de ravageurs (Botoni *et al.*, 2010). Des études ont également montré que la floraison de certaines espèces régénérées comme *P. reticulatum* (Figure 1) dégage des essences qui semblent avoir des effets répulsifs sur les insectes floricoles (Tougiani *et al.*, 2013). La RNA contribue également à l'atténuation du changement climatique en séquestrant de grandes quantités de carbone dans le sol, les ramures et les racines des arbres (CGIAR-CCAFS & CTA, 2013). Elle permet aussi d'atténuer l'érosion (éolienne et hydrique), l'évaporation du sol tout en l'enrichissant à travers la décomposition de la litière (Botoni *et al.*, 2010).

Néanmoins, la pratique de la RNA présente un certain nombre de contraintes liées entre autres à la difficulté d'utilisation de la culture attelée et le fait de devoir constamment soulever le semoir à proximité des souches pour éviter de briser les lames ce qui constitue un facteur de ralentissement du travail (Camara *et al.*, 2017). Aussi, la présence des tiges a été signalée comme un facteur attirant les oiseaux granivores. Selon Sanogo *et al.*, (2019), les principales contraintes à la diffusion de la Régénération Naturelle Assistée sont la coupe illicite des arbres par les éleveurs transhumants pour le fourrage ou par les populations pour le bois de chauffe et de service et la divagation des animaux.



Figure 1: Parc à *P. reticulatum* associé à la culture du mil à Ndimb Korky/Kaffrine

1.3.2. L'agro-écologie

Les systèmes agricoles intensifs caractérisés par l'usage d'une forte intensité d'intrants externes et de ressources sont à l'origine d'une déforestation massive, de pénuries d'eau, d'une perte de biodiversité, d'un épuisement des sols et d'importantes émissions de Gaz à Effet de Serre/GES (FAO, 2018). Dès lors, la transformation des systèmes alimentaires est plus que nécessaire pour assurer la sécurité alimentaire et nutritionnelle des communautés dans le contexte de climat changeant (Steiner et *al.*, 2020). L'agro-écologie constitue en ce sens une option crédible appliquant des principes écologiques pour assurer l'utilisation durable des ressources naturelles et la fourniture de services écosystémiques (HLPE, 2019 ; Torquebiau et *al.*, 2019). C'est une approche intégrée qui applique concomitamment des notions et des principes écologiques et sociaux à la conception et à la gestion des systèmes alimentaires et agricoles. Elle utilise intensivement et en priorité les processus écologiques et biologiques sans refuser les intrants conventionnels pourvu que leur usage soit subsidiaire et en cohérence avec la logique écologique et biologique présidant à l'évolution des systèmes productifs (Griffon, 2017). L'agro-écologie vise à optimiser les interactions entre les composantes de l'environnement (humain, végétal et animal) sans oublier les aspects sociaux dont il convient de tenir compte pour qu'un système alimentaire soit durable et équitable (FAO, 2018). L'agro-écologie combine des réponses d'ordre technique qui permettent de concilier productivité avec faible pression sur l'environnement et gestion durable des ressources naturelles (Agrisud, 2020). Elle constitue une alternative durable pour améliorer l'adaptation et la résilience de l'agriculture face au changement climatique grâce à la diversification des cultures, l'utilisation de la biodiversité et de l'agro-biodiversité, la diminution des intrants émetteurs de GES, la lutte biologique contre

les ravageurs etc. (Torquebiau et *al.*, 2019). La diversification biologique dans les exploitations agricoles a toujours eu un impact positif important sur l'adaptation au changement climatique et l'atténuation de ses effets (Snapp et *al.*, 2021). Des preuves cohérentes de l'impact positif de la diversification sur la pollinisation, la lutte contre les ravageurs, le cycle des nutriments, la régulation de l'eau et la fertilité des sols ont été démontrées (Beillouin et *al.*, 2019, Tamburini et *al.*, 2020). Des études ont également mis en évidence le potentiel simultané de l'agro-écologie pour l'adaptation au changement climatique et son atténuation (Altieri et *al.*, 2015 ; 2017 ; Paustian et *al.*, 2015).

CHAPITRE 2 : PRESENTATION DU MILIEU BIOPHYSIQUE ET HUMAIN

2.1. Situation géographique

La présente étude est menée au Sénégal dans la commune de Ndiognick/région de Kaffrine située à 12°06'N de latitude et 15°33'O de longitude (Figure 2). Cette région est caractérisée par une dégradation progressive de la végétation ligneuse (Mbow et *al.*, 2008) ainsi qu'un faible niveau d'adoption de la RNA malgré les nombreux rejets de souches existants (WVS, 2008). Le choix de cette zone est dicté par la vulnérabilité des communautés aux perturbations climatiques, le niveau d'adoption de la RNA, l'intervention de projets de vulgarisation de la RNA et l'engagement des populations.

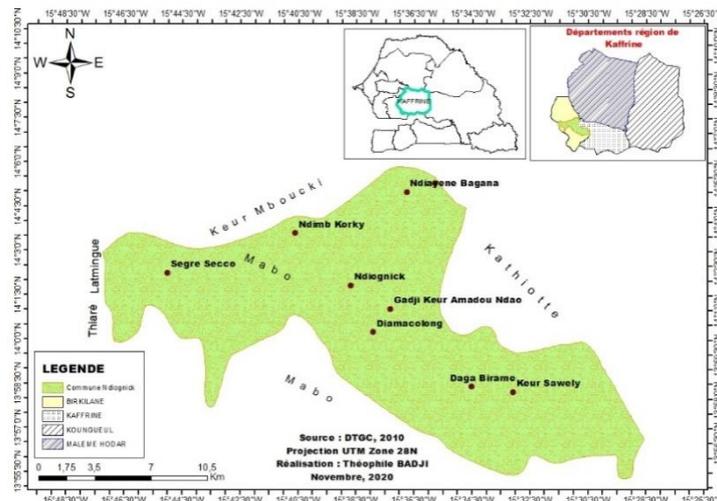


Figure 2: Carte de la commune de Ndiognick/région de Kaffrine

2.2. Caractéristiques climatiques

Le climat est de type soudano-sahélien caractérisé par une pluviométrie moyenne annuelle de 718 ± 194 mm entre 2010 à 2020 (Figure 2) et une température moyenne annuelle de $26,4^{\circ}\text{C}$ (Source : Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie/ANACIM). La figure 3 montre que la région de Kaffrine subit les effets de la variabilité climatique. Cela se matérialise à travers la pluviométrie moyenne annuelle par une succession de périodes humides (1951-1967) et (2003-2020) caractérisées par une dominance d'années à pluviométrie moyenne excédentaire ; et une longue période sèche (1968-2002) caractérisée par une dominance d'années à pluviométrie moyenne déficitaire.

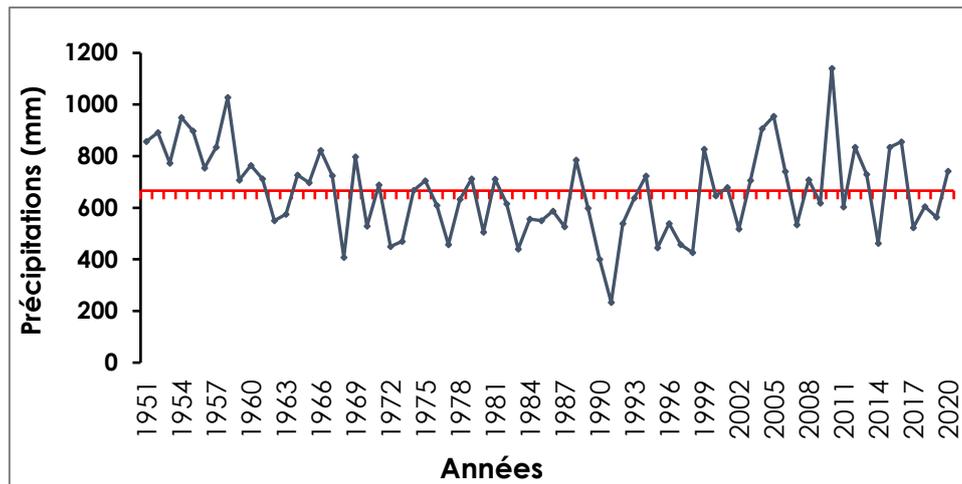


Figure 3: Cumul pluviométrique annuelle de la région de Kaffrine de 1950 à 2020 (Source : ANACIM)

2.3. Relief, sols et végétation

Le relief de la région de Kaffrine est plat dans son ensemble et présente une légère pente du Nord vers le Sud. La commune de Ndiognick est essentiellement caractérisée par des sols ferrugineux tropicaux qui se divisent en lessivés ou non lessivés, des sols hydromorphes et halomorphes selon la classification française (Sarr, 2008). Les taux de matière organique sont faibles dans ces sols. Ce qui suppose un appauvrissement continu des sols en partie lié à la disparition progressive de la végétation (Bakhoum, 2012).

Le potentiel végétal relativement important est répertorié au niveau du parc agroforestier et des aires mises en défens. La strate arborée, dominée par *Adansonia digitata* et *Cordyla pinnata*, renferme d'autres espèces comme *Tamarindus indica* L., *Diospyros mespiliformis* Hochst. ex A.DC., *Detarium microcarpum* Guill. & Perr. etc. Les espèces arbustives avec *Combretum glutinosum* Perr. ex DC. comme espèce dominante, sont aussi composées de *Guiera senegalensis* J.F. Gmel., *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst., *Combretum nigricans* Lepr., *Ziziphus mauritiana* Lam. etc. (Sanogo et al., 2019 ; Sanogo et al., 2017).

2.6. La population et ses activités

2.6.1. La population

La population de la région de Kaffrine est estimée en 2013 à 566 992 habitants, soit 4,20 % de la population nationale avec une densité de 50,7 habitants au km² contre 69 habitants au km² à l'échelle nationale (ANSD, 2017). Cette population majoritairement rurale (84,9%) est inégalement répartie sur les quatre départements de la région. La population est composée de 50,2 % de femmes. C'est une population majoritairement jeune avec 67% qui ont moins de 25 ans et 3% seulement qui ont 65 ans et plus (ANSD, 2017). Sur le plan ethnique, les Wolofs sont

dominants (74% de la population). La population est majoritairement musulmane (99%) et le reste est composée de catholiques et autres confessions (Bakhoum, 2012).

2.6.2. Les activités socio-économiques

Les secteurs d'activités dominants dans la région sont l'agriculture, l'élevage, la foresterie, l'artisanat et le commerce. Les statistiques sur les emblavures de Kaffrine montrent que cette région occupe une place de choix dans l'agriculture sénégalaise. Le rapport sur les résultats définitifs de l'enquête agricole annuelle (2018-2019) montre que la région de Kaffrine occupe la première place en termes de superficie emblavée avec près de 20% des superficies totales exploitées au niveau national (DAPSA, 2020). Selon l'ANSD (2015), 51% des superficies emblavées reviennent aux cultures industrielles et d'exportation (arachide d'huilerie, sésame, coton). Dans le même sillage, l'agriculture céréalière (mil, maïs, sorgho, riz) occupe une place importante dans la région. En effet, 160 599 ha ont été emblavés pour les cultures céréalières (14% des emblavures nationales pour les mêmes spéculations). Néanmoins, des efforts restent à faire pour les autres cultures (niébé, manioc, pastèque) puisqu'en 2013, les emblavures pour ces types de spéculations étaient de 3 291 ha soit 2% des emblavures nationales pour les mêmes spéculations (ANSD, 2015). En dehors de ces cultures, les populations s'adonnent aux activités maraîchères dans les bas-fonds et autour des forages (Conseil Région de Kaffrine / PAER, 2011). L'agriculture pluviale mobilise 37 938 ménages, soit 86,4% et constitue ainsi la principale grande culture pratiquée dans la région (ANSD, 2017). L'élevage est un secteur dynamique et vital tout comme l'agriculture pour l'économie régionale et la sécurité alimentaire des populations. Ces dernières années, il est devenu une activité très lucrative et se positionne au second rang après l'agriculture. L'élevage, essentiellement de type extensif, se présente sous deux formes (i) l'élevage pastoral basé sur la transhumance et pratiqué par les bergers peulhs et (ii) l'élevage sédentaire particulièrement pratiqué par les cultivateurs sérères qui entretiennent d'importants troupeaux dont le fumier sert de fertilisants pour l'agriculture (Bakhoum, 2012). Le cheptel est composé de bovins, de petits ruminants, d'équins et de volaille.

L'exploitation forestière notamment la production de charbon de bois et l'exploitation de bois d'œuvre sont interdites dans la région depuis 1997.

L'artisanat joue un rôle important dans le développement de la région. Les filières les plus représentées sont l'ébénisterie, la poterie, la vannerie, la menuiserie métallique et la teinture. Quant au commerce, il permet essentiellement l'écoulement des productions agricoles en particulier celles de l'arachide et du mil. Les produits forestiers de cueillette (pain de singe,

fruit de jujubier, fruits de tamarinier, etc. et le bétail occupe une place de choix dans cet échange (Bakhoum, 2012).

Dans le département de Mbirkelane, le sel exploité par les habitants des villages riverains du bras de mer du Saloum est un autre produit important commercialisé.

CHAPITRE 3 : PERCEPTION PAYSANNE SUR LA REGENERATION NATURELLE ASSISTEE ET LES DETERMINANTS DE SON ADOPTION DANS LE SUD BASSIN ARACHIDIER DU SENEGAL

Ce chapitre à fait l'objet d'une publication dans la revue *Agroforestry Systems*

Camara B.A., Sanogo D., Ndiaye O., Diahate P.B., Sall M., Ba H.S., Diop M., Badji M. 2021. Farmers' perception on the benefits and constraints of Farmer Managed Natural Regeneration and determinants of its adoption in the southern groundnut basin of Senegal. *Agroforest Syst* (2021). <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00690-y>

Résumé

La Régénération Naturelle Assistée (RNA) est une pratique simple et peu coûteuse pour restaurer la couverture végétale des terres dégradées contrairement au reboisement. Les connaissances actuelles sur les facteurs socio-économiques susceptibles d'influencer son adoption sont limitées. Cette étude a pour objectif d'analyser les déterminants socio-économiques de l'adoption de la RNA par les communautés. La méthodologie a consisté à effectuer des enquêtes auprès de 197 ménages. Le modèle probit a été utilisé pour identifier les déterminants socio-économiques de l'adoption. Les résultats montrent que l'appartenance ethnique, l'accès aux appuis externes, l'ouverture aux innovations technologiques, le mode d'acquisition et la superficie des terres cultivées ainsi que l'importance des facteurs de production sont déterminants dans l'adoption de la RNA. Cette pratique contribue, selon les producteurs, à l'amélioration de la fertilité et la conservation de l'humidité du sol (21% et 17% des producteurs). Selon eux, la RNA améliore l'approvisionnement en bois (18%) et en Produit Forestier Non Ligneux (13%). Les principales contraintes à la mise à échelle de cette pratique sont les coupes illicites (42%), la divagation animale (29%) et la gêne causée à la traction animale (12%). Ces résultats donnent un aperçu des considérations à intégrer pour la réussite de la RNA comme stratégie de renforcement de la résilience des communautés et des écosystèmes face aux perturbations climatiques.

Mots-clés : Agroécologie, Agroforesterie, Perception paysanne, RNA, Sénégal, Terre dégradée.

3.1. Introduction

A l'instar de la plupart des pays sahéliens, le Sénégal fait face depuis plusieurs décennies à une régression des peuplements ligneux (Bakhoum, 2012 ; Ndiaye *et al.*, 2013). Cette dégradation est due en partie aux facteurs naturels notamment la péjoration climatique, la salinisation et l'acidification des terres (MEDD, 2014). Elle est surtout exacerbée par l'action anthropique à travers l'exploitation anarchique, les feux de brousse et les défrichements/techniques culturales inadaptées (Faye *et al.*, 2008 ; Bakhoum *et al.*, 2012). Cette situation est plus alarmante dans la zone agro-écologique du bassin arachidier où, près de 2,5 millions d'hectares de terres sont dégradées soit 2/3 des terres arables du pays (CSE, 2007). Dans cette zone, la production massive et continue de l'arachide, accompagnée d'une forte densité de population, a perturbé l'équilibre écologique. Les parcs agroforestiers sont menacés en raison du vieillissement des arbres (Sanogo *et al.*, 2019). L'absence de leur régénération peut être attribuée à des facteurs environnementaux (changements climatiques), humains (surpâturage, incendies et élimination des rejets spontanés du parc) et réglementaires (code forestier). Ce phénomène est de plus en plus aggravé par la variabilité des précipitations caractéristiques du Sahel (Ba et Reenberg, 2003). Face à cette situation, il urge de mettre en place des stratégies de gestion durable des écosystèmes agroforestiers. De nouvelles approches relatives à la réhabilitation du couvert végétal émergent de plus en plus dans le milieu rural (la Régénération Naturelle Assistée, la mise en défens, la domestication de fruitiers forestiers et le reboisement). Parmi elles, la Régénération Naturelle Assistée (RNA) occupe une place importante. Elle se distingue de la plupart des autres pratiques agroforestières en ce sens qu'elle repose entièrement sur le maintien et l'entretien de souches et de plantules d'espèces autochtones déjà en place et ne nécessite donc aucune pépinière ou plantation (Sanogo *et al.*, 2019). La RNA apparaît comme une alternative à moindre coût pour le reverdissement du Sahel puisqu'il est plus facile de protéger, entretenir et aider les arbres à se multiplier plutôt que d'en planter de nouveaux (Reij and Garrity, 2016). Au Sénégal, l'adoption de la RNA est très faible comparé au Niger où, près de cinq millions d'hectares ont été revégétalisés en utilisant cette méthode (Reij *et al.*, 2009). Néanmoins, des initiatives ont été prises dans certaines localités à l'image de la région de Thiès (Diallo, 1992 ; Badji *et al.*, 2015), Kaffrine (Bakhoum *et al.*, 2012 ; Sanogo *et al.*, 2017) et Fatick (Sanogo *et al.*, 2019 ; Camara *et al.*, 2017). De nombreux projets font de la RNA leur pratique prioritaire dans le cadre de leurs activités de reverdissement (les Communautés Reverdisent le Sahel et Regreening Africa). Dans certains cas, les impacts agro-écologiques et socio-économiques de la RNA ont été documentés (Bakhoum *et al.*, 2012 ; Badji *et al.*, 2015 ; Binam *et al.*, 2015 ; Camara *et al.*, 2017 ; Sanogo *et al.*, 2019 ; Bayala *et al.*, 2020). Au regard

des efforts consentis par les projets et programmes dans le bassin arachidier, l'adoption de la RNA reste toujours faible. Le constat est identique dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne où, les efforts visant à promouvoir les pratiques de conservation des arbres n'ont pas été très fructueux pour parvenir à une adoption durable ou généralisée (Sanogo 2014 ; Sanou *et al.*, 2017). Il est donc important de mieux comprendre les décisions des agriculteurs d'adopter des technologies/pratiques agroforestières. C'est dans ce contexte que cette étude vise à apporter des informations sur les déterminants socio-économiques de l'adoption de la RNA par les communautés dans le bassin arachidier du Sénégal. Il s'agira spécifiquement de (i) déterminer la perception des producteurs sur les valeurs socio-économiques et environnementales des services écosystémiques de la pratique de la RNA et, (ii) d'identifier les facteurs explicatifs de la propension à adopter la RNA.

3.2. Matériel et méthodes

3.2.1. Méthodes d'échantillonnage

Dans cette étude, une enquête aléatoire stratifiée à deux degrés a été utilisée. Dix (10) des 55 villages de la commune ont été sélectionnés. Le choix des villages à enquêter a été basé sur des critères objectifs tels que le niveau d'adoption de la RNA, l'intervention des projets de vulgarisation de la RNA et l'engagement des populations. L'échantillonnage au second degré visait à retenir 5% du nombre total de ménages dans les villages retenus dans la commune. Sur la base de cet échantillonnage et des données sur les ménages agricoles collectées auprès des services de vulgarisation agricole, 197 agriculteurs ont été sélectionnés de manière aléatoire. Le tableau 1 indique le nombre de répondants par village.

Tableau 1: Nombre de répondants pour l'adoption de la Régénération Naturelle Assistée par village de la commune de Ndiognick dans le bassin arachidier au Sénégal

Villages	Echantillon de ménage (Tx de sondage = 5%)
Daga Birame	24
Grodji Amath Ndao	24
Keur Babou	13
Keur Sawelly	23
Ndiamacolang	24
Ndiayène Bagana	11
Ndimbou Korki	24
Ndiognick	26
Ségéré Bambara	20
Ségéré Secco	8
Total	197

Source : Etabli par les auteurs

3.2.2. Méthode de collecte des données

Des enquêtes socio-économiques, notamment l'entretien semi-directif auprès des chefs de ménage, ont été privilégiées. Ces enquêtes ont permis de collecter des informations sur les caractéristiques socio-économiques des ménages, la perception paysanne de la RNA ainsi que les valeurs socio-économiques et environnementales des services écosystémiques de la pratique de la RNA.

3.2.3. Profil des répondants

L'enquête a porté sur 197 chefs de ménage avec 95% d'hommes. Les répondants étaient principalement des polygames avec 52% d'adoptants et 77% de non-adoptants. Les quelques femmes (5%) interrogées étaient des veuves, adoptantes et non-adoptantes comprises. Le Wolof était le groupe ethnique dominant dans la zone avec 67% des ménages adoptants et 95% des ménages non adoptants. La population était principalement dans l'éducation informelle (coranique et alphabétisation) avec 84% d'adoptants contre 91% de ménages non adoptants. Le faible taux de répondants dans l'éducation formelle était relativement plus élevé chez les adoptants (9,8%) que chez les ménages non adoptants (6,2%). Pour les analphabètes, les adoptants étaient 4,1 fois plus nombreux que les non-adoptants.

3.2.4. Spécification du modèle probit

Le modèle probit a été utilisé pour analyser les déterminants socio-économiques de l'adoption de la RNA dans la commune de Ndiognick. Le modèle probit ou logit est généralement utilisé lorsque la variable à expliquer Y_i est binaire (à deux modalités). En pratique, les modèles probit et logit sont très similaires en termes d'ajustement statistique. Les différences ne sont notées que dans le cas de très grands échantillons, car le comportement des deux lois de probabilité ne diffère qu'aux extrêmes.

Dans ce travail, l'objectif était d'estimer la décision d'adopter ou non la RNA à Ndiognick. Le modèle probit est spécifié comme suit:

$$Y_i^* = \theta_0 + \theta_1 X_{1i} + \theta_2 X_{2i} \dots + \theta_K X_{Ki} + \varepsilon_i = X_i \theta + \varepsilon_i \quad (1)$$

Soit la variable binaire Y_i , tel que $Y_i=1$ lorsque l'individu i adopte la RNA, et $Y_i=0$ lorsque l'individu i n'adopte pas la RNA. En supposant que $Y_i^* \geq 0$ lorsque $Y_i=1$ et $Y_i^* < 0$ lorsque $Y_i=0$, le modèle Probit suggère que $\Pr(Y_i=1|X_i) = \Pr(Y_i^* \geq 0|X_i) = \Pr(X_i \theta + \varepsilon_i \geq 0) = \Pr(\varepsilon_i \geq -X_i \theta) = \Pr(\varepsilon_i \leq X_i \theta) \quad (2)$

L'explication des valeurs de Y grâce à X , revient à estimer la probabilité que $Y_i = 1$ sachant X_i ou $Y_i = 0$ sachant X_i , ce qui reviendrait au même.

Y_i^* , la variable à expliquer ;

le vecteur $X_i = (X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{Ki})$ correspond aux caractéristiques observables de l'individu i ;

le vecteur $\theta = (\theta_0, \theta_1, \dots, \theta_K)$ représente les coefficients de chacune de ces caractéristiques ;

ε_i , le terme d'erreur. Il suit une loi normale : $\varepsilon_i \sim N(0,1)$.

3.2.5. Variables utilisées

Les variables explicatives utilisées sont indiquées dans le tableau 2. La variable à expliquer est la probabilité d'adopter la RNA. Cette variable qualitative dichotomique prend la valeur 1 si le producteur a adopté la RNA et 0 dans le cas contraire. Pour des besoins d'estimation, certaines variables qualitatives ont été transformées (tableau 3). Cette transformation concerne quatre (4) variables explicatives : le statut matrimonial, l'ethnie, le niveau de scolarité et le mode d'acquisition des terres. Ainsi, nous avons retenu (i) la variable « marié » qui représente 96% de la modalité du statut matrimonial de l'échantillon ; (ii) la variable « Wolof » qui représente 76% des ethnies de l'échantillon ; (iii) la variable « alphabétisé » regroupant les exploitants agricoles scolarisés ou alphabétisés en arabe ou en français qui représente une proportion de 95% dans l'échantillon ; (iv) la variable « héritage » qui représente 83% des modes d'acquisition des terres mises en culture. Les transformations ainsi effectuées ont permis de dichotomiser les variables multinomiales. Pour ces variables catégorielles, l'agrégation des modalités a été faite selon la règle de Fotheringham et Wong (1991). Cette théorie montre que lorsque de petites unités sont agrégées pour former de grandes unités, les corrélations entre les variables des unités fusionnées sont souvent plus élevées que celles du niveau désagrégé. Dans cette étude, les tests de signification effectués avec les modalités de base de l'adoption de la RNA n'étaient pas significatifs, nous avons donc utilisé le modèle de transformation de Fotheringham et Wong (1991).

Tableau 2: Définition des variables utilisées dans le modèle probit pour l'adoption de la RNA dans la commune de Ndiognick dans le bassin arachidier au Sénégal

Variables	Description	Caractère	Justification	Effet escompté
Age	Âge de l'agriculteur ou du chef de famille	Continu	On suppose qu'un chef d'exploitation expérimenté est plus conscient des enjeux climatiques et environnementaux (Diaby et al., 2020).	+
STATMAT	Statut matrimoniale de l'agriculteur ou du chef de famille	Dummy 1 marié (monogame/polygame); 0 autres	Les personnes mariées cherchent à maximiser le profit en raison de leur niveau de responsabilité. Pour cela, ils sont ouverts à l'adoption de nouvelles technologies qui peuvent améliorer leur productivité. En revanche, ils sont plus exposés aux risques en raison de leurs responsabilités ; le résultat d'un échec serait pire que pour personnes seules (Diouf et al., 2019)	+/-
ETHN	Ethnie de l'agriculteur ou du chef de famille	Dummy 1 wolof; 0 autres	L'origine ethnique peut influencer négativement ou positivement l'accès aux innovations technologiques (Diouf et al., 2019)	+/-
SCOL	Niveau d'éducation de l'agriculteur	Dummy 1 alphabétisé, 0 non alphabétisé	L'éducation favorise la création d'une attitude mentale pour la l'acceptation de nouvelles pratiques liées à "l'information intensive" et la "gestion intensive" (Caswell et al., 2001)	+
TOTALW	Nombre de personnes actives	Continu	On présume que le nombre d'actifs agricoles est une variable importante qui affecte l'adoption des nouvelles technologies (Diaby et al., 2020).	+
SUPCHP	Superficie des champs	Continu	Les agriculteurs cherchent à maximiser leur profit, quelle que soit la taille de la surface qu'ils cultivent. Nous attendons d'eux qu'ils recherchent toutes les pratiques pertinentes pour améliorer leur production (Diouf et al., 2019)	+
MODEACQUISTERRE	Mode d'acquisition des terres	Dummy 1 "héritage" 0 "non héritage"	Le fait de posséder de parcelles par succession est un facteur qui influence le choix ou la prise de décision de l'exploitant sur le système de production de l'exploitation (Diaby et al., 2020).	+
SEMCERTIFIE	Accès aux semences certifiées	Dummy 1 "certifiée" 0 "Autres"	On présume que l'utilisation des semences certifiées dans les parcelles de culture est l'un des facteurs déterminants dans la productivité agricole et donc peut augmenter la probabilité d'adopter la RNA.	+
NBGROSRUM	Nombre de gros ruminants	Dummy	Le parage des animaux dans les champs de culture et les parcelles dénudées favorisent le développement de la RNA et en contrepartie la RNA permet de satisfaire les besoins fourragers des animaux (Diaby et al., 2020).	+
NBREQUIPAGRI	Nombre d'équipements agricoles	Dummy	On présume que le nombre d'équipements agricoles est une variable importante qui affecte l'adoption des nouvelles technologies.	+/-
ASSOCULTURALE	Pratique d'association culturale	Dummy 1 "association" 0 "pas association"	On présume que l'intégration de l'arbre dans l'espace culturale est l'un des facteurs déterminants dans la productivité agricole et donc peut augmenter la probabilité d'adopter la RNA.	+
ACA	Accès aux crédits agricoles	Dummy 1 "accès" 0 "pas accès"	L'accès au crédit est un facteur qui permet de renforcer les moyens de production des exploitants agricoles (Diaby et al., 2020).	+
AACST	Accès aux appuis et conseils des services techniques	Dummy 1 "accès" 0 "pas accès"	Le fait de collaborer avec les partenaires du développement agricole affecte la probabilité d'adopter la RNA (Diaby et al., 2020).	+
STATRES	statut du chef de ménage	Dummy 1 "Autochtone" 2 "Migrant"	Les résidents sont moins ouverts aux innovations et cette variable devrait donc avoir un effet négatif sur l'accès (Diouf et al., 2019).	-

Source: Etabli par les auteurs à partir de la littérature

Tableau 3: Logique d'agrégation de certaines variables dans le modèle probit pour l'adoption de la Régénération Naturelle Assistée dans la commune de Ndiognick dans le Bassin Arachidier au Sénégal.

Variables	Modalités de base		Nouvelles modalités	
		Proportion (%)		Proportion (%)
Statut matrimonial	1= Marié monogame	36.55	1= Marié (monogame ou polygame) 0 = Non marié (divorcé ou veuf/veuve)	96.45 3.55
	2= Marié polygame	59.90		
	3=Divorcé	1.52		
	4=Veuf/Veuve	2.03		
	5=Célibataire	0.00		
Ethnie	1=Wolof	76.65	1=Wolof 0 = Autres (Sérère, Peulh ou Mandingue)	76.65 23.35
	2=Sérère	1.52		
	3=Peulh	6.60		
	4=Mandingue	15.23		
	5=Autre	0.00		
Education	1=Analphabétisé	4.08	1= Alphabet (Alphabétisation ou Primaire ou Coranique ou Secondaire ou Supérieur) 0= Analphabet	95.94 4.06
	2=Alphabétisé	0.51		
	3=Primaire	5.10		
	4=Coranique	86.73		
	5=Secondaire	3.06		
	6=Supérieur	0.51		
Mode d'acquisition des terres	1=Héritage	89.13	1=Héritage 0=Autre (Don ou Prêt ou Gage ou Location)	89.13 10.87
	2= Don	3.26		
	3=Achat	0.00		
	4=Prêt	3.26		
	5=Gage	1.09		
	6=Location	3.26		
	7=Métayage	0.00		
	8=Autre	0.00		

3.3. Analyse des données

Ce travail s'appuie d'une part sur une méthode d'analyse descriptive de variable qualitative et quantitative pour caractériser la perception paysanne de la RNA. D'autre part, il s'appuie sur une méthode d'analyse économétrique de variable qualitative pour analyser la probabilité d'adopter cette technologie agroforestière. Pour l'analyse des déterminants de l'adoption de la RNA, le logiciel STATA a été utilisé. Au préalable, une analyse univariée utilisant le t-test a permis d'identifier les variables associées à l'adoption de la RNA avec une probabilité inférieure ou égale à 10%.

