

BILAN ET ANALYSE DES INTERVENTIONS ET EXPÉRIMENTATIONS AGROFORESTIÈRES EN
REGARD DE LEUR POTENTIEL À CONTRIBUER À L'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS
CLIMATIQUES AU SÉNÉGAL

Par Catherine Richard

111088234

Essai présenté comme exigence partielle de la Maîtrise en agroforesterie (M. Sc.)

Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation

Université Laval

Novembre 2020

AVANT-PROPOS

Le présent essai a été effectué dans le cadre du projet « Sécurité alimentaire - une Agriculture adaptée (SAGA) », une initiative coordonnée par la FAO dans laquelle l'Université Laval a agi à titre de partenaire. Mon essai a constitué un des livrables à remettre au terme du projet et si j'en suis l'unique auteure, j'ai néanmoins pu bénéficier de l'orientation et du travail de révision d'Alain Olivier et de Jean Bonneville au cours de la rédaction. À l'exception de la page titre et de la présente page, le document a été soumis tel quel à la FAO.

J'aimerais exprimer ma sincère gratitude à Alain Olivier, mon directeur de maîtrise, qui m'a accordé sa pleine confiance dans la réalisation de ce mandat et qui m'a offert un accompagnement stimulant et chaleureux tout au long de la réalisation de ma scolarité de maîtrise, en plus de m'ouvrir de nombreuses portes à l'international. Je remercie également Jean Bonneville, avec qui j'ai collaboré étroitement depuis le début du projet et qui a notamment conçu les graphiques présentés en annexe 2 et travaillé à la mise en page finale du document. Mes remerciements vont aussi à Victor Bérubé-Girouard, Elhadji Alioune Badara Cissé et Pauline Litzler, des collègues étudiants et amis qui ont travaillé avec moi au Sénégal à l'été 2019 et qui ont contribué à récolter les données dont l'analyse est présentée dans le présent document.

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----------|
| RÉSUMÉ..... | 1 |
| SUMMARY..... | 3 |
| LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES..... | 5 |
| LISTE DES ENCADRÉS..... | 7 |
| LISTE DES FIGURES..... | 7 |
| LISTE DES TABLEAUX..... | 8 |
| LISTE DES ANNEXES..... | 8 |
| 1 INTRODUCTION..... | 9 |
| 2 LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES AU SÉNÉGAL..... | 11 |
| 2.1 LES PROJECTIONS CLIMATIQUES..... | 11 |
| 2.1.1 TEMPÉRATURES..... | 11 |
| 2.1.2 PRÉCIPITATIONS..... | 11 |
| 2.1.3 RÉGIME DES VENTS..... | 12 |
| 2.1.4 NIVEAU DES OCÉANS..... | 12 |
| 2.2 LES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'AGRICULTURE SÉNÉGALaise..... | 12 |
| 2.2.1 RENDEMENTS AGRICOLES..... | 13 |
| 2.2.2 PRODUCTIVITÉ ANIMALE..... | 15 |
| 3 LES ZONES AGROÉCOLOGIQUES ET LEURS PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES..... | 17 |
| 3.1 LA VALLÉE DU FLEUVE SÉNÉGAL..... | 17 |
| 3.2 LES NIAYES..... | 18 |
| 3.3 LA ZONE SYLVOPASTORALE..... | 19 |
| 3.4 LE BASSIN ARACHIDIER..... | 20 |
| 3.5 LE SÉNÉGAL ORIENTAL..... | 21 |
| 3.6 LA CASAMANCE..... | 22 |
| 4 LA CONTRIBUTION DES DIFFÉRENTES INTERVENTIONS AGROFORESTIÈRES AU PROCESSUS D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES..... | 24 |
| 4.1 LES PARCS AGROFORESTIERS..... | 26 |
| 4.1.1 PRÉSENTATION..... | 26 |
| 4.1.2 LES BÉNÉFICES APPORTÉS DANS UN PROCESSUS D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES..... | 27 |
| 4.1.3 ASPECTS TECHNIQUES À CONSIDÉRER..... | 43 |
| 4.1.4 LA DÉGRADATION DES PARCS AGROFORESTIERS..... | 44 |
| 4.2 INTERVENTIONS VISANT À RESTAURER LES PARCS AGROFORESTIERS..... | 46 |
| 4.2.1 LA PLANTATION..... | 47 |
| 4.2.2 LA RÉGÉNÉRATION NATURELLE ASSISTÉE..... | 51 |
| 4.2.3 LA MISE EN DÉFENS..... | 57 |
| 4.2.4 LE CHOIX D'UNE APPROCHE DE RESTAURATION..... | 62 |
| 4.3 LA GESTION AGROÉCOLOGIQUE DES ARBUSTES INDIGÈNES ASSOCIÉS AUX CULTURES..... | 63 |
| 4.3.1 PRÉSENTATION..... | 63 |
| 4.3.2 LES BÉNÉFICES APPORTÉS DANS UN PROCESSUS D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES..... | 65 |
| 4.3.3 ASPECTS TECHNIQUES À CONSIDÉRER..... | 70 |
| 4.3.4 AUTRES CONSIDÉRATIONS..... | 70 |

| | |
|--|------------|
| 4.4 LE SYSTÈME AGROFORESTIER INTERCALAIRE | 71 |
| 4.4.1 PRÉSENTATION..... | 71 |
| 4.4.2 LES BÉNÉFICES APPORTÉS DANS UN PROCESSUS D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES | 72 |
| 4.4.3 ASPECTS TECHNIQUES À CONSIDÉRER | 74 |
| 4.4.4 AUTRES CONSIDÉRATIONS | 75 |
| 4.5 LES CULTURES EN COULOIRS..... | 75 |
| 4.5.1 PRÉSENTATION..... | 75 |
| 4.5.2 LES BÉNÉFICES APPORTÉS DANS UN PROCESSUS D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES | 76 |
| 4.5.3 ASPECTS TECHNIQUES | 77 |
| 4.5.4 AUTRES CONSIDÉRATIONS | 78 |
| 4.6 LES HAIES VIVES | 78 |
| 4.6.1 PRÉSENTATION..... | 78 |
| 4.6.2 LES BÉNÉFICES APPORTÉS DANS UN PROCESSUS D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES | 78 |
| 4.6.3 ASPECTS TECHNIQUES À CONSIDÉRER | 81 |
| 4.6.4 AUTRES CONSIDÉRATIONS | 84 |
| 4.7 LES HAIES BRISE-VENT | 84 |
| 4.7.1 PRÉSENTATION..... | 84 |
| 4.7.2 LES BÉNÉFICES APPORTÉS DANS UN PROCESSUS D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES | 84 |
| 4.7.3 ASPECTS TECHNIQUES À CONSIDÉRER | 87 |
| 4.7.4 AUTRES CONSIDÉRATIONS | 89 |
| 4.8 AUTRES TYPES D'INTERVENTIONS AGROFORESTIÈRES..... | 89 |
| 4.8.1 LE SYLVOPASTORALISME | 89 |
| 4.8.2 LES FRUITIERS FORESTIERS..... | 92 |
| 4.8.3 LA RÉHABILITATION DES SOLS SALÉS PAR LA PLANTATION DE LIGNEUX HALOPHYTES | 93 |
| 4.8.4 LES PÉRIMÈTRES MARAÎCHERS AGROFORESTIERS | 95 |
| 4.8.5 LA FIXATION DES DUNES..... | 97 |
| 4.8.6 LES PARE-FEU VERTS | 99 |
| 5 CONCLUSION..... | 101 |
| RÉFÉRENCES..... | 103 |
| ANNEXE 1 | 134 |
| ANNEXE 2 | 135 |
| ANNEXE 3 | 139 |

RESUME

Alors que le Sénégal fait déjà face à des défis importants pour garantir la sécurité alimentaire de sa population dans un contexte de croissance démographique et de dégradation des ressources naturelles, des difficultés supplémentaires se manifestent de plus en plus avec les effets des changements climatiques. Les projections pour les prochaines décennies laissent entrevoir une hausse des températures à travers le pays, des perturbations du régime pluviométrique, une possible augmentation de la force des vents et une élévation du niveau des eaux océaniques. Les impacts de ces changements devraient se manifester de façon variable dans les différentes zones agroécologiques du pays, mais on s'attend à ce qu'ils aient une influence considérable sur l'agriculture sénégalaise, affectant autant le secteur des productions végétales que celui de l'élevage. Si ces changements paraissent quasi inéluctables, il est toutefois encore temps d'agir pour que l'agriculture y soit mieux adaptée et que les effets négatifs qu'ils risquent d'entraîner pour les paysans et paysannes soient amoindris.

Parmi les stratégies d'adaptation préconisées pour favoriser la résilience du secteur agricole face aux changements climatiques, l'agroforesterie apparaît de plus en plus comme une voie prometteuse. L'association des arbres aux cultures ou aux animaux d'élevage entraîne effectivement des bénéfices variés qui sont susceptibles d'atténuer certains impacts des changements climatiques. Au Sénégal, comme dans le reste de l'Afrique de l'Ouest, l'agroforesterie est pratiquée depuis des siècles par les communautés paysannes, lesquelles ont su tirer profit des nombreux biens et services qu'elle procure. Au cours des dernières décennies, plusieurs projets de développement et de recherche ont emboîté le pas à ces communautés et se sont employés à étudier divers systèmes agroforestiers ou à mettre en œuvre différentes interventions agroforestières. Ces projets se sont principalement intéressés aux parcs agroforestiers et aux approches visant à les restaurer (plantation, régénération naturelle assistée et mise en défens), à la gestion agroécologique des arbustes indigènes, aux systèmes agroforestiers intercalaires, aux cultures en couloirs, aux haies vives et aux haies brise-vent. Ils ont permis de dégager un ensemble de connaissances et de leçons dans lequel il paraît aujourd'hui pertinent de puiser pour mieux faire face aux changements climatiques.

Le présent document, issu de l'analyse de plus de 120 projets agroforestiers menés au Sénégal depuis près de 50 ans, permet d'abord de dégager les principaux bénéfices que les différentes interventions agroforestières sont susceptibles de générer dans un processus d'adaptation aux changements climatiques. La restauration des parcs agroforestiers permettrait par exemple de modérer les températures extrêmes dans les champs, limitant ainsi les stress thermiques que les cultures et le bétail subissent, ainsi que les pertes de productivité qui peuvent y être associées. Il a également été démontré que les parcs peuvent limiter la pression de certains ravageurs des cultures, ce qui pourrait accroître la résilience des agroécosystèmes face aux infestations d'insectes, lesquelles pourraient être plus fréquentes sous un climat changeant. La gestion agroécologique

des arbustes indigènes favoriserait pour sa part une gestion plus durable des sols dans les parcelles et permettrait aux communautés paysannes de mieux faire face aux épisodes de sécheresse. L'implantation de systèmes agroforestiers intercalaires dans les plantations d'anacardiers du sud du pays entraînerait quant à elle non seulement une hausse du rendement en noix, mais aussi une production additionnelle de cultures vivrières qui peuvent améliorer la sécurité alimentaire des ménages et offrir des sources de revenus supplémentaires pour les femmes.

Outre les bénéfices associés aux différentes interventions agroforestières, l'analyse de cet ensemble de projets a également permis de mettre en lumière certains aspects techniques et des considérations diverses les concernant. Il est apparu utile de les présenter ici dans le but de nourrir la réflexion de ceux et celles qui poursuivent des interventions sur le terrain et, possiblement, de mieux les outiller dans la réalisation de leurs activités. En posant des bases solides établissant les bénéfices multiples apportés par l'agroforesterie, les résultats présentés ici pourront, nous l'espérons, faire en sorte que cette approche soit considérée à sa juste valeur dans les politiques nationales visant à favoriser l'adaptation du secteur agricole aux changements climatiques.

SUMMARY

While Senegal already faces significant challenges to guarantee the food security of its population in a context of demographic growth and continuing degradation of natural resources, additional difficulties are increasingly evident with the effects of climate change. Current projections foresee increasing temperatures across the country, disruptions in rainfall patterns, a possible increase in wind speed and rising ocean water levels. The impacts of these changes are expected to vary across the different agroecological zones of the country but should have a profound influence on Senegalese agriculture, affecting both crop and livestock production. While climate change seems almost inevitable, it is still time to act to improve the level of adaptation of the agricultural sector and to minimize the negative effects inflicted upon peasant communities.

Among the climate change adaptation strategies recommended in the agricultural sector, agroforestry is increasingly emerging as a promising avenue. The association of trees with crops or livestock does indeed lead to various benefits that are likely to mitigate some climate change impacts. In Senegal, as in the other countries of West Africa, agroforestry has been practised for centuries by peasant communities, who have taken advantage of the many goods and services it provides. Over the past decades, several development and research projects have followed suit with these communities and have studied or implemented different agroforestry interventions. These projects focused mainly on agroforestry parklands and approaches aimed at restoring them (planting, farmer-managed natural regeneration and collectively agreed enclosure (*mise en défens*)), agroecological management of native shrubs, intercropping agroforestry systems, alley cropping, live fences and windbreaks. It now seems relevant to tap into the vast body of knowledge and lessons that emerged from all this work in order to better cope with the effects of climate change.

Resulting from the analysis of more than 120 agroforestry projects carried out in Senegal in the last 50 years, this document first identifies the main climate change adaptation benefits generated by different agroforestry interventions. The restoration of agroforestry parklands would for instance moderate extreme temperatures in the fields, thus limiting thermal stresses that crops and livestock undergo, as well as the losses of productivity that may be associated with them. It has also been shown that parklands can limit the pressure of some crop pests, therefore increasing the resilience of agroecosystems to insect infestations that could be more frequent in a changing climate. The agroecological management of native shrubs would foster a more sustainable soil management and would allow peasant communities to better cope with episodes of drought. The establishment of intercropping agroforestry systems in cashew plantations would not only boost the nut yield, but would also generate additional crop production, thus improving household food security and providing extra income for women.

Besides emphasizing the benefits associated with the different agroforestry interventions, the analysis also highlighted some technical aspects and various considerations

concerning these interventions. It appeared useful to document such elements in order to nourish the reflection of those who continue their interventions in the field and to help them carry out their activities successfully. By laying a solid foundation demonstrating the multiple benefits of agroforestry in the Senegalese context, it is hoped that this approach will be given due consideration in national policies aimed at fostering climate change adaptation in the agricultural sector.