3.4. Résultats

3.4.1. Perception paysanne sur la densité de la RNA et des espèces conservées

La figure 4a montre que la majorité des adoptants (61%) conserve moins de 20 arbustes.ha⁻¹. Néanmoins, certains producteurs (21%) conservent entre 30 à 40 arbustes.ha⁻¹. Les espèces ligneuses fréquemment conservées en RNA dans les champs sont *Piliostigma reticulatum* (26,6% des adoptants), *Combretum glutinosum* (18,8% des adoptants), *Guiera senegalensis* (17,3% des adoptants), *Ziziphus mauritiana* (13,5% des adoptants) et *Faidherbia albida* (8,2% des adoptants) (Figure 4b).

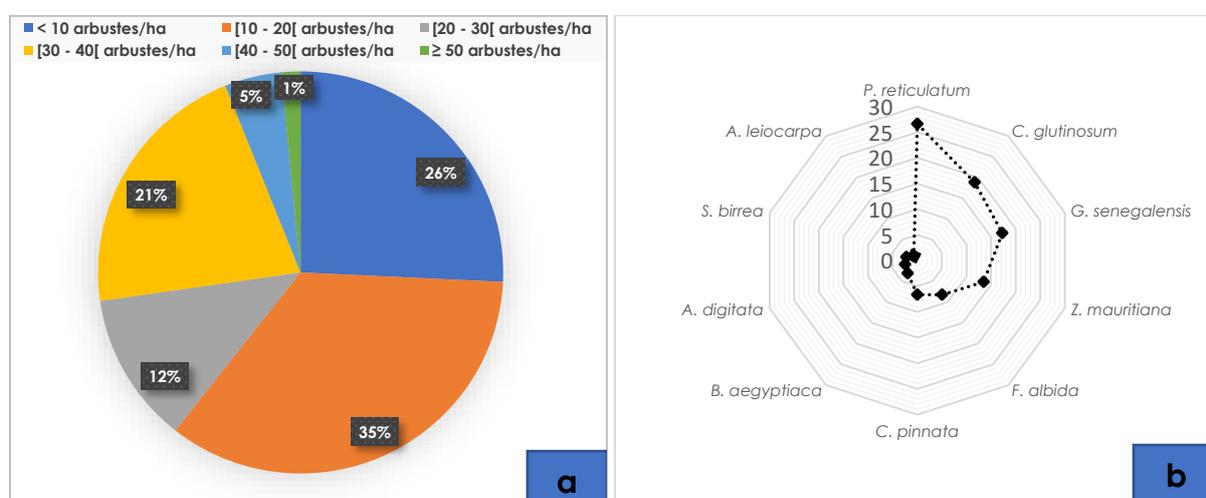


Figure 4: Densité de RNA dans les champs (a) et espèces conservées (b) en Régénération Naturelle Assistée dans la commune de Ndiognick dans le bassin arachidier au Sénégal

3.4.2. Catégorisation d'usage et raisons de conservation des espèces en RNA

Le tableau 4 montre les catégories d'usages/raisons de conservation des espèces en RNA. *Piliostigma reticulatum* présente les fréquences de citation les plus élevées en raison de sa capacité à fournir du fourrage (40,8%), du bois de service et de chauffe (36,0 et 33,6%), de sa croissance rapide (32,2%) et son potentiel de fertilisation (27,8%). Selon 50% des producteurs, *Ziziphus mauritiana* est l'espèce en RNA la plus utilisée dans l'alimentation humaine. Ces deux

espèces (*Piliostigma reticulatum* et *Ziziphus mauritiana*) contribuent à l'amélioration des revenus selon 33,3% et 37% des producteurs respectivement.

Tableau 4: Catégories d'usages/raisons de conservation des espèces en Régénération Naturelle Assistée dans la commune rurale de Ndiognick dans le bassin arachidier au Sénégal

Espèces	CR	FS	AR	AH	BS	BC	FR	Arev
<i>P. reticulatum</i>	32,2	27,8	28,5	0,0	36,0	33,6	40,8	33,3
<i>C. glutinosum</i>	17,6	18,5	18,6	0,0	18,9	24,6	10,0	3,7
<i>G. senegalensis</i>	16,1	16,5	14,0	0,0	25,2	19,4	11,7	3,7
<i>Z. mauritiana</i>	14,6	12,9	13,1	50,0	9,0	7,6	10,8	37,0
<i>F. albida</i>	8,5	10,1	10,0	0,0	2,7	5,7	14,2	0,0
<i>C. pinnata</i>	2,0	5,6	5,9	26,6	6,3	5,2	3,8	7,4
<i>B. aegyptiaca</i>	4,0	3,6	4,5	12,8	0,9	0,5	3,8	11,1
<i>A. digitata</i>	1,5	2,0	2,3	8,5	0,0	0,0	1,7	3,7
<i>S. birrea</i>	2,5	2,0	2,3	2,1	0,0	2,4	2,5	0,0
<i>A. leiocarpus</i>	1,0	0,8	0,9	0,0	0,9	0,9	0,8	0,0

Source : Calculs des auteurs à partir des données d'enquêtes, 2018

Légende : CR = Croissance Rapide, FS = Fertilisation des sols, AR = Amélioration des rendements, AH = Alimentation Humaine, BS = Bois de service, BC = Bois de Chauffage, FR = Fourrage, Arev = Amélioration des revenus

3.4.3. Durée et motivation de pratique de la RNA

Il ressort des résultats que la majorité des producteurs (87%) a commencé à pratiquer la RNA durant les quinze (15) dernières années (Figure 5a). Une proportion importante de nouveaux adoptants (23%) est notée ces cinq (05) dernières années (2013 - 2018). L'intervention de projets de promotion de la RNA a été à l'origine de son adoption chez 41% des producteurs et d'une initiative personnelle chez 24% des producteurs (Figure 5b).

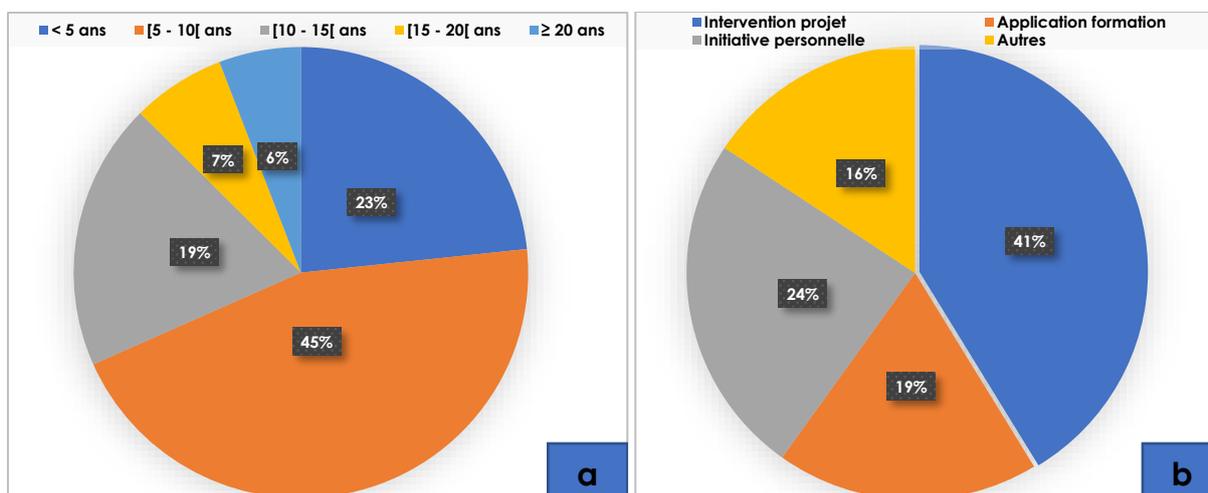


Figure 5: Durée de pratique de la Régénération Naturelle Assistée (a) et origines de sa pratique (b) dans la commune de Ndiognick dans le bassin arachidier au Sénégal

3.4.4. Avantages et contraintes de la RNA

Il ressort des résultats que la pratique de la RNA présente un certain nombre d'avantages (Figure 6a) et de contraintes (Figure 6b). Elle contribue entre autres à l'amélioration de la fertilité des sols (21% des répondants), à l'approvisionnement en bois (18% des répondants), à la

conservation de l'humidité des sols (17% des répondants), à l'approvisionnement en PFNL (14% des répondants) et à la diversification des espèces animales et végétales (10% des répondants). Toutefois, les producteurs ont noté un certain nombre de contraintes liées à la pratique de la RNA. Il s'agit principalement des coupes illicites (42% des répondants), de la divagation animale (29% des répondants), des gênes causées par les arbres à la traction animale (12% des répondants) ainsi que le code forestier qui ne permet aux agriculteurs d'utiliser des arbres sur leurs exploitations sans l'autorisation du Service des Eaux et forêts.

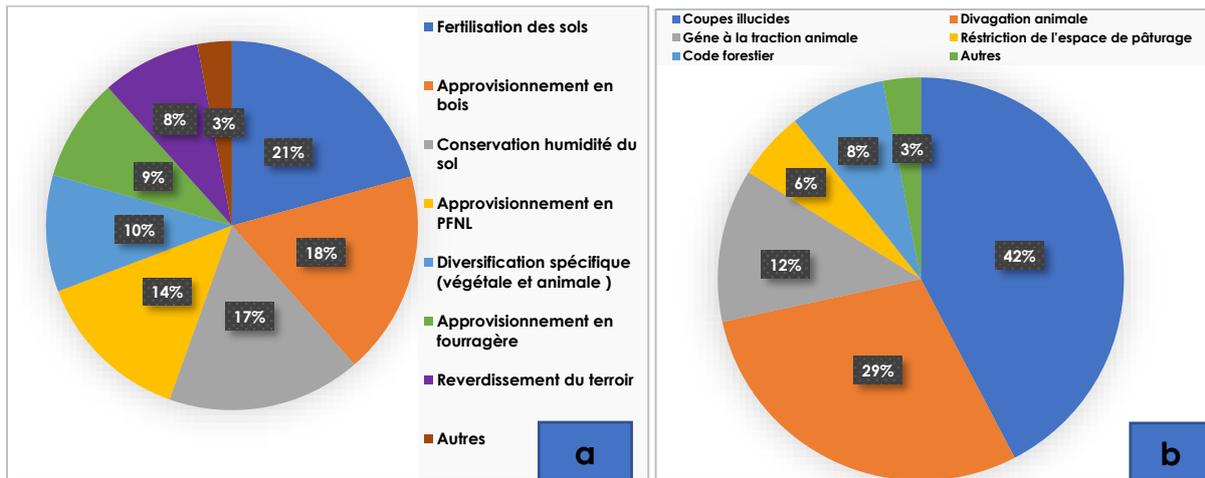


Figure 6: Avantages (a) et contraintes de la Régénération Naturelle Assistée (b) selon la perception paysanne de la commune de Ndiognick dans le bassin arachidier au Sénégal

3.4.5. Facteurs socio-économiques discriminatoires de l'adoption de la RNA

Le taux d'adoption observé dans l'échantillon est de 67,01% (Tableau 5). Les tests de différence sur les variables socio-économiques montrent des effets discriminants entre les adoptants de la RNA et les non adoptants. L'âge moyen des adoptants est de 50 ans chez les adoptants contre 52 ans pour les non-adoptants. Les wolofs représentent 67% des adoptants contre 95% chez les non-adoptants. Les adoptants de la RNA disposent en moyenne 08 ha de terres cultivables contre 06 ha pour les non-adoptants. Le mode d'acquisition des champs le plus courant est l'héritage aussi bien chez les adoptants (87%) que chez les non-adoptants (75%). La pratique de l'association culturale et l'utilisation de semences certifiées sont constatées respectivement chez 80% et 46% des adoptants contre 66% et 29% des non-adoptants. En plus, les adoptants disposent de plus d'équipements agricoles et de gros ruminants comparés aux non-adoptants. Il ressort également des résultats que 45% des adoptants ont accès aux crédits agricoles et 25% aux appuis et conseils des services techniques contre respectivement 25% et 15% des non-adoptants.

Tableau 5: Statistiques descriptives des variables utilisées dans le modèle pour l'adoption de la Régénération Naturelle Assistée dans la commune de Ndiognick dans le bassin arachidier au Sénégal

Variables	Echantillon		Groupe		
	Moyenne	Ecart-type	Adoptants RNA	Non Adoptants	Test de différence
Variables à expliquer					
Adoption RNA			67,01	32,99	
Variables explicatives					
Âge	50,51	11,38	49,57	52,43	- 2,85*
Statut matrimonial	0,96	0,01	0,96	0,96	0,00
Wolof	0,76	0,03	0,67	0,95	-0,28***
Alphabétisé	0,95	0,01	0,95	0,98	-0,03
Main-d'œuvre	9,36	0,32	9,41	9,26	0,15
Superficie	7,38	0,31	7,99	6,14	1,85***
Héritage	0,83	0,03	0,87	0,75	0,12**
Semence certifiée	0,41	0,03	0,46	0,29	0,17**
Nombre de gros ruminants	4,48	4,43	5,13	3,17	1,96**
Nombre d'équipements agricoles	37,04	0,78	38,56	33,94	4,62***
Association culturelle	0,76	0,03	0,80	0,66	0,14**
Crédit agricole	0,38	0,03	0,45	0,25	0,20***
Services techniques	0,24	0,03	0,28	0,15	0,12

Note : Les statistiques sont obtenues à l'échelle de l'exploitation agricole. Les étoiles dénotent les niveaux de significativité conventionnels des tests de comparaison de moyennes. La significativité de 1% est représentée par ***, 5% par ** et 10% par *.

Source : Résultats de nos enquêtes, 2018.

3.4.6. Estimations économétriques des déterminants de l'adoption de la RNA

Les résultats des tests de validité montrent que le modèle probit, utilisé dans ce travail, est globalement significatif (probabilité de LR $\chi^2 = 0$). De même, la probabilité associée au test de Hosmer-Lemeshow (0,64) est supérieure à 10% ce qui témoigne de la bonne qualité des ajustements du modèle probit (Tableau 6). En outre, le pourcentage de prédictions correctes avec le modèle probit est égal à 75,13% (bon classement). Par ailleurs, les estimations des coefficients montrent que les variables âge, statut matrimonial, alphabétisation et accès aux services techniques ne sont pas significatives. En revanche, l'appartenance ethnique et le nombre d'équipements agricoles possédés diminuent la probabilité d'adopter la RNA. Cependant, la main-d'œuvre employée, la superficie cultivée, l'héritage des terres cultivées, l'emploi de semences certifiées, le nombre de gros ruminants possédés, la pratique d'association culturale et l'accès au crédit agricole augmentent la propension d'adopter la RNA.

Tableau 6: Résultats des estimations par le modèle probit de la probabilité d'adoption de la régénération naturelle assistée dans la commune de Ndiognick dans le bassin arachidier au Sénégal

Variables	Coefficient (Ecart-type)	Effets marginaux (dy/dx) (Ecart-type)
Âge	-0,005 (0,10)	-0,002 (0,00)
Statut matrimonial	-0,533 (0,60)	-0,144 (0,13)
Wolof	-1,069*** (0,36)	-0,278*** (0,07)
Alphabétisation	-0,394 (0,84)	-0,113 (0,20)
Main-d'œuvre	0,101* (0,05)	0,033* (0,02)
Superficie	0,151** (0,06)	0,050** (0,20)
Héritage	0,525* (0,28)	0,186* (0,11)
Semence certifiée	0,447** (0,22)	0,146** (0,07)
Nombre de gros ruminants	0,132** (0,06)	0,043** (0,02)
Nombre d'équipements agricoles	-0,087* (0,05)	-0,028* (0,01)
Association culturelle	0,544** (0,25)	0,191** (0,09)
Crédit agricole	0,669*** (0,23)	0,201*** (0,07)
Services techniques	0,326*** (0,29)	0,101 (0,08)
Constante	1,828 (1,31)	
N		197
Pseudo R ²		0,2116
LR chi ² (13)		52,86***

Notes : La variable expliquée est la propension d'adoption de la RNA (variable dummy). Les valeurs entre parenthèses représentent les écarts-types. La significativité de 1% est représentée par ***, 5% par ** et 10% par *.

Source : Résultats de nos enquêtes, 2018.

3.5. Discussion

La présente étude montre que les agriculteurs ont une perception positive de la RNA. Elle leur procure des biens et services notamment les services d'approvisionnement (bois, PFNL et fourrage), les services de régulation (fertilisation et conservation de l'humidité des sols) et de soutien (diversification des espèces animales et végétales, reverdissement du terroir). La RNA a une importance énorme dans les moyens de subsistance des populations rurales, notamment en fournissant du bois de chauffage, des aliments/fruits, des matériaux de construction et des équipements agricoles (Kibru et *al.*, 2020). Cependant, la densité de la RNA reste encore faible dans les champs des producteurs. La question de la densité de RNA au Sahel a été abordée par certains auteurs. Sanogo et *al.*, (2019) ont montré que la densité de RNA dans les champs des adoptants doit être comprise entre 35 - 65 arbres.ha⁻¹. L'étude de Binam et *al.*, (2015) menée au Burkina Faso, Mali, Niger et au Sénégal a montré qu'un adoptant actif de la RNA possède au moins une densité de 70 arbres.ha⁻¹ de différentes tailles et équitablement répartis dans les champs. Cette faible densité de RNA dans les champs des producteurs peut s'expliquer par la perception paysanne selon laquelle la pratique de la RNA est sujette à un certain nombre de contraintes dont les coupes illicites, la culture attelée, la divagation animale, les gênes causées à la traction animale ainsi que le code forestier. Sanogo et *al.*, (2019) ont identifié la coupe illicite des arbres par les transhumants pour le fourrage ou par les populations pour le bois de chauffe et de service ainsi que la divagation animale comme principales contraintes à la diffusion de la RNA. Les coupes frauduleuses constituent un facteur important de dégradation qui menace la régénération d'espèces de grande valeur économique (Larwanou et *al.*, 2010 ; Larwanou et Saadou, 2012). La difficulté d'utilisation de la culture attelée a été citée par Camara et *al.*, (2017) comme une contrainte majeure à l'adoption de la RNA. Selon Kibru et *al.*, (2020), les principaux problèmes mentionnés par les adoptants de la RNA au Tigray/Éthiopie sont l'effet d'ombrage des arbres sur les cultures, les oiseaux et la concurrence pour l'espace, l'eau ainsi que les nutriments.

Par ailleurs, cette faible densité de RNA peut également s'expliquer d'une part, par le manque de souche dans les champs et, d'autre part, par le mode de gestion des arbustes appliqué dans les champs par les paysans du bassin arachidier. Ce dernier consiste à couper les arbustes présents dans les champs lors du défrichage en fin de saison sèche (Mai - Juin) et à brûler une partie ou la totalité de la biomasse. Des études ont montré que, dans la région de Kaffrine, la densité moyenne globale des arbres est faible (Bakhoum et *al.*, 2013 ; Sanogo et *al.*, 2019). Selon Lohbeck et *al.*, (2020), l'intensité de l'utilisation des terres (pâturage et pratiques

agricoles) et la limitation de la dissémination (disponibilité des sources de graines) sont les facteurs le plus importants influençant la régénération.

Les espèces dominantes en RNA dans la zone d'étude sont *P. reticulatum*, *C. glutinosum*, *G. senegalensis*, *Z. mauritiana* et *F. albida*. Ce potentiel régénératif de ces espèces s'explique par leur adaptation aux conditions climatiques et au mode de gestion des arbustes appliqué dans les champs par les paysans du bassin arachidier. Le potentiel de régénération de ces espèces peut s'expliquer par leur adaptation aux conditions climatiques et par le mode de gestion des arbustes appliqué dans les champs par les agriculteurs (Bakhom et al., 2012 ; Seghieri et al., 2005). La majorité des espèces est conservée en raison de leur croissance rapide, leur rôle fertilisant, leur contribution à l'approvisionnement en bois de service, de chauffe et fourrage (Binam et al., 2015 ; Bayala et al., 2020). Seules quelques espèces contribuent à l'alimentation humaine ainsi qu'à l'amélioration des revenus. Ces résultats montrent l'intérêt d'enrichir la RNA avec des fruitiers forestiers améliorés afin de créer des chaînes de valeur à partir des productions.

Dans le sud bassin arachidier du Sénégal, la probabilité d'adopter la RNA diminue avec l'appartenance à l'ethnie « Wolof ». Ce résultat pourrait s'expliquer par le mode de gestion du parc par les paysans de cette ethnie qui ont un système de culture extensif. En effet, les «Wolof» ont une propension affirmée à défricher de nouveaux espaces et à surexploiter les ressources contrairement aux autres ethnies de la zone (Bambara, Sérère et Peulh) qui semblent plus soucieux du maintien de la fertilité des sols à travers des systèmes intensifs de mise en valeur des terres. Sall (2015) relève que les Wolofs, politiquement très structurés et socialement hiérarchisés, ne présentent pas une grande tradition agraire contrairement aux Sérères qui ont la caractéristique d'être une société véritablement paysanne ayant recours à des techniques agricoles très perfectionnées. D'autres études qualifient l'ethnie «Wolof» comme des défricheurs obstinés, réfractaires aux systèmes intensifs, dépourvus de "conscience environnementale" (Sidibé, 2003). Selon cet auteur, les paysans «Wolof» mettent l'accent sur l'extension des superficies avec pour logique d'augmenter les rendements avec moins d'investissement. Sidibé (2005) a signalé que les paysans «Wolof» ont joué un rôle prépondérant dans l'expansion de la culture de l'arachide qui est à l'origine de la dégradation des parcs et des terres constatées dans le bassin arachidier du Sénégal. Par transmission intergénérationnelle, cette pratique a continué à être perpétuée par les paysans «Wolof» comme le montre la réplique des systèmes culturels du bassin arachidier dans la zone de Pata de la région naturelle de la Casamance au Sénégal (Sidibé 2002 ; Touré et al., 2019).

Le mode d'obtention de la terre influe positivement la probabilité d'adoption de la RNA dans le sud bassin arachidier du Sénégal. Au fait, l'acquisition des champs par héritage favorise

l'adoption de la RNA du fait qu'elle confère un droit de propriété permettant la valorisation de la terre sans risque d'en être désapproprié contrairement à l'emprunt, la location, le gage et le métayage. Ces résultats corroborent ceux de Sanogo et *al.*, (2004), Lawin et Tamini (2018) et Akrofi-Atitianti et *al.*, (2018) qui ont montré que le droit de propriété de la terre favorise l'adoption des pratiques agroforestières.

Ce constat est d'autant plus fondé que dans la zone d'étude, la probabilité d'adoption de la RNA augmente lorsque l'exploitant agricole utilise un (01) hectare de terre supplémentaire. Cela se justifie par le fait qu'au Sénégal, avec la loi sur le domaine national, la mise en valeur de la terre à travers la plantation /conservation et entretien des arbres permet de sécuriser le foncier afin de s'en approprier durablement. Selon Sanogo et *al.*, (2004), l'une des raisons d'adoption de l'agroforesterie par les paysans du bassin arachidier du Sénégal est le fait qu'elle constitue un moyen d'accès à la propriété de la terre.

Il ressort aussi que dans la zone d'étude, l'utilisation des bonnes pratiques culturales favorise l'adoption de la RNA. Ceci peut s'expliquer par le fait que généralement les utilisateurs des bonnes pratiques culturales sont des innovateurs qui ont accès à l'appui externe en termes de renforcement de capacités techniques. Ces "leaders", étant toujours recherchés par les intervenants externes, fait qu'ils sont toujours en contact des innovations. Selon Akrofi-Atitianti et *al.*, (2018), l'accès des producteurs aux services de vulgarisation a un effet positif significatif sur l'adoption de pratiques innovantes. Aussi, Levasseur et *al.*, (2009) ont montré dans le cadre de leur étude que l'accès à l'information est un facteur souvent déterminant dans l'utilisation d'une nouvelle technique.

Les résultats montrent également que la probabilité d'adoption de la RNA augmente avec l'accès des producteurs aux crédits agricoles. La RNA est un investissement dont les bénéfices (bois, fruits, fertilisation du sol) sont perceptibles à moyen et long terme par conséquent, disposer d'une source de financement peut être une motivation pour l'adoption. Des études ont montré que l'accès au crédit est un facteur déterminant dans l'adoption de nouvelles technologies agricoles (Jara-Rojas et *al.*, 2010 ; Sale et *al.*, 2014 ; Binam et *al.*, 2017 ; Fabrice et Yann, 2018 ; Mwangi et *al.*, 2018). Selon Louppe et Yossi (2000), les technologies proposées par la recherche et le développement ne sont adoptées que si les paysans ont les moyens nécessaires ou y trouvent un intérêt économique. Une analyse de travaux antérieurs faite par Sanogo (2014) sur l'adoption des technologies agroforestières a montré que les facteurs économiques, organisationnels, politiques et institutionnels limitent plus l'adoption des technologies que les facteurs techniques.

3.6. Conclusion

Dans les zones arides du Sahel, la dégradation des terres est l'une des plus grandes menaces qui pèse sur les moyens de subsistance traditionnels de millions de personnes. Dans cette zone, la sécheresse, l'insécurité alimentaire, la perte de terres productives et fertiles menace les moyens d'existence des communautés agricoles et pastorales. La RNA fait partie des stratégies endogènes utilisées par les communautés pour faire face à ces contraintes. Les résultats montrent que l'appartenance ethnique, l'accès aux appuis externes, l'ouverture aux innovations technologiques, le mode d'acquisition et la superficie des terres cultivées ainsi que l'importance des facteurs de production sont déterminants dans l'adoption de la RNA. Cette pratique présente un impact positif sur les services écosystémiques. Elle fait face à des contraintes notamment les coupes illicites, la divagation animale, les gênes causées par les arbres à la traction animale ainsi que le code forestier. La densité des arbustes conservés en RNA par la majorité des adoptants reste faible par rapport à la littérature existante. Elle pourrait être encore améliorée, mais cela devrait suivre les recherches sur la densité optimale d'arbustes à conserver dans un système arbres-cultures. Les programmes de reverdissement dans le bassin arachidier devraient mettre un accent particulier sur la sensibilisation et le renforcement des capacités des communautés, en particulier le groupe ethnique Wolof, sur les services écosystémiques résultant de la conservation des arbres dans les champs par le biais de la RNA. Afin de minimiser l'impact de la divagation animale sur la RNA, il urge également de développer des stratégies locales de gestion durable des pâturages qui rassemblent les éleveurs et les agriculteurs.

CHAPITRE 4 : DENSITE OPTIMALE D'ARBUSTES A CONSERVER DANS UN AGRO-SYSTEME DU SUD BASSIN ARACHIDIER AU SENEGAL

Ce chapitre a été soumis pour publication à la revue Bois et Forêts des Tropiques
Camara B.A., Sanogo D., Nguer B., Yade M.D., Badji M., Diop M., Ba H.S., Ndiaye O. Densité
optimale d'arbustes à conserver dans un agro-système du sud bassin arachidier du Sénégal.
Sous presse.

Résumé

La régénération naturelle assistée est un moyen pour réhabiliter des parcs agroforestiers dégradés. Cette étude vise à déterminer la densité optimale d'arbustes à conserver dans les champs de mil au sud du bassin arachidier du Sénégal. Nous avons installé un dispositif en blocs en milieu contrôlé et en milieu paysan. Un bloc était constitué de parcelles de 400 m² avec 3 niveaux de densités (0, 50 et 100 arbustes.ha⁻¹) de *Combretum glutinosum* en milieu contrôlé et 4 niveaux de densités (0, 50, 75 et 100 arbustes.ha⁻¹) de *Combretum glutinosum* et de *Piliostigma reticulatum* en milieu paysan. Nous avons mesuré le rendement du mil et prélevé des échantillons de sol pour analyser leurs propriétés (C, N, ...). L'effet de la densité des arbustes sur le rendement des cultures dépend de leur taille. Cet effet est positif ou neutre pour des arbustes majoritairement de *C. glutinosum* de 1,3 à 3,4 m de hauteur et 0,6 à 2,6 m de diamètre de houppier ; neutre ou négatif pour des arbustes de *C. glutinosum* de 5,3 m de hauteur et 4,1 m de diamètre de houppier ; négatif pour des arbustes de *P. reticulatum* de 5,8 m de hauteur et 7 m de diamètre de houppier. Nous n'avons pas trouvé d'effet significatif de la densité des arbustes sur les teneurs en C organique et N total du sol quelle que soit l'espèce. Au cours des cinq premières années d'adoption de la régénération naturelle assistée, nous recommandons de conserver jusqu'à 100 arbustes de *C. glutinosum* ou de *P. reticulatum* /ha sans impacter négativement le rendement des cultures. Au-delà, nous recommandons, soit de réduire le houppier des arbustes, soit de réduire leur densité jusqu'à 50 à 40 arbustes.ha⁻¹ au fur et à mesure que leur taille augmente.

Mots-clés : Agroécologie, Parc agroforestier, Régénération Naturelle Assistée, Reverdissement

4.1. Introduction

Au Sahel, les parcs agroforestiers sont des systèmes intégrés d'utilisation des terres qui associent l'arbre aux cultures et à l'élevage. Des arbres sont choisis et épargnés lors des défrichements pour la mise en culture (Boffa, 2000; Diop et *al.*, 2005). En général, l'espèce dominante donne son nom au parc ; c'est le cas des parcs à *Faidherbia albida* (Delile) A. Chev, *Vitellaria paradoxa* C.F.Gaertn et *Parkia biglobosa* (Jacq.) R.Br.ex G. Don etc. Les parcs agroforestiers constituent des sources d'approvisionnement en produits forestiers ligneux et non ligneux. Ils constituent une source de revenus supplémentaires pour les communautés avec un potentiel économique considérable (Diatta et *al.*, 2020 ; Camara et *al.*, 2017). Les parcs agroforestiers contribuent à la préservation des sols et de leur fertilité, la régulation des bio-agresseurs et du cycle des nutriments (Seghieri, 2017).

Malgré les services écosystémiques rendus, les parcs agroforestiers sont fortement dégradés ou en voie de disparition dans certaines zones à cause des coupes pour le bois, le fourrage, les prélèvements médicinaux, les feux de brousse et l'avancée du front pionnier agricole (Lykke, 2000). Le bassin arachidier du Sénégal n'est pas en reste de cette dégradation qui s'est traduite par la régression de la population des espèces originelles des parcs (Touré, 2015; Diatta et *al.*, 2016; Tappan et *al.*, 2020). Parallèlement, on assiste à une augmentation de la densité de *Guiera senegalensis* J.F.Gmel et *Combretum glutinosum* Perr.ex DC (*Combretaceae*) et de *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst (*Caesalpinaceae*) grâce à leur résistance et leur capacité rapide de régénération malgré les coupes fréquentes (Bakhoum et *al.*, 2013; Charahabil et *al.*, 2013).

La régénération naturelle assistée (RNA) de ces espèces résilientes constitue une alternative viable de réhabilitation du couvert végétal des parcs au Sahel et dans le bassin arachidier du Sénégal (Weston et *al.*, 2015; Chomba et *al.*, 2020; Sanogo et *al.*, 2020; Camara et *al.*, 2021). La RNA repose sur la protection et l'entretien de rejets et/ou de plantules d'espèces déjà en place et ne nécessite aucune pépinière ou plantation (Sanogo et *al.*, 2019a). En facilitant la régénération d'espèces à usages multiples, la RNA représente ainsi un moyen d'améliorer la subsistance des populations rurales. L'adoption de la RNA contribue également à atténuer le changement climatique tout en préservant la biodiversité à travers la protection et l'entretien d'arbustes de différentes espèces sélectionnées par les paysans dans les champs (Kibru et *al.*, 2020). Toutefois, la RNA de *G. senegalensis*, *C. glutinosum* et *P. reticulatum* reste faible dans le bassin arachidier du Sénégal pour plusieurs raisons : réduction de l'espace cultivable, gêne causée à la traction animale, absence de valeur d'usage dans l'alimentation humaine de ces espèces (Sanogo et *al.*, 2019a; Camara et *al.*, 2021). Pourtant, plusieurs études ont démontré les effets positifs de ces espèces sur la fertilité, les propriétés physiques, le stockage du carbone du

sol, la croissance et le rendement des cultures (Dossa et al., 2012; Abasse et al., 2013; Bright et al., 2017; Camara et al., 2017; Bogie et al., 2018; Chapuis-Lardy et al., 2019; Bayala et al., 2022). Une augmentation de 25 à 46% du carbone organique du sol, en particulier dans les sols sablonneux a été constatée grâce à la régénération naturelle assistée des parcs à travers le Sahel (Bayala et al., 2018 ; Bayala et al., 2019). En milieu paysan, la densité des souches de *G. senegalensis*, *P. reticulatum* et *C. glutinosum* était respectivement de 240, 185 et 593 souches/ha (Lufafa et al., 2008 ; Bakhoun, 2012). Ces densités paraissent élevées puisque Binam et al. (2017) ont montré que l'impact des arbres sur le rendement des cultures devenait négatif au-delà de 40 arbres.ha⁻¹. Peu de travaux ont étudié la densité d'arbustes de *G. senegalensis*, *P. reticulatum* et *C. glutinosum* à conserver dans les champs pour ne pas engendrer des effets dépressifs sur le rendement des cultures.

L'objectif de cette étude est de déterminer la densité optimale d'arbustes à conserver dans les champs pour maximiser le rendement des cultures. Nous avons testé les 3 hypothèses suivantes :

- (i) une densité de RNA supérieure à 40 arbustes/ha conduit à partir d'une certaine taille à un effet dépressif sur le rendement des cultures;
- (ii) plus les arbustes de *C. glutinosum* et *P. reticulatum* conservés en RNA sont grands (hauteur, diamètre du houppier), plus ils influencent négativement les cultures;
- (iii) les arbustes de RNA conduisent à une augmentation du C organique du sol quelle que soit l'espèce (*C. glutinosum*, *P. reticulatum*), et à une augmentation de l'azote total seulement pour *P. reticulatum* (*Caesalpinaceae*).

4.2. Matériel et méthodes

4.2.1. Dispositif expérimental

L'étude a été conduite en milieu contrôlé et en milieu paysan. En milieu contrôlé, un dispositif en bloc complet randomisé avec trois répétitions a été mis en place dans un site permanent d'expérimentation agroforestière de 0,6 ha qui a fait l'objet d'un nouveau défrichement en 2016 à Daga Birame (Figure 7) et suivi pendant cinq ans (2016-2020). Chaque bloc est constitué de trois parcelles de 20 m x 20 m (400 m²) avec trois niveaux de densité (0, 50 et 100 arbustes.ha⁻¹) soit respectivement 0, 2 et 4 arbustes/400 m². Les densités ont été choisies d'après la perception des paysans (Camara et al., 2021) et nos observations sur le terrain. La 1^{ère} année (situation initiale), avant le défrichement, les rejets avaient une hauteur de 1,3 ± 0,1 m, un diamètre à 30 cm du sol de 2,5 ± 0,2 cm et un diamètre du houppier de 0,6 ± 0,1 m avec une densité moyenne de 758 ± 189 souches.ha⁻¹ et une dominance de *C. glutinosum* (81,5% des

souches). La phytomasse aérienne issue de la coupe des rejets de chaque parcelle de 400 m² a été enfouie de manière homogène au sein de la parcelle. La quantité de matière sèche incorporée a été de 334 ± 66 kg.ha⁻¹, 317 ± 21 kg.ha⁻¹ et 179 ± 59 kg.ha⁻¹, respectivement, pour les parcelles témoins, de 50 arbustes.ha⁻¹ et de 100 arbustes.ha⁻¹. La 5^{ème} année (situation finale), les rejets avaient une hauteur de 3,4 ± 0,2 m et un diamètre du houppier de 2,6 ± 0,3 m (Tableau 7).

Tableau 7: Caractéristiques dendrométriques des arbres en milieu contrôlé à Ndiognick/Kaffrine

	Hauteur (m)	Diamètre à 30 cm (cm)	Diamètre à 1,3 m (cm)	Houppier (m)
Année 1	1,3 ± 0,1	2,5 ± 0,2	-----	0,6 ± 0,1
Année 5	3,4 ± 0,2	-----	4,7 ± 0,4	2,6 ± 0,3

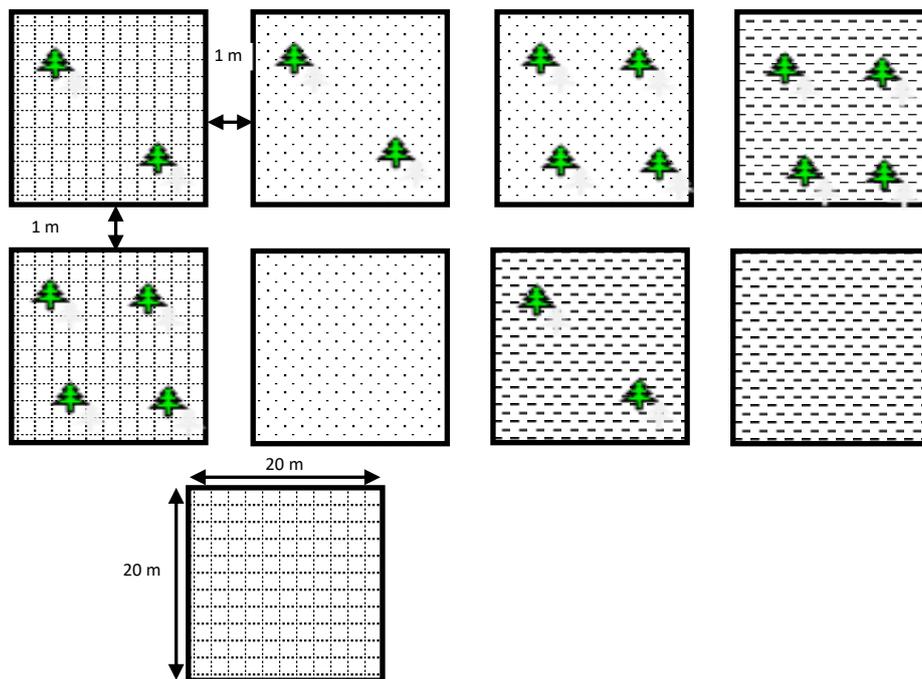


Figure 7: Schéma du dispositif en milieu contrôlé à Ndiognick/ Sénégal

En milieu paysan, un dispositif en blocs dispersés dans le champ selon la densité des arbustes avec trois répétitions a été installé en 2020 dans un parc à *C. glutinosum* dans le terroir de Touba Niane et dans un parc à *P. reticulatum* dans le terroir de Ndimb Korky (Figure 8). Chaque bloc est constitué de quatre parcelles élémentaires de 400 m² avec quatre niveaux de densité (0, 50, 75 et 100 arbustes.ha⁻¹). Ces niveaux de densité correspondent respectivement à 0, 2, 3 et 4 arbustes/400 m². Les arbustes des parcs à *C. glutinosum* (figure 9a) et à *P. reticulatum* (figure 9b) avaient respectivement une hauteur de 5,3 ± 0,1 m et 5,8 ± 0,2 m et un diamètre du houppier de 4,1 ± 0,2 m et 7,0 ± 0,2 m (Tableau 8). Finalement, la taille (hauteur, diamètre du houppier) des arbustes est de plus en plus grande quand on passe du milieu contrôlé à 1 an au milieu contrôlé à 5 ans, puis au parc à *C. glutinosum* et au parc à *P. reticulatum* en milieu paysan

(Tableau 7 et 8). Le mil a été semé en début d'hivernage à l'aide de semoirs à traction animale. L'espace entre les poquets était d'environ 90 cm x 50 cm. Aucun traitement phytosanitaire n'a été effectué. Le démariage du mil à trois plantules par poquet a été effectué 15 jours après le semis, puis suivi de l'application d'un engrais minéral (NPK 15-10-10) autour des poquets.

Tableau 8: Caractéristiques dendrométriques des arbres en milieu réel dans les parcs à *C. glutinosum* et *P. reticulatum* de 13 ans à Ndiognick/Sénégal

Parcs	Hauteur (m)	Diamètre à 1,3 m (cm)	Houppier (m)
<i>C. glutinosum</i>	5,3 ± 0,1	15,9 ± 1,01	4,1 ± 0,2
<i>P. reticulatum</i>	5,8 ± 0,2	21,4 ± 1,02	7,0 ± 0,2

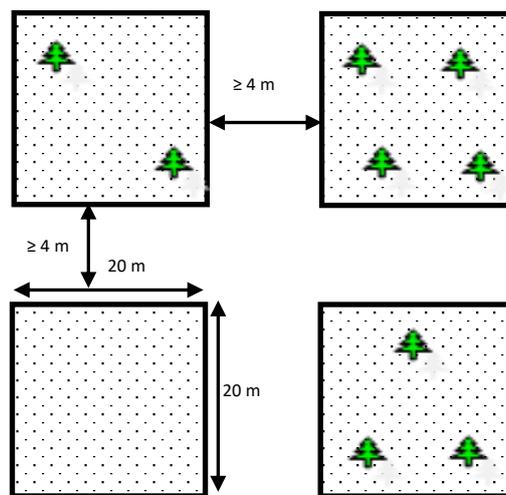


Figure 8: Schéma d'un bloc expérimental dans un champ paysan en milieu réel dans les parcs à *C. glutinosum* et *P. reticulatum* de 13 ans à Ndiognick/Sénégal



Figure 9: Pieds de *Piliostigma reticulatum* (a) et *Combretum glutinosum* (b) en association avec le mil dans la commune de Ndiognick/Kaffrine

4.2.2. Rendement et ses composantes

En vue de la récolte, nous avons divisé chaque parcelle expérimentale de 20 m x 20 m (400 m²) en quatre sous parcelles de 10 m x 10 m (100 m²). Chacune de ces sous parcelles a été entièrement récoltée (Figure 10 a) en mesurant/comptant les paramètres suivants (i) la densité à la récolte, (ii) le nombre d'épis fertiles et infertiles (Figure 10 b), (iii) le poids des épis fertiles (Figure 10 c) et (iv) le poids de la biomasse aérienne sèche (tiges et feuilles). La densité à la récolte a été obtenue en dénombrant le nombre de poquet à la période (octobre) de récolte dans le carré de rendement. Le nombre d'épis fertiles et infertiles a été évalué en dénombrant le nombre d'épis ayant des grains et des épis sans grains à la période de récolte dans le carré de rendement. Les épis fertiles de chaque carré de rendement ont été pesés. Pour évaluer le rendement en grain de mil, un échantillon constitué de 1/3 du nombre total des épis fertiles de chaque sous parcelle a été prélevé (Figure 10 d), égrainé et les grains obtenus ont été pesés. Ce protocole a été appliqué sur l'ensemble des parcelles. Le poids de la biomasse aérienne sèche (tiges et feuilles) a été obtenu en pesant la biomasse aérienne dans le carré de rendement. Un échantillon de cette biomasse fraîche (3,6 kg) a été prélevé et séché à l'étuve à 65°C pendant 72 heures pour en déterminer le poids de la matière sèche (1,24 kg). La formule suivante a permis de convertir la masse humide en masse sèche.

$$Mat = \left(\frac{Ma}{Mh} \right) * Mht$$

Où : Mat = Masse sèche totale ; Ma = Masse sèche de l'échantillon ; Mh = Masse fraîche de l'échantillon ; Mht = Masse fraîche totale.





Figure 10: Récolte des parcelles (a), comptage des épis fertiles (b), prélèvement des échantillons (c) et pesage des épis (d)

4.2.3. Prélèvement de sol

Des échantillons composites de sol ont été prélevés au début (2016) et en fin d'expérimentation (2020) dans le dispositif en milieu contrôlé suivant la méthode des diagonales sur cinq points dans l'ensemble des parcelles de 400 m² à 0 - 30 cm correspondant à la couche arable du sol explorée par l'essentiel du système racinaire des cultures annuelles. C'est le cas du mil dont 81% de la masse racinaire totale se trouvent à cette profondeur (Chopart et Nicou, 1971 cités par Badiane 1993). Au total, trois échantillons ont été analysés par traitement aussi bien au début qu'en fin d'expérimentation (Figure 11). Des prélèvements similaires ont également été faites en milieu paysan dans le parc à *Piliostigma reticulatum*. Les analyses chimiques ont concerné le carbone organique (C), l'azote total (N), le phosphore assimilable (Pass), la conductivité électrique (CE) et le potentiel hydrogène (pH). Le dosage du carbone a été fait par la méthode de Black & Wakley modifiée, de l'azote total selon la méthode de Kjeldhal (1883) et du phosphore assimilable selon la méthode P Olsen modifié selon Dabin (1967). La conductivité électrique a été déterminée à l'aide d'un conductimètre à mesure directe. Le pH eau du sol a été déterminé électroniquement sur un pH-mètre à lecture directe. Les caractéristiques chimiques ont été déterminées au Laboratoire d'Analyse de Sol /Plante du Centre de Recherches Agronomiques (CRA) de Saint-Louis.



Figure 11: Prélèvement d'échantillons de sol dans le dispositif en milieu contrôlé à Ndiognick/ Sénégal

4.3. Analyse des données

Les paramètres de rendement ont fait l'objet d'une analyse de variance à un facteur (densité) avec le « General Linear Model » à l'aide du logiciel Minitab 17. Le test de Newman-Keuls (SNK) a été utilisé pour comparer les moyennes des différents traitements au seuil de confiance fixé à 5%. Le test de Kruskal-Wallis a été utilisé pour comparer les moyennes des paramètres chimiques du sol pour les différents traitements, comme le test de Shapiro a montré que les données ne suivaient pas une loi normale. Des corrélations (Test de Pearson) ont été calculées entre les paramètres dendrométriques des arbustes (hauteur, diamètre à 1,30 cm du sol, diamètre à 30 cm du sol, diamètre du houppier) et les rendements du mil en grains et en biomasse. Lors des 3^{ème} et 4^{ème} années d'expérimentation (2018 et 2019), le rendement des cultures n'ont pas pu être estimés à cause d'attaques d'insectes et d'intrusion du bétail dans le dispositif en milieu contrôlé.

4.4. Résultats

4.4.1. Caractéristiques chimiques du sol

En milieu contrôlé, nous n'avons pas trouvé d'effet significatif du facteur « densité des arbustes » sur les valeurs de C, N, pH, Pass et CE en 2016 et/ou en 2020 (Tableau 9). De même, en milieu paysan dans le parc à *P. reticulatum*, nous n'avons pas trouvé d'effet significatif du facteur « densité des arbustes » sur les valeurs de C, N, pH et Pass (Tableau 10).

Tableau 9: Caractéristiques chimiques du sol en fonction de la densité d'arbustes en milieu contrôlé à Ndiognick/kaffrine en 2016 (situation de référence) et en 2020, 5 ans après.

Traitements	C organique (%)		N total (%)		pH	Pass (ppm)	CE ($\mu\text{s.cm}^{-1}$)
	2016	2020	2016	2020			
Témoin	0,47 \pm 0,04	0,44 \pm 0,03	0,045 \pm 0,004	0,054 \pm 0,004	5,74 \pm 0,22	2,42 \pm 0,28	45,4 \pm 17,5
50 arbustes.ha ⁻¹	0,52 \pm 0,02	0,57 \pm 0,05	0,057 \pm 0,002	0,053 \pm 0,005	6,18 \pm 0,11	1,98 \pm 0,19	20,3 \pm 1,7
100 arbustes.ha ⁻¹	0,53 \pm 0,09	0,54 \pm 0,12	0,057 \pm 0,015	0,056 \pm 0,008	5,77 \pm 0,14	3,13 \pm 0,61	20,6 \pm 1,1
P-value	0,45		0,67		0,12	0,13	0,43

Les valeurs après \pm indiquent les erreurs standards

Tableau 10: Caractéristiques chimiques du sol en fonction de la densité d'arbustes en milieu paysan dans le parc à *Piliostigma reticulatum* à Ndiognick/kaffrine

Traitements	pH	N total (%)	C organique (%)	Pass (ppm)
Témoin	5,83 \pm 0,12	0,044 \pm 0,002	0,32 \pm 0,01	2,33 \pm 0,29
50 arbustes.ha ⁻¹	5,73 \pm 0,08	0,043 \pm 0,003	0,38 \pm 0,09	3,28 \pm 0,62
75 arbustes.ha ⁻¹	6,29 \pm 0,47	0,024 \pm 0,001	0,36 \pm 0,01	2,72 \pm 0,40
100 arbustes.ha ⁻¹	5,73 \pm 0,09	0,048 \pm 0,003	0,35 \pm 0,04	3,14 \pm 0,22
P-value	0,47	0,06	0,62	0,31

Les valeurs après \pm indiquent les erreurs standards

4.4.2. Variation du nombre de poquets de mil selon la densité d'arbustes

En milieu contrôlé, le nombre de poquet n'a pas varié avec la densité durant les 05 années d'expérimentation (Tableau 11). Par contre, en milieu paysan, une baisse significative du nombre de poquet a été constatée avec la densité 100 arbustes.ha⁻¹ aussi bien dans le parc à *C. glutinosum* que dans le parc à *P. reticulatum* (Tableau 12).

Tableau 11: Nombre de poquets de mil en fonction de la densité de RNA en milieu contrôlé à Ndiognick/ Kaffrine.

	Année 1 (2016)	Année 2 (2017)	Année 5 (2020)
Témoin	15465 ± 394 a	15417 ± 999 a	16183 ± 4063 a
50 arbustes.ha ⁻¹	14937 ± 410 a	15000 ± 508 a	15413 ± 5631 a
100 arbustes.ha ⁻¹	14430 ± 430 a	14191 ± 597 a	14157 ± 1551 a
P-value	0,21	0,51	0,94

Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes (Test de Tukey, $p > 0,05$).

Les valeurs après ± indiquent les erreurs standards

Tableau 12: Nombre de poquets de mil en fonction de la densité de RNA en milieu paysan dans les parcs à *C. glutinosum* et *P. reticulatum* âgés de 13 ans à Ndiognick/Sénégal en 2020.

	Parc à <i>C. glutinosum</i>	Parc à <i>P. reticulatum</i>
Témoin	17700 ± 1019 a	19333 ± 1719 a
50 arbustes.ha ⁻¹	17733 ± 1257 a	11367 ± 917 b
75 arbustes.ha ⁻¹	16217 ± 958 a	10025 ± 1045 b
100 arbustes.ha ⁻¹	11275 ± 1357 b	9583 ± 1051 b
P-value	0,001	< 0,001

Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes (Test de Tukey, $p > 0,05$).

Les valeurs après ± indiquent les erreurs standards

4.4.3. Rendement en biomasse aérienne sèche et grains de mil en milieu contrôlé

La 1^{ère} année d'essai (2016), le rendement en biomasse aérienne sèche de mil (Figure 12a) des parcelles de 50 et 100 arbustes.ha⁻¹ (623 ± 31 kg.ha⁻¹ et 692 ± 38 kg.ha⁻¹) étaient significativement supérieurs à celui des parcelles témoins (559 ± 24 kg.ha⁻¹). Les 2^{ème} et 5^{ème} années (2017 et 2020), la biomasse aérienne sèche de mil des parcelles de 50 arbustes.ha⁻¹ (2634 ± 377 kg.ha⁻¹ et 2788 ± 255 kg.ha⁻¹) était significativement plus élevée que celle des parcelles témoins (1595 ± 185 kg.ha⁻¹ et 2032 ± 143 kg.ha⁻¹).

En 2016, le rendement en grain de mil (Figure 12b) des parcelles de 100 arbustes.ha⁻¹ (692 ± 38 kg.ha⁻¹) était significativement supérieur à celui des parcelles témoins (559 ± 24 kg.ha⁻¹). En 2020, le rendement des parcelles de 50 arbustes.ha⁻¹ (822 ± 22 kg.ha⁻¹) était significativement plus élevé que celui des parcelles de 100 arbustes.ha⁻¹ (751 ± 17 kg.ha⁻¹) et celui des parcelles témoins (744 ± 10 kg.ha⁻¹).

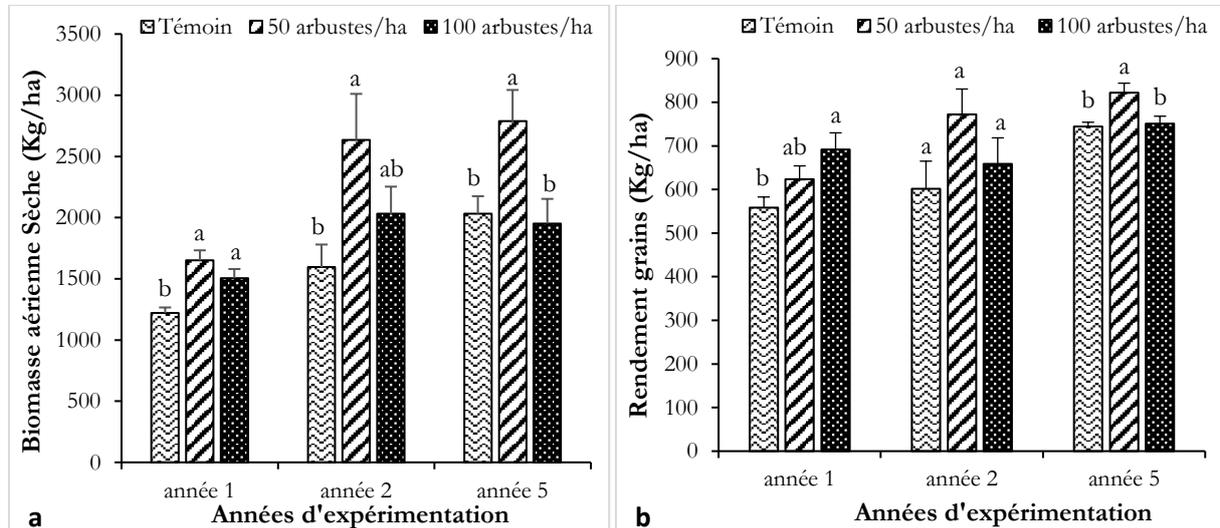


Figure 12: Rendement en biomasse verte (a) et grains de mil (b) en milieu contrôlé à Ndiognick/kaffrine.

*Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes (Test de Tukey, $p > 0,05$).
Les barres représentent les erreurs standards*

4.4.4. Rendement en biomasse aérienne sèche et grains de mil en milieu naturel

Dans le parc à *C. glutinosum* (Figure 13a), les rendements en biomasse aérienne sèche de mil des parcelles témoins (2314 ± 154 kg.ha⁻¹), de 50 arbustes.ha⁻¹ (2718 ± 273 kg.ha⁻¹), de 75 arbustes.ha⁻¹ (2355 ± 220 kg.ha⁻¹) et de 100 arbustes.ha⁻¹ (2662 ± 260 kg.ha⁻¹) n'ont présenté aucune différence significative. Par contre, les rendements en grain des parcelles témoins (726 ± 45 kg.ha⁻¹), de 50 arbustes.ha⁻¹ (826 ± 91 kg.ha⁻¹) et de 75 arbustes.ha⁻¹ (731 ± 55 kg.ha⁻¹) ont été significativement supérieurs à celui des parcelles de 100 arbustes.ha⁻¹ (469 ± 56 kg.ha⁻¹). Cela correspond à une baisse de 35 % du rendement des parcelles de 100 arbustes.ha⁻¹ par rapport à celui des parcelles témoins (Figure 13b).

Dans le parc à *P. reticulatum* (Figure 13c), la biomasse aérienne sèche de mil des parcelles témoins (1746 ± 129 kg.ha⁻¹) a été significativement plus élevée que celles des parcelles de 50 arbustes.ha⁻¹ (1177 ± 112 kg.ha⁻¹) et de 100 arbustes.ha⁻¹ (832 ± 94 kg.ha⁻¹). Le rendement en grain dans les parcelles témoins (741 ± 63 kg.ha⁻¹) a été significativement supérieur à ceux des parcelles de densité 75 arbustes.ha⁻¹ (462 ± 79 kg.ha⁻¹) et 100 arbustes.ha⁻¹ (244 ± 44 kg.ha⁻¹).

Cela correspond à une baisse de 38 et 67% des rendements en grain de mil dans les parcelles de densité 75 et 100 arbustes.ha⁻¹ par rapport à celui des parcelles témoins (Figure 13d).

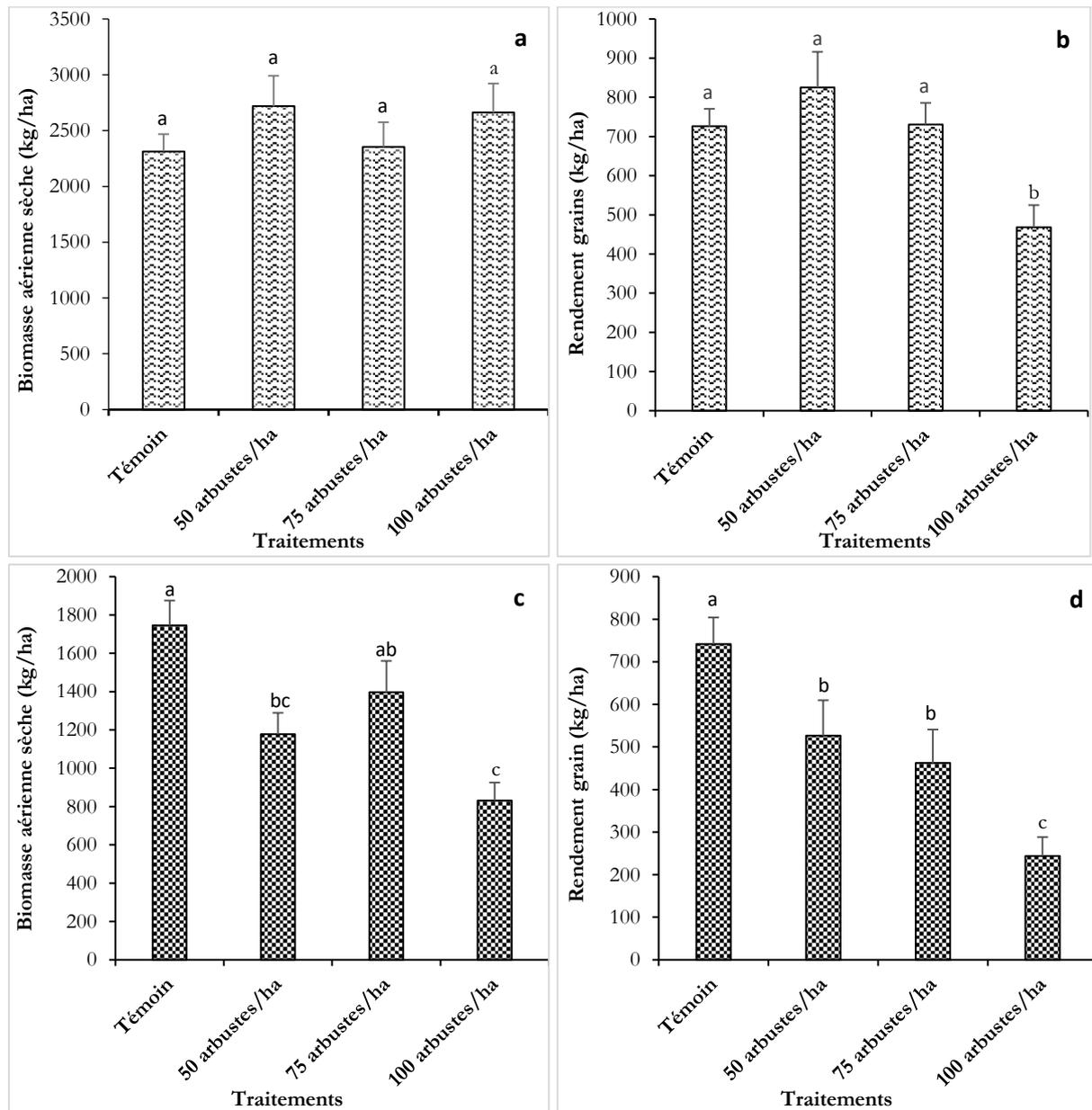


Figure 13: Rendement en biomasse verte (a) et grains de mil (b) dans le parc à *C. glutinosum* et rendement en biomasse verte (c) et grains de mil (d) dans le parc à *P. reticulatum* en milieu paysan.

Les moyennes ayant la même lettre ne sont pas significativement différentes (Test de Tukey, $p > 0,05$).
Les barres représentent les erreurs standards

4.4.5. Relation entre paramètres dendrométriques des arbustes et ceux du rendement

En milieu contrôlé, pour les rejets de souches de *C. glutinosum* de 5 ans, nous avons trouvé aucune corrélation significative entre les paramètres dendrométriques des arbustes et ceux du rendement du mil (Figure 14a). En milieu paysan, dans le parc à *C. glutinosum*, la hauteur

moyenne des arbustes et le diamètre du houppier étaient négativement et significativement corrélés avec le nombre de poquets et le rendement en grains de mil (Figure 14b). Dans le parc à *P. reticulatum*, la hauteur moyenne des tiges et le diamètre du houppier étaient négativement et significativement corrélés avec le nombre de poquets, la biomasse aérienne sèche et le rendement en grains de mil (Figure 14c).