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

| | |
|--------------|---|
| ACACIAGUM | Innovative management of Acacia senegal trees to improve resource productivity and gum-arabic production in arid and semi-arid sub-Saharan Africa |
| AFNETA | Alley Farming Network for Tropical Africa |
| APAF | Association pour la promotion des arbres fertilitaires, de l'agroforesterie et la foresterie |
| BRASPAR | Building resilient agro-sylvo-pastoral systems in West Africa through participatory action research / Renforcement des systèmes agro-sylvo-pastoraux résilients en Afrique de l'Ouest à travers la recherche action participative |
| BRF | Bois raméal fragmenté |
| CTL | Projet de conservation des terroirs du littoral |
| CODEVAL | Projet de renforcement des capacités pour le contrôle de la dégradation des terres et la promotion de leur valorisation dans les zones de sols dégradés |
| DADOBAT | Domestication and development of baobab and tamarind |
| DRPF | Département des recherches sur les productions forestières |
| DSCATT | Agricultural intensification and soil carbon sequestration in tropical and temperate farming systems |
| ENRACCA-WA | Renforcement de la capacité de résilience et d'adaptation au changement climatique par la gestion intégrée des terres, de l'eau et des éléments nutritifs dans les zones semi-arides de l'Afrique de l'Ouest |
| FAO | Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture |
| FNRAA/Baobab | Tests de validation de technologies pour une amélioration du cycle de production de <i>Adansonia digitata</i> L. (Baobab) dans les régions de Kolda et de Sédhiou |
| ICRAF | World Agroforestry Centre |
| ISRA | Institut sénégalais de recherches agricoles |
| NRBAR | Natural Resources Based Agricultural Research |
| OHMI | Dynamique de la strate herbacée sous <i>Balanites aegyptiaca</i> , <i>Acacia tortilis</i> var. <i>raddiana</i> , <i>Acacia senegal</i> , <i>Boscia senegalensis</i> et |

Sclerocarya birrea dans la Grande muraille verte du Ferlo (OHMI)

| | |
|-----------|--|
| PADEC | Programme d'appui pour le développement économique de la Casamance |
| PAFD | Projet d'aménagement de la forêt de Dabo |
| PAFDUGA | Projet autonome de fixation des dunes du Gandiolais |
| PAGERNA | Projet d'autopromotion pour la gestion des ressources naturelles |
| PAGF | Projet agroforestier de Diourbel |
| PAR-CSA | Developing community-based climate smart agriculture through participatory action research in CCAFS benchmark sites in West Africa |
| PFNL | Produits forestiers non ligneux |
| POGV | Projet d'organisation et de gestion villageoises |
| PRASS | Projet de restauration agronomique des sols salés |
| PRECOBA | Projet de reboisement communautaire dans le bassin arachidier |
| PREVINOBA | Projet de reboisement villageois dans le nord-ouest du Bassin Arachidier |
| PROGEDE | Programme de gestion durable et participative des énergies domestiques et de substitution |
| PROMASC | Projet partenariat multi-acteurs pour l'adaptation des populations vulnérables à la salinisation des sols induite par les changements climatiques au Sénégal |
| PROVASS | Projet Valorisation agro-sylvo-pastorale des sols salés de la région de Fatick, Sénégal |
| PROWALO | Projet d'aménagement des forêts et de gestion de terroirs villageois du Walo |
| P2RS | Programme multinational de renforcement de la résilience à l'insécurité alimentaire et nutritionnelle au Sahel – Sénégal |
| RAMSES II | Roles of Agroforestry in sustainable intensification of small farms and food Security of Societies in West Africa |
| RNA | Régénération naturelle assistée |
| SAGA | Sécurité alimentaire: une agriculture adaptée |
| SALWA | Semi-arid lowlands of West Africa |

| | |
|---------------|---|
| SERENA | Biodiversité des paysages agricoles et sécurité alimentaire |
| SFLEI | Senegal food and livelihood enhancement initiatives |
| TRECS | Apport de la télédétection pour le renforcement de la régulation écologique des ravageurs des cultures de céréales sèches au Sénégal |
| WAAPP-Jachère | Développement de technologies microbiennes pour la restauration de la fertilité des sols du bassin arachidier et l'augmentation des rendements du mil et sorgho |
| WASSA | Woody Amendments for Sudano-Sahelian Agriculture |
| UBT | Unité de Bétail Tropical |

LISTE DES ENCADRES

Encadré 1 : Le *Faidherbia albida*

Encadré 2 : Les planches maraîchères de baobab

Encadré 3 : La jachère

Encadré 4 : Le taungya

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Parties d'espèces ligneuses couramment utilisées dans le bassin arachidier

Figure 2: Photos aériennes et images panchromatiques IKONOS illustrant l'évolution de la couverture ligneuse dans la zone de Njóobéen Mbataar, dans le bassin arachidier

Figure 3 : Comparaison des rendements du mil et de l'arachide entre adoptants et non-adoptants de la RNA dans le bassin arachidier

Figure 4 : Schéma du modèle de pâturage agroforestier rotatif développé par l'APAF

Figure 5 : Schéma d'aménagement d'un périmètre maraîcher agroforestier, tel que proposé par l'ONG APAF Sénégal

Figure 6 : Vue aérienne de parcelles avant et durant le processus d'implantation (année 1) d'un périmètre maraîcher agroforestier mis en place par Trees for the Future, dans la région de Kaffrine

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Principales caractéristiques dendrométriques de peuplements dans des aires mises en défens depuis une durée variable

Tableau 2 : Rendements du mil et de l'arachide cultivés en présence (+Pr) ou en absence (-Pr) du *P. reticulatum* à Nioro-du-Rip entre 2011 et 2015

Tableau 3 : Espèces recommandées par l'ISRA pour les haies vives défensives dans différentes zones écologiques du Sénégal

Tableau 4 : Espèces recommandées par l'ISRA pour les haies brise-vent dans différentes zones écologiques du Sénégal

Tableau 5 : Comparaison entre la durée du cycle de fructification de différentes espèces, selon qu'elles aient été greffées (cycle raccourci) ou pas (cycle naturel)

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Carte des zones agroécologiques du Sénégal

Annexe 2 : Profil des projets relatifs à l'agroforesterie au Sénégal

Annexe 3 : Principaux projets menés au Sénégal dans le domaine de l'agroforesterie selon le type d'intervention concerné

1 INTRODUCTION

Le Sénégal fait face à de nombreux défis pour assurer la durabilité de son agriculture et la sécurité alimentaire et nutritionnelle de sa population. Dans un contexte de croissance démographique importante, le pays doit œuvrer à améliorer la qualité des sols, à maintenir un approvisionnement suffisant en eau, à accroître la biodiversité des agroécosystèmes, à assurer la rentabilité des activités agricoles et à favoriser la vitalité des milieux ruraux, tout en valorisant la contribution des femmes et des jeunes¹. Or, l'évolution du climat risque d'accroître significativement l'ampleur des défis à relever au cours des prochaines décennies et devrait entraîner des répercussions majeures sur les paysans et paysannes sénégalais. Différentes stratégies doivent donc être mises en place sans tarder pour aider les communautés paysannes à mieux s'adapter aux changements à venir.

L'agroforesterie, cette approche qui consiste à associer les arbres aux cultures ou aux animaux d'élevage, pourrait-elle favoriser un tel processus d'adaptation ? Au Sénégal, les arbres ont de tout temps fait partie intégrante des paysages agricoles. Les communautés paysannes ont compris depuis longtemps que les ligneux constituaient une composante essentielle au maintien du délicat équilibre des agroécosystèmes, en particulier dans les zones arides et semi-arides du pays. Les ménages ruraux se sont de plus fréquemment tournés vers les arbres et la multitude de produits qu'ils procurent pour mieux affronter les périodes difficiles. Les arbres ont donc fourni des biens et services pour faire face aux défis du passé. Ils pourraient aujourd'hui être appelés en renfort pour mieux affronter les difficultés que les projections climatiques laissent présager.

Il est généralement admis que l'agroforesterie constitue une réponse appropriée à l'évolution des conditions climatiques, mais un état des lieux systématique et approfondi des connaissances acquises et des expériences menées jusqu'ici au Sénégal restait à faire afin de pouvoir identifier, après analyse, les bénéfices spécifiques apportés par les différentes interventions agroforestières dans une perspective d'adaptation. C'était là notre motivation essentielle en proposant notre participation au projet SAGA. Au terme de ce travail, nous espérons avoir contribué à mieux exploiter le potentiel que recèlent les résultats obtenus par la recherche, tout comme les interventions sur le terrain tentées dans le cadre de projets divers.

Ce document constitue en effet le troisième et dernier livrable prévu à l'accord entre la FAO et l'Université Laval dans le cadre du projet SAGA. Il représente également le point d'arrivée du parcours en trois temps que nous avons proposé d'emprunter pour explorer les diverses contributions que l'agroforesterie peut apporter à l'amélioration de la résilience de l'agriculture sénégalaise face aux impacts des changements climatiques.

Le premier livrable faisait un tour d'horizon de la question. Rédigé de façon à pouvoir s'adresser à un public avisé, comme celui que constituent les décideurs et agents de développement, le document présenté rassemblait, à leur intention, un ensemble cohé-

rent d'informations sur la thématique abordée sans supposer de connaissances spécialisées en agroforesterie, en agriculture ou en changements climatiques. Sans être une publication scientifique au sens strict du terme, tant dans sa forme que dans son contenu, il était rigoureusement étayé sur le plan scientifique et rendait compte de ce que l'état actuel des connaissances permet de constater, d'affirmer ou d'anticiper.

Issu d'une recherche documentaire minutieuse et approfondie, combinée à des entretiens auprès d'informateurs clés, le répertoire constituant le deuxième livrable a rassemblé des données factuelles de base sur un peu plus de 120 projets de recherche ou de développement réalisés au Sénégal depuis le milieu des années 1970 et dont le point commun est d'avoir contribué, d'une façon ou d'une autre, à ce que l'agroforesterie soit davantage connue, diffusée et pratiquée dans ce pays.

À la lumière des connaissances qui ont pu être acquises dans le cadre de ces différents projets, le présent document cherche à dégager les principales contributions que l'agroforesterie pourrait offrir en matière d'adaptation aux changements climatiques, ainsi qu'à présenter différentes recommandations visant à faciliter la mise en œuvre des interventions agroforestières. Les enseignements qui en ont été tirés devraient pouvoir s'avérer précieux dans l'identification des voies et moyens pour augmenter la résilience de l'agriculture face aux impacts des changements climatiques.

2 LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES AU SENEGAL

Pour être en mesure de saisir pleinement les bénéfices que l'agroforesterie pourrait entraîner dans une perspective d'adaptation face aux changements climatiques, il importe d'abord de bien appréhender les changements qui sont actuellement projetés au Sénégal, notamment en ce qui concerne les températures, les précipitations, le régime des vents et le niveau des océans, ainsi que les impacts que ces changements auront sur les rendements agricoles et la productivité animale.

2.1 LES PROJECTIONS CLIMATIQUES

2.1.1 TEMPÉRATURES

À l'instar des autres pays de l'Afrique de l'Ouest, le climat du Sénégal devrait connaître une hausse des températures au cours des prochaines décennies. Les projections climatiques pointent vers une augmentation des températures moyennes annuelles de l'ordre de 1,1 à 3,3 °C vers 2060 et de 1,7 à 4,9 °C vers 2090^{1 2}. Le réchauffement devrait survenir plus rapidement à l'intérieur du pays que dans les régions côtières^{3 4}. Des extrêmes de températures sont aussi à prévoir. La fréquence des nuits et des jours considérés comme chauds² actuellement devrait augmenter de façon significative. En 2050, on pourrait ainsi compter annuellement 70,7 jours supplémentaires où la température dépasse 35 °C (RCP 8.5, scénario d'émissions élevées)⁵. La fréquence des nuits et des jours présentement considérés comme froids devrait au contraire diminuer dans les prochaines décennies^{6 7}.

2.1.2 PRÉCIPITATIONS

Les modèles climatiques font état de divergences à propos des prédictions relatives au régime de précipitations en Afrique de l'Ouest et au Sénégal^{8 9 10 11}. En fonction des modèles considérés, les précipitations moyennes annuelles prédites pourraient ainsi varier de - 28 à + 17 % en 2030 et de - 38 à + 21 % en 2090, par rapport aux valeurs actuelles^{12 13}. Un nombre plus important de modèles prédisent néanmoins une baisse des précipitations au cours du présent siècle. La plupart des modèles climatiques convergent par ailleurs sur le fait que la répartition des pluies devrait être modifiée, avec une plus grande proportion de précipitations tombant au cours d'épisodes de pluies intenses¹⁴. Ces épisodes de pluies violentes devraient augmenter autant en fréquence¹⁵ qu'en intensité¹⁶, ce qui pourrait entraîner une hausse des inondations à travers le pays. La fréquence des épisodes de sécheresse devrait également augmenter, en particulier dans le nord du pays et à la fin du présent siècle¹⁷, et on prévoit une hausse du nombre

¹ Par rapport à la période de référence de 1986 à 2005.

² Une nuit ou un jour chaud étant ici définis comme toute nuit ou jour où la température excèdera celle atteinte lors de 10 % des nuits ou des jours les plus chauds d'une région et d'une saison donnée.

maximum annuel de jours secs consécutifs¹⁸. Plusieurs modèles climatiques prédisent finalement une variabilité accrue des dates de début et de fin de la saison des pluies¹⁹, mais il est attendu que la variabilité interannuelle, décanale et interdécanale qui caractérise actuellement les régimes de précipitations en Afrique de l'Ouest continue d'exercer une influence majeure sur les niveaux et les patrons de précipitations d'ici la fin du 21^e siècle^{20 21}.

Les changements prévus du régime de précipitations devraient à leur tour avoir des répercussions sur le taux d'humidité relative de l'air. Il est ainsi probable que l'air devienne plus sec au cours de ce siècle, particulièrement dans l'est du pays. Des villes comme Matam et Kédougou devraient ainsi connaître des baisses du taux d'humidité relative de l'air de 10 et 11 %, respectivement²².

2.1.3 RÉGIME DES VENTS

Bien que cet aspect ait fait l'objet de peu de recherches à ce jour, il semble probable que le réchauffement du climat entraîne des perturbations dans le régime des vents ouest-africain. Des projections faites à l'aide de modèles climatiques régionaux indiquent par exemple que la vitesse des vents tendrait à augmenter dans la sous-région au cours de la saison des pluies, avec des valeurs maximales prévues dans la zone sahélienne et le long des côtes²³. La vitesse des vents semble en outre s'accroître dans les scénarios où on prévoit les plus fortes augmentations de température²⁴.

2.1.4 NIVEAU DES OCÉANS

De par son vaste littoral et son altitude peu élevée, le Sénégal est également fort exposé à la montée du niveau des océans. On enregistre actuellement une hausse du niveau des océans de 3,5 mm/an sur les côtes sénégalaises²⁵ et on prévoit qu'une hausse de 4 °C des températures annuelles mondiales devrait entraîner une élévation du niveau de la mer de 40 cm vers 2050 et de 80 cm en 2100²⁶.

2.2 LES IMPACTS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES SUR L'AGRICULTURE SÉNÉGALAISE

Les différents changements annoncés devraient avoir une influence marquée, mais complexe, sur le secteur agricole sénégalais. En plus des impacts directs que des facteurs comme l'accroissement des températures et la variabilité pluviométrique risquent d'avoir sur les cultures et les animaux d'élevage, on s'attend également à ce que les changements climatiques affectent indirectement les rendements agricoles et la productivité animale en influençant par exemple la qualité des sols ou l'abondance et la répartition des bioagresseurs.

2.2.1 RENDEMENTS AGRICOLES

Dans les prochaines décennies, le rendement des cultures pourrait être de plus en plus affecté par la hausse des températures. Sous des températures plus élevées, le rythme de développement de certaines cultures risque en effet d'être ralenti, ce qui pourrait conduire à des baisses de rendement. C'est notamment le cas de l'arachide, dont la croissance est inhibée au-delà de 35 °C. On peut ainsi s'attendre à ce que l'extension géographique de cette culture vers de nouvelles régions du pays soit éventuellement freinée par la hausse progressive des températures²⁷. Des températures très élevées peuvent également affecter certains fruits et légumes, par exemple en modifiant leur apparence, leur fermeté ou leur cycle de maturation²⁸. Il semble toutefois que dans la mesure où elles ne subissent pas de stress hydrique, la majorité des cultures au Sénégal devrait être en mesure de tolérer des températures plus élevées²⁹.

L'impact des variations du régime pluviométrique sur le rendement des cultures pourrait être plus marqué, sachant qu'au Sénégal la disponibilité de l'eau constitue généralement le principal facteur limitant dans les productions agricoles³⁰. Dès lors, si les précipitations venaient à être plus abondantes au courant du siècle, comme certains modèles climatiques l'indiquent, on devrait observer un impact positif sur le rendement de plusieurs cultures, particulièrement dans les régions les plus arides du Sénégal³¹. À l'inverse, si, comme le suggère la majorité des modèles climatiques, les précipitations moyennes annuelles venaient à diminuer au cours des prochaines décennies, les cultures subiraient un stress hydrique accru, lequel devrait avoir un impact important sur les rendements agricoles, avec des effets variables en fonction des cultures et de leur stade de développement^{32 33}. Sous des températures plus élevées, on anticipe par ailleurs un accroissement du phénomène d'évapotranspiration, ce qui réduira les réserves d'eau disponibles pour les plantes^{34 35}.

Les cultures risquent également d'être affectées par le stress hydrique si les saisons des pluies sont écourtées à la suite d'un début tardif ou d'une fin hâtive ou si les précipitations tombent de manière erratique et sont entrecoupées d'épisodes de sécheresse plus ou moins prolongés³⁶. Par ailleurs, si les précipitations tombent plus fréquemment sous forme d'épisodes de pluies intenses et que les sols ne sont pas en mesure d'absorber de telles quantités d'eau en de courtes périodes de temps, l'eau excédentaire sera évacuée des parcelles par ruissellement et ne pourra pas être utilisée par les cultures, aggravant ainsi le phénomène de déficit hydrique.

Une baisse des précipitations dans les prochaines décennies aurait également un impact sur les eaux de surface et les eaux souterraines. Le débit des fleuves du pays pourrait être significativement réduit à la suite d'une baisse de la pluviométrie^{37 38} et différentes études indiquent que le niveau des nappes phréatiques pourrait baisser de cinq à dix mètres d'ici 2100^{39 40}. Cela devrait évidemment avoir des conséquences importantes pour les communautés paysannes qui pratiquent l'agriculture irriguée.