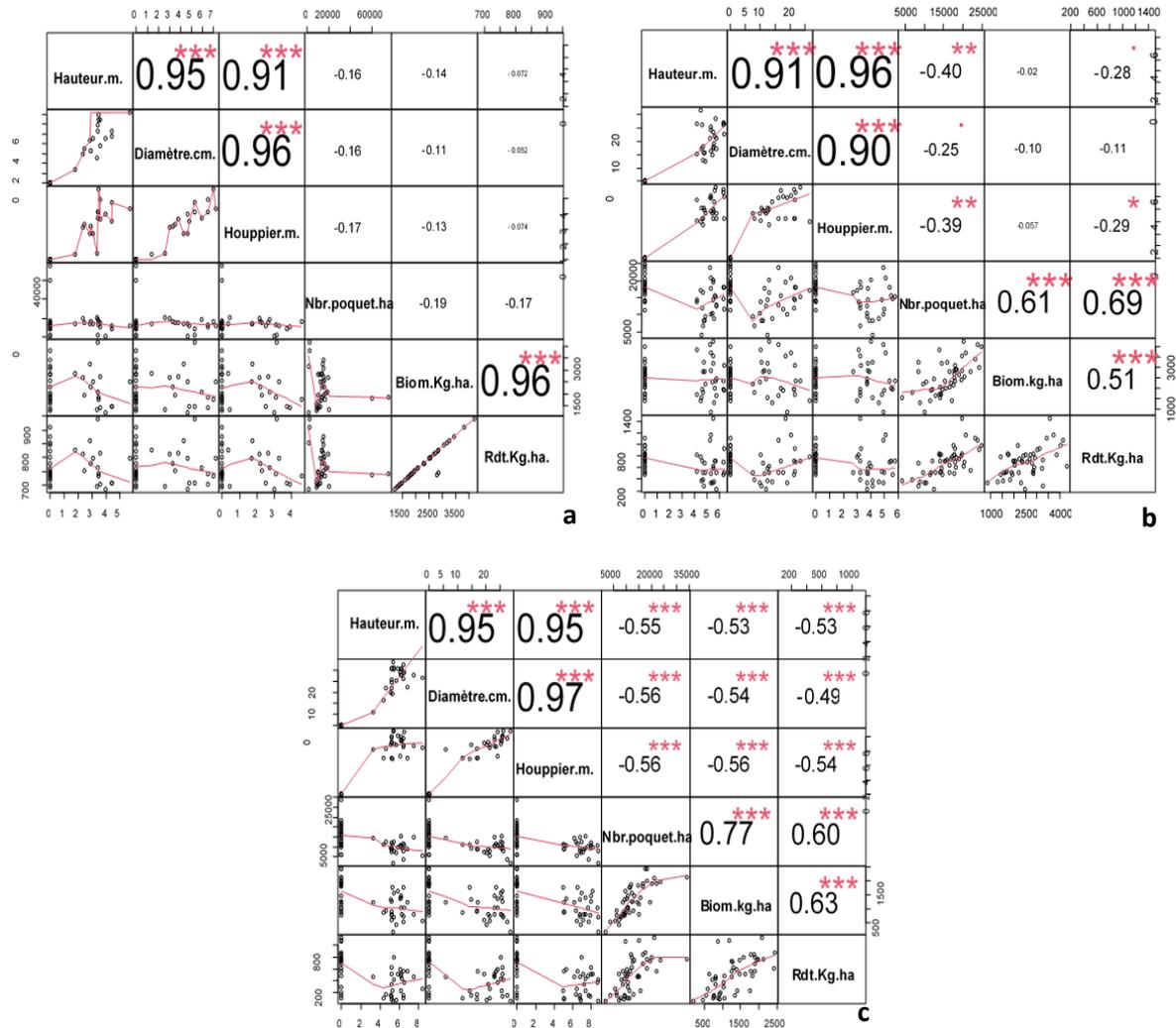


Figure 14: Corrélation entre les paramètres dendrométriques des arbustes et ceux du rendement de mil en milieu contrôlé (a), dans le parc à *C. glutinosum* (b) et le parc à *P. reticulatum* (c)

Correlation tests: *: significatif, $0.05 \geq P \geq 0.01$; **: très significatif, $0.01 \geq P \geq 0.001$; ***: hautement significatif, $p < 0.001$; Nbr.poquet.ha = Nombre de poquet.ha⁻¹; Biom.kg.ha = Biomasse aérienne sèche.ha⁻¹; Rdt.kg.ha = Rendement en grain de mil.ha⁻¹.

4.5. Discussion

Nous avons trouvé que l'effet de la densité des arbustes testée (50, 75 et 100 arbustes/ha) sur le rendement des cultures dépendait de leur taille : positif ou neutre pour des arbustes majoritairement de *C. glutinosum* de 1,3 à 3,4 m de hauteur et 0,6 à 2,6 m de diamètre de

houppier ; neutre ou négatif pour des arbustes de *C. glutinosum* de 5,3 m de hauteur et 4,1 m de diamètre de houppier ; négatif pour des arbustes de *P. reticulatum* de 5,8 m de hauteur et 7 m de diamètre de houppier (Tableau 7, Tableau 8, Figure 12, Figure 13). Nos résultats ont donc validé notre hypothèse : une densité de RNA supérieure à 40 arbustes/ha a un effet dépressif sur le rendement des cultures, à partir d'une certaine taille. Notre étude suggère que cet effet dépressif apparaît quand les arbustes ont entre 5,3 m et 5,8 m de hauteur et entre 4,1 m et 7 m de diamètre de houppier. Nos résultats sont apparemment contradictoires avec ceux trouvés par Binam et al. (2017) qui montraient que l'impact des arbres sur le rendement des cultures devenait négatif au-delà de 40 arbres.ha⁻¹ pour certaines espèces. Mais ils sont cohérents si on considère que la taille des arbres de leur étude (non précisée) était supérieure ou égale aux arbustes les plus grands de notre étude. Les contraintes à la pratique de la RNA dans la zone d'étude (coupes illicites, divagation animale, fragilité des jeunes pieds de RNA) devraient amener les agriculteurs à conserver au moins 100 arbustes.ha⁻¹ les premières années. A partir de cinq ans, la densité pourrait être réduite d'abord à 75 puis à 50, puis en-dessous de 40 arbustes.ha⁻¹ au fur et à mesure que leur taille augmente. Cette recommandation peut certainement s'appliquer à des espèces de parc comme *Parkia biglobosa* et *Vitellaria paradoxa*. En effet, au sud du Sénégal, Diatta et al. (2021) ont observé des densités comprises entre 29 et 71 arbres.ha⁻¹ dans les parcs à *P. biglobosa* avec des densités spécifiques comprises entre 10 et 25 arbres.ha⁻¹ de *P. biglobosa* avec une dominance des individus de hauteur comprise entre 10 et 15 m. Au sud-est du Sénégal, Thiam et al. (2022) ont observé une densité de 28 individus.ha⁻¹ de *V. paradoxa* avec une hauteur moyenne de 8 m dans les champs cultivés. Dimobé & Bayala (2023) ont également observé en milieu paysan au Burkina-Faso des densités de *V. paradoxa* comprises entre 32 et 45 arbres.ha⁻¹, dont la hauteur moyenne variait entre 6,9 et 8,6 m. Par contre, cette recommandation doit être nuancée pour le *F. albida*. En effet, comme cette espèce a une phénologie inversée et un système racinaire profond, la compétition en lumière, eau et nutriments avec les cultures pluviales associées est certainement plus faible que pour les autres espèces de parc. De plus, cette espèce légumineuse a un impact positif sur la fertilité du sol et ses gousses et feuilles sont utilisées comme fourrage (Abasse et al., 2023 ; Reij et Garrity, 2016). Cela explique certainement pourquoi des densités de *F. albida* > 100 arbres.ha⁻¹ ont été observées dans des champs de culture au Niger.

Nous avons constaté que les arbustes de *C. glutinosum* et *P. reticulatum* entraînent avec leur accroissement des effets dépressifs sur le rendement des cultures. Ce qui est en phase avec notre hypothèse : plus les arbustes de *C. glutinosum* et *P. reticulatum* conservés en RNA sont grands (hauteur, diamètre du houppier), plus ils influencent négativement les cultures. Nos résultats

sont cohérents avec ceux de Boffa *et al.* (2000), Zomboudré *et al.* (2005) et Saidou *et al.* (2012) qui ont trouvé des rendements de sorgho et de maïs sous les houppiers de néré et de karité plus faibles qu'en dehors des houppiers. Ces études suggèrent l'existence d'une corrélation négative entre la taille des arbustes et les rendements. Cela s'expliquerait par le fait que l'accroissement du houppier des arbustes crée des effets d'ombrage de plus en plus étendus sur les cultures avec des effets négatifs sur les rendements. De même, les lignes de semis sont interrompues à proximité des arbustes entraînant par conséquent des pertes d'espace liées à la difficulté d'utilisation de semoir à traction animale. Néanmoins, il est possible d'optimiser le rendement des cultures en réduisant la taille de leur houppier. Ce qui permettrait de réduire les effets négatifs de la compétition entre les arbustes et les cultures pour la lumière, l'eau et les nutriments. Cela suppose dans le cadre de notre étude, une gestion sylvicole permettant de ramener le houppier des arbustes à un diamètre de 3 m soit un élagage de 25 et 50 % respectivement du houppier des arbustes des parcs à *C. glutinosum* et *P. reticulatum* de 13 ans. Bayala *et al.* (2002) ont démontré que l'élagage de la couronne des arbres avait un effet positif et significatif sur le rendement en grains et biomasse de mil. Un constat similaire a été fait par Bado *et al.* (2021) qui ont obtenu de bons rendements avec des densités de 80 arbustes.ha⁻¹ en taillant de 50 % la canopée de *Ziziphus* au début de chaque saison de croissance en mai, juste avant la saison des pluies. Le manque à gagner sur la baisse de rendement constaté dans le cadre de la présente étude pourrait être compensé d'une part avec la production de bois et d'autre part de gousses de *P. reticulatum* très appréciées par le bétail (qu'elle soit consommée ou vendue si surplus). Cette compensation serait plus convaincante si on arrivait à diversifier les espèces agroforestières avec la réintroduction d'espèces fruitières locales améliorées.

Nous n'avons pas trouvé d'effet significatif de la densité des arbustes sur les valeurs de C organique et N total du sol quelle que soit l'espèce (*C. glutinosum*, *P. reticulatum*) (Tableau 9, Tableau 10). Notre résultat n'a donc pas validé notre hypothèse qui était que les arbustes de RNA allaient augmenter le C organique du sol pour ces deux espèces et l'N total du sol pour *P. reticulatum*. Notre résultat semble contradictoire avec celui de Bayala *et al.* (2019) qui avaient trouvé des teneurs en C total du sol plus importantes dans les champs avec une faible densité d'arbre comparée à celles des champs avec une forte densité d'arbres. Bayala *et al.* (2019) expliquaient leur résultat par le fait que les paysans choisissent de garder une faible densité d'arbres sur les sols les plus fertiles et une forte densité d'arbres sur les sols les moins fertiles, en raison de leur capacité à restaurer la fertilité du sol. La densité des arbres était donc une réponse et une adaptation des paysans au site. Dans notre étude, l'absence d'effet de la densité des arbustes sur le C et l'N du sol peut s'expliquer de deux façons. En milieu contrôlé, l'apport

plus important en début d'expérience de phytomasse aérienne dans les parcelles témoins que dans les parcelles à 50 et 100 arbustes/ha a probablement caché l'influence sur le sol de la litière apportée par les arbustes au cours des 5 années suivantes. En milieu contrôlé et paysan, cette absence d'effet pourrait aussi s'expliquer par notre méthode de prélèvement des échantillons de sol à l'échelle de la parcelle. En effet, nous avons réalisé des échantillons composites dont les échantillons élémentaires n'ont pas tenu compte de l'emplacement des arbustes (sous houppier, hors houppier). Comme Rousard et al. (2020) ont évalué à 17 m la zone d'influence d'un arbre de *F. albida* de 862 m² de surface de houppier sur les propriétés d'un sol, cela suggère que, dans notre étude, des échantillons ont été certainement prélevés hors de l'influence des arbustes. Notre méthode d'échantillonnage n'était donc pas adaptée pour détecter une éventuelle influence de la densité des arbres sur le C et l'N du sol. Nous recommandons de réaliser un échantillonnage stratifié (hors houppier vs sous houppier) et de prélever un nombre d'échantillons par parcelle supérieur à celui de notre étude pour mieux estimer l'effet de la densité sur les propriétés du sol.

4.6. Conclusion

Cette étude a montré que l'effet de la densité de *Combretum glutinosum* et *Piliostigma reticulatum* sur le rendement des cultures dépendait de leur taille. Les agriculteurs peuvent conserver durant les cinq premières années d'adoption de la RNA une densité de 100 arbustes/ha de *Combretum glutinosum* ou *Piliostigma reticulatum* dans leurs champs sans impacter négativement le rendement des cultures. A partir de la cinquième année, l'accroissement des paramètres dendrométriques des arbustes avec l'âge fait que les bons compromis de rendement pour le mil s'obtiennent avec les densités 50 et 75 arbustes.ha⁻¹. Une gestion sylvicole adaptée spécifiquement à chaque espèce agroforestières permettrait peut-être de maintenir des densités au-delà de 50 et 75 arbustes.ha⁻¹ sans nuire aux rendements des cultures et de bénéficier des biens et services qu'elles fournissent. Toutefois, dans le but de maximiser les rendements des cultures, de renforcer leur sécurité alimentaire et économique, les communautés associent d'autres bonnes pratiques agricoles que la RNA (apport de fumure organique, mulching, labour minimal, fertilisation minérale par micro-dose etc.) dans leurs systèmes de production. Des propositions de scénarios de gestion des parcs actuels basées sur les résultats de la présente étude et qui pourraient être testés par la recherche future, deviennent une nécessité pour maximiser davantage les rendements des cultures.

**CHAPITRE 5 : EFFET D'UN PAQUET TECHNOLOGIQUE
AGROFORESTIER CLIMATO RESILIENT SUR LE
RENDEMENT DU MIL (*Pennisetum glaucum* (L.) R. BR.) DANS
LE BASSIN ARACHIDIER DU SENEGAL**

Résumé

Au Sahel, la baisse du rendement des cultures est un obstacle majeur à la sécurité alimentaire. Cette situation est principalement due à la variabilité du climat et à la dégradation des terres liée à des pratiques de gestion non durables. Cette étude a pour objectif d'évaluer l'effet d'un Paquet Technologique Agroforestier Climato-Résilient (PTACR) sur le rendement du mil dans un contexte de pluviométrie variable. La méthodologie a consisté à identifier et à classer par ordre de priorité les technologies et les pratiques d'Agriculture Intelligente face au Climat lors d'une assemblée communautaire visant à constituer le PTACR. Des essais agroforestiers ont été effectués pendant deux années en milieu paysan avec 20 agriculteurs qui appliquent le PTACR en comparaison à 20 autres agriculteurs qui appliquent la PP. Des analyses coût-bénéfice ont également été réalisées pour évaluer la viabilité financière et la rentabilité économique du PTCAR. Les résultats montrent que quel que soit le contexte pluviométrique aussi bien en année déficitaire (2014 : P= 441 mm) qu'en année excédentaire (2020 : P= 760 mm), le rendement du mil est significativement plus élevé avec le PTACR. En année de déficit pluviométrique (2014), le PTACR a permis d'obtenir un rendement de $1010,5 \pm 74 \text{ kg.ha}^{-1}$ contre $632,1 \pm 52 \text{ kg.ha}^{-1}$ pour la pratique paysanne. En année de pluviométrie excédentaire (2020), le PTACR a également permis d'obtenir un rendement de $1223 \pm 44 \text{ kg.ha}^{-1}$ contre $789 \pm 21 \text{ kg.ha}^{-1}$. Globalement, le rendement a augmenté de 60% par rapport à la PP en année de déficit pluviométrique et de 55% en année de pluviométrie excédentaire avec une diminution des quantités d'engrais utilisés de l'ordre de 33% pour l'engrais minéral et 71% d'urée par rapport à la PP. L'analyse coût-bénéfice montre qu'avec une VAN de 1 388 567FCFA et un TRI de 122%, le PTCAR est financièrement viable et économiquement rentable. Ce paquet technologique permet d'atténuer les effets négatifs de la variabilité climatique et de l'utilisation irrationnelle des engrais chimiques chez le petit producteur et par conséquent de faciliter la transition agro-écologique et de renforcer la résilience des populations.

Mots-clés : Agro-écologie, information climatique, Régénération Naturelle Assistée, variabilité pluviométrique

5.1. Introduction

La dégradation des terres est l'une des principales contraintes à la production agricole et à la sécurité alimentaire au Sahel. Cette zone est confrontée à une croissance démographique rapide (exacerbant la pression sur les terres) et aux effets négatifs du changement climatique (Piéri 1989 ; CGIAR 2009 ; Sultan *et al.*, 2013) qui contribuent à maintenir une crise alimentaire récurrente. C'est le cas au Sénégal particulièrement dans le bassin arachidier où la plupart des sols sont dégradés par les effets de la culture continue avec une rotation arachide-mil ainsi que la surexploitation du couvert arboré entraînant la dégradation des parcs agroforestiers (Floret *et al.*, 1993). Dans cette zone agro-écologique, les agriculteurs ont l'habitude de défricher et/ou d'enlever toutes les souches d'arbres et d'arbustes lors de l'extension des terres cultivées (Diack *et al.*, 2000). La biomasse coupée est mise en tas et brûlée dans les champs avant les semis pour faciliter la traction animale et minimiser la concurrence avec les cultures (Lahmar *et al.*, 2011 ; Dossa *et al.*, 2012 ; Diack *et al.*, 2018 ; Chapuis-Lardy *et al.*, 2019). Cette mauvaise gestion des arbustes dans les champs, associée à la faible valorisation des résidus de culture et du fumier, ainsi qu'aux perturbations climatiques, a eu des conséquences néfastes sur la durabilité des systèmes de production du bassin arachidier.

Le défi de l'agriculture moderne est de concevoir des systèmes de culture à faibles intrants à la fois productifs, durables et respectueux de l'environnement (Diahaté, 2014). Les pratiques d'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC) offrent plusieurs opportunités pour faire face aux défis actuels du changement climatique (FAO, 2017). L'AIC est une approche qui contribue à guider les actions visant à transformer et à réorienter les systèmes agricoles en vue d'atteindre la sécurité alimentaire de manière durable et efficace (Lipper *et al.*, 2014). Elle est soutenue par trois grands piliers qui sont l'augmentation durable de la productivité et des revenus agricoles, l'adaptation et le renforcement de la résilience au changement climatique et la réduction des émissions et/ou absorption de gaz à effet de serre où cela est possible (Williams *et al.*, 2015). Il serait possible d'augmenter la production agricole en quantité et en qualité en optimisant les interactions biologiques au sein des agrosystèmes, en s'appuyant sur une plus grande biodiversité, comme c'est souvent le cas dans les écosystèmes naturels (Malézieux, 2012) et en intégrant les connaissances locales (Doré *et al.*, 2011). Pour ce faire, de nombreux travaux de recherche scientifique ont été menés sur ces questions. Au Sénégal, l'aggravation de la sécheresse à partir des années 1970 a rendu nécessaire la recherche de variétés de cycle inférieur à 90 jours (ISRA-ITA-CIRAD, 2005). Les efforts de sélection de l'Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (ISRA) ont progressivement conduit à la mise au point de nouvelles variétés présentant de meilleures caractéristiques agronomiques et technologiques (ISRA,

2012). Cependant, il est nécessaire que l'utilisation à grande échelle de ces variétés soit accompagnée de paquets technologiques efficaces (bonnes pratiques agricoles) pour optimiser les rendements (CRES, 2017). Par exemple, Taonda et *al.*, (2015) ont montré que les variétés améliorées valorisent en général mieux la fertilisation minérale à micro-doses dont l'effet est décuplé par l'ajout de matière organique. De même, une augmentation du rendement des cultures en combinant le fumier avec la fertilisation minérale à micro-doses a été signalée par des auteurs, indépendamment des caractéristiques de la saison des pluies (Sanginga et Woome, 2009 ; Tovihoudji et *al.*, 2015 ; 2017). L'intégration et la gestion des arbustes dans les champs ont permis d'améliorer considérablement la qualité et l'humidité du sol, la disponibilité des nutriments pour les cultures et, par conséquent, les rendements (Kizito et *al.*, 2006 ; Dossa et *al.*, 2012 ; Bright et *al.*, 2017).

Il convient toutefois de noter que les densités d'arbres/arbustes et les résidus doivent être gérés de manière adéquate pour éviter la concurrence avec les cultures associées ou l'immobilisation de l'azote par les micro-organismes à court terme (Ba et *al.*, 2014 ; Camara et *al.*, 2021). Au cours des dernières décennies, dans la lutte pour l'adaptation aux variations climatiques, l'information climatique est de plus en plus reconnue comme un "intrant" nécessaire dans les systèmes de production (Dayamba et *al.*, 2018). Certaines études ont porté sur l'utilisation des prévisions saisonnières pour évaluer leur intérêt économique pour les agriculteurs d'Afrique de l'Ouest (Sultan et *al.*, 2010 ; Roudier et *al.*, 2011). Dans le contexte de la gestion des risques climatiques, Roudier et *al.*, (2014) ont examiné les stratégies d'utilisation des prévisions climatiques par les petits exploitants agricoles du bassin arachidier du Sénégal pour prendre des décisions et les avantages qui en découlent. Ces prévisions se focalisent presque exclusivement sur le cumul saisonnier des pluies alors qu'une prévision des dates de démarrage et de fin de la saison pluvieuse constitue une priorité parmi les attentes des agriculteurs (Ingram et *al.*, 2002). Une prévision parfaite du cumul saisonnier, du démarrage et de la fin de la saison des pluies peut engendrer des bénéfices en termes d'augmentation de revenu des agriculteurs (Sultan et *al.*, 2013). Pour faire face aux limites des prévisions saisonnières, l'Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Météorologie (ANACIM) a développé au Sénégal des prévisions météorologiques à courte et à moyenne échéances à savoir les prévisions décennales, les prévisions quotidiennes et les prévisions instantanées pour les événements extrêmes (CCAFS, 2015). Ces différents types d'informations constituent la base des services de conseil fournis aux agriculteurs pour faire face à toutes les incertitudes liées à la saison des pluies. Dans le système agricole sahélien, ces technologies/pratiques dont les effets bénéfiques sont confirmés scientifiquement ne sont pas appliquées isolément par le producteur dans son champ. Dans les

conditions réelles de terrain, les agriculteurs combinent de nombreuses pratiques dans leurs systèmes de production, et peu d'études ont documenté les performances de cette combinaison de technologies. La présente étude vise à évaluer l'efficacité d'un ensemble technologique agroforestier intégrant l'arbre, les bonnes pratiques culturales (apport de fumier, fertilisation minérale localisée par micro-dose et grattage) ainsi que l'utilisation des prévisions et informations climatiques sur le rendement du mil dans un contexte de variabilité pluviométrique.

5.2. Matériel et Méthodes

5.2.1. Caractéristiques pluviométriques

Le début et la fin de la saison des pluies, le nombre de jours de pluie, la plus longue séquence sèche et le cumul pluviométrique annuel de 2014 et 2020 ont été déterminés à l'aide de données recueillies par une jauge installée dans le village de Daga Birame (Tableau 13). Le cumul pluviométrique de l'année 2014 (P = 441 mm) est inférieure à la moyenne à long terme (663 mm) contrairement à celui de l'année 2020 (P = 742 mm).

Tableau 13: Caractéristiques des saisons 2014 et 2020 à Daga Birame

Années	Quantité de pluie (mm)	Nombre de jour de pluie	Séquence sèche le plus long	Début de la pluviométrie	Fin de la pluviométrie
2014	441	33	11 jours en fin de saison	16 juillet	07 octobre
2020	731	42	10 jours en période de semis	12 juin	12 octobre

5.2.2. Matériel végétal

Deux variétés améliorées de mil ont été utilisées la Souna 3 (2014) et la Thialack 2 (2020). Le choix de ces variétés est fait selon les prévisions climatiques (Tableau 14). Les mils de type Souna sont des variétés précoces et peu sensibles à la photopériode. Souna est une variété améliorée à cycle de maturité précoce et adaptée aux conditions pédoclimatiques du Centre-Nord du pays (Kouakou et *al.*, 2013). La Souna 3 a un rendement potentiel en grains de 2,4 à 3,5 t/ha avec un rendement au battage de 63% (MAER, 2012). Thialack 2 est également une variété améliorée à cycle de maturité intermédiaire et adaptée aux conditions pédoclimatiques du Centre-Sud du pays (Kouakou et *al.*, 2013). La Thialack 2 a un rendement potentiel en grains de 2 à 3 t/ha avec un rendement au battage de 55% (MAER, 2012).

Tableau 14: Prévisions climatiques saisonnières

Années	Prévisions
2014	précipitations déficitaires à normales attendues sur la majeure partie du Sahel Ouest ; dates de début de saison agricole tardives à normales attendues sur la façade Ouest et la bande sahélienne ; dates de fin de saison agricole tardives à normales attendues sur les bandes sahélienne et soudano-sahélienne ; séquences sèches après le début de la saison agricole, plus longues à équivalentes à celles habituellement observées dans la bande sahélienne et plus courtes dans la zone soudanienne ; séquences sèches à partir de la période épiaison-floraison des céréales, plus courtes dans la zone sahélienne et plus longues dans la zone soudanienne (AGRHYMET, 2014).
2020	La saison des pluies 2020 serait globalement humide. En effet, des quantités de pluies supérieures à équivalentes aux moyennes saisonnières 1981-2010 sont attendues sur toute la bande sahélienne. Un démarrage précoce à normal, une fin tardive à normale, des séquences sèches plus courtes en début de saison et moyennes vers la fin de saison, et des écoulements globalement moyens à supérieurs à la moyenne sont attendus (AGRHYMET, 2020).

5.2.3. Méthode

5.2.3.1. Inventaire et priorisation des technologies/pratiques

La méthodologie a consisté à organiser une assemblée communautaire en présence de 67 producteurs (dont 28 femmes). Cette assemblée a permis de lister les technologies et pratiques dans les secteurs de l'agriculture, de l'agroforesterie et de l'élevage qui sont efficaces dans la zone pour faire face aux aléas climatiques. Ces technologies et pratiques ont été hiérarchisées sur une échelle de 0 (aucune/pas du tout) à 10 (excellente/très pertinente). Les critères utilisés sont liés aux trois piliers de l'Agriculture Intelligente face au Climat (AIC), à savoir (i) l'augmentation durable de la productivité et des revenus agricoles ; (ii) la viabilité en tant que stratégie d'adaptation ; et (iii) le potentiel de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

5.2.3.2. Expérimentation agroforestière

Elle a consisté, pendant deux (02) années, à identifier 20 agriculteurs qui appliquent dans leur champ le paquet technologique agroforestier climato-résilient en comparaison à 20 autres agriculteurs qui appliquent leur pratique habituelle (Tableau 15). Une parcelle de 50m x 25m a été délimitée chez chacun de ces paysans. Le PTACR intègre l'arbre/RNA, les bonnes pratiques culturales (apport de 5t/ha de fumier, grattage, fertilisation minérale localisée par micro-dose-4,5g/poquet NPK et 2g/poquet Urée) et l'utilisation des prévisions et informations climatiques (Figure 15). L'essentiel de ces pratiques a été identifiée à la suite de l'atelier communautaire d'inventaire et de priorisation des pratiques/technologies. S'agissant de la pratique paysanne, elle intègre le défrichement total, la combustion de la biomasse en début de saison, la fertilisation minérale par macro-dose environ 9-10 g/poquets avec épandage d'urée à la volée. Les semis ont été faits avec des semoirs sous traction animale. L'espacement entre les poquets

est d'environ 90cm x 50cm. Aucun traitement phytosanitaire n'a été effectué. Pour la récolte des parcelles, trois carrés de rendements de 10m x 10m ont été prélevés dans le champ de chaque paysan et pour chaque pratique afin de faire le suivi des paramètres agronomiques. Les variables mesurées sont (i) le nombre d'épis (fertiles et infertiles) ; (ii) le rendement en grains et (iii) le poids de la biomasse aérienne sèche. Des échantillons composites de sol ont été prélevés aléatoirement dans 1/3 des parcelles de chaque traitement à l'horizon (0-30 cm) et sur 5 points de la parcelle (méthode diagonale). Les analyses effectuées ont concerné le pH (eau, KCl), la Conductivité Electrique (CE), le Carbone total - C(total), l'Azote total – N(total) et le Phosphore assimilable.

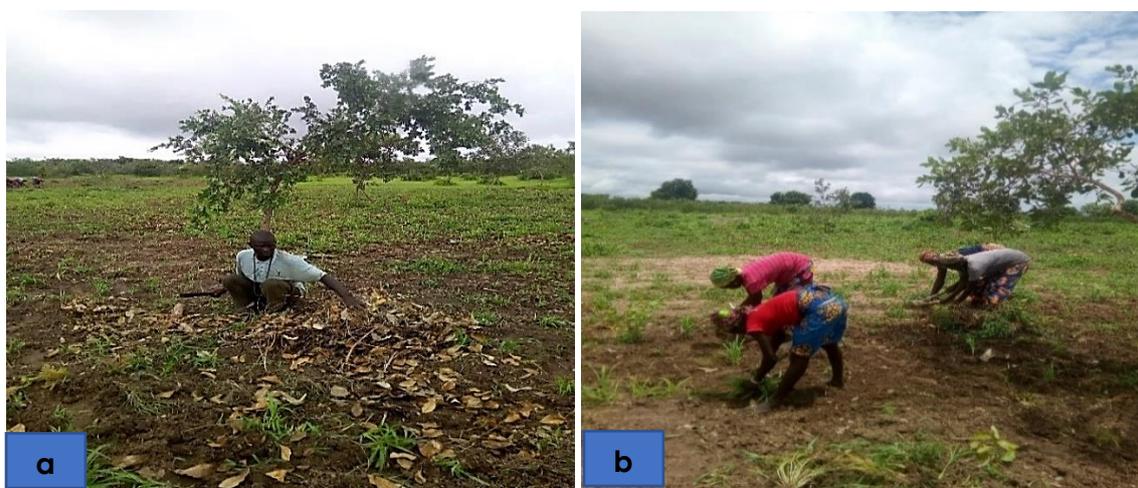


Figure 15: Epandage de la biomasse ligneuse coupée (a) et binage des parcelles (b)

Tableau 15: Description détaillée de la Pratique Paysanne (PP) et du Paquet Technologique Agroforestier Climato-Résilient (PTACR)

Pratique Paysanne (PP)	Paquet Technologique Agroforestier Climato-Résilient (PTACR)
Défrichage total des rejets de souche lors de la préparation des champs	Défrichage sélectionné / adoption de la Régénération Naturelle Assistée (RNA)
Ratissage et brulage de la biomasse	Apport de 5 t/ha de fumier et grattage avant semis
Semis	Semis à temps opportun sur la base de l'information climatique
Démariage à 15 jours après semis (3 pieds/poquets)	Démariage à 15 jours après semis (3 pieds/poquets)
Apport localisé de 150 kg/ha NPK 15-10-10 (15 ^{ième} JAS)	Apport localisé de 100 kg/ha de NPK 15-10-10 par micro-dose soit 4,5g/poquet à temps opportun sur la base de l'information climatique de préférence 15 ^{ième} JAS
Sarclo-binage le 15 ^{ième} , 35 ^{ième} et 65 ^{ième} JAS	Sarclo-binage à temps opportun sur la base de l'information climatique de préférence 15 ^{ième} , 35 ^{ième} et 65 ^{ième} JAS
Apport de 150 kg/ha d'Urée à la volé 21 ^{ième} JAS	Apport localisé de 45 kg/ha d'urée par micro-dose soit 2 g/poquet à temps opportun sur la base de l'information climatique de préférence 21 ^{ième} JAS
Récolte	Récolte

5.2.3.3. Analyse coûts-bénéfices

L'analyse coûts-bénéfices est une méthode permettant de comparer le flux d'avantages nets produits au fil du temps par des opportunités d'investissement concurrentes (Nelson et *al.*, 1997). L'analyse coût-bénéfice du PTACR a été faite en considérant trois scénarios (scénario de référence, scénario sans changement technologique et scénario avec changement technologique). Le scénario de référence correspond à la situation des producteurs avant l'application du PTACR. Le scénario sans changement technologique correspond à la situation des producteurs qui ont décidé de ne pas appliquer le PTACR et qui ont maintenu les mêmes itinéraires techniques sur leur champ de culture sur les mêmes spéculations (mil-arachide). Le scénario avec changement technologique correspond à la situation des producteurs qui ont décidé d'appliquer le PTACR. Pour ce faire, 39 producteurs dont 20 pratiquants le PTACR et 19 non pratiquants ont été considérés pour évaluer l'efficacité coût-bénéfice du PTACR grâce à l'élaboration du compte d'exploitation. Ce dernier permet de déterminer d'abord les recettes générées, les coûts et charges engendrées puis les indicateurs de performance. Les charges ont été subdivisées en charges d'investissement, de maintenance et de fonctionnement. La production des deux spéculations considérées (mil et arachide) a été ramenée à l'hectare et les prix officiels du marché ont été considérés. Pour l'estimation du coût de la main d'œuvre familiale (MOF), le salaire minimum horaire utilisé dans le secteur agricole est considéré ; il est de 182,95 FCFA /jour. Les données relatives aux bénéfices sont considérées ici comme les revenus dégagés par les deux spéculations. Ces revenus sont identifiés par la productivité marginale des deux spéculations. Deux indicateurs économiques ont été calculés : il s'agit de la Valeur Actualisée Nette (VAN) et du Taux de Rentabilité Interne (TRI). L'horizon temporel de l'analyse retenu est de sept (07) ans avec un taux d'actualisation de 10 %. La Valeur Actualisée Nette (VAN) et le Taux de Rentabilité Interne (TRI) ont été calculés. La VAN représente le gain additionnel, exprimé en valeur monétaire présente, avec la technologie par rapport au statu quo.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+i)^t} - I_0$$

BN_t = Bénéfices net (Revenus - Coûts) par période

I_0 = Valeur de l'investissement initial (investissement initial, coûts d'installation en t_0)

n = Nombre de périodes considérées.

i = Taux d'intérêt

Le TRI est le taux d'actualisation pour lequel la VAN est égale à zéro.

$$TRI = \frac{-I_0 + \sum_{t=1}^n BN_t}{\sum_{t=1}^n BN_t}$$

BN_t = Bénéfices net (Revenus - Coûts) par période.

I_0 = Valeur de l'investissement initial.

n = Nombre de périodes considérées.

5.3. Analyse des données

Le test de Student a été utilisé pour comparer la moyenne des données issues des paramètres de rendement des deux populations indépendantes (PTACR et PP) et chimiques du sol avec le logiciel Minitab 17. Pour ce faire, l'intervalle de confiance a été fixé à 95%. Au préalable, le test de Shapiro a été utilisé pour vérifier la normalité des données et le test de Levene pour l'homogénéité des variances.

5.4. Résultats

5.4.1. Technologies/pratiques prioritaires face au changement climatique

Le tableau 16 montre que dans le secteur agronomique, la somme des scores attribués aux différentes technologies fait ressortir quatre pratiques/technologies prioritaires. Il s'agit principalement de l'utilisation de variétés améliorées de semences à cycle court (40 points), de l'utilisation des prévisions et informations climatiques (40 points), de l'irrigation au goutte-à-goutte (40 points) et de la fertilisation minérale micro-dosée (37 points). Dans le secteur agroforestier, trois technologies/pratiques prioritaires ont été mises en évidence. Il s'agit principalement de la FMNR (26 points), de la domestication des fruits forestiers (38 points) et des clôtures (36 points). Dans le secteur de l'élevage, la somme des notes attribuées aux différentes technologies par la population a révélé quatre technologies/pratiques prioritaires. Il s'agit de l'introduction de nouvelles races (40 points), de l'aviculture (37 points), de la vaccination (40 points) et du parcage (32 points).

Tableau 16: Priorisation des technologies/pratiques prioritaires face au changement climatique

Technologies/pratiques	Sécurité alimentaire		Adaptation	Atténuation	Total
	Productivité	Revenu			
Technologies/pratiques agronomiques					
Diversification des cultures à valeur ajoutée	9	8	8	8	32
Compostage	7	7	8	8	29
Semences améliorées à cycle court	10	10	10	10	40
Fertilisation minérale par micro-dose	10	10	9	9	37
Informations climatiques	10	10	10	10	40
Rotation des cultures	5	4	4	4	16
Association des cultures	8	6	8	8	29
Cultures de contre saison	9	9	9	9	34
Irrigation goutte à goutte	10	10	10	10	40
Transformation des produits agricoles	6	8	6	6	25
Technologies/pratiques agro-forestières					
Haie vive	6	5	5	5	20
Régénération Naturelle Assistée (RNA)	7	7	7	7	26
Domestication de fruitiers forestiers	10	10	9	9	38
Mise en défens	8	9	10	10	36
Brise vent	5	5	5	5	20
Technologies/pratiques d'élevage					
Introduction de nouvelles races	10	10	10	10	40
Aviculture	10	10	9	9	37
Vaccination	10	10	10	10	40
Aliments concentrés	8	8	6	6	27
Transhumance	0	0	0	0	0
Intensification/parcage	10	10	6	6	32
Mise en jachère pour pâturage	2	2	2	2	6

5.4.2. Evaluation des effets du PTACR et de la PP sur le rendement du mil

L'analyse statistique montre que le PTACR a produit un nombre d'épis fertiles significativement plus élevé que ceux obtenus avec la PP en 2014 et 2020 (p -value $< 0,001$). Il est respectivement de 65225 ± 1091 épis fertiles contre 51708 ± 2093 épis fertiles en 2014 et 49509 ± 1538 épis fertiles contre 41547 ± 1521 épis fertiles en 2020 (Figure 16a). Le nombre d'épis infertiles (Figure 16b) était toujours plus élevé avec la PP (15173 ± 728 épis infertiles et 7138 ± 780 épis infertiles) comparé au PTACR (11488 ± 914 épis infertiles et 5973 ± 507 épis infertiles) aussi bien en 2014 qu'en 2020 (p -value = 0,002 et p -value = 0,21). Il ressort

également des résultats que durant les 02 années d'expérimentation, le PTACR a favorisé un bon développement végétatif du mil se traduisant par une biomasse aérienne sèche plus élevée comparée à celle obtenue avec la PP (p-value = 0,001 en 2014 et p-value < 0,001 en 2020). Il est respectivement de $2191 \pm 51 \text{ kg.ha}^{-1}$ contre $1821 \pm 99 \text{ kg.ha}^{-1}$ en 2014 et $3897 \pm 173 \text{ kg.ha}^{-1}$ contre $2907 \pm 103 \text{ kg.ha}^{-1}$ en 2020 (Figure 16c). Une augmentation significative des rendements (p-value < 0,001) est également notée avec le PTACR comparé à la PP. Il est respectivement de $1010,5 \pm 74 \text{ kg.ha}^{-1}$ contre $632,1 \pm 52 \text{ kg.ha}^{-1}$ en 2014 et $1223 \pm 44 \text{ kg.ha}^{-1}$ contre $789 \pm 22 \text{ kg.ha}^{-1}$ en 2020 (Figure 16d).

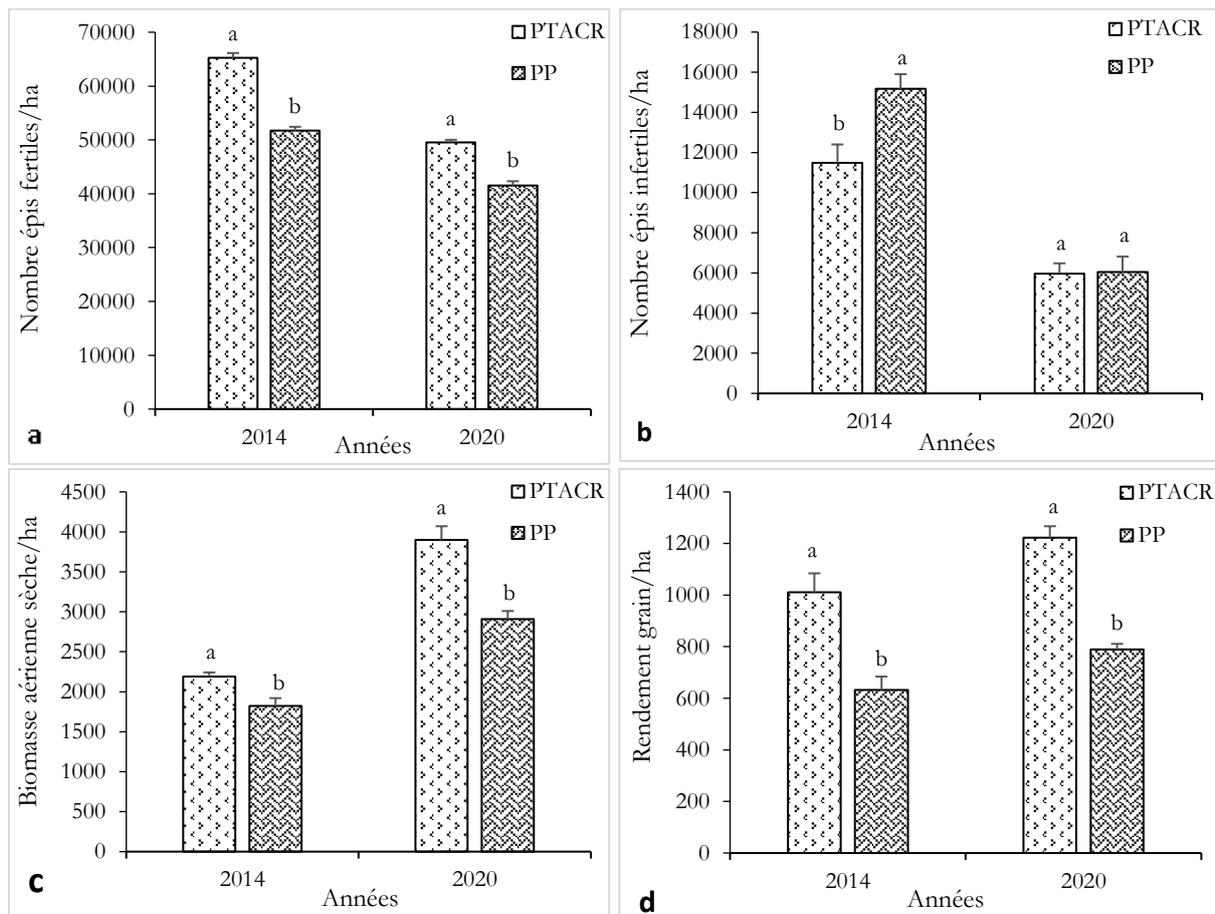


Figure 16: Nombre d'épis fertiles (a) et infertiles (b), production de biomasse aérienne (c) et rendement en grain (d) selon le traitement

Les barres représentent les erreurs standards
2014 = variété Souna 3 ; 2020 = variété Thialack 2.

5.4.3. Caractéristiques chimiques du sol

Les résultats des analyses chimiques montrent de légères améliorations de la fertilité du sol dans les parcelles de PTACR comparées aux parcelles de Pratique Paysanne (Figure 17). Cela se traduit par une augmentation de 11% de la teneur en carbone (p-Value = 0,569), 6,2% de la teneur en Pass (p-Value = 0,594) et une baisse de 0,4% de la teneur en Azote (p-Value = 0,982) dans les parcelles de PTACR comparées aux parcelles de Pratique Paysanne. Les sols sont caractérisés par un faible niveau d'acidité

avec un pH(eau) estimé à $5,8 \pm 0,06$ dans les parcelles de PTACR et à $5,9 \pm 0,18$ dans les parcelles PP (p-value = 0,644). Ce sont des sols non salés avec une Conductivité Electrique (CE) de $22,04 \pm 2,2 \mu\text{s.cm}^{-1}$ dans les parcelles PTACR et de $23,9 \pm 1,9 \mu\text{s.cm}^{-1}$.

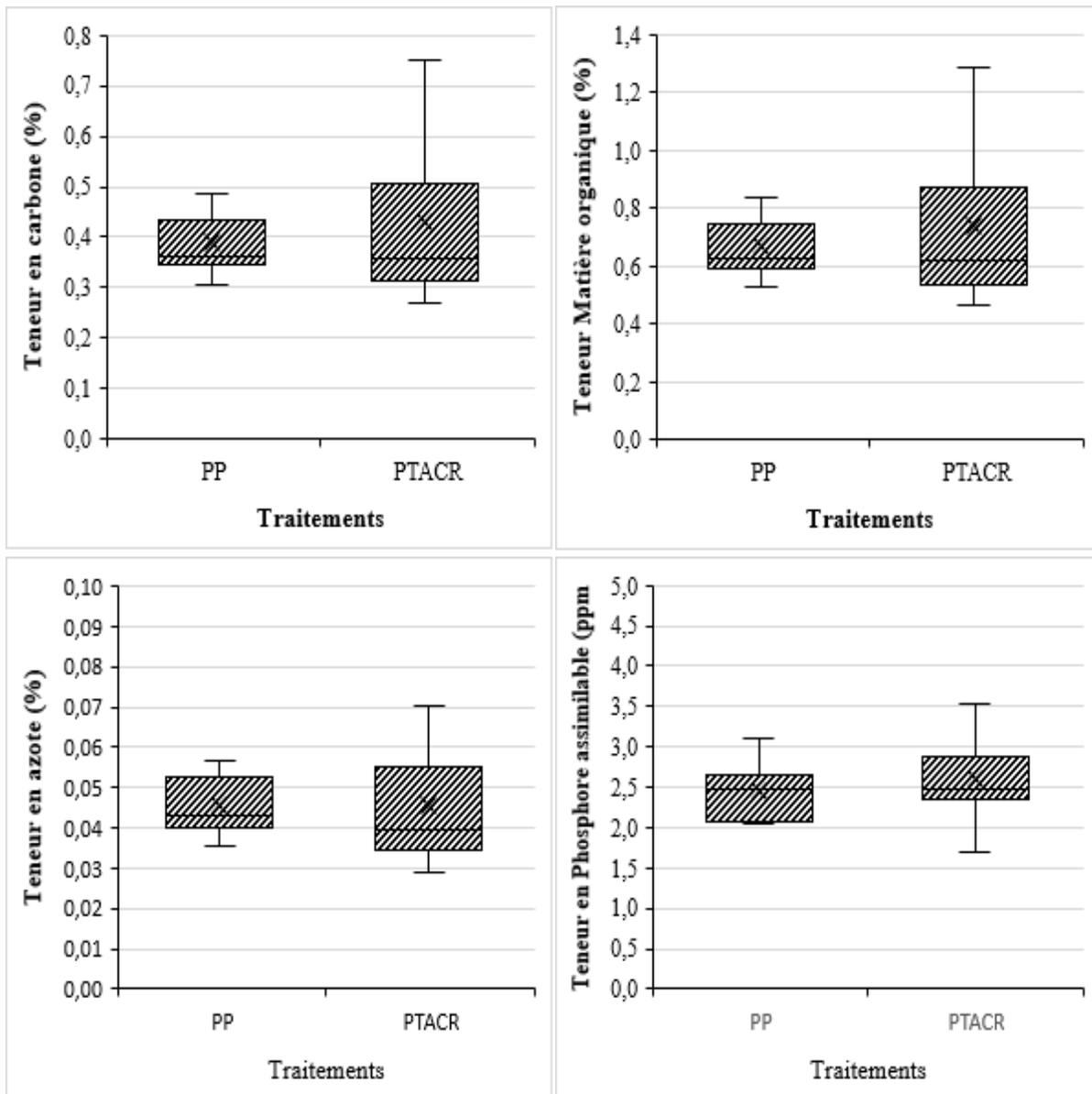


Figure 17: Propriétés chimiques du sol dans les parcelles de PTACR et de PP à Daga Birame/région de Kafrine au Sénégal

5.4.4. Matériel agricole

Le tableau 17 recense le matériel agricole utilisé par les ménages à Daga Birame. Il se compose essentiellement de petit matériel peu durable (daba, « Gnossi », machette, pelles et rateau) et de gros matériel (houes, charrette et semoir) qui peuvent durer plusieurs années.

Tableau 17: Matériel agricole utilisé

Outils	Quantité moyen /ménage	Coûts unitaires	Coût total	Durée d'usage (années)
Daba	3	1200	3 600	2
Houe	1	55000	55 000	10
Gnossi	6	800	4 800	1
Machettes	2	2000	4 000	3
Pelle/rateau	2	1000	2 000	3
Charette	1	125000	125 000	10
Semoir	1	70000	70000	10

5.4.5. Intrants agricoles pour le PTACR

Les intrants agricoles nécessaires à la pratique du PTACR sont essentiellement recensés dans le tableau 18. Il s'agit essentiellement de semences améliorées de mil et d'arachide, de fumure organique, d'engrais minéral et de produits phytosanitaires. Ces intrants, à l'exception de la fumure organique, sont achetés au prix du marché dans des boutiques d'intrants.

Tableau 18: Intrants agricoles pour le PTACR

Produits	Quantité/ha	Coût
Informations météo vocal	Saisonniers	3000f
Semences (arachide)	100 kg	600 f/kg
Semences (Mil)	4 kg	200 f/kg
Fumier	16 chargements	500f/chargement
Engrais (NPK 6-20-10)	2 sacs de 50kg (100 kg)	11 500 f/sac
Engrais (NPK 15-15-15)	2 sacs de 50kg (100 kg)	12 000 f/sac
Engrais (urée)	1 sac de 50kg (100 kg)	11 000 f/sac
Produits phytosanitaires	2 sachets	1 500f /sachet

5.4.6. Répartition du temps de travail

Le temps de travail nécessaire à la mise en œuvre du PTACR et de la PP sur un hectare de mil et d'arachide a été évalué. L'analyse du tableau 19 montre de grande variabilité sur le temps de travail nécessaire à la mise en œuvre du PTACR comparé à la PP et à la situation de départ. L'application du PTACR réduit non seulement le nombre de jours de travail nécessaire pour le défrichage des parcelles parce que tous les arbustes ne sont pas coupés mais aussi le temps nécessaire au binage dû fait de la réduction de la densité de l'enherbement. Par contre, son adoption implique des efforts supplémentaires comparés à la situation de départ et à la situation sans adoption pour la gestion rationnelle de la biomasse issue des rejets coupés, l'épandage de fumier, le grattage du sol et la récolte.

Tableau 19: Répartition du temps de travail

Activités	Situation de départ	Situation actuelle sans changement technologique	Situation actuelle avec changement technologique : PTACR
	Nombre de jours/ ha		
Défrichage	4	4	3
Ratissage	5	5	8
Epandage Fumier	2	2	3
Grattage	-	-	3
Semis	2	2	2
Sarclage	6	6	6
Binage	15	15	9
Récolte	5	5	8
Attache	2	2	3
Battage/vannage	3	8	15
Transport	2	2	2

5.4.7. Charges d'exploitation selon les scenarios

L'analyse du tableau 20 montre que les coûts d'exploitation diffèrent en fonction des différents scénarii. Les charges d'exploitations sont légèrement plus élevées chez les producteurs de la situation actuelle qui appliquent le PTACR. Les producteurs dans la situation de départ présentent les charges les moins importantes liées aux faibles coûts de la main d'œuvre et de la fertilisation. Au fil du temps, ces derniers ont constaté une baisse de la fertilité des sols et par conséquent une augmentation des quantités d'engrais chimiques utilisées à l'hectare pour soutenir la productivité des terres. Ces scénarios se traduisent par des charges d'exploitation de l'ordre de 398 060 FCFA pour la situation de départ contre 444 300 FCFA pour la situation actuelle sans changement de technologie et 446 686 FCFA pour la situation avec PTACR.

Tableau 20: Charges d'exploitation selon les scenarios

Rubriques	Situation de départ	Situation actuelle sans changement technologique	Situation actuelle avec changement technologique : PTACR
Coûts main d'œuvre / ha	135 500	138 500	149 643
Coûts semences / ha	48 560	60 800	60 800,00
Coûts fertilisation / ha	75 500	103 500	80 600
Coûts traitements phytosanitaires /ha	3 000	3 000	3 000
Information météo	-	-	3 000
Autres coûts / ha	-	-	-
Coûts d'exploitation /ha	262 560	305 800	297 043
Coûts d'exploitation totaux	398 060	444 300	446 686

5.4.8. Revenus tirés de la production en fonction des scenarios

Les revenus tirés proviennent du calcul de la vente de l'arachide, de la fane d'arachide et du mil basé sur le prix du marché. L'analyse du tableau 21 montre que les systèmes de culture

pratiquant le PTACR (situation actuelle avec changement technologique) donnent les revenus les plus importants comparés à la situation de départ et à la situation actuelle sans changement technologique.

Tableau 21: Revenus tirés de la production en fonction des scénarii

Rubriques	Situation de départ	Situation actuelle sans changement technologique	Situation actuelle avec changement technologique : PTACR
Rendement mil (kg/ha)	853	1 118	1 411
Prix récolte mil (FCFA/ha)	149 275	195 650,00	246 925
Rendement arachide (kg/ha)	994	1 462	1 554
Prix récolte arachide (FCFA/ha)	208 740	307 020	326 340
Rendement fane d'arachide (sacs/ha)	115	136	155
Prix récolte de fane	172 500	204 000	232 500
Revenus (FCFA)	1 061 030,00	1 413 340	1 611 530

5.4.9. Compte d'exploitation des différents scenarios

Le Tableau 22 montre que les marges brutes pour tous les scenarios sont positives. Les systèmes actuels pratiquant le PTACR présentent les bénéfices les plus élevés (1164 844 FCFA) comparé aux systèmes actuels ne pratiquant pas le PTACR dont les bénéfices s'élèvent à 969 040 FCFA.

Tableau 22: Compte d'exploitation de la pratique du PTACR en fonction des scénarii

Rubriques	Situation de départ	Situation sans changement technologique	Situation avec changement technologique : PTACR
Investissement	127 060,00	167 300,00	147 400,00
Revenus bruts moyens	1 061 030,00	1 413 340,00	1 611 530
Coûts variables d'exploitation	398 060	444 300	446 686
Marge brute	662 970,00	969 040,00	1 164 844,00
Variation de marge brute par rapport à la situation de référence		46%	76%

5.4.10. Analyse financière

L'analyse du tableau 23 sur les flux financiers du PTACR montre une augmentation progressive des productions d'arachide et de mil et donc une amélioration des revenus. En sept (07) ans de pratique du PTACR, les bénéfices liés à son adoption s'élève à 1 279 158 FCFA soit un surplus de 616 188 FCFA. Les analyses montrent que la VAN à 10% du PTACR s'élève à 1 388 567FCFA sur sept (07) ans avec un TRI de 122 %. Ce qui montre qu'un producteur appliquant le PTACR peut se permettre d'emprunter à un taux de 120 % sur sept (07) ans pour financer son activité. Le PTACR est financièrement viable pour une culture d'arachide et de mil dans le village de Daga Birame.

Tableau 23: Flux financier pour la pratique du PTACR

Années	1	2	4	7
Flux entrants				
Revenus bruts	1 413 340	1 512 435	1 611 530	1 611 530,00
Flux Sortants				
Investissement	44 050,95	44 050,95	44 050,95	44 050,95
Besoin en fonds de roulement	112 268,00	56 134,00		(168 402,00)
Charges d'exploitation	444 300,00	445 493,00	446 686,00	446 686,00
Charges fixes	59 778,68	34 907,42	10 036,17	10 036,17
Bénéfice net avec PTACR	752 942,37	931 849,62	1 110 756,88	1 279 158,88
Bénéfice net sans PTACR	969 040,00	816 005,00	662 970,00	662 970,00
Surplus bénéfiques lié au PTACR	(216097,63)	115 844,62	447 786,88	616 188,88
VAN (10%)	1 388 567 FCFA			
TRI	122 %			

5.4.11. Analyse économique

Le tableau 24 résume les conclusions pour une analyse économique pour le PTACR. Les conclusions sont similaires que pour l'analyse financière. Le PTACR est une pratique économiquement rentable et ne nécessite pas un investissement initial important tout en procurant des effets dès les premières années de pratique.

Tableau 24: Analyse économique du PTACR

Années	1	2	4	7
Flux entrants				
Revenus bruts	1 413 340	1 512 435	1 611 530	1 611 530,00
Flux Sortants				
Investissement	44 050,95	44 050,95	44 050,95	44 050,95
Besoin en fonds de roulement	67 360,8	33 680,40		(101 041,20)
Charges d'exploitation	444 300,00	445 493,00	446 686,00	446 686,00
Charges fixes	59 778,68	34 907,42	10 036,17	10 036,17
Bénéfice net avec PTACR	797 849,57	954 303,22	1 110 756,88	1 211 798,08
Bénéfice net sans PTACR	969 040,00	816 005,00	662 970,00	662 970,00
Surplus bénéfiques lié au PTACR	(171190,43)	138 298,22	447 786,88	548 828,08
VAN (10%)	1 413 381,77 FCFA			
TRI	152 %			

5.5. Discussion

La combinaison et l'application de certaines technologies/pratiques identifiées dans le cadre du PTACR a entraîné une augmentation significative des rendements de 60 à 55 % par rapport à la PP selon le régime pluviométrique annuel. Un schéma similaire a été observé pour la biomasse aérienne. Ces résultats pourraient s'expliquer par le fait que ce paquet technologique est une combinaison judicieuse de bonnes pratiques (RNA, apport de fumier, grattage, fertilisation minérale localisée par micro-dose, utilisation des prévisions et informations météorologiques) qui permettent une gestion intégrée de la fertilité des sols et des itinéraires techniques basée sur les informations climatiques. Il a été démontré par Sanou et *al.*, (2016) que la combinaison du fumier et du NPK appliqué à la culture intercalaire de variétés améliorées de mil et de niébé induit une augmentation considérable de la production agricole. Chacune des technologies/pratiques qui composent l'ensemble, prises isolément, peut avoir un effet positif sur la fertilité des sols, le rendement des cultures ou l'adaptation des producteurs à la variabilité du climat. La présence de l'arbre permet d'augmenter les rendements (Toudou et *al.*, 2006 ; Tougiani et *al.*, 2013 ; Camara et *al.*, 2017). Des études ont montré que la pratique de la RNA permet, du fait de la présence d'arbustes en milieu aride, de créer des "îlots de fertilité" sous et à proximité des touffes de végétation (Wezel et *al.*, 2000 ; Housman et *al.*, 2007). Ces zones sont ainsi caractérisées par une meilleure disponibilité en eau et une activité biologique plus intense participant à une décomposition de la matière organique, à l'apport d'azote et d'autres nutriments (Kizito et *al.*, 2006 ; Berg et Steinberger, 2008, 2010). Les travaux de Kizito et *al.*, (2006) ont permis de démontrer les effets bénéfiques des arbustes locaux sur la dynamique de l'eau dans la mesure où ils permettent le transfert d'eau des couches profondes vers les couches arables. Ce phénomène qualifié d'«ascenseur hydrique» permet le maintien d'une certaine humidité en surface qui est profitable à la culture associée (Kizito et *al.*, 2006 ; Bayala et *al.*, 2008). Les conditions particulières d'humidité, combinées à l'exudation racinaire et à l'apport de nutriments par décomposition de la matière organique apportée, contribuent au maintien sous et à proximité des touffes arbustives d'organismes qui ne peuvent se développer dans le sol en dehors du couvert végétal, notamment en saison sèche (Diédhiou et *al.*, 2013).

Contrairement à la pratique paysanne qui consiste à rabattre au raz de sol les rejets de souche lors de la préparation des champs de culture à l'approche de l'hivernage, à mettre en tas ou en andains la biomasse végétale issue du défrichage pour la sécher avant de la brûler, le paquet technologique favorise la restitution de la biomasse végétale au sol par enfouissement grâce au grattage. Ce dernier, effectué après apport de fumier, contribue à l'ameublissement du sol pour une bonne fixation des racines des cultures. Selon Traoré et *al.*, (2003) un grattage simple

permet d'obtenir des niveaux de rendement acceptables. L'incorporation des résidus de cultures permet d'obtenir des rendements élevés comparé au mulching ou au brûlage (Rebafka et *al.*, 1994 ; Bayala et *al.*, 2003). La fertilisation organique combinée à fertilisation minérale localisée par micro-dose permet une augmentation des rendements avec une diminution de 33% de la quantité d'engrais minéral et de 71% de la quantité d'Urée. Cette réduction de la quantité de fertilisant impacte positivement sur les revenus des producteurs qui, avec la fertilisation organo-minérale, dépenseront moins pour l'achat d'engrais sachant que le fumier provient des enclos familiaux et ne requiert pas d'investissement économique. Ces résultats sont en phase avec celles d'une étude réalisée au Mali qui montre que la fertilisation minérale par micro-dose permet une augmentation de 107% des rendements de grains de sorgho et de 61% du mil par rapport au témoin sans engrais (Taonda et *al.*, 2015). Pour ne prendre que l'exemple du mil, les gains financiers, qui en sont tirés, étaient 68% plus élevés que ceux obtenus avec le témoin sans engrais et 33% supérieurs à ceux issus de la fertilisation minérale (CORAF, 2011).

Le caractère climato-intelligent du paquet technologique se traduit par sa capacité à induire une amélioration significative des rendements qui augmentent de 60% par rapport à la pratique habituelle des agriculteurs en année de déficit pluviométrique et de 55% en année de pluviométrie excédentaire. Selon Sultan et *al.*, (2013), l'utilisation des prévisions et des informations météorologiques pour guider les choix tactiques (choix à court terme de la variété, date de semis) et/ou stratégiques (à plus long terme comme le choix du système de culture) peut entraîner une augmentation des rendements agricoles. Les travaux de Sultan et *al.*, (2010) et Roudier et *al.*, (2011) ont montré que les agriculteurs peuvent bénéficier en termes d'augmentation des revenus et de réduction des risques grâce à l'utilisation de prévisions saisonnières malgré son incertitude et son imperfection.

L'analyse des flux financiers montre que le PTACR est économiquement viable et financièrement rentable. Le bénéfice net tiré de la pratique du PTACR serait plus important si les effets du paquet technologique sur l'augmentation de la fertilité des sols, l'amélioration du micro-climat, l'approvisionnement en bois et la séquestration de carbone avaient été pris en compte dans l'analyse. La comparaison des pratiques agroforestières au Sénégal à travers l'analyse financière de Karch (1992) a montré que toutes les pratiques testées (arbre au champ, brise-vent, haie vive, verger, plantation en bordure) présentent un TRI positif. L'analyse et l'évaluation de la rentabilité de trois pratiques de gestion durable des terres par Sanogo et *al.*, (2019) montre que la RNA constitue une pratique très rentable avec un investissement initial faible et des effets environnementaux perceptibles dès les premières années de pratique.