L'élévation du niveau des océans devrait pour sa part aggraver le phénomène d'érosion des côtes et augmenter les risques d'inondations dans les zones de faibles altitudes, ce qui risque d'entraîner des pertes agricoles substantielles et de conduire à terme à une réduction progressive des superficies cultivables. Au Sénégal, on estime qu'une élévation du niveau marin de l'ordre d'un mètre exposerait environ 6000 km² de terres aux inondations, les zones situées à proximité des côtes et des estuaires étant particulièrement menacées⁴¹.

Les sols devraient également subir les contrecoups des changements climatiques, ce qui aura aussi un impact sur les rendements agricoles. Les épisodes de sécheresse annoncés risquent notamment de perturber la vie microbologique du sol, ce qui pourrait fragiliser la structure des sols et nuire à la nutrition des plantes. La hausse des températures devrait également accélérer la dégradation de la matière organique dans les sols⁴², laquelle joue un rôle crucial dans le maintien de la fertilité, de la structure et de la capacité de rétention en eau des sols. Ces derniers, déjà généralement pauvres en matière organique, en plus d'être sensibles au phénomène de battance⁴³, seront de surcroît soumis plus fréquemment à des épisodes de pluies violentes, ce qui risque d'accentuer le phénomène d'érosion hydrique⁴⁴. Exposés à des vents plus forts⁴⁵, à des épisodes de sécheresse plus fréquents et à une évapotranspiration accrue en raison de la hausse des températures, les sols pourraient également être de plus en plus affectés par l'érosion éolienne⁴⁶. En découpant progressivement les horizons superficiels du sol, ces deux phénomènes érosifs accéléreront la dégradation des sols et le processus de désertification des terres. On peut également s'attendre à ce qu'une accentuation de l'érosion hydrique et éolienne aggrave les processus d'ensablement des bas-fonds et des dépressions interdunaires, des zones qui s'avèrent déterminantes pour certaines productions agricoles. Le phénomène de salinisation des terres, qui touche déjà plusieurs zones du pays, est également amené à s'intensifier dans les prochaines décennies. Sous l'effet de la montée du niveau des eaux océaniques, on devrait observer une avancée du biseau salé dans les estuaires et les zones côtières et voir la dégradation chimique des rizières et autres terres agricoles s'accroître⁴⁷. De plus, dans les régions arides et semi-arides, les températures plus élevées accroîtront la demande évaporative des sols, ce qui pourrait favoriser une accumulation de sels à leur surface et entraîner ultimement des pertes de rendement⁴⁸.

Les changements climatiques pourraient également affecter les ravageurs des cultures, les maladies et les plantes adventices. De manière générale, on sait que les changements de température, les variations du régime pluviométrique et les modifications du taux de CO₂ dans l'air sont des facteurs susceptibles d'affecter l'abondance, la diversité et les aires de répartition des ennemis des cultures. Les relations entre ces différents facteurs sont toutefois fort complexes et ont été relativement peu étudiées à ce jour. Selon les projections climatiques actuelles, il est néanmoins possible que les infestations de criquets pèlerins soient plus fréquentes au Sénégal⁴⁹, alors que la présence du striga pourrait être amenée à décroître dans les régions soudaniennes de l'Afrique de l'Ouest⁵⁰. Les épisodes de sécheresse pourraient pour leur part entraîner une réduction

de l'abondance et de la diversité des communautés de nématodes, affectant possiblement différemment les nématodes bénéfiques et ceux qui s'avèrent nuisibles aux cultures⁵¹. Des études plus approfondies paraissent nécessaires pour mieux comprendre l'impact qu'auront les changements climatiques sur les bioagresseurs des cultures au Sénégal.

2.2.2 PRODUCTIVITÉ ANIMALE

Les changements climatiques auront également des impacts sur les productions animales au Sénégal, affectant notamment la disponibilité et la qualité des aliments et de l'eau destinés aux animaux, ainsi que le bien-être et la santé de ces derniers. L'impact qu'auront les changements climatiques sur l'alimentation animale est un sujet complexe où subsiste beaucoup d'incertitude. La variation des températures, des précipitations et du taux de CO₂ dans l'atmosphère devrait affecter la productivité des pâturages, la composition des espèces qui s'y retrouvent, de même que la qualité des fourrages qui en sont tirés. Comme les effets de la fluctuation des températures et du taux de CO₂ sont variables en fonction des espèces fourragères étudiées^{52 53} et qu'un nombre limité d'études ont été conduites sur le sujet en contexte sahélien, il est difficile de tirer des conclusions claires quant à l'impact de ces facteurs sur la production fourragère, que ce soit en termes de quantité ou de qualité. On sait toutefois que la biomasse produite dans les pâturages est fortement influencée par la quantité de précipitations reçue et que ces variations de productivité sont particulièrement marquées dans les zones les plus arides du pays⁵⁴. La modification du régime pluviométrique aura donc un impact notable sur la disponibilité de fourrage au sein des pâturages à l'échelle du pays, mais devrait affecter encore plus significativement les régions où la disponibilité en eau est déjà réduite. En outre, comme les animaux se nourrissent généralement des résidus de cultures laissés dans les champs durant la saison sèche, la variation des rendements agricoles à la suite des changements climatiques devrait aussi affecter la disponibilité de résidus agricoles laissés aux animaux et ainsi avoir un impact indirect sur la productivité animale. Des déficits en eau pourraient de ce fait entraîner une diminution importante de la nourriture disponible pour les animaux durant la saison sèche^{55 56}.

La productivité animale pourrait également être affectée par les variations de température annoncées. Bien que les races indigènes qu'on retrouve au Sénégal soient adaptées à la vie dans un climat très chaud, il n'est pas certain qu'elles soient en mesure de s'acclimater adéquatement aux hausses de températures prévues au cours des prochaines décennies⁵⁷. On sait par ailleurs que des températures excédant la zone de confort thermique des différentes espèces animales conduisent généralement à une diminution de la consommation alimentaire des animaux, une réduction des gains de poids obtenus, un déclin de la production laitière et des difficultés sur le plan de la reproduction^{58 59}. En outre, les animaux peuvent également être affectés par d'éventuelles chutes de température inhabituelles, telles celles survenues en janvier 2002⁶⁰ et en juin 2018⁶¹, qui, combinées à des épisodes de pluies, ont conduit à de forts taux de mortalité parmi les populations de bovins, de petits ruminants et d'équins.

Le secteur de l'élevage devrait également faire face à des contraintes croissantes pour l'approvisionnement en eau du bétail. Comme la quantité d'eau stockée dans les mares des régions pastorales du pays dépend de la quantité de précipitations tombées durant la saison des pluies, les variations futures du régime pluviométrique auront un impact direct sur les ressources en eau accessibles gratuitement aux communautés pastorales et à leurs troupeaux. De plus, on peut s'attendre à ce que sous des températures accrues, la consommation en eau des animaux augmente⁶² et que l'eau des mares s'évapore plus rapidement, entraînant un tarissement précoce de ces dernières⁶³. Par ailleurs, des épisodes de pluies intenses et des vents violents pourraient respectivement accentuer les phénomènes d'érosion hydrique et d'érosion éolienne, lesquels contribuent à l'ensablement des mares et réduisent leur capacité de stockage⁶⁴.

Les changements climatiques devraient aussi avoir des répercussions sur l'élevage sur le plan épidémiologique, bien qu'il paraisse actuellement difficile de prévoir la direction et l'ampleur de ces répercussions⁶⁵. La hausse des températures pourrait accélérer le développement de certains parasites et agents pathogènes et affecter la répartition et l'abondance de certains agents vecteurs de maladies du bétail⁶⁶. D'éventuels changements au régime des vents pourraient pour leur part avoir un impact sur la propagation de différents agents pathogènes et vecteurs et ainsi entraîner l'apparition de maladies dans des régions qui n'étaient jusqu'alors pas exposées à de telles problématiques⁶⁷. Si on prévoit que des conditions plus sèches devraient entraîner une baisse du taux de développement de certains parasites et agents pathogènes^{68 69}, dans des conditions de pénurie en eau, les animaux pourraient toutefois devoir se rabattre sur un nombre restreint de points d'eau de plus faible étendue, et la proximité accrue qui prévaudrait alors pourrait favoriser la propagation de différents parasites et agents pathogènes⁷⁰.

En somme, les perturbations induites par les changements climatiques pourraient accroître la vulnérabilité des populations qui tirent une grande partie de leurs revenus de l'élevage, dans un contexte déjà fragile marqué notamment par la dégradation des parcours, l'avancée du front agricole et les tensions grandissantes entre éleveurs et agriculteurs pour l'accès aux ressources⁷¹.

3 LES ZONES AGROÉCOLOGIQUES ET LEURS PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES

Les changements climatiques auront donc des impacts marqués sur l'agriculture sénégalaise. Ces impacts ne se manifesteront toutefois pas de la même manière à travers le pays puisque les différentes zones agroécologiques du Sénégal (voir annexe 1) présentent des visages fort diversifiés, en termes par exemple de climat, de systèmes de production agricole et de caractéristiques sociodémographiques. À l'heure actuelle, peu de travaux ont cherché à déterminer les impacts spécifiques que les changements climatiques entraîneront dans chacune de ces zones. Il apparaît néanmoins pertinent de présenter brièvement ces dernières, en portant notamment attention à leurs particularités et aux défis qui les caractérisent, afin de mieux contextualiser les interventions agroforestières qui y ont été menées et de mieux saisir le rôle que l'agroforesterie pourrait y jouer pour renforcer la résilience face aux transformations du climat.

3.1 LA VALLÉE DU FLEUVE SÉNÉGAL

La zone agroécologique de la vallée du fleuve Sénégal est une bande de 10 à 15 km de large occupant la rive gauche du fleuve Sénégal, depuis Bakel jusqu'à l'embouchure. Située dans la partie la plus septentrionale du pays, le long de la frontière avec la Mauritanie, elle couvre une superficie d'environ 11 500 km², soit près de 6 % du territoire national^{3 72}. Classée dans le domaine climatique sahélien, la zone de la vallée du fleuve est caractérisée par de faibles précipitations (entre 100 et 500 mm annuellement) et des températures contrastées (fortes températures durant l'été et nuits fraîches durant la saison sèche)⁷³. Durant une partie de la saison sèche, la région est balayée par l'harmattan, un vent chaud et sec provenant du Sahara.

Bien que la pluviométrie soit faible dans la région, les ressources en eau de surface sont abondantes, quoique marquées par une forte irrégularité interannuelle, cela en raison des volumes importants apportés par le fleuve Sénégal⁷⁴. En plus d'alimenter les nappes profondes et superficielles de la région, les eaux du fleuve exercent une forte influence sur le paysage agricole de cette zone agroécologique qui se divise en trois zones distinctes, soient le Walo, le Delta et le Diéri.

Le Walo occupe la partie inondable de la vallée. Une agriculture de décrue y a longtemps été pratiquée, mais à la suite de la construction d'importants barrages sur le fleuve, ce mode de production a cédé progressivement le pas à l'agriculture irriguée (riz, maïs, tomate, canne à sucre⁷⁵), laquelle connaît une croissance notable dans la zone^{76 77}. Les systèmes d'irrigation implantés dans les périmètres villageois et privés ou dans les

³ À noter ici que les données relatives à la superficie des différentes zones agroécologiques tendent à varier, en fonction des sources consultées.

exploitations industrielles permettent notamment de pratiquer des cultures de contre-saison et d'assurer ainsi une productivité tout au long de l'année, ce qui fait en sorte que la zone connaît l'intensité culturale la plus forte du pays⁷⁸. Situé entre la ville de Richard-Toll et l'embouchure du fleuve, le Delta est caractérisé par un relief plat et des sols qui demeurent gorgés d'eau pendant une grande partie de l'année, qui présentent une forte teneur en glaise⁷⁹ et qui sont souvent affectés par la salinisation⁸⁰. Les hautes terres bordant le fleuve Sénégal constituent pour leur part la zone du Diéri, laquelle est caractérisée par des sols sableux et une végétation de type steppe arbustive à arborée. Si la population a longtemps pratiqué la culture pluviale dans cette zone, cette pratique est en régression en raison de la pluviométrie faible et aléatoire⁸¹ et les activités pastorales prennent une importance grandissante⁸².

En dépit de la construction de certains aménagements hydro-agricoles comme les barrages anti-sels, la dégradation chimique des sols par salinisation demeure un problème dans la zone, notamment en raison du recours grandissant à l'irrigation des terres^{83 84}. Le couvert végétal de la vallée du fleuve a connu une dégradation très marquée durant les dernières décennies, à la suite de l'aménagement des zones irriguées (les arbres ont par exemple été presque systématiquement retirés des périmètres irrigués villageois⁸⁵) et des prélèvements constants des communautés pour leurs besoins en bois-énergie⁸⁶. Privés de la protection du couvert arboré, les sols sont fortement exposés à l'érosion éolienne, ce qui affecte les activités agricoles et entraîne une détérioration des pâturages^{87 88}. Des communautés villageoises font déjà état d'une baisse de productivité des pâturages et d'un processus d'ensablement plus marqué des mares d'abreuvement⁸⁹. La hausse annoncée de l'évapotranspiration et les variations futures du régime pluviométrique risquent en outre d'affecter le niveau du fleuve Sénégal et d'avoir un impact sur l'agriculture irriguée et de décrue qui est pratiquée sur ses rives.

3.2 LES NIAYES

Située au nord-ouest du pays, la zone des Niayes forme une bande de 5 à 30 km de largeur qui longe le littoral de Dakar à Saint-Louis, sur une distance de 180 km. Cette frange côtière est caractérisée par une succession de dunes et de dépressions interduinales, ces dernières étant particulièrement favorables aux cultures maraîchères et fruitières en raison de leur haut niveau de fertilité⁹⁰. Sous l'influence des vents provenant de l'océan, la zone bénéficie d'un microclimat favorable où les températures sont généralement plus faibles que dans le reste du pays (les températures annuelles moyennes à Saint-Louis sont de 24 °C alors qu'elles s'élèvent à 28 °C en moyenne sur l'ensemble du pays⁹¹) et où le niveau d'humidité relative de l'air est élevé (jusqu'à 90 % à proximité des côtes)⁹². Les précipitations y sont toutefois assez faibles et tendent à diminuer selon un gradient sud-nord (environ 500 mm/an à Dakar et 300 mm/an près de Saint-Louis)⁹³. Bien qu'elle constitue à peine plus de 1 % du territoire national, la zone des Niayes revêt une importance particulière sur le plan agricole, fournissant 80 % de la production horticole nationale⁹⁴. On y pratique également l'aviculture et l'élevage de bovins et de petits ruminants^{95 96}. Au cours des dernières décennies, les migrations en provenance du nord et de l'intérieur du pays ont conduit à une augmentation de la densité de la population

dans les Niayes. Cette importante concentration géographique, conjuguée à l'expansion des zones urbaines, occasionne des pressions significatives sur les ressources naturelles dans la région^{97 98}.

Par ailleurs, la présence de vents forts provenant de l'océan tend à déstabiliser les dunes côtières, ce qui conduit à l'ensablement progressif des dépressions interdunaires et affecte ainsi négativement la production agricole⁹⁹. Pour faire face à cette problématique, le littoral a fait l'objet d'une vaste campagne de reboisement à partir des années 1970 et une bande de filaos (*Casuarina equisetifolia*) de 200 à 500 mètres de largeur a progressivement été implantée dans le cadre de différents projets menés en partenariat avec le Service forestier^{100 101}. La gestion durable de cette bande constitue toutefois un enjeu de taille pour maintenir la protection des zones cultivées¹⁰². Au cours des prochaines décennies, l'augmentation possible de la vitesse des vents dans les régions côtières du pays risque en outre d'accentuer l'érosion éolienne dans la zone.

La nappe phréatique des Niayes présente également une vulnérabilité notable. À certains endroits, elle affleure près de la surface et est alors facilement contaminée par les intrants chimiques qui sont couramment utilisés dans cette zone agroécologique¹⁰³. Soumise à une forte pression pour assurer les besoins en eau des habitants de Dakar et affectée par les sécheresses qui ont touché l'ensemble du pays, la nappe a aussi vu son niveau baisser dans les dernières années^{104 105}. Or, un tel déséquilibre favorise l'intrusion de l'eau salée de l'océan vers les eaux souterraines continentales des Niayes¹⁰⁶, ce qui menace à la fois la qualité de l'eau potable, la survie de la végétation naturelle, l'intégrité des sols agricoles et les rendements agricoles dans la zone^{107 108}. Sous l'effet de l'élévation du niveau de la mer, il semble fort probable que ces problématiques s'amplifient dans les années à venir.