5.6. Conclusion

Cette étude montre l'efficacité d'un Paquet Technologique Agroforestier Climato-Résilient sur le rendement du mil dans un contexte de variabilité pluviométrique dans le bassin arachidier du Sénégal. Le paquet technologique combine l'utilisation de variétés de semences choisies selon les prévisions climatiques, de l'information climatique tout au long de la saison de culture, la fertilisation minérale par micro-dose et du maintien de l'arbre à travers la RNA. Ce paquet permet d'obtenir une augmentation significative des rendements de 60% comparé à la pratique paysanne en année de pluviométrie déficitaire et 55% en année de pluviométrie excédentaire avec une réduction des dépenses liées à l'achat de l'engrais (diminution de 33% de la quantité d'engrais minérale et de 71% de la quantité d'Urée). Ce paquet technologique agroforestier est intelligent face au climat car elle permet de stabiliser d'une manière efficiente les rendements malgré la variabilité pluviométrique (productivité et adaptabilité), de réduire les émissions de gaz à effet de serre à travers la réduction des taux d'engrais chimiques utilisés et de contribuer à la séquestration de carbone avec la présence de l'arbre. Cependant, il serait important d'envisager de maximiser son efficacité en y intégrant les techniques de lutte contre les ravageurs des cultures. Néanmoins, ce paquet technologique économiquement viable et financièrement rentable pourrait d'ores et déjà être dupliqué dans les sites à conditions climatiques et socio-économiques similaires.

CHAPITRE 6 : DISCUSSION GENERALE

La Régénération Naturelle Assistée (RNA) est une technique agroforestière qui consiste à protéger et à gérer délibérément de la végétation ligneuse en régénération par les agriculteurs sur les terres agricoles. Dans le contexte actuel des changements climatiques dans le Sahel la pratique de la RNA est mise en avant par les grands projets et programmes de reverdissement compte tenu de son avantage comparatif en termes de coût et de simplicité. Cependant l'adoption de la RNA et sa mise à échelle sont confrontées à des contraintes socio-économiques, culturelles et pratiques. Ce travail se propose de connaître la perception paysanne de la RNA et de trouver des compromis d'optimisation en vue de favoriser son adoption pour accroître la productivité des cultures associées, renforcer la résilience des communautés et d'atténuer les effets du changement climatique. Le travail a été abordé sur la base des questions de recherches suivantes :

- quelle est la perception des communautés du bassin arachidier sur la RNA ?
- quels sont les déterminants socio-économiques de l'adoption de la RNA?
- quelle est la densité optimale d'arbustes à conserver dans les parcs sous RNA?
- quel est l'effet du paquet technologique climato-résilient sur le rendement du mil?

6.1. Perception paysanne de la RNA dans la zone d'étude

La RNA contribue selon respectivement 21% et 18% des répondants à l'amélioration de la fertilité du sol et de son humidité à proximité des arbustes. Plusieurs études ont montré que la RNA contribue entre autres à la réduction de l'érosion, à l'augmentation de l'humidité et la fertilité du sol ainsi que la création d'un micro-climat favorable aux cultures associées (Kizito et *al.*, 2012 ; Reij et Garrity, 2016 ; Camara et *al.*, 2017). Les arbres contribuent également à augmenter l'infiltration de l'eau dans le sol, à réduire l'évapotranspiration et la température du sol, ce qui améliore la tolérance des cultures annuelles aux périodes chaudes et/ou sèches, en particulier dans l'agriculture pluviale (Brown et *al.*, 2011). Ce constat a été vérifié dans le cadre de nombreuses études qui ont conclu que les rendements obtenus par les adoptants de la RNA sont supérieurs à ceux des non adoptants (Haglund et *al.*, 2011 ; Place et Binam, 2013 ; Camara et *al.*, 2017 ; Sanogo et *al.*, 2019). En plus, les travaux de Abasse et *al.*, (2013) ont montré que la floraison de *P. reticulatum*, espèce utilisée en RNA, dégage des essences qui semblent avoir d'effet répulsif sur les insectes floricoles. La perception paysanne montre également que l'adoption généralisée de la RNA dans une zone permet de tendre vers son reverdissement et par conséquent la diversification des espèces végétales et animales du terroir. C'est pour cette raison qu'elle est aujourd'hui largement promue comme une pratique de restauration durable des terres arables et de reforestation qui cherche à concilier une production alimentaire durable, la conservation des sols et la protection de la biodiversité (Chomba et *al.*, 2020 ; Kibru et *al.*,

2020). La RNA contribue à l'amélioration du bien-être des agriculteurs à travers la satisfaction des besoins en bois (18% des répondants), en produits forestiers non ligneux (14% des répondants) et en fourrage (9% des répondants). La gestion sylvicole des arbustes de la RNA contribue non seulement à l'amélioration de la disponibilité de bois mais aussi à l'allègement des difficultés de collecte de bois de chauffage aux femmes. La vente du bois participe à l'amélioration du revenu et de la sécurité alimentaire des ménages en période de soudure. Pour le bétail, une plus grande densité d'arbres peut compléter le fourrage herbacé et réduire les besoins en main-d'œuvre pour accéder aux aliments en cas de pénurie (Place et *al.*, 2009). Les travaux de Binam et *al.*, (2015) ont montré que l'adoption de la RNA permet d'engendrer un revenu additionnel de 72 USD par ménage dans quatre pays du Sahel. Dans le Centre-Sud bassin arachidier du Sénégal, (Sanogo et *al.*, 2019) ont constaté qu'un ménage adoptant la RNA gagne 72,65 USD par saison en moyenne sur la vente de Produits Forestiers Non Ligneux. Dans la région de Maradi au Niger, (Haglund et *al.*, 2011) ont estimé que l'adoption de la RNA a augmenté le revenu annuel brut des ménages de 46-56 USD par habitant du fait de la hausse notée principalement sur la valeur des cultures et de la production de bois. L'adoption de la RNA à l'échelle de la communauté contribue au bien-être des ménages ruraux en termes d'augmentation des actifs (densité d'arbres, bétail en bonne santé), de disponibilité accrue des ressources sauvages, d'amélioration du bien-être psychosocial, d'amélioration de la fertilité des sols et des rendements agricoles (Weston et *al.*, 2015).

6.2. Déterminants socio-économiques de l'adoption de la RNA par les communautés

Dans le Sud bassin arachidier du Sénégal, la probabilité d'adopter la RNA diminue avec l'appartenance à l'ethnie « Wolof ». Ce résultat pourrait s'expliquer par le mode de gestion du parc par les paysans de cette ethnie qui ont un système de culture extensif. D'après Sidibé (2003), les paysans « Wolof » mettent l'accent sur l'extension des superficies avec pour logique d'augmenter les rendements avec moins d'investissement. Le constat est que cette zone agro-écologique centrée sur les anciens royaumes Wolofs avec des enclaves Sérères fait face à une pression exercée sur les terres depuis l'introduction de la culture d'arachide (Tappan et *al.*, 2004). Cette situation se traduit par un abandon des jachères, la réduction des pâturages et la culture continue avec comme conséquence la dégradation de la végétation naturelle (Tappan et *al.*, 2020). Sall (2015) relève que les Wolofs, politiquement très structurés et socialement hiérarchisés, ne présentent pas une grande tradition agraire contrairement aux Sérères qui ont la caractéristique d'être une société véritablement paysanne ayant recours à des techniques agricoles très perfectionnées. Sidibé (2005) a signalé que les paysans « Wolof » ont joué un rôle

prépondérant dans l'expansion de la culture de l'arachide qui est à l'origine de la dégradation des parcs et des terres constatées dans le bassin arachidier du Sénégal. Les «Wolof» ont une propension affirmée à défricher de nouvelles espaces et à surexploiter les ressources contrairement aux autres ethnies de la zone (Bambara, Sérère et Peulh) qui semblent plus conservateurs des pratiques culturelles de maintien de la fertilité des sols à travers des systèmes intensifs de mise en valeur des terres. Par transmission intergénérationnelle, cette pratique a continué à être perpétuée par les paysans «Wolof» comme le montre la réplique des systèmes culturels du bassin arachidier dans la zone de Pata de la région naturelle de la Casamance au Sénégal (Sidibé, 2002 ; Touré et *al.*, 2019). Le mode d'obtention de la terre influe positivement la probabilité d'adoption de la RNA dans le Sud bassin arachidier du Sénégal. L'acquisition des champs par héritage favorise l'adoption de la RNA du fait qu'elle confère un droit de propriété permettant la valorisation de la terre sans risque d'en être désapproprié contrairement à l'emprunt, la location, le gage et le métayage. Ces résultats corroborent ceux de plusieurs auteurs (Sanogo et *al.*, 2004 ; Akrofi-Atitianti et *al.*, 2018 ; Lawin et Tamini, 2019) qui ont montré que le droit de propriété de la terre favorise l'adoption des pratiques agroforestières. Dans la mesure où la plantation confère dans une certaine mesure un droit de propriété, les propriétaires fonciers permanents n'autorisent généralement pas la plantation d'arbres à ceux qui ont des droits secondaires (Binam et *al.*, 2017). L'insécurité des terres et des arbres reste un obstacle majeur à l'adoption de la RNA (Chomba et *al.*, 2020). L'expérience montre que les agriculteurs et les autres producteurs ruraux investissent dans les arbres lorsqu'ils ont le sentiment de les posséder, que les droits de gestion des arbres et des autres ressources sont dévolus et que la gestion décentralisée des ressources est rendue possible (Reij et *al.*, 2020). Il n'y a guère d'incitation à s'engager dans la RNA si la tenure foncière n'est pas garantie (Chomba et *al.*, 2020). Les communautés rurales sont beaucoup plus enclines à adopter la RNA si elles disposent de droits d'utilisation des terres reconnus. Ce constat est d'autant plus fondé que dans la zone d'étude, la probabilité d'adoption de la RNA augmente lorsque l'exploitant agricole utilise un (01) hectare de terre supplémentaire. Au Sénégal, avec la loi sur le domaine national, la mise en valeur de la terre à travers la plantation /conservation et entretien des arbres permet de sécuriser le foncier afin de s'en approprier durablement.

6.3. Densité optimale d'arbuste à conserver en RNA

La densité optimale d'arbustes à conserver en association avec les cultures de mil se situe entre 50 et 100 arbustes.ha⁻¹ pendant les deux premières années et entre 50 et 75 arbustes.ha⁻¹ pour les arbustes des parcs à *P. reticulatum* et *C. glutinosum* âgés de 13 ans. Ces résultats

s'expliqueraient, au regard du houppier des arbustes de ces parcs ($7 \pm 0,2$ m et $4 \pm 0,2$ m), par le fait que ce dernier se développe avec l'âge créant un effet d'ombrage et une perte d'espace de semis avec des impacts négatifs sur les cultures. Les corrélations négatives entre le nombre de poquet et le rendement en grain de mil avec le houppier des arbustes dans les parcs à *C. glutinosum* ($r = -0,39$; $r = -0,29$) et à *P. reticulatum* ($r = -0,56$; $r = -0,54$) confirment cet effet dépressif. Une gestion sylvicole bien adaptée à partir de la cinquième année s'impose pour envisager de conserver 100 arbustes.ha⁻¹ afin de mieux profiter des biens et services que fournissent les arbres. Cela suppose de réduire de 25 à 50 % la canopée des arbustes en RNA au début de l'hivernage pour diminuer l'effet d'ombrage et de bénéficier des autres avantages de l'arbre. Bado et *al.*, (2021) ont obtenu de bons rendements avec des densités de 80 arbustes.ha⁻¹ en taillant de 50 % la canopée de *Ziziphus* avant la saison des pluies. Binam et *al.*, (2017) notent qu'au Sahel il existe un nombre optimal d'arbres qui peuvent être intégrés efficacement aux cultures pour optimiser les avantages économiques avant que la concurrence entre les arbres et les cultures n'entraîne des impacts négatifs. Selon ces auteurs, la RNA peut avoir un impact positif sur les rendements des cultures lorsque la densité des arbres est comprise entre 15 et 40 arbres ha⁻¹. Au-delà de cette densité, une diminution des rendements des cultures est observée pour des espèces particulières. Toutefois, ces auteurs n'ont pas apporté des précisions sur les espèces concernées par leur étude ainsi que l'âge et les caractéristiques dendrométriques des arbustes de la RNA. Dans la région de Maradi au Niger, Tougiani et *al.*, (2009) et Rinaudo (2012) ont rapporté que les agriculteurs craignaient que les rendements des cultures soient gravement compromis à la densité de 40 arbres.ha⁻¹ promues par les projets et les experts. Toutefois, les rendements des cultures ont augmenté selon ces auteurs, même avec des densités d'arbres plus élevées dépassant parfois 150 arbres.ha⁻¹. Dans les agro-écosystèmes coton-karité du Nord Bénin, Gbemavo et *al.*, (2010) ont signalé une diminution de la densité et du rendement des plantes de cotonnier sous houppier de karité qui seraient fortement corrélées à la diminution régulière de l'intensité lumineuse et de l'eau constatées sous le houppier des karités à cause de leur ombrage.

6.4. Effet du paquet technologique agroforestier climato-résilient

Selon le régime pluviométrique annuel, en rapport avec la pratique paysanne, le Paquet Technologique Agroforestier Climato Résilient (PTACR) testé dans cette étude a entraîné une augmentation significative des rendements en grains et en biomasse de mil. Cette combinaison judicieuse de bonnes pratiques qui a été initiée et testée pour la première fois dans cette étude permet une gestion intégrée de la fertilité des sols et des itinéraires techniques basées sur les

informations climatiques. Dans le système agraire sahélien, de nombreuses technologies pris isolément ont des effets bénéfiques scientifiquement confirmés (augmentation durable de la productivité et des revenus agricoles, adaptation et renforcement de la résilience des exploitations familiales, réduction des émissions de gaz à effet de serre). Cependant, dans les conditions réelles de terrain, les agriculteurs combinent de nombreuses pratiques dans leurs systèmes de production, et peu d'études ont documenté les performances de cette combinaison de technologies. Le caractère climato-intelligent du paquet technologique se traduit par sa capacité à induire une amélioration significative des rendements de mil qui augmentent de 60% par rapport à la pratique habituelle des agriculteurs en année de déficit pluviométrique et de 55% en année de pluviométrie excédentaire. Cette étude montre que le PTACR bonifie les effets positifs de chaque bonne pratique prise isolément sur la fertilité du sol et par conséquent le rendement des cultures. Ce paquet intégré répond aux critères de l'agriculture intelligente face au climat à savoir l'augmentation durable de la productivité et des revenus agricoles, l'adaptation et le renforcement de la résilience au changement climatique et la réduction des émissions et/ou absorption de gaz à effet de serre. Il est constitué d'une combinaison de pratique d'AIC notamment la RNA, l'apport de fumier, le grattage, la fertilisation minérale localisée par micro-dose et l'utilisation des prévisions et informations climatiques dans le choix des variétés adaptées au profil de la saison ainsi que la conduite des itinéraires techniques. L'arbre à lui seul impacte positivement sur différents nutriments du sol (Bayala et *al.*, 2007 ; Diallo et *al.*, 2019 ; Bayala et *al.*, 2019). Ces arbres améliorent l'infiltration de l'eau dans le sol en raison de la formation de canaux racinaires ainsi que des pores (Moustapha et *al.*, 2014). Ils contribuent également à réduire l'évapotranspiration et la température du sol, ce qui améliore la tolérance des cultures annuelles aux périodes chaudes et/ou sèches, en particulier dans l'agriculture pluviale (Brown et *al.*, 2011). L'adoption du PTACR permet à l'agriculture familiale à dominance pluviale de s'adapter à la variabilité du climat et d'atténuer ses effets grâce à l'utilisation des prévisions et informations météo. Ces dernières peuvent aider les agriculteurs à réduire leur vulnérabilité à la sécheresse et aux extrêmes climatiques, tout en maximisant les opportunités lorsque des précipitations favorables sont prédites (Roudier et *al.*, 2014). Ces prévisions et informations aident les producteurs à prendre des décisions stratégiques concernant le choix des cultures, de variétés adaptées au profil de la saison, la date appropriée de semis, d'épandage de fertilisants, le moment propice aux sarclages, aux binages aux traitements phytosanitaires et à la récolte. La fertilisation organique combinée à la fertilisation minérale localisée par micro-dose a permis une augmentation des rendements avec une diminution de 33% de la quantité d'engrais minéral et de 71% de la quantité d'Urée. La

réduction de la quantité d'engrais chimique notée avec le PTACR impacte positivement sur les revenus des producteurs qui, avec la fertilisation organo-minérale, dépenseront moins pour l'achat d'engrais sachant que le fumier provient des enclos familiaux et ne requiert pas d'investissement économique.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

La présente étude a pour objectif global de contribuer à la reconstitution des parcs agroforestiers du bassin arachidier et au renforcement de la résilience des petits producteurs aux chocs climatiques. Elle montre que, dans le Sud bassin arachidier du Sénégal, l'adoption de la RNA augmente de 20,6% avec l'accès aux appuis externes, de 14,6% à 19,1% avec l'ouverture aux innovations technologiques (utilisation de semences certifiées et pratique d'association culturale) et de 18,6% avec l'acquisition des terres par héritage. Par contre, l'adoption diminue de 27,8% avec l'appartenance à l'ethnie « Wolof ».

La pratique de la RNA est sujette à de nombreuses contraintes parmi lesquelles les coupes illicites (42% des répondants) et la divagation animale (29% des répondants) sont prépondérantes. La densité optimale d'arbustes à conserver en RNA se situe entre 50 et 100 arbustes.ha⁻¹ pendant les deux premières années de la pratique. Au-delà de 05 ans, les meilleurs compromis de densité se situent entre 50 et 75 arbustes.ha⁻¹. Sur la base de cette évidence, la recommandation serait d'augmenter la densité moyenne actuelle (10 arbustes.ha⁻¹) jusqu'à 100 arbustes.ha⁻¹ pendant les premières années de la pratiques. A partir de 5 ans, il serait opportun de procéder à une diminution du houppier de 25% à 50% par des coupes de gestion au début de l'hivernage.

Cette étude a par ailleurs permis de mettre au point un Paquet Technologique Agroforestier Climato-Résilient comme un compromis d'optimisation de la RNA en vue d'accroître la productivité des cultures associées, de renforcer la résilience des communautés et d'atténuer les effets du changement climatique. L'application de ce paquet a induit une augmentation de 60% du rendement de mil par rapport à la pratique habituelle des agriculteurs en année de déficit pluviométrique et de 55% en année de pluviométrie excédentaire avec une diminution des quantités d'engrais utilisés de l'ordre de 33% du NPK et de 71% de l'urée par rapport à la pratique paysanne. L'analyse coût-bénéfice montre que le PTCAR, avec une VAN de 1 388 567 FCFA et un TRI de 122%, est financièrement viable et économiquement rentable. Le PTACR est une combinaison judicieuse de bonnes pratiques qui permet une gestion intégrée de la fertilité des sols et des itinéraires techniques avec une prise en compte des prévisions et informations climatiques.

En perspectives, il serait important de :

- déterminer la densité optimale pour d'autres espèces de parcs au Sénégal ;
- étudier la banque de semence du sol pour la régénération ;
- enrichir la RNA avec des espèces de parcs en régression à travers des tests d'ensemencement par semis direct ;

- caractériser la dynamique de décomposition des feuilles des principales espèces conservées en RNA et de la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol et de l'efficience de son utilisation sur le rendement des cultures associées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abasse T., Yayé A., Abdoul Habou Z., Adamou AI., Adam T. 2013. Influence des Parcs agro-forestiers à *Piliostigma reticulatum* sur l'infestation des plants de mil par les insectes floricoles et *Coniesta ignefusalis* (Hmps) (Lépidoptère : *Pyralidae*) dans la zone d'Aguié au Niger. *Journal of Applied Biosciences* 66 : 5140– 5146

Agrhymet 2020. Prévisions saisonnières des caractéristiques Agro-HydroMétéorologiques pour la grande saison des pluies dans les pays du Golfe de Guinée– Bulletin spécial PRESAGG - Mars 2020

Agrhymet 2014. Bulletin de suivi de la campagne agropastorale – Mai 2014, Volume 24, N° 02

Agrisud 2020. Guide « L'agro-écologie en pratiques ». 212p

Akrofi-Atitianti F., Ifejika Speranza C., Bockel L., Asare R. 2018. Assessing climate smart agriculture and its determinants of practice in Ghana: A case of the cocoa production System. 7 (1), 30 ; <https://doi.org/10.3390/land7010030>

Albrecht A., Kandji S., 2003. Carbon sequestration in tropical agroforestry Systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 99: p.15-27.

Allen M., Diakhite M., Gana D. 2020. Two decades of Farmer Managed Natural Regeneration on the Seno plain, Mali. In. Pasiecznik, N. and C. Reij (eds.). *Restoring African Drylands*. EFRN News (60) : 59-66.

Altieri M.A., Nicholls C.I. 2017. The adaptation and mitigation potential of traditional agriculture in a changing climate. *Climatic Change*, 140 (1), 33-45.

Altieri M.A., Nicholls C.I., Henao A., Lana M.A. 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 35 (3), 869-890.

ANSD 2015. Situation Economique et Sociale Régionale, Kaffrine 2013. Chapitre X : Agriculture, 12p.

ANSD 2017. Recensement Général de la Population et de l'Habitat, de l'Agriculture et de l'Elevage (RGPHAE 2013). Rapport définitif RGPHAE/KAFFRINE. 96p.

Ba M, Reenberg 2003. Dynamique des paysages agraires dans le Bassin Arachidier (Sénégal) : éte cartographique. Rapport final. Dakar: CSE

Ba M.F., Samba S.A.N., Bassene E. 2014. Influence des bois rameaux fragmentés (BRF) de *Guiera senegalensis* J.F. Gmel et de *Piliostigma reticulatum* (Dc) Hochst sur la productivité du mil, *Pennisetum glaucum* (L.). Int. J. Biol. Chem. Sci. 8(3): 1039-1048, June 2014 ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print)

Badji M., Sanogo D., Coly L., Diatta Y., Akpo L.E. 2015. La régénération naturelle assistée (RNA) comme un moyen de reverdir le bassin arachidier au Sénégal : cas du terroir de Khatre Sy. *International journal of biological and chemical sciences*, 9(1): 234-245.

Badji T. 2018. Variabilité pluviométrique et stratégies d'adaptation de l'agriculture familiale pour la sécurité alimentaire dans le « Village Climato-Intelligent » de Daga Birame (Région de Kaffrine). Mémoire de master en sciences de l'environnement. Institut des Sciences de l'Environnement / Université Cheikh Anta Diop de Dakar (ISE/UCAD). 102p.

Bado B.V., Whitbread A., Manzo MLS. 2021. Improving agricultural productivity using agroforestry systems: Performance of millet, cowpea, and ziziphus-based cropping systems in West Africa Sahel. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 305 (2021) 107175. 10p

Baggnian I., Adamou M.M., Toudou A., Mahamane A. 2013. Impact des modes de gestion de la Régénération Naturelle Assistée des ligneux (RNA) sur la résilience des écosystèmes dans le Centre-Sud du Niger. *Journal of Applied Biosciences* 71:5742– 5752.

Bakhoum C, Diatta S, Bakhoum A, Ndour B, Akpo LE. 2012. Farmers' perceptions on woodlands in the groundnut basin of Kaffrine region in Senegal. *Journal of Applied Biosciences* 55: 4006– 4019

Bakhoum C., 2012. Diversité et capacités de régénération naturelle du peuplement ligneux dans les systèmes agraires du Bassin arachidier en zone Soudano-sahélienne (région de Kaffrine, Sénégal). Thèse de doctorat de 3ème cycle, spécialité : écologie, agroforesterie, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, Sénégal, 151 p

Bakhoum C., Agbangba E.C., Ndour B. 2012. Natural regeneration of tree in arid and semi-arid zones in westAfrica. *Journal of Asian Scientific Research* 2(12):820-834

Bakhoum C., Ndour B, Akpo L.E. 2013. Diversity of woodlands in the groundnut basin of Kaffrine region in Senegal. *Journal of Applied Biosciences* 63: 4674 – 4688

Bakhoum C., Ndour B., Akpo L., 2012. Natural regeneration of woody stands in the groundnut basin lands in the sudano-sahelian zone (region of Kaffrine, Senegal). *Journal of applied environmental and biological*, 2(7): 271-280.

Banzhaf, M. 2005. Les impacts socio-économiques de la gestion décentralisée des ressources naturelles : La contribution des conventions locales à la lutte contre la pauvreté. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.: 99p

Bayala J., Heng LK., van Noordwijk M., Ouedraogo SJ. 2008. Hydraulic Lift study in two native tree species of agroforestry parklands of West African dry savanna. *Acta Oecologia* 34: 370-378.

Bayala J., Mando A., Ouedraogo SJ., Teklehaimanot Z. 2003. Managing *Parkia biglobosa* and *Vitellaria paradoxa* prunings for crop production and improved soil properties in the Sub-Saharan zone of Burkina Faso. *Arid Land Res Manag* 17: 283-296.

Bayala J., Sanou J., Bazié HR., Coe R., Kalinganire A., and Sinclair FL. 2019. Regenerated trees in farmers' fields increase soil carbon across the Sahel. *Agroforest. Syst.* 94, 401–415. doi: 10.1007/s10457-019-00403-6

Bayala J., Kalinganire A., Sileshi G.W., Tondoh J.E., 2018. Soil organic carbon and nitrogen in agroforestry systems in Sub-Saharan Africa: a review. In: Bationo A, Ngaradoum D, Youl S, Lompo F, Opoku Fening J (eds) *Improving the profitability, sustainability and efficiency of nutrients through site specific fertilizer recommendations in West Africa Agro-Ecosystems*. Springer International Publishing AG, pp 51–61

Bayala J., Sanou J., Teklehaimanot Z., Kalinganire A., and Ouedraogo SJ. 2014. Parklands for buffering climate risk and sustaining agricultural production in the Sahel of West Africa. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 6, 28–34. doi: 10.1016/j.cosust.2013.10.004

Bayala J., Sanou J., Teklehaimanot Z., Ouedraogo SJ., Kalinganire A., Coe R., et al. 2015. Advances in knowledge of processes in soil-tree-crop interactions in parkland systems in the West African Sahel: a review. *Agric. Ecosyst. Environ.* 205, 25–35. doi: 10.1016/j.agee.2015.02.018

Bayala J., Sileshi GW., Coe R., Kalinganire A., Tchoundjeu Z., Sinclair F., et al. 2012. Cereal yield response to conservation agriculture practices in drylands of West Africa: a quantitative synthesis. *J. Arid. Environ.* 78, 13–25. doi: 10.1016/j.jaridenv.2011.10.011

Bayala, J., Balesdent, J., Marol, C., Zapata, F., Teklehaimanot, Z., and Ouedraogo, S. J. 2007. Relative contribution of trees and crops to soil carbon content in a parkland system in Burkina Faso using variations in natural ¹³C abundance. *Nutr. Cycling Agroecosyst.* 76, 193–201. doi: 10.1007/s10705-005-1547-1

Bayala, J., Heng, L.K., van Noordwijk, M., Ouedraogo, S.J. 2008. Hydraulic Lift study in two native tree species of agroforestry parklands of West African dry savanna. *Acta Oecologia* 34: 370-378

Beillouin D., Ben-Ari T., Makowski D. 2019. Evidence map of crop diversification strategies at the global scale. *Environmental Research Letters*, 14(12): 123001. DOI: 10.1088/1748-9326/ab4449

Belemvire A., Maiga A., Sawadogo H., Savadogo M., Ouedraogo S. 2008. Evaluation des impacts biophysiques et socio-economiques des investissements dans les actions de gestion des ressources naturelles au nord du plateau central du Burkina Faso. Rapport de synthese, version provisoire. <http://portails.cilss.bf/IMG/pdf/etudesahelrapportBF.pdf> (consulte le 08/04/2019).

Berg N., Steinberger Y. 2008. Role of perennial plants in determining the activity of the microbial community in the Negev Desert ecosystem. *Soil Biol. Biochem.* 40:2686- 2695.

Berg N., Steinberger Y. 2010. Are biological effects of desert shrubs more important than physical effects on soil microorganisms? *Microb. Ecol.* 59:121-129.

Binam J.N., Place F., Kalinganire A., Hamade S., Boureima M., Tougiani A. & Haglund E. 2015. Effects of Farmer Managed Natural Regeneration on livelihoods in semi-arid West Africa. *Environmental Economics and Policy Studies*, 17(4): 543–575. <http://doi.org/10.1007/s10018-015-0107-4>

Binam JN., Place F., Djalal A. A., Kalinganire A. 2017. Effects of local institutions on the adoption of agroforestry innovations: evidence of farmer managed natural regeneration and its implications for rural livelihoods in the Sahel. *Agricultural and Food Economics* (2017) 5:2. DOI 10.1186/s40100-017-0072-2.

Boffa JM. 2000. Les parcs agroforestiers en Afrique subsaharienne. Cahier FAO Conservation 34, FAO, Rome, 230p

Boffa JM., Taonda SJB., Dickey JB., Knudson DM. 2000. Field-scale influence of karité (*Vitellaria paradoxa*) on sorghum production in the Sudan zone of Burkina Faso. *Agrofor. Syst.*, 49: 153-175

Bogie N.A., Bayala R., Diedhiou I., Conklin M.H., Fogel M.L., Dick R.P., Ghezzehei T.A. 2018. Hydraulic redistribution by native Sahelian shrubs: Bioirrigation to resist in-season drought. *Frontiers in Environmental Science*, 6 (SEP).<https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00098>

Bonkougou EG., Djimbé M., Ayuk ET., Zoungrana I., Tchoundjeu Z., Niang A., Ndiaye S., Mayaki A., Ouedraogo JS., Yossi H. 2002. L'agroforesterie, un outil performant pour la gestion des ressources naturelles et la lutte contre la désertification au Sahel. Bilan de dix années d'expérience en recherche développement et perspectives. Les monographies Sahéliennes N°11. INSAH-ISBN 2-912693-28-4

Botoni E., Reij C. 2009. La transformation silencieuse de l'environnement et des systèmes de production au Sahel: impacts des investissements publics et privés dans la gestion des ressources naturelles. Comité permanent inter-États de lutte contre la sécheresse dans le Sahel (CIISS), 61 p.

Botoni E., Larwanou M., Reij C. 2010. La Régénération Naturelle Assistée (RNA) : une opportunité pour reverdir le Sahel et réduire la vulnérabilité des populations rurales. Le Projet majeur africain de la Grande Muraille Verte, Concepts et mise en œuvre, 151-162.

Brandt M., Rasmussen K., Hiernaux P. 2018. Reduction of tree cover in West African woodlands and promotion in semi-arid farmlands. *Nature Geoscience* | www.nature.com/naturegeoscience. <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0092-x>

Bright MBH., Diedhiou I., Bayala R., Assigbetse K., Lardy LC., Ndour Y., Dick RP. 2017. Long-term *Piliostigma reticulatum* intercropping in the Sahel: Crop productivity, carbon sequestration, nutrient cycling, and soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 242 (2017) 9–22.

Brown DR., Dettmann P., Rinaudo T., Tefera H., and Tofu A. 2011. Poverty alleviation and environmental restoration using the clean development mechanism: a case study from humbo, Ethiopia. *Environ. Manag.* 48, 322–333. doi: 10.1007/s00267-010-9590-3

Butari I., Zounhi J.S., Diallo A. 2004. Lecons tirees des experiences de lutte contre la desertification au Sahel. Actes des travaux de l'atelier sous-regional d'echange et de reflexion organise par le Centre de recherche pour le developpement international (Croi), Saly Portudal, Senegal. Dakar, Croi, 187 p.

Camara B., Sagna B., Ngom D., Niokane M., Gomis Z.D. 2017. Importance socioéconomique de *Elaeis guineensis* Jacq. (Palmier à huile) en Basse-Casamance (Sénégal). *European Scientific Journal* April 2017 edition Vol.13, No.12 ISSN : 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 7431.

Camara B.A., Drame M., Sanogo D., Ngom D., Badji M., Diop M., 2017. La régénération naturelle assistée : perceptions paysannes et effets agroécologiques sur le rendement du mil (*Pennisetum glaucum* L. R.Br.) dans le bassin arachidier au Sénégal. *Journal of applied biosciences*, 112 : 11025-11034.

Camara BA., Sanogo D., Ndiaye O. et al. 2021. Farmers' perception on the benefits and constraints of Farmer Managed Natural Regeneration and determinants of its adoption in the southern groundnut basin of Senegal. *Agroforest Syst.* <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00690-y>

Caswell M., Fuglie KO., Ingram C., Jans S., Kascak C. 2001. Adoption of Agricultural Production Practices: Lessons Learned from the U.S. Department of Agriculture Area Studies Project. *Agricultural Economics Reports* 33985, United States Department of Agriculture, Economic Research Service.

CCAFS. 2015. L'impact des services d'information climatique au Sénégal. CCAFS. Étude de Résultats no 3. Copenhague: Programme de recherche du CGIAR sur le changement climatique, l'agriculture et la sécurité alimentaire (CCAFS). Disponible en ligne à: www.ccafs.cgiar.org

CGIAR. 2009. Climate, Agriculture and Food Security: A Strategy for Change. CGIAR, p. 56.

CGIAR-CCAFS & CTA, 2013. Agriculture intelligente face au climat, succès des communautés agricoles dans le monde, 44p. Disponible sur <http://publications.cta.int>. Consulté le 14/09/2015

Chapuis-Lardy L., Badiane Ndour N.Y., Assigbetse K., Diédhiou I., Balaya R., Cournac L., et al. 2019. Les cultures vivrières associées aux arbustes natifs : un modèle adapté au climat sahélien. In: Seghier J. & Harmand J-M. (eds.). Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale. Chap. 12. Collection Update Sciences & Technologies, Quae éditions, Paris, ISBN 978 – 2 – 7592 – 3060 – 0, référence 02636EPB. www.quae-open.com

Charahabil MM., Diallo A., Ngom D., Diop B., Akpo LE. 2013. Importance des Combretaceae dans des forêts communautaires de la zone soudano-sahélienne au Sénégal. *Se_cherresse* 24 : 39-47. doi : 10.1684/sec.2012.0368

Chomba S., Sinclair F., Savadogo P., Bourne M., and Lohbeck M. 2020. Opportunities and constraints for using farmer managed natural regeneration for land restoration in sub-Saharan Africa. *Frontiers in Forests and Global Change* 3: 571679.

Clarkson G., Dorward P., Osbahr H., Torgbor F., Kankam-Boadu I. 2019. An investigation of the effects of PICSA on smallholder farmers' decision making and livelihoods when implemented at large scale - The case of Northern Ghana. *Climate Services* 14: 1-14.

Conseil Régional de Kaffrine. 2011. Plan d'Action Environnemental Régional de Kaffrine 2012-2014, Sénégal, pp. 12-20.

CORAF/WECARD. 2011. Lettre d'information trimestrielle du Conseil Ouest et Centre africain pour la recherche et le développement agricoles. 4e trimestre 2011, N° 61, ISSN : 0850 5810.

CRES. 2017. Adoption de semences améliorées de maïs: quel impact sur les rendements ? Les Notes de politique du CRES, N° 13 / 2017. 4p.

CSE. 2007. Caractérisation des systèmes de production agricole au Sénégal. Document de synthèse. MEPN. 39p.

Cunningham P., Abasse T. 2005. Reforesting the Sahel: Farmer managed natural regeneration. In: Kalinganire A, Niang A, Kone´ B (eds) Domestication des espèces

agroforestie`res au Sahel: situation actuelle et perspectives. ICRAF Working Paper no. 5. World Agroforestry Centre, Nairobi, pp 75–80

Dayamba DS., Dembele CK., Bayala J., Dorward P., Clarkson G., Sanogo D., Mamadou LD., Traore I., Diakite A., Nenkam A., Binam JN., Ouedraogo M., Zougmore R. 2018. Assessment of the use of Participatory Integrated Climate Services for Agriculture (PICSA) approach by farmers to manage climate risk in Mali and Senegal. *Climate Services* (2018). <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2018.07.003>.

Diaby M., Kone Y., Traore K., Maiga AS., Togo AM. 2020. Analyse des déterminants de l'adoption de la Régénération Naturelle Assistée (RNA) dans la zone soudano-sahélienne : cas des cercles de Diéma et Kolokani au Mali. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 14(2): 473-485, February 2020 ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631.

Diack M., Sene M., Badiane AN., Diatta M., Dick RP. 2000. Decomposition of a native shrub, *Piliostigma reticulatum*, litter in soils of semi-arid Senegal. *Arid Soil Res. Rehabil.* 14: 205–218.

Diallo D. 1992. Bibliographie annotée sur l'utilisation des plantes sauvages, en particulier de la littérature sur des plantes médicinales de l'Afrique occidentale. 36 p

Diallo M., Akponikè P.B.I., FatondjiD., Abasse T., Agbossou E.K. 2019. Long-term differential effects of tree species on soil nutrients and fertility improvement in agroforestry parklands of the Sahelian Niger. *For. Trees Livelihoods* 28, 240–252. doi: 10.1080/14728028.2019.1643792

Diatta AA., Ndour N., Manga A., Sambou B., Faye CS., Diatta L., Goudiaby A., Mbow C., Dieng SD. 2016. Services écosystémiques du parc agroforestier à *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A. Rich.) Milne-Redh. dans le Sud du Bassin Arachidier (Sénégal). *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 10(6): 2511-2525

Diatta EA., Dieng SD., Niang-Diop F., Goudiaby A., Sambou B. 2020. Importance socio-économique de *Parkia biglobosa* (Jacq) R. Br. Ex G. Don (nééré) dans le système agroforestier en Basse Casamance, Sénégal. *Afrique SCIENCE* 17(4) (2020) 1 - 17. ISSN 1813-548X, <http://www.afriquescience.net>

Diédhiou MAA., Faye E., Ngom D., Touré MA. 2014. Identification et caractérisation floristiques des parcs agroforestiers du terroir insulaire de Mar Fafaco (Fatick, Sénégal). *Journal of Applied Biosciences* 79:6855 – 6866

Diedhiou S., Dossa EL., Diedhiou I., Badiane AN., Assigbetse KB., Samba SAN., Khouma M., Sene M., Dick RP. 2013. Microbiology and macrofaunal activity in soil beneath shrub canopies during residue decomposition in agroecosystems of the Sahel. *Soil Science Society of America* 77: 501-511.

Diedhiou S., Dossa E.L., Badiane A.N., Diedhiou I., Sène M., Dick R.P. 2009. Decomposition and spatial microbial heterogeneity associated with native shrubs in soils of agroecosystems in semi-arid Senegal. *Pedobiologia* 52:273–286. doi:10.1016/j.pedobi.2008.11.002

Diop FN., Lykke AM., Sambou B. 2011. Régénération naturelle de *Cordyla pinnata* (Lepr. Ex. A. Rich.) Milne-Redh. dans une savane soumise au feu et au pâturage. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 22(3): 186-191.

Diop M., Kaya B., Niang A., Olivier A. 2005. La biodiversité des espèces ligneuses: diversité arborée et systèmes d'utilisation des terres du terroir dans le Cercle de Ségou, au Mali. ICRAF Working Paper no. 10. Nairobi : World Agroforestry Centre. 25p.

Dore T., Makowski D., Malezieux E., Munier-Jolain N., Tchamitchianv M., Tittone P. 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: revisiting methods, concepts and knowledge. *Eur J Agron.* 34:191-210.

Dossa EL., Diedhiou I., Khouma M., Sene M., Lufafa A., Kizito F., Samba SAN., Badiane AN., Diedhiou S., Dick RP. 2012. Crop productivity and nutrient dynamics in a shrub-based farming system of the Sahel. *Agron. J.* 104, 1255–1264.

Fabrice KD., Yann ESM. 2018. Facteurs socio- économiques influençant l'adoption de coton biologique au Nord- Est du Bénin: cas de la Commune de Kandi. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies (IJPSAT)*, 6(2): 577-584. DOI : <http://ijpsat.ijshjournals.org>.

FAO. 2017. Climate Smart Agriculture - Building Resilience to Climate Change. 629p. DOI: 10.1007/978-3-319-61194-5. <http://www.springer.com/us/book/9783319611938>.

FAO. 2017. Pratiques et technologies pour une Agriculture Intelligente face au Climat (AIC) au Bénin. 104 p. ISBN 978-92-5-130038-1

FAO. 2018. Les 10 éléments de l'agroécologie. Guider la transition vers des systèmes alimentaires et agricoles durables. 15p

Faye E., Diatta M., Samba A.N.S., Lejoly J. 2008. Usages et dynamique de la flore ligneuse dans le terroir villageois de Latmingué (Sénégal). *Journal des Sciences et Technologies* – 2008, Vol. 7. pp.43 – 58

Floret C., Pontanier R., Serpantie G. 1993. La jachère en Afrique tropicale, Dossier MAB, UNESCO, Paris. 16: 9-54.

Fotheringham AS., Wong DWS. 1991. The Modifiable Areal Unit Problem in Multivariate Statistical Analysis. *Environment and Planning A*, 23, 1025–1044.

Garrity DP., Akinnifesi FK., Ajayi OC., Weldesemayat SG., Mowo JG., Kalinganire A., et al. 2010. Evergreen agriculture: a robust approach to sustainable food security in Africa. *Food Security* 2, 197–214. doi: 10.1007/s12571-010-0070-7

Gbemavo DSJC., Glèlè Kakai R., Assogbadjo AE., Katary A., Gnanglè P. 2010. Effet de l'ombrage du karité sur le rendement capsulaire du coton dans les agroécosystèmes coton-karité du Nord Bénin. *TROPICULTURA*, 2010, 28, 4, 193-199

Gold M.A., Garrett H.E. 2009. Agroforestry Nomenclature, Concepts, and Practices. In *North American Agroforestry: An Integrated Science and Practice*, 2nd edition, H.E. Garrett (ed.) Copyright © 2009. American Society of Agronomy, 677 S. Segoe Rd., Madison, WI 53711, USA.

Griffon M. 2017. Éléments théoriques en agroécologie : l'intensivité écologique. OCL, DOI: [10.1051/ocl/2017016](https://doi.org/10.1051/ocl/2017016)

Haglund E., Ndjeunga J., Snook L., and Pasternak D. 2011. Dry land tree management for improved household livelihoods: farmer managed natural regeneration in Niger. *J. Environ. Manage.* 92, 1696–1705. doi: 10.1016/j.jenvman.2011.01.027

Hansen JW, Vaughan C, Kagabo DM, Dinku T, Carr ER, Körner J, Zougmore RB. 2019. Climate Services Can Support African Farmers' Context-Specific Adaptation Needs at Scale. *Front. Sustain. Food Syst.* 3:21. doi: 10.3389/fsufs.2019.00021

Herrmann SM., Anyamba A., Tucker CJ. 2005. Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate. *Glob Environ Change* 15:394–404

Herrmann SM., Tappan GG. 2013. Vegetation impoverishment despite greening: A case study from central Senegal. *Journal of Arid Environments*, 90 : 55-66.

HLPE. 2019. Agroecological and other innovative approaches for sustainable agriculture and food systems that enhance food security and nutrition. A report by the High Level Panel of Experts (HLPE) on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome. <http://www.fao.org/3/ca5602en/ca5602en.pdf>

Housman DC, Yeager CM, Darby BJ, Sanford RL, Kuske CR, Neher DA, Belnap J. 2007. Heterogeneity of soil nutrients and subsurface biota in a dryland ecosystem. *Soil Biol. Biochem.* 39:2138-2149.

Icraf, 2009. Renforcement des stratégies de subsistance à travers une utilisation et une gestion améliorée des parcs agro forestiers au Sahel. Rapport d'étape ICRAF, p2-3.

Ingram KT, Roncoli MC, Kirshen PH. 2002. Opportunities and constraints for farmers of West Africa to use seasonal precipitation forecasts with Burkina Faso as a case study. *Agricultural Systems* 74: 331-349.

ISRA. 2012. Catalogue officiel des espèces et des variétés cultivées au Sénégal. 1^{ère} édition. 192p.

ISRA/ ITA/ CIRAD. 2005. Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal. 520p.

Iturrioz R. 2009. Assurance Agricole. Banque Internationale pour la Reconstruction et le Développement / Banque Mondiale, p. 25

Jara-Rojas R, Russy S, Roco L, Fleming-Muñoz D, Engler A. 2010. Factors Affecting the Adoption of Agroforestry Practices: Insights from Silvopastoral Systems of Colombia. *Forests* 2020, 11, 648. Doi: 10.3390/f11060648. 15 p.

Karch G.E. 1992. Comparison of agroforestry practices in Senegal using financial analysis. In : Sullivan G.M., Huke S.M., Fox J.M. (1992). Financial and economic analyses of agroforestry systems. Proceedings of a workshop held in Honolulu, Hawaii, USA, July 1991. Paia, HI : Nitrogen Fixing Tree Association. PP 109 – 124.

Kibru T., Hussein R., Birhane E., Haggas J., Solomon N. 2020. Farmers' perception and reasons for practicing farmer managed natural regeneration in Tigray, Ethiopia. *Agroforest Syst.* <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00546-x>

Kizito F., Draglia M., Sene M., Lufafa A., Diedhiou I., Dick RP, Selker JS, Diack M, Dossa E, Khouma M, Badiane AN, Ndiaye S. 2006. Seasonal soil water variation and root patterns between two semi-arid shrubs co-existing with pearl millet in Senegal, West Africa. *J. Arid Environ.* 67:436–455.

Kizito F., Draglia M., Senè M., Brooks JR., Meinzer FC., Diedhiou I., et al. 2012. Hydraulic redistribution by two semi-arid shrub species: implications for Sahelian agro-ecosystems. *J. Arid Environ.* 83, 69–77. doi: 10.1016/j.jaridenv.2012.03.010

Kouakou P.K., Muller B., Guissé A., Yao R.N., Fofana A., Cissé N. 2013. Étude et prise en compte en modélisation de l'effet de la latitude sur la réponse à la photopériode chez divers génotypes de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) du Sénégal. *Journal of Applied Biosciences* 67:5289 – 5301

Lafleur M. 2008. Recherches et documentation des meilleures pratiques pour la gestion durable des parcs à karité en Afrique de l'Ouest. Programme de Renforcement des capacités des productrices de beurre de karité en Afrique de l'Ouest. Montréal : CECI, 110 p.

Lahmar R., Bationo B.A., Dan Lamso N., Guero Y., Tittone P. 2011. Tailoring conservation agriculture technologies to West Africa semi-arid zones: building on traditional local practices for soil restoration. *Field Crops Res.* 132, 158–167.

Larwanou M., Abdoulaye M., Reij C. 2006. Étude de la régénération naturelle assistée dans la région de Zinder (Niger). Nouakchott : Usaid, Égat, 56 p.

Larwanou M., Oumarou L., Snook L., Danguimbo I. 2010. Pratiques sylvicoles et culturelles dans les parcs agroforestiers suivant un gradient pluviométrique nord-sud dans la région de Maradi au Niger. *Tropicultura*, 28(2) : 115-122.

Larwanou M., Saadou M. 2012. Impacts des activités de restauration des terres sur la végétation au Niger. *Journal des sciences de l'environnement*, 1(1) : 1-15.

Larwanou M., et Tougiani A. 2008. Manuel de formation à l'intention des agents de vulgarisation et des producteurs sahéliens.

Larwanou M., Abdoulaye M., and Reij C. 2006. Etude de la Régénération Naturelle Assistée Dans la Région de Zinder (Niger): une Première Exploration d'un Phénomène Spectaculaire. Washington DC: International Resources Group (IRG), for the US Agency for International Development (USAID).

Larwanou M., and Saadou M. 2011. The role of human interventions in tree dynamics and environmental rehabilitation in the Sahel zone of Niger. *J. Arid Environ.* 75, 194–200. doi: 10.1016/j.jaridenv.2010.09.016

Lawali S, Diouf A, Morou B, Abdou Kona K, Saidou L, Guero C, Mahamane A. 2018. Régénération Naturelle Assistée (RNA) : outil d'adaptation et résilience des ménages ruraux d'Aguié au Niger. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 12(1): 75-89, February 2018 ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-863

Lawin KG, Tamini LD. 2019. Land Tenure Differences and Adoption of Agri-Environmental Practices: Evidence from Benin, *The Journal of Development Studies*, 55:2, 177-190, DOI: 10.1080/00220388.2018.1443210

Leroux M, Sagna P. 2000. Climat. In *Atlas Jeune Afrique: le Sénégal*. Paris: Editions Jeune Africain, pp.16-19.

Lipper L., Thornton P., Campbell B.M., Baedeker T., Braimoh A., Bwalya M., Caron P., Cattaneo A., Garrity D., Henry K., et al. 2014. Climate-smart agriculture for foodsecurity. *Nature Climate Change*, vol N° 4, December 2014, 1068-1072. www.nature.com/natureclimatechange.

Lohbeck M, Albers P, Boels LE, Bongers F, Morel S, Sinclair F, Takoutsing B, Vågen TG, Winowiecki LA & Smith-Dumont E. 2020. Drivers of farmer-managed natural regeneration in the Sahel. Lessons for restoration. *Scientific Reports Nature research*. 12p. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70746-z>

Loupe D, Yossi H. 2000. Les haies vives en Afrique de l'Ouest sèche et subhumide (bilan des connaissances). In : *La jachère en Afrique tropicale rôles, aménagements, alternatives*. Floret C. et Pontanier R. (eds), Vol 1. Actes du séminaire international, Dakar, 13-16 avril 1999. John Libbey-Eurotext.

Lufafa A., Bolte J., Wright D., Khouma M., Diedhiou I., Dick R.P., Kizito F., Dossa E., Noller J.S. 2008. Regional carbon stocks and dynamics in native woody shrub communities of Senegal's Peanut Basin. *Agric. Ecosyst. Environ.* 128:1–11. doi:10.1016/j.agee.2008.04.013

Lykke AM. 2000. Local perceptions of vegetation change and priorities for conservation of woody-savanna vegetation in Senegal. *Journal of Environmental Management*, 59(2): 107- 120.

MAER. 2012. Catalogue officiel des espèces et des variétés cultivées au Sénégal. 1ère Edition. pp 60-67.

Malezieux E. 2012. Designing cropping systems from nature. *Agr Sust Dev* 32:15–29.

Mbow C, Mertz O, Diouf A, Rasmussen K, Reenberg A. 2008. The history of environmental change and adaptation in eastern Saloum-Senegal-Driving forces and perceptions. *Global and Planetary Change* 64 (2008) 210–221

Mbow C., Smith P., Skole D., Duguma L., and Bustamante M. 2014. Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa. *Curr. Opin. Environ. Sustainabil. Sustainabil. Challeng.* 6, 8–14. doi: 10.1016/j.cosust.2013.09.002

McGahuey M., Winterbottom R. 2007. Transformational development in Niger. USAID and International Resources Group FRAMEWeb. <http://www.frameweb.org/adl/en-US/2803/file/336/Niger.pdf>. Accessed 21 April 2013

MEDD. 2014. Cinquième rapport national sur la mise en œuvre de la Convention Internationale sur la Diversité Biologique. 105p.

MEPN. 2010. Quatrième rapport national sur la mise en œuvre de la convention sur la diversité biologique. République du Sénégal/ISE/PNUD. 131p.

Moustapha, A. M., Bagnian, I., Yahaya, N., and Adam, T. 2014. Influence of Regreening on the infiltrability of soils in South-Central Niger. *J. Water Resour. Protect.* 06, 1731–1742. doi: 10.4236/jwarp.2014.619155

Mwungu CM, Mwongera C, Shikuku KM, Acosta M, Läderach P. 2018. Determinants of Adoption of Climate-Smart Agriculture Technologies at Farm Plot Level: An Assessment from Southern Tanzania. In: Filho, Walter Leal (editors) *Handbook of Climate Change Resilience*. Springer. 1-15 p.

Ndiaye O., Diallo A., Sagna M.B., Guissé A. 2013. Diversité floristique des peuplements ligneux du Ferlo, Sénégal. Volume 13 Numéro 3 | décembre 2013

Niang I., Dansokho Faye M. S., Gueye K., Ndiaye P. 2010. Impacts of climate change on the Senegalese coastal zones: Examples of the Cap Vert peninsula and Saloum estuary. *Global and Planetary Change*, In Press.

Ouedraogo I, Diouf NS, Ouédraogo M, Ndiaye O, Zougmore RB. 2018a. Closing the Gap between Climate Information Producers and Users: Assessment of Needs and Uptake in Senegal. *Climate* 2018, 6, 13; doi:10.3390/cli6010013

Ouédraogo M, Barry S, Zougmore RB, Partey ST, Somé L, Baki G. 2018b. Farmers' Willingness to Pay for Climate Information Services: Evidence from Cowpea and Sesame Producers in Northern Burkina Faso. *Sustainability* 2018, 10, 611; doi:10.3390/su10030611

Place F., Binam JN. 2013. Economic impacts of farmer managed natural regeneration in the Sahel: end of project technical report. Free University, International Fund for Agricultural Development (IFAD), Amsterdam

Place F., Roothaert R., Maina L., Franzel S., Sinja J., Wanjiku J. 2009. The impact of fodder trees on milk production and income among smallholder dairy farmers in East Africa and the role of research. World Agroforestry Centre, Nairobi

Rebafka FP, 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 on an Acid Sandy Soil in Niger, West-Africa. *Field Crop. Res.* 36 :113-124.

Reij C., and Garrity D. 2016. Scaling up farmer-managed natural regeneration in Africa to restore degraded landscapes. *Biotropica* 48, 834–843. doi: 10.1111/ btp.12390

Reij C., Pasiecznik N., Mahamoudou S., Kassa H., Winterbottom R., Livingstone J. 2020. Dryland restoration successes in the Sahel and Greater Horn of Africa show how to increase scale and impact. In: Pasiecznik, N. and C. Reij (eds.). *Restoring African Drylands*. ETFRN News (60): 1-24.

Reij C., Tappan G., Smale M., 2009. Agroenvironmental transformation in the Sahel: Another kind of “Green Revolution” In: IFPRI Discussion Paper^o 00914. Washington, D.C.: International Food Policy Research Institute 7: 53-58. Available online at: <https://ebrary.ifpri.org/utils/getfile/collection/p15738coll2/id/15847/filename/15848.pdf>.

Reij, C., Garrity, D. 2016. Scaling up farmer-managed natural regeneration in Africa to restore degraded landscapes. *Biotropica* 48, 834–843. DOI: 10.1111/btp.12390

Rinaudo T. 2010. La régénération naturelle assistée, l'expérience du Niger In ECHO Note technique. Site web :<http://www.echonet.org.27p>

Rinaudo T. 2012. “Farmer managed natural regeneration: exceptional impact of a novel approach to reforestation in Sub-Saharan Africa,” in *Agricultural Options for the Poor—a Handbook for Those Who Serve Them*, eds T. Motis and D. Berkelaar (North Fort Myers: Educational Concerns for Hunger Organisation).

Roudier P, Muller B, D'Aquino P, Roncoli C, Soumare MA, Batte L, Sultan B. 2014. The role of climate forecasts in smallholder agriculture: lessons from participatory research in two communities in Senegal. *Clim. Risk Manag.* 2, 42–55. doi: 10.1016/j.crm.2014.02.001

Roudier P., Sultan B., Quirion P., Baron C., Alhassane A., Traore S.B., Muller B. 2011. An ex-ante evaluation of seasonal forecasting for millet growers in SW Niger. *International Journal of Climatology* 32: 759–771 (2012). doi: 10.1002/joc.2308.

Roudier P., Sultan B., Quirion P., Berg A. 2011. The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say? *Global Environmental Change* 21 (2011) 1073–1083

Saidou A., Balogoun I., Kone B., Gnangle CP., Aho N. 2012. Effet d'un système agroforestier à karité (*Vitellaria paradoxa* c.f. gaertn) sur le sol et le potentiel de production du maïs (*Zea maize*) en zone Soudanienne du Bénin. *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 6(5) : 2066-2082

Sale A, Folefack PD, Obwoyere GO, Lenah Wati N, Lenzemo WV, Wakponou A. 2014. Changements climatiques et déterminants d'adoption de la fumure organique dans la région semi-aride de Kibwezi au Kenya. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 8(2): 680-694. DOI: <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i2.24>

Sall M. 2015. Les exploitations agricoles familiales face aux risques agricoles et climatiques : stratégies développées et assurances agricoles. *Economies et finances*. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2015. Français. (NNT : 2015TOU20063). (tel-01342523)

Samaké O, Dakouo JM, Kalinganire A, Bayala J, Koné B. 2011. Régénération naturelle assistée – Gestion des arbres champêtres au Sahel. ICRAF. Technical Manual No. 16. Nairobi: World Agroforestry Centre.

Sanginga N., Woomer P. 2009. Integrated soil fertility management in Africa: principles, practices and process development, TSBF-CIAT: AT and FORMAT, Nairobi Kenya.

Sanogo D. 2000. La haie vive dans le Sud bassin arachidier du Sénégal: adoption et conséquences agro-écologiques. Thèse de doctorat de 3ème cycle de Biologie Végétal. Université Cheikh Anta Diop. 143p.

Sanogo D., Ayuk E., Gassama Y. 2004. Appropriation des technologies agro-forestières: cas de la haie vive dans le sud bassin arachidier. In : Agronomie et agroforesterie au Sahel. Etudes et recherches sahéliennes de l'INSA, N° 10, 2004. ISSN: 1028-6535. Pp. 7-18.

Sanogo D., Camara BA., Diatta Y., Coly L., Diop M., Badji M., Binam JN. 2019. La Régénération Naturelle Assistée (RNA) dans le bassin arachidier du Sénégal, une alternative pour réduire la pauvreté en milieu rural. In: Seghieri J. & Harmand J-M. (eds.). Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale. Chap. 11. Collection Update Sciences & Technologies, Quae éditions, Paris, ISBN 978-2-7592-3060-0, référence 02636EPB. www.quae-open.com.

Sanogo D., Ndour BY., Sall M., Toure K., Diop M., Camara BA., N'Diaye O., Thiam D. 2017. Participatory diagnosis and development of climate change adaptive capacity in the groundnut basin of Senegal: building a climate-smart village model. Agriculture & Food Security (2017) 6:13. DOI 10.1186/s40066-017-0091-y

Sanogo D., Sall M., Ba H.S., Camara B.A., Diatta P.M. 2019. Les utilisateurs des terres de Kaffrine gagnent à investir dans des pratiques de gestion plus durables. Exemple du village climato-intelligent de Daga Birame et sa plateforme d'innovation. Un rapport de l'initiative ELD dans le cadre du projet « Inverser la dégradation des terres en Afrique par l'adoption à grande échelle de l'agroforesterie » Disponible sur www.eld-initiative.org

Sanogo D., Sall M., Ba H.S., Diop M., Camara B.A., Badji M., Diatta M. 2019. Situation de référence biophysique et socioéconomique de la RNA dans les communes de Ndiognick, Mboula et Mbayene. Rapport d'étude. Disponible sur <http://www.iedafrique.org/Etude-sur-la-Situation-de-reference-biophysique-et-socioeconomique-de-la-RNA.html>.

Sanogo D. 2014. La communication participative pour le développement (CPD) : un outil de valorisation des résultats de la recherche forestière et agroforestière au Sénégal. Science et technique, Revue burkinabé de la recherche ; Lettres, Sciences sociales et humaines ; Volume : Spécial hors-série N°1, Mai 2014 - ISSN 1011-602

Sanogo D., Sall M., Camara BA., Diop M., Badji M., Ba H.S. 2020. The Climate-Smart Village approach: putting communities at the heart of restoration. In. Pasiecznik, N. and C. Reij (eds.). Restoring African Drylands. ETFRN News (60) : 85-92.

Sanou J., Bationo BA., Barry S., Nabie LD., Bayala J., Zougmore R. 2016. Combining soil fertilization, cropping systems and improved varieties to minimize climate risks on farming productivity in northern region of Burkina Faso. *Agric & Food Secur (2016) 5:20*. DOI 10.1186/s40066-016-0067-3

Sanou L., Savadogo P., Ezebilo EE., Thiombiano A. 2017. Drivers of farmers' decisions to adopt agroforestry: Evidence from the Sudanian savanna zone, Burkina Faso. *Renewable Agriculture and Food Systems*. Doi :10.1017/S1742170517000369.

Sarr W. 2008. Effet de la déforestation et des changements d'utilisation des terres des réserves sylvopastorales de Mbégué et Dolly (Sénégal) sur les émissions de gaz à effet de serre (GES) et le stock de carbone (C). Mémoire DEA, FST, UCAD (Sénégal). 74p

Seghieri J., Simier M., Mahamane A., Hiernaux P., Rambal S. 2005. Adaptive above-ground biomass, stand density and leaf water potential to droughts and clearing in *Guiera senegalensis*, a dominant shrub in Sahelian fallows (Niger). *J. Trop. Ecol.* 21:203–213. doi:10.1017/S0266467404002135

Seghieri J. 2017. Systèmes agroforestiers soudano-sahéliens. Tradition ou innovation ? In : Désertification et système terre : de la (re)connaissance à l'action. Liaison Énergie-Francophonie. Numéro 105, 2e trimestre 2017. PP 92-95.

Sendzimir, J., Reij, C. P., Magnuszewski, P. 2011. Rebuilding resilience in the Sahel: greening in the maradi and Zinder regions of Niger. *Ecol. Soc.* 16:art1. DOI: 10.5751/ES-04198-160301

Sidibé M. 2002. Entre le Saloum et la forêt de Pata : mobilité des migrants, intégration des espaces. *Revue européenne des migrations internationales* vol. 18 - n°2 | 2002. URL : <http://journals.openedition.org/remi/2640> DOI : 10.4000/remi.2640 ISSN : 1777-5418. 16p.

Sidibé M. 2003. « La fidélité au gnitatu bagane ou la constance des paysans wolof aux systèmes de production extensifs », Les Cahiers d'Outre-Mer [En ligne], 224 | Octobre-Décembre 2003, mis en ligne le 13 février 2008, consulté le 30 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/com/745>; DOI : 10.4000/com.745

Sidibé M. 2005. Migrants de l'arachide : la conquête de la forêt classée de PataCasamance. Édit. IRD, collection "À travers champs", Paris, 301 p.

Snapp S., Kebede Y., Wollenberg E., Dittmer K.M., Brickman S., Egler C., Shelton S. 2021. Agroecology and climate change rapid evidence review: Performance of agroecological approaches in low- and middle- income countries. Wageningen, the Netherlands: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).