3.3 LA ZONE SYLVOPASTORALE

La zone sylvopastorale, aussi appelée Ferlo, se situe entre la vallée du fleuve Sénégal et le bassin arachidier et correspond essentiellement à la région administrative de Louga, à l'exception du département de Kébémér qui appartient au bassin arachidier. Occupant 56 269 km², elle couvre environ le quart du pays¹⁰⁹. La majorité des habitants sont des Peuls (85 %), mais on y retrouve également des Wolofs, des Maures et des Sérères, auxquels s'ajoutent des populations en transhumance provenant des régions et des pays voisins. Situé dans la partie la plus chaude du pays, le Ferlo est caractérisé par l'irrégularité et la faible quantité des précipitations reçues (entre 200 et 400 mm annuellement)¹¹⁰. La végétation naturelle a été fortement dégradée à la suite des épisodes de sécheresse ayant frappé le pays à partir de la fin des années 1960, ce qui a mené à une réduction significative du couvert arboré. Le paysage est maintenant dominé principalement par une strate arbustive qui s'étend au sein d'un tapis herbacé plus ou moins clairsemé^{111 112}.

Si on retrouve certaines cultures agricoles dans le sud du Ferlo¹¹³ et que la récolte de produits forestiers non ligneux (gomme arabique, fruits sauvages, etc.) est répandue

dans l'ensemble de la zone¹¹⁴, le principal mode de mise en valeur des terres demeure l'élevage extensif, dans le cadre duquel les troupeaux de bovins et de petits ruminants arpentent le territoire en fonction des saisons et de la disponibilité d'eau et de fourrage¹¹⁵. Bien que la présence des animaux permette de valoriser les terres arides et joue un rôle important dans le maintien de la fertilité des sols¹¹⁶, la surcharge animale et les coupes abusives effectuées sur les arbres par les pasteurs conduisent actuellement à un appauvrissement progressif des pâturages et à la dégradation des ressources ligneuses¹¹⁷. La pression sur les ressources naturelles est particulièrement visible aux abords des mares temporaires qui recueillent pendant un certain temps les eaux de pluie tombées durant l'hivernage, de même qu'autour des forages qui permettent l'approvisionnement en eau du bétail durant une partie de la saison sèche^{118 119}. Les feux de brousse récurrents contribuent également à la dégradation à long terme des pâturages et nuisent à la régénération du couvert ligneux^{120 121}. Une telle dégradation des ressources fourragères a des répercussions négatives sur la productivité du cheptel. Les problèmes de sous-alimentation sont en effet fréquents durant les années sèches, ce qui affecte l'état de santé des animaux¹²². Les conflits entre éleveurs et agriculteurs sur des questions de partage de l'espace et des ressources naturelles sont de plus en plus fréquents, en raison notamment de la translation du front agricole vers l'espace pastoral¹²³. Les communautés ont par ailleurs un contrôle limité sur les ressources du territoire, puisque 80 % de la zone sylvopastorale appartient au domaine classé (réserves sylvopastorales ou de faune) qui est géré par l'État¹²⁴. Finalement, l'économie de la zone sylvopastorale étant fort sensible aux variations climatiques, on note que celle-ci présente un degré de vulnérabilité élevé face aux changements climatiques¹²⁵.

3.4 LE BASSIN ARACHIDIER

Occupant le centre et l'ouest du Sénégal et couvrant une superficie de 38 728 km²¹²⁶, le bassin arachidier est une des zones les plus densément peuplées du pays, voire de la zone sahélienne¹²⁷. Il se subdivise en deux zones principales, soit la zone centre-nord, qui recouvre les régions de Diourbel et de Thiès ainsi que le département de Kébémér, et la zone sud, qui correspond aux régions de Fatick et de Kaolack¹²⁸. Les précipitations annuelles moyennes sont de plus en plus faibles en progressant vers le nord du bassin arachidier, la zone centre-nord recevant annuellement entre 400 et 600 mm de pluie alors que la zone sud en reçoit de 600 à 800 mm¹²⁹. Le bassin arachidier a eu une importance économique capitale après l'accession du pays à l'indépendance, l'État ayant alors fortement encouragé la production d'arachide dans la zone à des fins d'exportations. Si la baisse subséquente du cours mondial de l'arachide a secoué la région et occasionné des pertes de revenus importantes pour les paysans¹³⁰, l'arachide demeure toujours une culture dominante dans la zone. Le mil y est également très présent et on y retrouve aussi des productions moins importantes comme le sorgho, le maïs, le niébé et le coton¹³¹. Le secteur de l'élevage occupe également une place importante dans le bassin arachidier. L'élevage sédentaire, où les productions animales sont étroitement associées aux systèmes de production agricole, côtoie l'élevage transhumant, ce dernier étant

plus commun dans le nord de la zone, où l'agriculture devient difficile en raison des conditions climatiques¹³².

La pression anthropique et les bouleversements climatiques des dernières décennies ont occasionné une forte pression sur les ressources naturelles du bassin arachidier, entraînant ainsi une dégradation marquée des écosystèmes. Les espèces ligneuses sont affectées par les coupes de bois abusives, l'exploitation intensive des produits forestiers non ligneux, les feux de brousse, la sécheresse, les pratiques culturales et l'avancée du front agricole^{133 134}. La végétation ligneuse naturelle aurait même disparu dans certains départements, du fait de l'intensité des pratiques agricoles¹³⁵. Dans plusieurs zones, les parcs agroforestiers sont vieillissants et leur régénération est souvent compromise, en raison notamment des pressions accrues auxquelles le domaine foncier est soumis¹³⁶. Surexploités et surpâturés, les sols deviennent particulièrement vulnérables à l'érosion hydrique et éolienne, surtout dans les zones où le couvert végétal est dégradé^{137 138}. Il est par ailleurs probable que ces phénomènes d'érosion soient accentués dans les prochaines décennies, en raison d'un accroissement de la fréquence des épisodes de pluies violentes et d'une possible augmentation de la force des vents. La zone présente également une vulnérabilité notable face au phénomène de salinisation. L'exploitation croissante des réserves d'eau souterraines, conjuguée aux déficits pluviométriques enregistrés au cours des dernières décennies, a en effet conduit à une baisse du niveau des nappes phréatiques et à une infiltration d'eau salée dans les zones côtières et estuariennes du bassin arachidier, ce qui a entraîné une contamination des réserves d'eau potable et une dégradation chimique des sols¹³⁹. Ce phénomène devrait être aggravé dans le futur en raison de la montée du niveau des eaux océaniques¹⁴⁰.

3.5 LE SÉNÉGAL ORIENTAL

Couvrant une superficie de près de 60 000 km², le Sénégal oriental est formé par les régions de Tambacounda et de Kédougou. La densité de population y est faible et les Mandingues constituent le groupe ethnique dominant¹⁴¹. Le climat est de type soudanien dans les deux tiers nord de la zone et soudano-guinéen plus au sud^{142 143}, avec une pluviométrie annuelle de plus de 700 mm, excepté dans la partie la plus septentrionale qui est plus sèche^{144 145}. Le Sénégal oriental présente un relief hétérogène, avec notamment des zones plus montagneuses dans le département de Kédougou et de nombreux bas-fonds. Les sols, peu profonds, se situent sur une cuirasse latéritique^{146 147}.

Si le Sénégal oriental recèle un fort potentiel minier et touristique¹⁴⁸, la région est également une zone fort prometteuse sur le plan agricole. Son éloignement des grands centres urbains n'a probablement pas permis à ce jour sa pleine mise en valeur et les terres agricoles de la région demeurent sous-utilisées¹⁴⁹. Des mouvements migratoires notables en provenance du nord et de l'ouest du pays ont cependant été notés récemment en raison de la dégradation des terres et des pâturages dans ces régions¹⁵⁰. Les systèmes de production du Sénégal oriental sont diversifiés, s'adaptant ainsi à l'hétérogénéité du milieu physique¹⁵¹. Les cultures dominantes sont le coton, le riz pluvial, le sorgho et le maïs¹⁵² et l'élevage est également pratiqué. La région comprend par

ailleurs d'importantes ressources forestières et fournit, en plus du bois d'œuvre et de multiples produits forestiers non ligneux, la grande majorité du combustible ligneux destiné aux zones urbaines du pays^{153 154}.

En raison de l'intensité de l'exploitation forestière, du défrichement des parcelles agricoles, des prélèvements abusifs liés aux activités pastorales et des feux de brousse, la végétation ligneuse connaît une dégradation significative¹⁵⁵, ce qui entraîne à son tour des impacts notables sur les sols, lesquels sont fort sensibles à l'érosion hydrique dans la zone¹⁵⁶. Le ravinement est également un problème dans les aires où le relief est plus accidenté¹⁵⁷. La migration des éleveurs transhumants vers le Sénégal oriental durant la saison sèche engendre un phénomène de surpâturage qui contribue également à la dégradation des sols. Le Sénégal oriental n'ayant pas été jusqu'à récemment une terre d'accueil des transhumants, la présence de ces derniers risque par ailleurs d'occasionner des conflits entre agriculteurs et éleveurs¹⁵⁸. Les changements climatiques pourraient par ailleurs accentuer les pressions subies par ces deux groupes, certaines collectivités notant déjà par exemple un accroissement des températures, une réduction de la durée de la saison des pluies, un assèchement plus rapide des mares et une augmentation de la force des vents¹⁵⁹.

3.6 LA CASAMANCE

Située au sud du Sénégal et traversée par le fleuve qui porte son nom, la Casamance est composée de trois sous-zones, soient la Basse, la Moyenne et la Haute Casamance, lesquelles correspondent respectivement aux régions de Ziguinchor, Sédhiou et Kolda. Cette zone agroécologique se différencie du reste du pays par le climat qui y prévaut, notamment une pluviométrie moyenne supérieure à 1000 mm/an¹⁶⁰, et la densité de végétation plus importante qu'on y retrouve¹⁶¹. Le réseau hydrographique y est dense et les ressources en eau superficielles et profondes relativement abondantes. En Basse Casamance, la végétation est de type subguinéenne et les forêts semi-sèches denses sont dominantes, avec la présence de grands arbres de 20 à 30 mètres de hauteur¹⁶². Les mangroves couvrent pour leur part l'estuaire du fleuve Casamance¹⁶³. En Moyenne et Haute Casamance, la végétation est de type soudano-guinéen et le couvert végétal tend à diminuer en progressant vers le Sénégal oriental, cédant une place plus importante au tapis herbacé¹⁶⁴.

La Casamance présente un potentiel majeur sur le plan agricole et on y retrouverait notamment 20 % des terres arables du pays¹⁶⁵. La riziculture y est largement pratiquée, surtout dans les bas-fonds, mais on y retrouve également des cultures vivrières de mil, de sorgho, de maïs et de fonio. Les cultures de rente les plus communes sont l'arachide, le coton, ainsi que le sésame¹⁶⁶. Les productions fruitières et maraîchères prospèrent également dans la zone¹⁶⁷ et on note entre autres une croissance notable de la filière anacardes depuis quelques années¹⁶⁸. L'élevage bovin semi-extensif est commun et on constate une expansion des productions porcines et avicoles¹⁶⁹. Les ressources forestières, très importantes en Casamance, fournissent également de multiples produits aux

populations (bois d'œuvre, bois de feu, fruits, écorces, exsudats, etc.)¹⁷⁰. Les exploitations forestières commerciales sont également nombreuses¹⁷¹.

La salinisation croissante qu'on observe présentement dans les eaux du fleuve Casamance entraîne différentes conséquences néfastes dans la zone. Les mangroves, également affectées par la sécheresse, tendent à reculer et on observe une salinisation et une acidification des terres dans les vasières et les bas-fonds, de même qu'une extension des tannes¹⁷². La pratique de la riziculture traditionnelle devient de plus en plus difficile, ce qui pousse les communautés paysannes à défricher de nouvelles parcelles vers l'intérieur des terres. On peut s'attendre à ce que la montée du niveau des océans aggrave ces différentes problématiques et entraîne une perte progressive des superficies cultivables¹⁷³. Certaines communautés rurales commenceraient d'ailleurs déjà à percevoir certains changements dans les patrons climatiques de la zone, notamment une saison des pluies raccourcie marquée par des pluies plus irrégulières et plus intenses¹⁷⁴. Les forêts naturelles, parmi lesquelles on compte des palmeraies, connaissent en outre une dégradation majeure sous l'effet de la sécheresse, des feux de brousse, de l'exploitation forestière commerciale (légale ou clandestine) et de l'intensification des coupes par les populations¹⁷⁵. Le conflit casamançais, qui a entraîné des séquelles importantes sur le plan socioéconomique, aurait également laissé ses marques sur la végétation ligneuse de la zone, les communautés ayant alors intensifié leurs prélèvements de produits forestiers ligneux et non ligneux pour améliorer leur sécurité alimentaire et économique¹⁷⁶.

4 LA CONTRIBUTION DES DIFFÉRENTES INTERVENTIONS AGROFORESTIÈRES AU PROCESSUS D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Si les différentes zones agroécologiques du Sénégal présentent une grande hétérogénéité sur de multiples plans, aucune ne devrait être épargnée par les changements climatiques. Si rien n'est mis en place pour se préparer à ces bouleversements, on peut s'attendre à ce que les paysans et paysannes sénégalais des différentes régions voient leurs moyens de subsistance de plus en plus affectés par les changements annoncés, et que l'insécurité alimentaire gagne du terrain à travers le pays. Différentes stratégies existent cependant pour renforcer la résilience des communautés paysannes face à ces nouveaux défis. Parmi ces options, l'agroforesterie apparaît de plus en plus comme une voie prometteuse. Cette approche, que certains ont définie comme « un système dynamique de gestion des ressources naturelles fondé sur l'écologie qui, à travers l'intégration d'arbres dans les fermes, les exploitations d'élevage et d'autres paysages, diversifie et accroît la production, et procure des bénéfices sociaux, économiques et environnementaux aux utilisateurs des terres »¹⁷⁷, présenterait en effet un potentiel « très élevé » en matière d'adaptation aux changements climatiques selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)¹⁷⁸. Il paraît donc pertinent de se pencher avec attention sur les bénéfices qu'elle est susceptible d'apporter à cet égard en contexte sénégalais.

L'agroforesterie n'est pas une stratégie nouvelle pour les communautés paysannes du Sénégal. Celles-ci pratiquaient l'agroforesterie plusieurs siècles avant que le terme ne bénéficie d'une reconnaissance officielle. Le parc agroforestier apparaît ainsi comme la plus ancienne et la principale forme d'expression de l'agroforesterie sur le territoire sénégalais. Il appelle de ce fait un traitement particulier lorsqu'il est question d'agroforesterie au Sénégal, où il « constitue l'agroécosystème de base et le pivot de la production agricole dans une très grande partie du pays »¹⁷⁹. Il est également une parfaite illustration de cette association étroite entre ligneux, cultures et élevage qu'est l'agroforesterie. Outre son ancienneté, il a un statut qui le distingue des autres formes que peut prendre l'agroforesterie dans la mesure où il est aussi à considérer comme un espace (un lieu et un territoire) et une façon de pratiquer l'agriculture, plutôt que comme une intervention ou une technique qui s'y greffe. Avec le temps, et avec la reconnaissance dont elle a fait l'objet au tournant des années 1970 notamment, l'agroforesterie a pris diverses formes et commencé à se décliner en multiples options et types d'intervention, certaines d'entre elles visant à restaurer les parcs agroforestiers, d'autres cherchant de façon différente à intégrer les ligneux dans les systèmes de production agricole. C'est ainsi que sont apparues planches maraîchères de baobab, haies brise-vent et cultures en couloirs, pour ne donner que quelques exemples.

En vue d'obtenir des informations sur ces interventions agroforestières, une vaste revue documentaire effectuée dans différents centres de documentation sénégalais, ainsi

qu'une série d'entretiens auprès d'experts et d'expertes nationaux en agroforesterie, ont été menés afin de recenser les projets de recherche et de développement conduits au Sénégal ayant comporté au minimum une certaine composante agroforestière. Un tel exercice a permis de constituer un répertoire détaillant plus de 120 projets agroforestiers réalisés à travers le pays, lequel représente une véritable base de données qui pourrait notamment faciliter le partage des connaissances entre acteurs et actrices intéressés par l'agroforesterie au Sénégal⁴. Une revue de la littérature scientifique menée sur différentes bases de données a par la suite permis de rassembler de la documentation supplémentaire sur l'agroforesterie en contexte sénégalais. C'est sur la base de l'ensemble de la documentation colligée au travers de ces deux processus que l'identification des contributions de l'agroforesterie en matière d'adaptation aux changements climatiques a été réalisée.