Steiner A., Aguilar G., Bomba K., Bonilla J.P., Campbell A., Echeverria R., Gandhi R., Hedegaard C., Holdorf D., Ishii N., et al. 2020. Actions to transform food systems under climate change. Wageningen, The Netherlands: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). <https://hdl.handle.net/10568/108489>

Sultan B., Barbier B., Fortilus J., Mbaye SM., Leclerc G. 2010. Estimating the potential economic value of the seasonal forecasts in West Africa: a long-term ex-ante assessment in Senegal. *Weather Climate and Society* 2: 69-87. DOI: 10.1175/2009WCAS1022.1

Sultan B., Roudier P., Quirion P. 2013. Les bénéfices de la prévision saisonnière pour l'agriculture en Afrique de l'Ouest. *Secheresse* 24 : 304-13. doi : 10.1684/sec.2013.0398

Tamburini G., Bommarco R., Wanger T.C., Kremen C., van der Heijden M.G.A., Liebman M., Hallin S. 2020. Agricultural diversification promotes multiple ecosystem services without compromising yield. *ScienceAdvances*, 6(45). DOI: 10.1126/sciadv.aba1715

Taonda S.J.B., Compaore E., Zongo N. 2015. Guide de Formation en Technique de Microdose. Pp 12-20.

Tappan G., McGahuey M., Winterbottom R. 2020. Restoration of agricultural landscapes and dry forests in Senegal. In. Pasiecznik, N. and C. Reij (eds.). Restoring African Drylands. ETFRN News (60) : 27-34.

Tappan G.G., Sall M., Wood E.C., Cushing M. 2004. Ecoregions and land cover trends in Senegal. *Journal of Arid Environments* 59, 427-462.

Torquebiau E., Roudier P., Demenois J., Saj S., Hainzelin E., Maraux F. 2019. Agroécologie et changement climatique : des liens intimes et porteurs d'espoir. In : *La transition agro-écologique des agricultures du Sud*. Coord. par Côte F.X., Poirier-Magona E., Perret S., Roudier P., Rapidel B., Thirion M.C. Ed. Quæ, janvier 2019. Pp 344-359.

Toudou A., Reij C., Tahirou A., Larwanou M., Tappan G., Yamba B., 2006. Impacts des investissements dans la gestion des ressources naturelles au Niger : rapport de synthèse. Etude Sahélienne, CRESA, Niger. 58p.

Tougiani A., Aissatou Y., Zakari AH., Assoumane IA., Toudou A. 2013. Influence des Parcs agro-forestiers à *Piliostigma reticulatum* sur l'infestation des plants de mil par les insectes floricoles et *Coniesta ignefusalis* (Hmps) (Lépidoptère: Pyralidae) dans la zone d'Aguié au Niger. *Journal of Applied Biosciences* 66:5140– 5146.

Tougiani A., Guero C., Rinaudo T. 2009. Community mobilisation for improved livelihoods through tree crop management in Niger. *GeoJournal* 74, 377–389. doi: 10.1007/s10708-008-9228-7

Toure A. 2002. Contribution à l'étude de l'évolution des réservoirs de carbone en zone Nord soudanienne au Sénégal. Thèse N° 2585, Faculté Environnement Naturel, Architectural et Construit (ENAC), Ecole polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), pp I-3-11, II-4p.

Touré K., Sall M., Diallo M., Sabaly IK., Thiam A., Sagna OB., Thiam M., Sall B., Dioum M., Diagne M. 2019. Économie de la dégradation de la forêt classée de Pata au Sénégal. Rapport de l'Initiative ELD dans le cadre du projet « Inverser la dégradation des terres en Afrique par l'adoption à grande échelle de l'agroforesterie ». Disponible sur www.eld-initiative.org

Touré MA. 2015. *Sterculia setigera* Del. : étude phytosociologique des populations et de leurs potentialités de production de gomme. Thèse de doctorat. Spécialité : écologie et Agroforesterie. Faculté des Sciences et Techniques/UCAD. 102p.

Tovihoudji PG., Akponikpe PBI., Agbossou EK., Bertin P., Biielders CL. 2017. Fertilizer micro-dosing enhances maize yields but may exacerbate nutrient mining in maize cropping systems in northern Benin. *Field Crops Research* 213 (2017) 130–142.

Tovihoudji PG., Akponikpe PBI., Agbossou EK., Biolders CL. 2015. Integrated fertilizer micro-dosing and organic manure to adapt to climate variability and change in Northern Benin. Conference Paper (Global Science Conference on Climate Smart Agriculture). March 2015.

Traoré S., Bagayoko M., Coulibaly BS., Coulibaly A. 2003. Amélioration de la gestion de la fertilité des sols et celle des cultures dans les zones sahéliennes de l'Afrique de l'Ouest: une condition sine qua none pour l'augmentation de la productivité et de la durabilité des systèmes de culture à base de mil. [En ligne] URL : www.syngentafoundation.org/db/1/434.pdf, 21 p, consulté le 11/11/2015.

USDA 2019. Agroforestry Strategic Framework. 26p

Villanueva-López G., Martínez-Zurimendi P., Ramírez-Avilés L., Aryal DR., Casanova-Lug F. 2014. Live fences reduce the diurnal and seasonal fluctuations of soil CO₂ emissions in livestock systems. *Agron Sustain Dev* 36:23

Wagué D. 2017. Caractérisation de la végétation ligneuse et évaluation du stock de carbone selon un gradient pluviométrique dans le bassin arachidier (Sénégal). Mémoire de Master. Université Assane SECK de Ziguinchor. 65p

Westerberg V., Doku A., Damnyag L., Kranjac-Berisavljevic G., Owusu S., Jasaw G., Yaboah E., Di Falco S. 2019. Reversing Land Degradation in Drylands: The Case for Farmer Managed Natural Regeneration (FMNR) in the Upper West Region of Ghana. Report for the Economics of Land Degradation Initiative in the framework of the “Reversing Land Degradation in Africa by Scaling-up Evergreen Agriculture” project. 82p.

Weston P., Hong R., Kaboré C., Kull CA. 2015. Farmer-managed natural regeneration enhances rural livelihoods in Dryland West Africa. *Environ. Manag.* 55, 1402–1417. doi: 10.1007/s00267-015-0469-1

Wezel A., Rajot JL., Herbig C. 2000. Influence of shrubs on soil characteristics and their function in Sahelian agro-ecosystems in semi-arid Niger *J. Arid Environ.* 44:383–398.

Wezel A., Lykke A.M. 2006. Woody vegetation change in Sahelian West Africa: evidence from local knowledge. *Environ. Dev. Sustain.*:8: 553-567

Williams T.O., Mul M., Cofie O., Kinyangi J., Zougmore R., Wamukoya G., Nyasimi M., Mapfumo P., Speranza C.I., Amwata D., Frid-Nielsen S., Partey S., Girvetz E.,

Rosenstock T., Campbell B. 2015. L'Agriculture Intelligente face au Climat dans le Contexte Africain. Document de référence. 31p.

Winowiecki LA., Vågen T-G., Kinnaird MF., TG. O'Brien. 2018. Application of systematic monitoring and mapping techniques: Assessing land restoration potential in semi-arid lands of Kenya. Geoderma.

Winterbottom R., McGahuey M., Tappan G. 2020. Adoption of Farmer Managed Natural Regeneration in Senegal. In. Pasiecznik, N. and C. Reij (eds.). Restoring African Drylands. ETFRN News (60) : 69-76.

WVS 2008. Rapport sur la situation de référence du projet d'amélioration de la situation alimentaire et des revenus au Sénégal. pp. 19-23.

WVS 2016. Contribution des Associations de Paysans Leaders dans le Plan Sénégal Emergent à travers le projet modèle FMNR - Farmer Managed Natural Regeneration, (RNA - Régénération Naturelle Assistée), vulgarisé par World Vision Sénégal. Panel. 19p.

Yayé A., Berti F. 2008. Les enjeux socio-économiques autour de l'agroforesterie villageoise à Aguié (Niger). Tropicultura 26, 141–149

Yohannes Y., Shibistova O., Abate A., Fetene M., Guggenberger G. 2011. Soil CO₂ efflux in an Afromontane forest of Ethiopia as driven by seasonality and tree species. For Ecol Manag 261(6): 1090–1098

Zomboudré G., Zombré G., Ouedraogo M., Guinko S., Macauley HR. 2005. Réponse physiologique et productivité des cultures dans un système agroforestier traditionnel : cas du maïs (*Zea mays* L.) associé au karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.) dans la zone est du Burkina Faso. Biotechnol. Agron. Soc. Environ., 9(1): 75-85.

ANNEXES

Annexe 1: Article publié

CAMARA B.A., SANOGO D., NDIAYE O. *et al.* 2021. Farmers' perception on the benefits and constraints of Farmer Managed Natural Regeneration and determinants of its adoption in the southern groundnut basin of Senegal. *Agroforest Syst* (2021). <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00690-y>

Agroforest Syst
<https://doi.org/10.1007/s10457-021-00690-y>



Farmers' perception on the benefits and constraints of Farmer Managed Natural Regeneration and determinants of its adoption in the southern groundnut basin of Senegal

Baba Ansoumana Camara · Diaminatou Sanogo · Ousmane Ndiaye · Pape Bilal Diahate · Moussa Sall · Halimatou Sadyane Ba · Mouhamadou Diop · Marcel Badji

Received: 27 January 2021 / Accepted: 13 September 2021
© The Author(s), under exclusive licence to Springer Nature B.V. 2021

Abstract Farmer Managed Natural Regeneration (FMNR) is a simple and inexpensive practice for restoring vegetation cover on degraded land, unlike reforestation. Current knowledge on the socioeconomic factors that may influence its adoption is limited. The objective of this study is to analyze the socioeconomic determinants of FMNR adoption by communities. 197 households were surveyed. The probit model was used to identify the socioeconomic determinants of adoption. The results show that ethnicity, access to external support, receptivity to technological innovations, mode of land acquisition and the importance of production are determining factors in the adoption of FMNR. According to farmers, FMNR contributes to improving soil fertility and soil moisture conservation (21% and 17% of farmers, respectively). According to them, the FMNR improves the supply of wood (18 %) and non-timber forest products (13 %). The main constraints to the

scaling up of this practice are, respectively, illegal logging (42%), animal roaming (29%), and the difficulties of using animal traction in a farm having many trees/shrubs (12 %). These results provide an overview of the considerations to be integrated for the success of FMNR as a strategy to strengthen the resilience of communities and ecosystems to climate disturbances.

Keywords Agro-ecology · Agroforestry · Degraded land · Farmer's perception · FMNR · Senegal

Introduction

Like most Sahelian countries, Senegal has been facing a decline in woody populations for several decades (Bakhoum 2012; Ndiaye et al. 2013). This degradation is partly due to natural factors, notably climatic deterioration, salinization and land acidification (MEDD 2014). It is mainly exacerbated by anthropogenic action through anarchic exploitation, bush fires and unsuitable land clearing/cultivation techniques (Faye et al. 2008; Bakhoum et al. 2012). This situation is more alarming in the agro-ecological zone of the groundnut basin where nearly 2.5 million hectares of land are degraded, i.e., 2/3 of the country's arable land (CSE 2007). In this area, the massive and continuous production of groundnuts, accompanied by a high population density, has disturbed the ecological

B. A. Camara (✉) · O. Ndiaye
Laboratoire d'Agroforesterie et d'Écologie (LAFE),
Université Assane SECK de Ziguinchor,
BP 523, Ziguinchor, Sénégal
e-mail: ansou1988@yahoo.fr

D. Sanogo · H. S. Ba · M. Diop · M. Badji
ISRA-Centre National de Recherches Forestières (CNRF),
BP 2312, Dakar, Sénégal

P. B. Diahate · M. Sall
ISRA-Bureau d'Analyses Macro-Economiques (BAME),
BP 3120, Dakar, Sénégal

Published online: 04 October 2021



Content courtesy of Springer Nature, terms of use apply. Rights reserved.

Annexe 2 : Liste des communications orales

1. **CAMARA B.A., SANOGO D., BADJI M., DIOP M., NDOUR N.Y. B., SALL M., NDIAYE O., DAYAMBA S.D., BAYALA J.** 2019. Paquet Technologique Agroforestier Climato Résilient : une pratique innovante dans le contexte de la transition agro-écologique au Sénégal. Journée d'échanges sur le Village Climato-Intelligent : Concept, Approche et Retour d'expériences. Dakar 29 Mai 2019 ;
2. **CAMARA B.A.** 2021. Perception paysanne sur les avantages et les contraintes de la Régénération Naturelle Assistée et déterminants de l'adoption de la pratique dans le bassin arachidier au Sénégal. 5^{èmes} Journées Scientifiques du CAMES. Programmes Thématiques de Recherche : Biodiversité. Thème : Agriculture et Gestion Durable de la Biodiversité. Dakar, 06 Décembre 2021 ;
3. **CAMARA B.A., NDIAYE O., SANOGO D.** 2021. Contribution de l'agroforesterie a la résilience des populations et des agro-systemes du bassin arachidier du Sénégal. Doctoriales du Laboratoire d'Agroforesterie et d'Écologie (LAFE). Ziguinchor, 08-09 Décembre 2021.



Journée d'échanges sur le Village Climato -Intelligent: Concept, Approche et Retour d'expériences

Paquet Technologique Agroforestier Climato Résilient : une pratique innovante dans le contexte de la transition agro-écologique au Sénégal

CAMARA Baba Ansoumana, SANOGO Diaminatou, BADJI Marcel, DIOP Mouhamadou, NDOUR Ndèye Yacine Badiane, SALL Moussa, NDIAYE Ousmane, DAYAMBA Sidzabda Djibril, BAYALA Jules.

Dakar 29 Mai 2019



CONSEIL AFRICAIN
ET MALGACHE POUR
L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR



5^{èmes} JOURNÉES SCIENTIFIQUES DU CAMES

PROGRAMMES THÉMATIQUES DE RECHERCHE: BIODIVERSITE

THEME: AGRICULTURE ET GESTION DURABLE DE LA BIODIVERSITE

Perception paysanne sur les avantages et les contraintes de la Régénération Naturelle Assistée et déterminants de l'adoption de la pratique dans le bassin arachidier au Sénégal

Présenté par :
CAMARA Baba Ansoumana

Dakar, 06 Décembre 2021



**DOCTORIALES DU LABORATOIRE
D'AGROFORESTERIE ET D'ÉCOLOGIE
(LAFE)**



**CONTRIBUTION DE L'AGROFORESTERIE A LA RESILIENCE DES
POPULATIONS ET DES AGRO-SYSTEMES DU BASSIN ARACHIDIER DU
SENEGAL**

Doctorant

Baba Ansoumana CAMARA

Superviseurs

Dr Ousmane NDIAYE
Maître de Conférences, UIDT, Thies

Dr Diaminatou SANOGO
Maître de Recherches, ISRA/CNRF, Dakar

Ziguinchor, 08-09 Décembre 2021

Annexe 3 : Liste des communications affichées (Posters)

1. **CAMARAB.A.**, SANOGO D., NGOM D., BADJI M., DIOP M., et al., 2019. Effect of a climat resilient agroforestry technological package on millet yield in the groundnut basin of Senegal. Poster avec actes. **Congrès Mondial de l'Agroforesterie, 20 – 22 mai 2019**. Montpellier/France. P 78.
<https://www.alphavisa.com/agroforestry/2019/documents/Agroforestry2019-Book-of-Abstract-v1.pdf>
2. **CAMARA B.A.**, SANOGO D., DIAHATE P.B., BA H.S., DIOP M., BADJI M., SALLM., NDIAYE O. 2022. La Régénération Naturelle Assistée : perception paysanne et déterminants socio-économiques de son adoption dans le Sud Bassin arachidier du Sénégal.XV World Forestry Congress; Building a Green, Healthy and Resilient Future with Forests. 2-6 Mai 2022. Coex, Seoul, Republique de Korée
3. SANOGO D., **CAMARA B.A.**, NDIAYE A.D., SAMMY C., ARINLOYE D., KALINGANIERE A., KARAMBIRI M., BOURNE M., BAYALA J. 2022. Possibilités de réussir le reverdissement au Sénégal à travers la Régénération Naturelle Assistée (RNA). Atelier de partage et de réflexion des résultats du projet Regreening Africa au Sénégal Dakar, le

Effect of a climat resilient agroforestry technological package on millet yield in the groundnut basin of Senegal

CAMARA Baba Ansoumana¹, SANOGO Diaminatou², NGOM Daouda³, BADJI Marcel³, DIOP Mouhamadou², NDOUR Ndèye Yacine Badiane⁴, DAYAMBA Sidzabda Djibril⁵, NDIAYE Ousmane¹, BAYALA Jules⁶.

¹ : Département d'Agroforesterie, Université Assane SECK, Ziguinchor, Senegal;

² : Centre Nationale de Recherches Forestières, Institut Sénégalais de Recherches Agricoles (CNRF/ ISRA) BP 2312, Dakar Sénégal;

³ : Laboratoire d'Ecologie Végétale- Département de Biologie Végétale, FST, Université Cheikh Anta DIOP, Dakar, Sénégal, BP 5005

⁴ : Laboratoire National de Recherches sur les Productions Végétales (LNRPV/ ISRA), BP 3120, Dakar, Senegal

⁵ : Climate Analytics, Ouagadougou, Burkina Faso

⁶ : West and Central Africa Regional Office Sahel Node, World Agroforestry (ICRAF), E5118 Bamako, Mali

Background

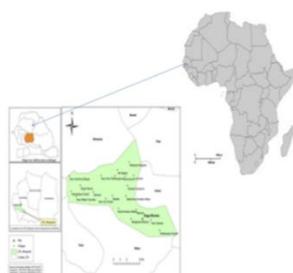
In the Sahel, declining crop yields are a major obstacle to food security. This is mainly due to climate variability and land degradation due to unsustainable management practices. This is the case of the agro-ecological zone of the groundnut basin in Senegal where, farmers resort to clearing and/or uprooting of shrubs to extend cropland. For non-uprooted shrubs, their management includes annual spring coppicing and burning of residues before cultivation of row crops. This mismanagement of cultivable land correlated with the low valuation of crop residues and animal excrement as well as climatic disturbances has had adverse consequences on the environment.

Objective

To evaluate the effect of a Climat Resilient Agroforestry Technological Package (CRATP) on millet yield in a context of rainfall variability.

Methodology

The study was conducted in The climate smart village of Daga Birame in Kaffrine (P= 600-700mm/an; T= 35-40°). Agroforestry trials were carried out over four successive years in 1250 m² plots of 20 producers applying the CRATP pathway compared to 20 other producers applying their usual practice (FP).



Results

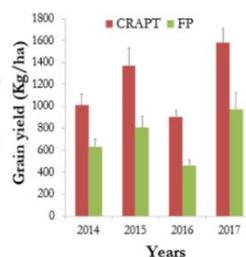


Fig 1: Grain yield by treatment

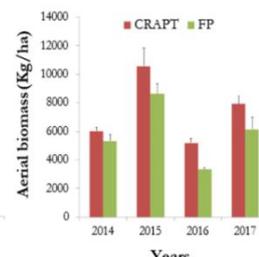


Fig 2: Aerial biomass by treatment

Tab 1: Characteristics of the 2014, 2015, 2016 and 2017 seasons in Daga Birame

Years	Amount of rain (mm)	Number of rainy days	Longest dry sequence	Rainfall starts	End of rainfall
2014	441	33	11 days/ end of the season/ maturation phase	16-juil	07-oct
2015	695	46	7 days/ early in the season/ vegetative growth phase	08-juil	31-oct
2016	760	26	17 days / early season / heading phase	28-juin	30-oct
2017	524	33	10 days/ end of the season/ maturation phase	22-juil	11-nov

yield increased by:

- 60% and 63% compared to the farmer usual practice in deficit rainfall years (2014 and 2017);
- 96% and 70% in excess rainfall years (2015 and 2016)

mineral fertilizer used (NPK and Urea) decrease by:

- 33% in the amount of NPK;
- 71% of the amount of Urea.

Conclusion

The agroforestry technological package helps to reduce the negative impacts of climate variability and thus improve the food security and the resilience of small Sahelian farmers.



ISRA/CNRF; BP 2312 Dakar, Sénégal
Tél. (221)832 32 19
Email : cnrf@isra.sn
www.isracnrf.sn



La Régénération Naturelle Assistée : perception paysanne et déterminants socio-économiques de son adoption dans le Sud Bassin arachidier du Sénégal

CAMARA Baba Ansoumana¹, SANOGO Diaminatou², DIAHATE Pape Bilal³, BA Halimatou Sadyane², DIOP Mouhamadou², BADJI Marcel², SALL Moussa³, NDIAYE Ousmane¹

¹[Laboratoire d'Agroforesterie et d'Écologie (LAFE)-Université Assane SECK de Ziguinchor, Sénégal, BP 523. Email: b.camara2987@zig.univ.sn], ²[ISRA-Centre National de Recherches Forestières (CNRF) BP 2312 Dakar, Sénégal], ³[ISRA -Bureau d'Analyses Macro-Economiques (BAME) BP 3120 Dakar, Sénégal]

Contexte Résultats

La Régénération Naturelle Assistée (RNA) est une pratique simple et peu coûteuse pour restaurer la couverture végétale des terres dégradées contrairement au reboisement. Les connaissances actuelles sur les facteurs socio-économiques susceptibles d'influencer son adoption sont limitées.

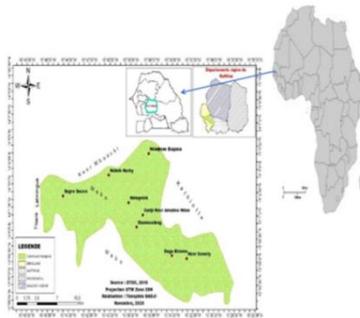


Figure 1: Carte de la commune rurale de Ndiognick

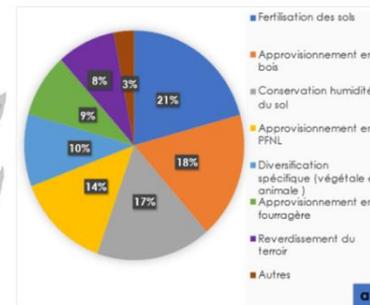


Figure 2: Avantage de la RNA selon la perception paysanne de la commune rurale de Ndiognick dans le Bassin arachidier au Sénégal

Objectif

Cette étude a pour objectif d'analyser les déterminants socio-économiques de l'adoption de la RNA par les communautés.



Photo 1: RNA en association avec une culture d'arachide

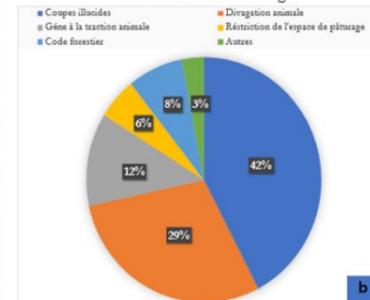


Figure 3: Contrainte de la RNA selon la perception paysanne de la commune rurale de Ndiognick dans le Bassin arachidier au Sénégal

Méthodologie

La méthodologie a consisté à effectuer des enquêtes auprès de 197 ménages. Le modèle probit a été utilisé pour identifier les déterminants socio-économiques de l'adoption.



Photo 1: RNA en association avec une culture de mil

L'appartenance ethnique, l'accès aux appuis externes, l'ouverture aux innovations technologiques, le mode d'acquisition et la superficie des terres cultivées ainsi que l'importance des facteurs de production sont déterminants dans l'adoption de la RNA

Conclusion

Ces résultats donnent un aperçu des considérations à intégrer pour la réussite de la RNA comme stratégie de renforcement de la résilience des communautés et des écosystèmes face aux perturbations climatiques.

Possibilités de réussir le reverdissement au Sénégal à travers la Régénération Naturelle Assistée (RNA)

Diaminatou SANOGO¹, Baba Ansoumana CAMARA¹, Anna Daba NDIAYE², Carsan SAMMY³, Djalal ARINLOYE³, Antoine KALINGANIERE³, Mawa KARAMBIRI³, Mieke BOURNE³, Jules BAYALA³

1: Centre National de Recherches Forestières, 2 : World vision, 3 : Centre Mondial de l'Agroforesterie



Déterminants de l'adoption (N = 197; Pseudo R² = 0,21; LR chi2 = 52,86***) Camara et al, 2021

Être propriétaire de terres



Être d'ethnie avec mode de gestion conservateur des terres



Être ouvert aux innovations



Avoir accès aux crédits



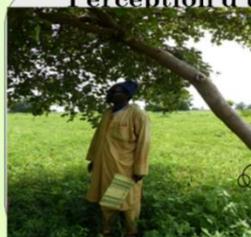
Perception des défis de mise à échelle de la RNA

Contraintes liées à l'adoption



Coupes illicites (42%), Divagation animale (29%), difficulté de la traction animale (12%). N=197 (Camara et al. 2021)

Perception d'un ancien adoptant



Pour servir de modèle à copier, je dois être envié pour les retombées socio-économiques de la RNA !!!!

La transition vers la RNA Améliorée (RNA ++) pour réussir le reverdissement

Approche stratégique / Plaidoyer



Accès des femmes et des jeunes à la terre, Gouvernance locale de la GRN autonome, sensibilisation, Leadership

Enrichissement / diversité ligneuse (espèces locales et exotiques)



Introduction de pieds mères de germoplasmes améliorés de fruitiers forestiers locaux, opportunités de semis direct, greffage *in situ*, capacitation

Mesures d'incitation



Développement de chaînes de valeur PFNLS et autres produits agroforestiers / autonomisation des femmes



Titre de la thèse : La pratique de la Régénération Naturelle Assistée dans le bassin arachidier du Sénégal : adoption, conséquences agroécologiques et stratégies d'optimisation face au changement climatique

Résumé

La Régénération Naturelle Assistée (RNA) est une pratique agroforestière qui consiste à protéger et gérer les semis et repousses naturels que produisent les souches d'arbres et d'arbustes dans les champs afin de (re)créer une végétation ligneuse. Elle est largement promue ces dernières années au Sahel comme une alternative moins coûteuse à la plantation d'arbres pour réhabiliter les terres dégradées. Au Sénégal, particulièrement dans la zone agroécologique du bassin arachidier, l'adoption de la RNA reste limitée malgré le potentiel de souches d'arbres sujettes à cette pratique. Dans cette zone, au moment de la défriche hivernale, les souches d'arbres, constituées principalement d'espèces de la famille des *Combretaceae* et des *Cesalpiniaceae*, sont généralement coupées et brûlées par les producteurs pour éviter toute concurrence avec les cultures associées. Peu d'informations existent sur les raisons de son adoption à large échelle et sur la densité adéquate des souches d'espèces à épargner. Aucune stratégie d'optimisation de cette pratique n'existe actuellement face aux effets du changement climatique notamment la faible régénération des espèces à usages multiples beaucoup plus appréciées pour la RNA dans cette zone. L'objectif de cette étude est de comprendre la perception paysanne de la RNA et les déterminants de son adoption, d'identifier les densités optimales d'arbustes à conserver en RNA dans un agro-système et de fournir les évidences scientifiques de l'utilisation d'un paquet technologique optimisant cette pratique. Des enquêtes socio-économiques ont été effectuées auprès de 197 chefs de ménage (132 adoptants et 65 non adoptants) et le modèle probit a été utilisé pour identifier les déterminants socio-économiques de l'adoption de la RNA. Des dispositifs en bloc randomisé ont été mis en place en milieu contrôlé et en milieu réel pour identifier les densités optimales de RNA. Des tests participatifs ont été également menés avec 40 producteurs pour évaluer l'effet d'une option climato résiliente d'optimisation de la RNA. Les résultats montrent que l'appartenance ethnique, l'accès aux appuis externes et l'ouverture aux innovations technologiques sont déterminants dans l'adoption de la RNA. Les principales contraintes à la mise à échelle de la RNA sont les coupes illicites (42%), la divagation animale (29%) et la gêne causée à la traction animale (12%). L'étude de la densité montre de bons compromis pour le rendement en grain avec les densités 50 et 75 arbustes.ha⁻¹. Le paquet combinant la RNA, les bonnes pratiques agronomiques et l'utilisation de l'information climatique permet d'optimiser le rendement des cultures associées avec une augmentation de 60% par rapport à la Pratique Paysanne (PP) en année de déficit pluviométrique et de 55% en année de pluviométrie excédentaire. Ce paquet technologique climato résiliente permet également une diminution des quantités d'engrais utilisés de l'ordre de 33% pour le NPK et de 71% pour l'urée par rapport à la PP. Ces résultats peuvent être mis à profit pour réussir le reverdissement à partir de la RNA afin de renforcer la résilience des communautés et des écosystèmes face aux perturbations climatiques.

Mots-clés: *Adaptation, Agro-écologie, Changement climatique, Parc agroforestier, Régénération Naturelle Assistée, Reverdissement*

Title of thesis: **Farmer Managed Natural Regeneration in the groundnut basin of Senegal: adoption, agroecological consequences and optimization strategies in the context of climate change**

Abstract

Farmer Managed Natural Regeneration (FMNR) is an agroforestry practice that consists of protecting and managing the natural seedlings and regrowths produced by tree and shrub stumps in the field in order to (re)create woody vegetation. It has been widely promoted in recent years in the Sahel as a cheaper alternative to tree planting for restoring degraded land. In Senegal, particularly in the agroecological zone of the groundnut basin, the adoption of FMNR remains limited despite the potential of tree stumps subject to this practice. In this area, at the time of winter clearing, tree stumps, mainly composed by species from *Combretaceae* and *Cesalpiniaceae* families, are generally cut and burned by farmers to avoid competition with associated crops. Little information exists on the reasons for its widespread adoption and on the appropriate density of species strains to be spared. No strategy for optimizing this practice currently exists in the context of climate change, particularly the poor regeneration of multipurpose species much more appreciated for FMNR in this area. The objective of this study is to understand farmers' perception of FMNR and the determinants of its adoption, to identify the optimal densities of shrubs to be conserved on FMNR in an agro-system and to provide scientific evidence for the use of a technological package optimizing this practice. Socio-economic surveys were conducted among 197 household heads (132 FMNR adopters and 65 non-adopters) and the probit model was used to identify the socio-economic determinants of FMNR adoption. Randomized block designs were set up in both controlled and real environments to identify optimal FMNR densities. Participatory tests were also conducted with 40 farmers to assess the effect of a climate-resilient option for optimizing FMNR. The results show that ethnicity, access to external support and receptivity to technological innovations are determining factors in the adoption of FMNR. The main constraints to the scaling up of this practice are, respectively, illegal logging (42%), animal roaming (29%), and the difficulties of using animal traction in a farm having many trees/shrubs (12 %). The study of density shows good trade-offs for grain yield with 50 and 75 shrubs.ha⁻¹. The package combining FMNR, good agronomic practices and the use of climate information allows for optimizing the yield of associated crops with an increase of 60% compared to the Farmers' Practice (FP) in a year of rainfall deficit and of 55% in a year of surplus rainfall. This climate-resilient technological package also allows a reduction in the quantities of fertilizer used of around 33% for NPK and 71% for urea compared to the FP. These results can be used for successful greening using FMNR in order to strengthen the resilience of communities and ecosystems to climate disturbances.

Keywords: *Adaptation, Agroecology, Agroforestry park, Climate change, Farmer Managed Natural Regeneration, Regreening*