Comme les interventions agroforestières sont relativement distinctes les unes des autres et qu'elles sont donc susceptibles d'apporter des bénéfices différents, chacune d'entre elles sera traitée séparément dans les sections qui suivent. Après une brève présentation des différentes interventions abordées, les bénéfices qu'elles peuvent procurer sur le plan de l'adaptation aux changements climatiques seront détaillés, en abordant des aspects comme la gestion des sols, de l'eau, du microclimat et des bioagresseurs des cultures. Lorsqu'il était possible de le faire, l'impact des interventions sur le rendement des cultures et la productivité animale a aussi été documenté. Cette portion de l'analyse s'est concentrée principalement sur ce qui a été fait ou étudié dans les différentes zones agroécologiques du Sénégal, mais à l'occasion, des éléments provenant de travaux conduits dans d'autres pays d'Afrique de l'Ouest viendront enrichir les connaissances tirées du contexte sénégalais.

L'analyse des projets de recherche et de développement qui ont été menés au Sénégal a également permis de documenter une multitude d'autres informations relatives à la mise en œuvre des différentes interventions agroforestières, qu'il s'agisse d'aspects techniques (choix des espèces, densité, écartements, etc.) ou de considérations d'ordre social, économique ou politique (notamment les enjeux particuliers vécus par les femmes, les jeunes et les communautés pastorales en lien avec les différentes interventions). Il a paru pertinent d'inclure également ces différents aspects, afin de nourrir la réflexion des acteurs et actrices œuvrant sur le terrain, et de mieux les outiller dans la réalisation de leurs activités. Il s'agit donc, dans un premier temps, de comprendre en quoi consistent les différentes interventions et en quoi elles peuvent contribuer à renforcer la résilience des communautés paysannes, et, dans un deuxième temps, d'aborder ou d'approfondir certains aspects susceptibles de favoriser la mise en œuvre de ces interventions.

⁴ La version actualisée de ce répertoire est accessible à l'adresse suivante : https://docs.google.com/spreadsheets/d/15XIGc3F7PGONc6QPzHXRw8ybU-qVx_ffPnndV4R1LUQ/edit?usp=sharing

Des graphiques illustrant la répartition des interventions dans les différentes zones agroécologiques du pays (voir annexe 2) et un tableau recensant quelques-uns des principaux projets associés aux diverses interventions agroforestières menées au Sénégal sont présentés à la fin du présent document (voir annexe 3).

4.1 LES PARCS AGROFORESTIERS

4.1.1 PRÉSENTATION

Les parcs agroforestiers illustrent parfaitement bien l'association étroite qui lie les ligneux, les cultures et l'élevage au sein des terroirs agricoles. Dans ce système agroforestier, les arbres et arbustes sont dispersés au sein de parcelles accueillant tantôt des cultures et tantôt des animaux d'élevage¹⁸⁰. Système de production agricole le plus commun des régions arides et semi-arides de l'Afrique de l'Ouest¹⁸¹, les parcs agroforestiers se retrouvent sur une vaste portion du territoire sénégalais, bien que leurs caractéristiques puissent différer substantiellement d'une région à l'autre, voire d'une commune à une autre. Certains parcs agroforestiers présentent ainsi une densité de ligneux assez faible, alors que d'autres sont constitués d'un couvert végétal bien plus dense¹⁸². De manière générale, la densité du couvert ligneux tend à augmenter selon un gradient nord-sud, soit des zones les plus sèches où les parcs arbustifs dominent, vers les zones plus arrosées où le couvert végétal se complexifie et comporte souvent plusieurs strates de végétation ligneuse. La composition des parcs est aussi fort diverse selon les zones. Si ceux-ci sont généralement constitués de multiples espèces arborées et arbustives (souvent entre 40 et 50 essences distinctes¹⁸³), il est fréquent d'y observer la dominance d'une espèce particulière. On retrouve ainsi des parcs à *Faidherbia albida*, à baobabs (*Adansonia digitata*) et à rôniers (*Borassus* spp.) dans la moitié sud de pays, voire même un peu plus au nord, des parcs à *Cordyla pinnata* dans le sud du bassin arachidier et au Sénégal oriental, des parcs à palmiers à huile (*Elaeis guineensis*) dans les Niayes et en Casamance, des parcs à néré (*Parkia biglobosa*) au Sénégal oriental et en Casamance, et plusieurs autres types de parcs encore.

Loin d'être due au hasard, la structure de ces parcs fait état du long processus de sélection qui a été mis en œuvre par les communautés paysannes de ces différentes zones depuis des décennies, voire des siècles. Au fil du temps, les collectivités rurales ont en effet choisi de conserver dans leurs champs les espèces qui répondaient le mieux à leurs besoins spécifiques¹⁸⁴, que ce soit en termes de produits destinés à l'autoconsommation ou à la vente (denrées alimentaires pour les humains ou le bétail, bois-énergie, bois d'œuvre ou de service, pharmacopée, etc.) ou de fonctions écologiques ou socioculturelles apportées par les arbres (conservation des sols, gestion de l'eau, pratiques spirituelles, etc.)^{185 186}. Les espèces ligneuses conservées sont d'ailleurs souvent multi-usages et multifonctionnelles. Par exemple, certaines parties du *C. pinnata* peuvent être préparées sous forme de décoction pour soigner différents maux, le feuillage de l'arbre est donné en fourrage aux animaux et son bois est notamment utilisé pour la fabrication de différents outils¹⁸⁷, alors que sa litière contribuerait à améliorer les propriétés du sol¹⁸⁸. Du baobab, on tire surtout des fruits, les pains de singe, qui sont de plus en plus

en demande sur le marché local et international, des feuilles riches en vitamines qui peuvent être intégrées dans la préparation des sauces, une huile qui peut être utilisée à des fins cosmétiques et des fibres qui peuvent servir à la fabrication de cordages et autres items. Le tronc creux du baobab peut en outre servir à stocker de l'eau durant la saison sèche et a même pu servir de tombeau aux griots de certains groupes ethniques. Les arbres des parcs ont donc diverses fonctions écologiques, économiques et socioculturelles au sein des terroirs. On peut ainsi dire que la composition globale des essences préservées au sein des parcs agroforestiers reflète la stratégie d'adaptation déployée par chaque société pour satisfaire ses besoins et s'ajuster aux spécificités du milieu¹⁸⁹.

Bien qu'on retrouve également un grand nombre d'arbustes dans les parcs agroforestiers, la présente section se concentrera essentiellement sur les bénéfices apportés par les arbres des parcs. La section qui porte sur la gestion agroécologique des espèces arbustives indigènes abordera néanmoins plusieurs des avantages procurés par les arbustes en milieu agricole. Par ailleurs, étant donné que les savanes arborées⁵ présentent une structure similaire à celle des parcs agroforestiers, il a été jugé pertinent d'intégrer dans la présente section les bénéfices que les arbres peuvent apporter dans ce type d'environnement fréquenté principalement par les communautés pastorales et leurs troupeaux.

4.1.2 LES BÉNÉFICES APPORTÉS DANS UN PROCESSUS D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

4.1.2.1 GESTION DES SOLS

Alors que les sols du Sénégal sont déjà soumis à de fortes pressions, en raison notamment de l'intensification des pratiques agricoles et des périodes de sécheresse qui ont frappé le pays au cours des dernières décennies, tout semble indiquer qu'ils seront également sévèrement affectés par les changements climatiques à venir. Les sols constituent le socle de l'agriculture. Si l'on espère pouvoir assurer la sécurité alimentaire et préserver les moyens de subsistance d'une population croissante, il est crucial d'inverser le processus de dégradation qui les affecte et de mettre en place des aménagements et des pratiques qui favorisent leur restauration et leur résilience face à un climat futur marqué par les extrêmes. L'agroforesterie peut jouer un rôle majeur à ce niveau et la contribution des arbres à l'amélioration des sols constitue justement l'un des avantages clés apportés par les parcs agroforestiers¹⁹⁰.

Un des principaux apports des ligneux à l'amélioration et à la protection des sols est le fait qu'ils génèrent une quantité substantielle de matière organique. Cette dernière tient une importance capitale pour le maintien d'une agriculture durable, et cela en par-

⁵ La savane arborée est un milieu naturel caractérisé par la présence d'arbres dispersés parmi un tapis herbacé continu.

ticulier dans les régions sèches, où les taux initiaux de matière organique sont déjà faibles et où des pertes peuvent enclencher un cercle vicieux de dégradation susceptible d'aggraver l'insécurité alimentaire des communautés rurales¹⁹¹.

S'il est probable qu'en favorisant une réduction de la vitesse du vent, les arbres parviennent à capturer des particules de matière organique transportées par le vent^{192 193}, l'apport des ligneux en la matière provient surtout de la dégradation de leur biomasse dans le sol (feuilles, racines, débris ligneux, fruits, gousses, exsudats racinaires). Il a par exemple été établi que la seule production foliaire d'un arbre comme le *C. pinnata* apportait au sol plus de 80 kg de matière sèche annuellement¹⁹⁴. Le *F. albida* en générerait pour sa part presque 100 kg durant la même période¹⁹⁵ et une méta-analyse rapporte que sous sa canopée, le sol renfermerait en moyenne 46 % plus de carbone organique que les zones hors couvert¹⁹⁶. Sous le houppier des acacias, on retrouverait également de deux à cinq fois plus de matière organique dans l'horizon de surface (0-10 cm) que dans les zones découvertes, et 1,5 fois plus à 50 cm de profondeur¹⁹⁷. La contribution des arbres des parcs à l'accroissement de la teneur des sols en matière organique est donc importante.

Parmi les fonctions jouées par la matière organique dans les sols, trois s'avèrent particulièrement intéressantes pour l'agriculture sénégalaise dans une perspective d'adaptation aux changements climatiques. Elle contribue d'abord à améliorer la structure du sol en favorisant la formation et la stabilisation des agrégats et en améliorant la porosité du sol. Les sols plus riches en matière organique présentent une meilleure stabilité, un taux d'infiltration de l'eau plus élevé et une plus grande capacité de rétention en eau^{198 199}. La matière organique apportée aux sols par les arbres peut ainsi contribuer à renforcer leur résilience face aux extrêmes climatiques comme les épisodes de sécheresse et les pluies violentes.

La matière organique constitue par ailleurs la principale source d'énergie et de nutriments des organismes du sol (bactéries, nématodes, vers de terres, champignons, etc.)²⁰⁰, lesquels jouent un rôle crucial dans la santé des sols agricoles. En plus de participer au recyclage des nutriments dans le sol, ces organismes favorisent la formation de micro- et de macro-agrégats, lesquels améliorent à leur tour la structure du sol, en plus de stabiliser durablement la matière organique dans celui-ci²⁰¹. Sous les *F. albida*, il a été établi que l'activité biologique du sol pouvait être de deux à trois fois supérieure à celle mesurée dans les zones hors couvert²⁰². Dans le nord du Sénégal, on rapporte aussi que la biomasse microbienne mesurée sous le couvert de cinq espèces ligneuses (*Acacia senegal*, *Acacia tortilis* var. *raddiana*, *Balanites aegyptiaca*, *Boscia senegalensis* et *Sclerocarya birrea*) était généralement plus élevée que dans des espaces dépourvus d'arbres²⁰³.

Après avoir été dégradée par la faune du sol, la matière organique générée par les ligneux joue finalement un rôle majeur en constituant une source de nutriments importante pour les cultures. Pour de nombreuses familles paysannes, l'achat d'engrais de

synthèse n'est pas envisageable et la matière organique issue des arbres peut devenir la principale source d'éléments nutritifs pour les cultures²⁰⁴. Or, ces apports sont loin d'être négligeables. Sous la canopée des *C. pinnata*, une augmentation des taux d'azote total (61 %), de phosphore disponible (47 %) et de calcium échangeable (22 %) a par exemple été notée, par rapport à des zones hors couvert²⁰⁵. Une méta-analyse portant sur l'impact du *F. albida* sur les sols a également établi que cette espèce favorisait, sous sa canopée, une hausse significative des taux d'azote total (50 %), de phosphore (21 %) et de potassium (32 %)²⁰⁶ comparativement à des espaces dépourvus de ligneux. Les arbres des parcs agroforestiers apporteront donc une contribution notable sur le plan de la fertilité, un aspect important considérant que le rendement de plusieurs cultures risque d'être mis à mal dans les conditions climatiques futures.

Il faut en outre préciser que si une partie des éléments nutritifs contenus dans la matière organique apportée par les ligneux provient des horizons superficiels du sol et peut ainsi être captée aux dépens des cultures, une autre partie est prélevée par le réseau racinaire étendu des arbres. Ce dernier peut en effet accéder à des horizons de sol non explorés par les cultures et capter des nutriments lessivés ou issus de l'altération de la roche mère²⁰⁷. Les arbres peuvent ainsi puiser des éléments minéraux présents dans les profondeurs du sol et les restituer par la suite à la surface de ce dernier, où ces minéraux peuvent être accessibles aux cultures. Mais les ligneux ne font pas que recycler les nutriments du sol : ils permettent également d'en injecter dans les agroécosystèmes. C'est bien sûr le cas du carbone qui, par le biais de la photosynthèse, est prélevé dans l'air et intégré dans les tissus végétaux qui formeront la matière organique générée par les arbres. C'est aussi le cas de l'azote, que certains ligneux de la famille des Fabacées (légumineuses) arrivent, à travers une symbiose avec certaines bactéries du sol, à extraire de l'atmosphère. Ces entrées d'azote dans l'agroécosystème sont d'ailleurs clairement connues des communautés paysannes qui choisissent souvent de conserver différentes espèces de Fabacées dans les parcs agroforestiers pour améliorer la fertilité de leur sol.

La présence des arbres dans les champs agricoles génère également des apports de matière organique et de nutriments de façon indirecte. Durant les fortes chaleurs de la journée, le couvert ombragé des arbres constitue en effet un havre apprécié par les animaux d'élevage, lesquels, en se reposant et en paissant à cet endroit, laissent une quantité appréciable de déjections qui contribuent à enrichir le sol. De même, les oiseaux qui nichent ou se nourrissent dans les arbres produisent des fientes riches en nutriments qui peuvent améliorer la fertilité du sol^{208 209 210}.

Par ailleurs, un autre atout substantiel apporté par les arbres des parcs agroforestiers dans la gestion durable des sols est le fait qu'ils permettent de réduire l'érosion hydrique et éolienne. Parce qu'ils améliorent la structure du sol et favorisent une meilleure infiltration de l'eau, les arbres contribuent à protéger l'intégrité du sol et à réduire le ruissellement lors d'épisodes de fortes précipitations²¹¹. Les pertes de sol en sont dès lors amoindries. Les arbres entraînent de plus une réduction de la vitesse du vent en

aval de leur houppier^{212 213} et une augmentation du taux d'humidité à la surface du sol²¹⁴. Dans ces conditions, les particules de sol seraient moins facilement arrachées par les vents. En limitant les phénomènes érosifs, les arbres protègent ainsi les sols et le capital de matière organique qu'ils contiennent. La contribution des arbres à la lutte antiérosive est d'ailleurs souvent reconnue par les communautés rurales, qui arrivent parfois même à identifier les espèces ligneuses ayant le plus grand impact sur le plan de la protection des sols²¹⁵.

ENCADRÉ 1 : LE FAIDHERBIA ALBIDA

Le *F. albida* fait certainement figure d'arbre emblématique au sein des parcs agroforestiers sénégalais. Ses caractéristiques particulières en font en effet un des ligneux les plus appréciés des communautés paysannes. Comme les autres végétaux de la famille des Fabacées, il parvient, en association avec certaines bactéries, à fixer l'azote atmosphérique dans les sols, ce qui permet d'accroître la fertilité de ces derniers et de contribuer à hausser le rendement de plusieurs cultures. Des travaux de recherche ont démontré que l'effet fertilisant du *F. albida* se manifestait davantage dans les sols pauvres et serait nettement moins marqué dans les milieux déjà riches en nutriments^{216 217}. Le *F. albida* possède aussi des racines pivotantes qui lui permettent de puiser l'eau profondément dans le sol. Cette caractéristique permet d'une part à l'arbre de mieux résister aux sécheresses, et d'autre part de générer une faible concurrence avec les cultures environnantes pour l'accès à l'eau. Sa particularité la plus étonnante est toutefois sa phénologie inversée, soit le fait qu'au contraire des autres végétaux de la zone, son feuillage croît durant la saison sèche et tombe au début de la saison des pluies, lorsque l'ensemble du parc agroforestier reverdit. Les cultures qui se développent à proximité de l'arbre bénéficient donc d'un accès important aux ressources lumineuses durant l'hivernage, ce qui peut favoriser leur croissance. De plus, en l'absence de feuillage, l'arbre réduit fortement sa consommation en eau durant la saison des pluies²¹⁸, ce qui peut encore limiter une éventuelle concurrence avec les cultures pour les ressources hydriques. Durant la saison sèche, le feuillage verdoyant du *F. albida* constitue de surcroît une source de fourrage fort appréciée par le bétail.

Les parcs à *F. albida* font présentement l'objet de recherches approfondies au Sénégal. Dans le bassin arachidier, un site baptisé « Faidherbia-Flux » utilise notamment des technologies de pointe pour mieux appréhender les effets du *F. albida* sur le rendement des cultures et sur différentes composantes de l'agroécosystème, et cela, autant à proximité de l'arbre qu'à l'échelle du parc agroforestier²¹⁹. Ces travaux devraient permettre de mieux comprendre les bénéfices générés par cet arbre hors du commun.

Une étude prédictive tentant de modéliser les futurs stocks de carbone du sol du bassin arachidier selon différents modèles de gestion agricole (types de cultures annuelles impliquées, inclusion ou non d'une jachère, présence ou non d'arbres) et différents scénarios climatiques apporte un éclairage intéressant sur l'impact des parcs agroforestiers dans la gestion durable des sols au cours du 21^e siècle²²⁰. En considérant un scénario d'émissions de gaz à effet de serre élevées, on rapporte que, sans la présence d'arbres,

des rotations continues de type arachide-arachide-jachère ou arachide-millet entraîneraient une réduction du stock de carbone du sol de 5 et 6 t/ha, respectivement, en 2050 et en 2080, par rapport au niveau mesuré en 2009, une situation qui porterait atteinte à la productivité agricole et la sécurité alimentaire des communautés²²¹. L'intégration d'arbres dans les champs agricoles permettrait au contraire d'augmenter les stocks de carbone des sols dans toutes les rotations et tous les scénarios climatiques envisagés. Sous un scénario d'émissions élevées, une rotation continue de type arachide-millet cultivée dans un parc agroforestier à *F. albida* augmenterait par exemple les stocks de carbone de près de 12 t/ha en 2050 et de plus de 18 t/ha en 2080, par rapport aux stocks de 2009. La même rotation dans un parc à *Acacia senegal* hausserait le contenu en carbone des sols d'environ 1 t/ha en 2050 et de 2,5 t/ha en 2080, une contribution certes plus modeste, mais tout de même significative si l'on considère que les stocks s'amenuisent actuellement²²². Les parcs agroforestiers constitueraient donc une avenue tout indiquée pour favoriser la conservation, voire la régénération des sols au cours des prochaines décennies.

4.1.2.2 GESTION DE L'EAU

Dans un pays comme le Sénégal, où la plus grande partie du pays se retrouve sous un climat aride ou semi-aride et où les risques de sécheresse pourraient augmenter en raison des changements climatiques, il est raisonnable de se demander si le fait de conserver des arbres dans les parcelles agricoles n'est pas une stratégie risquée. N'entreront-ils pas en concurrence avec les cultures durant l'hivernage ? Ne contribueront-ils pas à assécher les réserves d'eau ?

Les arbres exercent effectivement une influence négative sur certains éléments du bilan hydrique. Ainsi, lorsqu'il pleut, une partie des précipitations est interceptée par la canopée avant d'être restituée à l'atmosphère sous forme gazeuse. Cette fraction des précipitations n'atteint conséquemment jamais le sol. Au Sénégal, des études ont permis d'estimer que dans les parcs à *C. pinnata*, environ 22 % des précipitations seraient interceptées par les arbres²²³, alors que le houppier de *A. tortilis* retiendrait 16,5 % (± 5 %) des pluies²²⁴. Les arbres utilisent aussi bien sûr des ressources en eau pour leurs propres besoins, avec des taux de prélèvement variables en fonction des espèces, de leur âge, de la période de l'année, etc.²²⁵. Au Sénégal, peu de recherches ont tenté de mesurer les quantités d'eau utilisées par les arbres, mais des travaux menés au Burkina Faso ont notamment établi que l'eau transpirée dans un parc à *F. albida* correspondait à un peu moins de 5 % des précipitations annuelles qui y étaient reçues²²⁶.

L'ampleur de la concurrence pour l'eau dépend néanmoins de plusieurs facteurs, dont l'architecture du système racinaire des arbres. Dans les régions arides et semi-arides, plusieurs arbres ont su s'adapter à la sécheresse en développant des racines pivotantes profondes qui leur permettent d'aller puiser des ressources en eau à des profondeurs inaccessibles aux racines des cultures²²⁷. Des recherches menées dans le Ferlo laissent ainsi supposer que *A. tortilis* puiserait une partie significative de son eau à des profon-

deurs de plus de 4 mètres²²⁸, ce qui serait peu surprenant sachant qu'on a retrouvé un individu de cette espèce dont les racines atteignaient 30 mètres de profondeur ailleurs en Afrique de l'Ouest²²⁹. D'autres chercheurs ont également repéré des racines de *F. albida* à 7 mètres de profondeur et ont constaté que l'arbre déployait ses racines dans de multiples horizons du sol²³⁰. Les racines des arbres et des cultures peuvent donc occuper des espaces distincts dans le sous-sol et n'entrent donc pas forcément en concurrence pour les ressources en eau. Dans les cas où la concurrence est plus manifeste, l'élagage partiel des houppiers pourrait entraîner un ralentissement de la croissance des racines des arbres, ce qui est susceptible d'accroître les volumes d'eau disponibles pour les cultures. Des actions directes de taille des racines superficielles des arbres pourraient également avoir le même effet, bien que de telles pratiques aient été peu étudiées en Afrique de l'Ouest.

Les arbres ont en outre un impact positif sur d'autres composantes du bilan hydrique. L'ombre projetée par le houppier entraîne par exemple une réduction de l'évaporation du sol, ce qui permet de conserver une plus grande partie des ressources en eau dans l'horizon superficiel du sol^{231 232}. Au Burkina Faso, des recherches ont permis de constater que durant l'hivernage, le taux d'évaporation sous des *Vitellaria paradoxa* et des *P. biglobosa* était 22 % moins élevé que dans des aires découvertes²³³. Dans les environs de Djibelor, en Casamance, il a également été noté que les rizières traditionnelles intégrant des arbres présentaient un taux d'évaporation 40 % plus faible que les rizières sans composante arborée²³⁴.

En améliorant les propriétés du sol, les arbres facilitent également l'infiltration de l'eau dans le sol, ce qui permet de réduire les pertes d'eau par ruissellement^{235 236}. Ils favorisent de plus la rétention de l'eau dans le sol. Les arbres pourraient donc accroître la quantité d'eau disponible pour les plantes, tout en favorisant la recharge de la nappe phréatique²³⁷. De telles propriétés semblent particulièrement bienvenues sachant qu'on prévoit un prolongement des périodes de sécheresse et une fréquence accrue d'épisodes de pluies violentes dans les prochaines décennies. Il importera donc plus que jamais de conserver l'eau dans les parcelles et les paysages, cela tant pour répondre aux besoins des cultures qu'à ceux des humains.

Un autre atout important apporté par les arbres est le fait que certaines espèces ligneuses dotées de racines profondes seraient en mesure de prélever de l'eau provenant d'horizons plus profonds du sol pour ensuite la redistribuer vers leurs racines superficielles, où une partie deviendrait disponible pour les cultures avoisinantes²³⁸. Ce phénomène, connu sous le nom de soulèvement hydraulique, aurait été noté chez une multitude d'espèces ligneuses, dont plusieurs qu'on retrouve fréquemment dans les parcs

agroforestiers²³⁹, et pourrait s'avérer particulièrement précieux pour maintenir la productivité agricole lors d'épisodes de sécheresse²⁴⁰ ⁶.

Ultimement, l'effet global des arbres sur le bilan hydrique des parcs agroforestiers résultera donc de la balance entre les gains d'eau qu'ils apportent et les pertes que leur consommation entraîne. Il s'agit donc d'une question très complexe, sachant que ce bilan est influencé par une multitude de facteurs (espèces présentes, densité, caractéristiques du sol, climat, etc.). À ce jour, peu de travaux sont parvenus à prendre en compte la totalité de ces éléments dans les parcs agroforestiers et il est donc difficile de tirer des conclusions précises sur ce thème, et encore davantage de quantifier les éventuels bénéfices que les parcs pourraient apporter en termes de gestion des ressources hydriques.

Une étude conduite au Burkina Faso rapporte cependant qu'en milieu semi-aride, entre les deux extrêmes que constituent les zones exemptes d'arbres et les forêts, il existerait une couverture ligneuse intermédiaire qui permettrait d'optimiser la recharge du sol en eau²⁴¹. Or, cette densité ligneuse optimale correspondrait approximativement à celle qu'on retrouve communément dans les parcs agroforestiers, ce qui confirme notamment la finesse des savoirs paysans en ce qui a trait à la gestion des ressources en eau à l'échelle des paysages. Certains travaux de recherche menés sur le site «Faidherbia-Flux» devraient permettre d'approfondir les connaissances relatives au bilan hydrique des parcs agroforestiers, du moins dans les parcs où les *F. albida* sont dominants.

4.1.2.3 MICROCLIMAT

Un des apports importants des parcs agroforestiers dans une perspective d'adaptation aux changements climatiques provient des modifications microclimatiques entraînées par la présence des arbres dispersés dans les champs. Les arbres peuvent d'abord contribuer à ralentir la vitesse des vents²⁴², ce qui pourrait limiter l'évapotranspiration, l'érosion éolienne et les dommages subis par les plantes sous l'action du vent²⁴³. Cet effet serait toutefois surtout marqué dans les parcs présentant une densité d'arbres élevée ou dans ceux qui comportent des arbres à la canopée haute et large²⁴⁴.

Le houppier des arbres réduirait également le rayonnement solaire pouvant atteindre le sol et les cultures, avec un taux d'interception des rayons lumineux variable selon la taille des houppiers, la densité de leur feuillage et la phénologie des arbres²⁴⁵. Ainsi, il a été établi que des arbres comme l'*A. digitata* et l'*A. tortilis* pouvaient réduire le rayonnement total de 45 à 65 % sous leur canopée²⁴⁶. Dans le Ferlo, au sommet de la feuillaison de l'*A. tortilis*, cette fraction peut même atteindre 80 %²⁴⁷. L'ombre portée par la canopée des arbres peut avoir des impacts directs sur les cultures, bien que celles-ci n'y

⁶ Voir la section sur la Gestion agroécologique des arbustes indigènes pour plus de détails sur le phénomène de soulèvement hydraulique, notamment en contexte sénégalais.

réagissent pas toutes de la même manière. Le processus de photosynthèse s'effectue en effet de façon distincte selon le type de végétaux concerné. On retrouve à cet égard deux groupes principaux de végétaux, soient les plantes dites en C3 (riz, arachide, coton, manioc, etc.), qui tolèrent généralement assez bien l'ombre, et les plantes en C4 (maïs, sorgho, mil, fonio, etc.), qui se comportent habituellement mieux lorsqu'elles ont accès au plein rayonnement solaire. Le rendement des cultures appartenant à cette dernière catégorie est donc plus susceptible d'être affecté négativement par la réduction de l'intensité lumineuse sous la canopée des arbres²⁴⁸.

L'ombrage porté par les arbres offre toutefois un avantage majeur dans les régions où les températures sont élevées puisqu'il permet un abaissement notable des températures de l'air et du sol sous le couvert des arbres. Inversement, les arbres tendent à retenir la chaleur sous leur canopée durant la nuit. Leur présence dans les champs permet conséquemment de modérer les extrêmes climatiques. Une étude menée dans le Ferlo rapporte par exemple que les températures minimales et maximales de l'air sous la canopée des *A. tortilis* variaient entre 29 °C et 36 °C, alors que celles mesurées hors couvert oscillaient entre 26 °C et 42 °C²⁴⁹. Le même effet a été observé sur les températures du sol, avec des valeurs s'échelonnant de 27 °C à 30 °C à 10 cm de profondeur sous la cime des arbres et de 25,5 °C à 35 °C dans des zones dépourvues d'arbres²⁵⁰.

Cette atténuation des températures extrêmes peut s'avérer fort bénéfique aux cultures. Une revue exhaustive d'études portant sur les services écosystémiques apportés par la végétation ligneuse en milieu agricole dans la zone soudano-sahélienne de l'Afrique de l'Ouest a par exemple conclu que la présence des arbres et des arbustes permettait de réduire la période durant laquelle les cultures étaient exposées à des températures supra-optimales vis-à-vis de leur développement²⁵¹. Les zones plus fraîches qu'on retrouve sous la canopée des arbres durant la journée sont par ailleurs fort appréciées par les paysannes et paysans, de même que par le bétail.

Il semble également que l'humidité relative de l'air soit généralement plus élevée sous la canopée des arbres. Une étude menée dans le bassin arachidier rapporte qu'au mois de juillet, l'humidité relative moyenne sous des *F. albida* était de 59 %, comparativement à 51 % hors couvert, et cela, malgré le fait que cet arbre comporte très peu de feuilles à cette saison²⁵². D'autres travaux mentionnent aussi que l'humidité de l'air pouvait être jusqu'à 5 % plus élevée sous les arbres des parcs agroforestiers par rapport à des zones pleinement exposées au soleil, avec des différences plus marquées lors de journées plus chaudes et plus sèches²⁵³. Or, une hausse de l'humidité relative pourrait limiter l'évapotranspiration sous la canopée des arbres et permettre aux cultures de poursuivre leurs processus de croissance lors d'épisodes de sécheresse puisque les stomates des plantes demeureraient alors ouverts plus longtemps.

Dans un avenir prochain, où les températures extrêmes et les épisodes de sécheresse devraient être de plus en plus fréquents, l'effet des arbres des parcs agroforestiers sur le

microclimat pourrait dès lors s'avérer particulièrement précieux pour les communautés paysannes.

4.1.2.4 GESTION DES BIOAGRESSEURS

Bien que peu de travaux de recherche se soient penchés sur l'influence des parcs agroforestiers sur les insectes ravageurs, les maladies et les plantes adventices, diverses études ont été conduites à travers le monde pour mieux comprendre l'impact des systèmes agroforestiers sur la gestion des bioagresseurs des cultures. Il semble qu'en fonction du contexte (espèces ligneuses et cultures concernées, arrangement spatial, conditions climatiques, etc.), la présence d'arbres au sein des parcelles et des paysages agricoles entraîne des effets variables sur les bioagresseurs des cultures²⁵⁴. Ainsi, les systèmes agroforestiers peuvent notamment offrir des sources de nourriture et un habitat favorable à certains insectes ravageurs des cultures, mais aussi à leurs ennemis naturels, engendrer un microclimat qui leur est plus ou moins propice et créer un effet de connectivité qui favorise leur circulation à travers le paysage, ou crée au contraire un effet de barrière qui freine leur propagation au sein des parcelles²⁵⁵. Une méta-analyse semble toutefois indiquer que les systèmes agroforestiers contribueraient généralement à augmenter la quantité d'insectes auxiliaires (prédateurs et parasitoïdes) et à diminuer les dommages occasionnés aux cultures par les insectes ravageurs²⁵⁶. Il semble de plus que la simplification des paysages nuirait à la régulation naturelle des ravageurs et favoriserait donc leur multiplication²⁵⁷.

Au Sénégal, une étude récente conduite dans des parcs agroforestiers à proximité de Bambey a permis de démontrer que la densité d'arbres et la diversité du paysage avaient un effet favorable sur la régulation naturelle de la mineuse de l'épi du mil (*Heliocheilus albipunctella*), un ravageur commun qui peut causer des dommages majeurs à la culture²⁵⁸. Le *F. albida*, le *Balanites aegyptiaca* et l'*Azadirachta indica* constitueraient notamment des habitats particulièrement favorables pour les insectes qui s'attaquent à la mineuse de l'épi, ainsi que pour d'autres types de prédateurs comme les chauves-souris et certains oiseaux insectivores²⁵⁹. Cet effet positif des arbres sur la régulation des ravageurs aurait d'ailleurs été noté par certaines communautés paysannes²⁶⁰.

Il semble également que les arbres des parcs agroforestiers aient une influence favorable pour contrer les infestations de plantes adventices. Dans le bassin arachidier, une équipe de recherche a ainsi noté que la biomasse aérienne des plantes adventices était considérablement moindre sous la canopée de *F. albida* par rapport aux zones éloignées des arbres²⁶¹. Des résultats similaires ont été notés au Nigéria, où du mil cultivé sous le couvert de *F. albida* était exempt de striga, contrairement aux zones environnantes²⁶².

L'utilisation de biocides de synthèse est généralement peu répandue en Afrique de l'Ouest. Les paysans ne sont souvent pas en mesure de s'en procurer et leur usage est de plus susceptible de porter atteinte à la santé des humains et des écosystèmes. La présence d'arbres dispersés dans les champs pourrait donc constituer un levier de choix

pour favoriser la régulation écologique des bioagresseurs des cultures, renforçant ainsi la résilience des communautés paysannes.

4.1.2.5 RENDEMENT DES CULTURES

Dans les parcs agroforestiers, le rendement des cultures est influencé par plusieurs facteurs. Tel que vu précédemment, les arbres des parcs ont un impact sur les différentes composantes de l'agroécosystème (sols, eau, microclimat, bioagresseurs), ce qui affecte ainsi indirectement les rendements. Ces derniers sont également appelés à varier en fonction des espèces ligneuses et des cultures impliquées, ainsi que des conditions pédo-climatiques locales, de la densité des parcs et des pratiques de gestion qui y sont menées.

De manière générale, il semble que le rendement de certains tubercules, comme le taro, soit accru sous le couvert des arbres et que celui des légumineuses, comme le niébé et l'arachide, soit peu affecté par la présence des ligneux²⁶³. Les arbres tendraient à avoir un effet moins favorable sur les céréales cultivées sous leur houppier, bien que cet effet soit variable en fonction des espèces ligneuses concernées²⁶⁴.

De nombreuses recherches ont d'ailleurs été conduites en Afrique de l'Ouest pour tenter de mesurer l'impact de différentes espèces ligneuses sur les rendements agricoles. L'essence la plus étudiée est assurément le *Faidherbia albida*, qui, de par sa phénologie inversée et ses racines pivotantes profondes, est a priori moins susceptible d'entrer en concurrence avec les cultures pour l'accès aux ressources lumineuses, hydriques et nutritives durant l'hivernage.

L'impact positif du *F. albida* sur le rendement du mil semble être un fait bien établi²⁶⁵²⁶⁶, de multiples études faisant état d'un accroissement des rendements sous le couvert de l'arbre. Au Sénégal, on rapporte par exemple que les rendements en mil doublent²⁶⁷, voire triplent²⁶⁸, sous la canopée du *F. albida* par rapport à des aires sans arbres. Louppe (1996) note également une augmentation très nette de la productivité du mil sous la canopée de l'arbre, avec un rendement maximal à proximité du tronc²⁶⁹. L'arachide cultivée sous la canopée des *F. albida* semble avoir un comportement plus variable. Au Sénégal, Dancette et Poulain (1968) ont observé une hausse «hautement significative» du rendement en gousses²⁷⁰, l'Institut de recherche pour les huiles et les oléagineux (1966) a fait état de rendements variables²⁷¹, alors que Louppe (1996) a plutôt rapporté des baisses de rendement de l'arachide sous le couvert de cette espèce²⁷².

Le *F. albida* aurait par ailleurs une influence positive sur le riz pluvial. Une étude conduite en Casamance rapporte que tous les paramètres de croissance et de rendement du riz évalués étaient en hausse sous le couvert de l'arbre par rapport aux zones éloignées du houppier (le poids des grains sous la canopée de l'arbre aurait notamment plus que doublé). D'autres travaux de recherche, basés sur des entrevues et groupes focaux auprès de communautés paysannes de la Basse-Casamance, ont révélé que la totalité des gens consultés considéraient que le rendement du riz était plus important sous les

arbres, le *F. albida* étant, selon 98 % des gens interviewés, l'espèce la plus favorable pour permettre cette hausse de rendement²⁷³.

Une méta-analyse rapporte également que le *F. albida* favoriserait une augmentation moyenne de rendement de respectivement 150 % et 73 % pour le maïs et le sorgho cultivés sous couvert²⁷⁴. Il importe également de noter que l'effet positif du *F. albida* sur les rendements agricoles serait plus prononcé dans les sols où la disponibilité en eau et la fertilité sont faibles²⁷⁵.

L'impact du *C. pinnata* sur les rendements a été beaucoup moins étudié, mais les travaux de Samba (1997) font état d'une baisse de rendement des cultures d'arachide et de mil cultivés sous couvert par rapport aux zones hors couvert²⁷⁶. D'autres travaux démontrent pourtant que lorsque ces deux cultures se développent dans des pots contenant du sol prélevé sous le houppier de *C. pinnata*, elles voient leur biomasse s'accroître de façon substantielle (+90 % pour le mil et +94 % pour l'arachide) par rapport à des plants cultivés dans du sol prélevé à l'extérieur du couvert des arbres²⁷⁷. Il semble dès lors que bien que le sol soit plus fertile sous le couvert de cette espèce, d'autres interactions écologiques entre les arbres et les cultures viennent freiner le développement de ces dernières. Samba (1997) rapporte par ailleurs que des pratiques d'élagage auraient permis de limiter l'effet dépressif de l'arbre sur les cultures²⁷⁸.

Si l'influence du *P. biglobosa* et du *Vitellaria paradoxa* sur le rendement des cultures semble avoir été peu étudié au Sénégal, des travaux de recherche menés en Afrique de l'Ouest indiquent que ces espèces auraient généralement un léger effet dépressif sur les cultures, bien que cela ne semble pas toujours être le cas²⁷⁹. L'influence de ces arbres semble également varier selon les cultures concernées. Le *V. paradoxa* n'affecterait par exemple pratiquement pas le rendement du coton cultivé sous couvert²⁸⁰.

Quant au *Sterculia setigera*, bien qu'il joue un rôle notable sur les plans économique et alimentaire ainsi que pour l'alimentation des troupeaux, une étude indique qu'il aurait un effet dépressif sur les rendements du mil, du sorgho et de l'arachide, quoique l'effet serait moindre sur cette dernière culture²⁸¹. Il est probable que le système racinaire superficiel de l'arbre entre en concurrence avec les cultures pour l'accès à l'eau et aux éléments nutritifs²⁸².

Les palmiers et rôniers semblent pour leur part avoir une influence variable sur les rendements agricoles. Une étude conduite au Sénégal mentionne ainsi que le rendement de différentes cultures pourrait être réduit sous des palmeraies claires de palmiers à huile²⁸³. Cependant, dans une région de la Guinée-Bissau adjacente à la Casamance, les communautés paysannes jugent au contraire que cette essence génère des interactions

⁷ Voir la section sur les aspects techniques pour plus de détails concernant les pratiques de gestion des arbres.

positives avec les cultures²⁸⁴. Le développement du riz pluvial serait pour sa part avantage sous des palmeraies denses²⁸⁵. Il semble également que les cultures s'accommodent assez bien de la présence du rônier (*Borassus aethiopum*)²⁸⁶. Au Niger, on rapporte que le palmier doum (*Hyphaene thebaica*), un arbre qu'on retrouve également au Sénégal, permettait de doubler les rendements en grain du mil²⁸⁷.

Le rendement des cultures est donc amené à varier substantiellement en fonction des espèces ligneuses concernées, certaines essences étant plus favorables que d'autres à cet égard. S'il peut s'avérer tentant dans un tel contexte de ne favoriser que la conservation d'un nombre limité d'espèces ligneuses dans les parcs, il est impératif de garder à l'esprit que la diversité des espèces est un facteur clé pour assurer la résilience des paysages agricoles, sans oublier le fait que les communautés paysannes tirent une multitude de produits des différentes espèces ligneuses présentes dans les parcs.

Il est également important de préciser que les rendements rapportés par la plupart des études présentées ci-dessus sont ceux qui ont été mesurés sous la canopée des arbres ou à faible distance de ceux-ci, et non ceux qu'on retrouve à l'échelle du parc. On se trouve donc à sous-estimer la contribution éventuelle des parcs agroforestiers à l'amélioration du rendement des cultures. En outre, en comparant le rendement des cultures qu'on retrouve directement sous le houppier des arbres à celui des cultures plus éloignées des arbres, mais tout de même situées au sein de parcs agroforestiers, on gomme plusieurs bénéfices apportés par les parcs, comme la protection des sols contre l'érosion ou les apports à la régulation naturelle des bioagresseurs.

4.1.2.6 PRODUCTIVITE ANIMALE

La présence d'arbres dispersés dans les zones agricoles et pastorales entraîne également des bénéfices notables dans une perspective d'amélioration de la productivité animale. Comme les parcs agroforestiers et les savanes arborées qu'on retrouve dans plusieurs zones de parcours sont deux milieux qui présentent une structure spatiale relativement similaire, les éléments qui suivent s'appliqueront généralement à ces deux types d'environnement.

Au cours de la saison sèche, lorsque le bétail arpente les parcs agroforestiers et les zones de parcours, les arbres deviennent une ressource précieuse pour les animaux, en particulier durant les périodes de la journée où les températures sont les plus élevées. Loin d'être négligeable, l'accès aux zones de fraîcheur qu'on retrouve sous les arbres réduit le stress thermique vécu par le bétail, ce qui permet d'accroître la productivité animale²⁸⁸. Le rôle des arbres à cet égard risque d'ailleurs de devenir de plus en plus recherché dans les prochaines décennies, vu les températures extrêmes annoncées.

Les arbres des champs et des savanes jouent également un rôle important dans l'alimentation des troupeaux. Dans les parcs, certaines espèces agroforestières favoriseraient une hausse de la biomasse totale des cultures, ce qui contribuerait ultimement à accroître la quantité de résidus de culture disponibles pour le bétail durant la saison

sèche. Différentes études menées dans le bassin arachidier rapportent par exemple qu'on retrouverait des quantités accrues de tiges et de feuilles de mil^{289 290}, ainsi que de fanes d'arachides^{291 292} sous les *F. albida* durant la saison sèche.

Les ligneux exercent également une influence importante sur la productivité fourragère herbacée au sein des pâturages. En raison probablement des conditions microclimatiques favorables et de la hausse de fertilité qu'ils entraînent, les arbres contribuent notamment à accroître la quantité de biomasse herbacée qui croît sous leur canopée. Dans le Ferlo, Akpo et al. (2003) ont ainsi calculé que la production de biomasse herbacée sous la canopée des *A. tortilis* et des *B. aegyptiaca* était 2 à 5 fois supérieure à celle mesurée dans une zone dépourvue d'arbres²⁹³. Une étude plus récente conduite dans la même zone rapporte également que la biomasse herbacée mesurée sous le couvert de cinq espèces ligneuses était significativement supérieure à celle mesurée dans une zone découverte (jusqu'à environ 2,5 fois plus pour certaines espèces)²⁹⁴.

Le couvert herbacé serait également maintenu durant une plus longue période sous le houppier des arbres, ce qui contribue à accroître la productivité des troupeaux. Dans la zone sylvopastorale, une étude rapporte ainsi que la production fourragère herbacée était prolongée d'environ un mois sous la canopée des arbres par rapport aux pâturages découverts, un avantage qui a pu se traduire par des gains de poids d'environ 100 g par jour par UBT⁸ ou le maintien de la production laitière à environ un litre par jour par UBT durant cette période²⁹⁵. Comme on observe une corrélation entre la teneur en eau des fourrages herbacés et la productivité laitière en région sahélienne²⁹⁶, on peut également s'attendre à ce que la présence des arbres dans les pâturages permette d'accroître les quantités de lait produites puisque la teneur en eau des herbacés sous couvert est plus élevée qu'en zone découverte²⁹⁷.

La présence des arbres pourrait également améliorer la qualité des pâturages. Deux études rapportent ainsi que la diversité floristique de la strate herbacée serait plus élevée sous la canopée des arbres^{298 299}, alors qu'une autre indique que cela pourrait dépendre des espèces ligneuses concernées³⁰⁰. En outre, si les arbres ne semblent pas avoir d'influence sur la valeur énergétique du fourrage herbacé, il semble qu'ils aient un impact positif sur leur valeur nutritive, notamment leur teneur en matière azotée digestible³⁰¹.

À mesure que la saison sèche avance, les résidus agricoles se font toutefois de plus en plus rares et les pâturages se dessèchent, même sous le couvert des arbres. Pour combler les besoins alimentaires des animaux d'élevage, les communautés pastorales se tournent alors vers les arbres des parcs et des savanes, lesquels fournissent un fourrage d'une importance décisive pour la survie des troupeaux^{302 303}. Dans la zone sylvopasto-

⁸ Unité de Bétail Tropical. Il s'agit d'une mesure standard des besoins énergétiques dans les productions animales.

rale, on estime qu'entre le milieu de la saison sèche et le début de la saison des pluies, les feuilles, les fruits et les gousses produits par les arbres constituent environ 40 % de l'alimentation des bovins et 80 % de celle des petits ruminants³⁰⁴.

Ces différents produits peuvent être fournis par une grande diversité d'espèces ligneuses. Dans les parcs agroforestiers ouest-africains, on a ainsi répertorié que plus d'une soixantaine de ligneux sont utilisés à des fins fourragères³⁰⁵. Si la qualité de ces fourrages varie selon les espèces ligneuses et leur stade phénologique³⁰⁶, on estime qu'ils sont généralement riches en protéines et en énergie³⁰⁷ et qu'ils jouent conséquemment un rôle notable sur le plan de la productivité animale. Des essais ont d'ailleurs pu démontrer que les émondes de certains ligneux comme le *Samanea saman* peuvent entraîner des gains de poids moyens quotidiens de 70 g chez les moutons³⁰⁸. Il semble en outre que certains arbres et arbustes aient des vertus préventives et curatives face aux maladies affectant le bétail^{309 310 311}. Les arbres des parcs et des savanes joueraient donc un rôle important pour améliorer le bien-être et la productivité des animaux, ce qui démontre une fois de plus la pertinence de maintenir, voire de restaurer la couverture ligneuse dans les milieux agricoles et pastoraux.

4.1.2.7 PRODUITS FORESTIERS LIGNEUX ET NON LIGNEUX

En plus de tous les services écosystémiques qu'ils rendent au sein de l'agroécosystème, les arbres des parcs permettent également d'approvisionner les ménages ruraux en une multitude de produits. Depuis des siècles, les collectivités paysannes se tournent en effet vers les arbres pour combler leurs besoins en bois, mais aussi pour en tirer toute une autre gamme de produits, qu'on nomme parfois produits forestiers non ligneux (PFNL), telles des denrées alimentaires variées (fruits, feuilles, noix, etc.), des fibres, des résines, des gommes, des substances médicinales et cosmétiques, de même que des produits ayant une valeur particulière sur le plan culturel.

Les communautés possèdent dès lors des savoirs approfondis sur l'usage des espèces ligneuses présentes sur leur terroir. Très souvent, diverses parties d'une même espèce ligneuse sont d'ailleurs récoltées pour répondre à différents besoins, comme l'illustre la figure 1, élaborée à la suite des enquêtes menées dans le bassin arachidier dans le cadre du projet SERENA.

Les différents produits ligneux et non ligneux tirés des parcs agroforestiers ont souvent une importance majeure pour les familles paysannes, non seulement parce qu'ils permettent de renforcer leur autonomie et de limiter ainsi les dépenses à engager, mais également parce qu'ils peuvent constituer des sources de revenus appréciables. Goudiaby (2013) note par exemple que dans une communauté rurale de la Casamance, environ 9 % des revenus des ménages provenaient de la cueillette de produits variés issus des parcs agroforestiers³¹². Ces apports financiers peuvent s'avérer particulièrement précieux lors des années où les rendements agricoles sont faibles et constituent à ce titre un atout majeur pour favoriser la résilience des ménages face aux aléas climatiques.

Les activités de cueillette qui ont lieu dans les parcs agroforestiers peuvent de surcroît jouer un rôle significatif sur le plan de la sécurité alimentaire. Dans les parcs où on retrouve une grande variété d'espèces ligneuses, les communautés paysannes pourraient ainsi récolter des produits alimentaires variés durant pratiquement toute l'année³¹³.

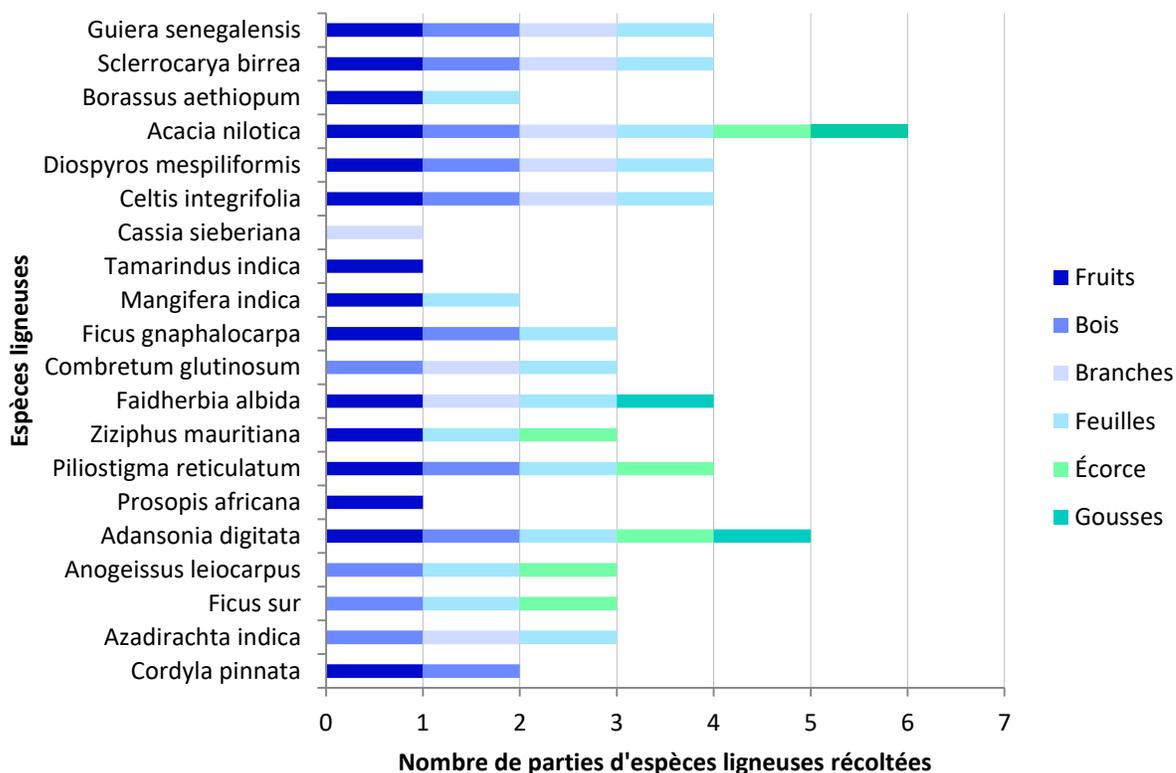


Figure 1 : Parties d'espèces ligneuses couramment récoltées dans le bassin arachidier. Adapté de Faye et al. (2019)³¹⁴

Les denrées alimentaires issues des arbres peuvent en outre permettre aux ménages d'avoir accès à une alimentation plus abondante et diversifiée durant la période de soudure. On rapporte par exemple qu'en Casamance, les fruits du *P. biglobosa* sont utilisés par certains ménages comme substitut aux céréales durant la période de l'hivernage, lorsque les travaux aux champs battent leur plein, mais que les réserves de nourriture de l'année précédente s'amenuisent³¹⁵. Des recherches menées dans le cadre du projet SERENA précisent pour leur part que si les produits provenant des arbres des parcs n'ont pas une influence déterminante sur la quantité de nourriture que les ménages ruraux consomment, ils sont clairement intégrés dans les stratégies alimentaires des foyers les plus vulnérables³¹⁶.

Ainsi, dans deux communautés du bassin arachidier, près de 90 % des ménages affectés par une insécurité alimentaire même légère ont dit consommer les fruits du *C. pinnata*, alors que ce n'était le cas que d'un peu moins de 60 % de ceux qui étaient en situation de sécurité alimentaire³¹⁷. La diversité des espèces ligneuses au sein des parcs, les

usages multiples pouvant être tirés des fruits et la présence d'espaces collectifs sur les terroirs sont des variables qui augmenteraient la probabilité d'être en situation de sécurité alimentaire³¹⁸. L'équipe de recherche du projet SERENA conclut que le maintien de parcs agroforestiers denses et diversifiés auxquels les ménages les moins favorisés peuvent avoir librement accès s'avère crucial pour renforcer la sécurité alimentaire des communautés durant les situations extrêmes³¹⁹.

ENCADRÉ 2 : LES PLANCHES MARAÎCHÈRES DE BAOBAB

Au Sénégal, les feuilles du baobab (*Adansonia digitata*) sont une denrée appréciée par de nombreux ménages. Riches en vitamines et en minéraux, les jeunes feuilles sont cuisinées comme des épinards ou intégrées dans des sauces³²⁰. La cueillette de feuilles dans les peuplements naturels de baobabs donne néanmoins parfois lieu à des pratiques d'émondage excessives qui nuisent aux arbres^{321 322}. La récolte, généralement effectuée par les femmes, peut demander un temps considérable, en particulier lorsque les arbres sont situés en périphérie des villages. Des chutes peuvent également survenir lors de l'ascension dans les arbres. De plus, les feuilles ne sont disponibles que durant une certaine période de l'année^{323 324}.

Pour faire face à ces différentes problématiques et tenter de freiner la dégradation des parcs à baobabs, le projet de recherche FNRAA/Baobab a notamment testé la technique des planches maraîchères de baobab dans les régions de Kolda et Sédhiou. Développée par l'ICRAF et testée également au Burkina Faso et au Mali, cette intervention agroforestière consiste à planter de jeunes baobabs de façon dense sur des planches de cultures situées à l'intérieur de périmètres maraîchers. La récolte, qui peut s'effectuer à intervalles réguliers, consiste à prélever des branches entières qui sont ensuite effeuillées. Cette taille périodique assez sévère présente l'avantage de limiter la croissance des plants et de maintenir ceux-ci à une hauteur favorable à la cueillette. Conduite de la sorte, la production de feuilles de baobab peut alors s'apparenter à une culture maraîchère³²⁵, d'où la terminologie employée pour nommer la technique. Ce procédé assure une production aisément accessible de feuilles fraîches et permet de prolonger la saison de récolte des feuilles puisqu'à l'instar des autres productions maraîchères des périmètres, les plants de baobab sont régulièrement arrosés³²⁶. Les collectivités peuvent alors bénéficier de la valeur nutritive des feuilles de l'arbre durant une plus longue période.

Dans le cadre du projet FNRAA/Baobab, des techniques et des fréquences de récolte optimales ont pu être identifiées. Une fréquence de coupe à tous les 21 jours permettrait ainsi une production de biomasse abondante et durable. L'inoculation mycorhizienne des plants de baobab ne semble pas avoir d'impact sur la productivité des plants³²⁷. Les ménages ayant testé la technique apprécieraient notamment la plus grande proximité des ressources en feuilles et la facilité de la cueillette³²⁸. Du moringa aurait également été cultivé en planches maraîchères dans le cadre d'autres projets menés dans la région de Kolda (Mayecor Diouf, communication personnelle, 25 juillet 2019). La technique des planches maraîchères de baobab pourrait de plus servir à la

production de plants de baobab pouvant être ultérieurement transplantés en vue de favoriser le rajeunissement des parcs³²⁹. Au Sénégal, la technique ne semble pas avoir été expérimentée dans d'autres régions que la Casamance.

4.1.3 ASPECTS TECHNIQUES À CONSIDÉRER

La question de la densité d'arbres optimale à conserver dans les parcs se pose depuis longtemps, mais encore aujourd'hui, il demeure difficile d'y apporter une réponse précise. Il s'agit effectivement d'un sujet fort complexe, d'une part parce que le nombre optimal d'arbres par hectare est amené à varier selon différents facteurs d'ordre biophysique : zone climatique, espèces ligneuses concernées, maturité des arbres, etc. La densité qui serait jugée optimale sur le plan de la fertilité n'est d'autre part pas nécessairement la même que celle qui serait à privilégier pour freiner au maximum l'érosion éolienne ou faire le meilleur usage possible des ressources hydriques. Il peut ainsi y avoir des compromis à faire entre les différents services écosystémiques rendus par les arbres, compromis qui doivent en outre maintenir un certain équilibre entre les intérêts immédiats des communautés paysannes en termes de rendement agricole et la nécessité de préserver les ressources naturelles à plus long terme³³⁰. Le nombre d'arbres conservés dans les parcs est par ailleurs étroitement lié aux préférences socioculturelles des communautés habitant un terroir donné et ne tient donc pas uniquement à des considérations techniques³³¹. L'arrivée des changements climatiques ajoute en outre une couche de complexité additionnelle à l'équation. Pourtant, parvenir à mieux cerner les densités qui s'avèreraient optimales dans les parcs agroforestiers permettrait d'accroître la productivité agricole, d'améliorer la durabilité des systèmes de production et ultimement de renforcer la résilience des communautés paysannes³³².

En Afrique de l'Ouest, la densité d'arbres dans les parcs agroforestiers tend à osciller entre 2 et 55 arbres par hectare³³³, mais se situe plus fréquemment en bas de 20. Au Sénégal, Louppe et al. (1996) ont estimé qu'à l'échelle d'un parc, le rendement en mil d'un parc à *F. albida* du bassin arachidier comprenant 5 arbres par hectare était augmenté de 3 % comparativement à une zone dépourvue d'arbres, mais que cette hausse pourrait s'élever à 10 % et 20 % sous des densités respectives de 17 et 33 arbres par hectare³³⁴. Des recherches plus récentes menées dans la même région révèlent que l'influence du *F. albida* sur le rendement du mil se manifesterait jusqu'à une distance de 17 mètres de l'arbre, une mesure qui a conduit les scientifiques à établir qu'une densité de 10 arbres par hectare permettrait d'étendre l'effet du *F. albida* sur plus de 90 % de la superficie des parcelles (versus seulement un peu plus de 60 % des parcelles sous la densité de 6,8 arbres par hectare mesurée dans les espaces étudiés)³³⁵. La question de la densité optimale d'arbres dans les parcs agroforestiers gagnerait assurément à faire l'objet de recherches supplémentaires.

La gestion des arbres est un autre élément qui gagnerait à être davantage étudié pour maximiser la productivité dans les parcs. Il semble en effet que la coupe d'une partie des branches ou des racines des arbres contribue dans certains cas à minimiser la concur-

rence qui peut exister entre les ligneux et les cultures pour l'accès à la lumière, à l'eau et aux nutriments. Ainsi, des opérations d'élagage du *C. pinnata* ont permis de faire passer les rendements de l'arachide de 1,8 à 2,2 t/ha³³⁶. Un accroissement des rendements du mil, du sorgho et de l'arachide a aussi été constaté après la taille du houppier des *Sterculia setigera*³³⁷. Si des travaux menés dans le cadre du projet ACACIAGUM rapportent que la taille des branches et des racines de l'*Acacia senegal* a eu des effets positifs, mais non significatifs sur le rendement du niébé³³⁸, une étude similaire menée plus récemment a permis de constater que de tels traitements n'entraînaient aucun effet significatif sur le rendement du niébé durant la première année, mais favorisaient une augmentation significative de ce rendement durant la deuxième année³³⁹. En outre, l'élagage de l'*A. senegal* a permis d'améliorer les rendements en gomme arabique (l'effet inverse a cependant été noté suite à la taille des racines)³⁴⁰. Des tailles excessives pourraient cependant avoir un impact négatif sur le développement et la survie des arbres, en plus d'affecter l'abondance des produits forestiers non ligneux qui peuvent être récoltés. Des travaux de recherches additionnels paraissent nécessaires pour identifier les meilleures pratiques en matière de taille des ligneux.

4.1.4 LA DÉGRADATION DES PARCS AGROFORESTIERS

Les parcs agroforestiers entraînent donc des bénéfices considérables pour favoriser la résilience des communautés paysannes face aux changements climatiques et il paraît crucial qu'un tel arrangement paysager soit maintenu dans le futur. Or, loin de présenter une structure et une composition immuables, les parcs évoluent dans le temps, sous l'influence conjuguée des facteurs environnementaux et de l'évolution des sociétés humaines qui les ont façonnés.

Au cours des dernières décennies, une dégradation de plus en plus prononcée a été notée dans les parcs agroforestiers de plusieurs zones du pays. La densité des arbres dans les champs tend à diminuer^{341 342} et dans certains cas, la diversité des espèces présentes s'érode aussi progressivement^{343 344}. Il y a déjà plus de 30 ans, Lericollais (1989) notait ainsi que la densité d'arbres dans un village de la région de Fatick avait connu un déclin de 23 % au cours des 20 années précédentes³⁴⁵. Des recherches conduites sur le même site en 2005 rapportent qu'une grande majorité des villageois faisait toujours état d'un processus de régression de la couverture ligneuse sur leurs terres³⁴⁶. Une étude menée dans une autre communauté du bassin arachidier révélait pour sa part que la quasi-totalité des habitants jugeaient que la densité du parc à *C. pinnata* avait régressé entre 1970 et 2012, et que près de 9 personnes sur 10 s'attendaient à ce que le couvert ligneux de ce parc continue de se dégrader³⁴⁷.

La figure 2 illustre bien la dynamique régressive qu'on observe dans les parcs du bassin arachidier. Les régions les plus au sud du pays ne sont pas non plus épargnées par ce phénomène. Ngom et al. (2015) rapportent par exemple avoir observé, sous l'effet de divers facteurs d'ordre anthropique ou non, un taux de mortalité des palmiers à huile de 27,4 % dans un parc casamançais dont ils suivaient l'évolution³⁴⁸, alors que plus des trois

quarts des paysans interrogés dans une autre étude menée dans la région estimaient que les parcs à palmiers à huile connaissent un déclin³⁴⁹. Dans différentes zones du pays, les parcs agroforestiers se dégradent et se font vieillissants, faute d'une régénération suffisante.

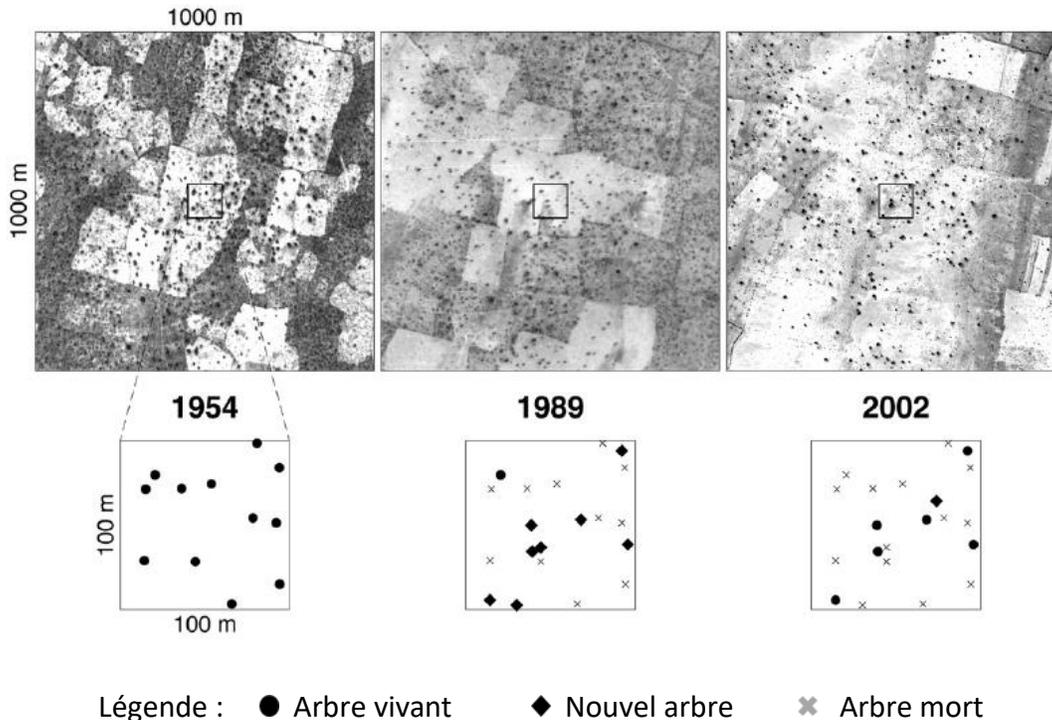


Figure 2: Photos aériennes et images panchromatiques IKONOS illustrant l'évolution de la couverture ligneuse dans la zone de Njôobéen Mbataar, dans le bassin arachidier. Adapté de Gonzalez et al. (2012)³⁵⁰

Les aléas climatiques seraient en partie responsables de la dégradation des parcs, les longues périodes de sécheresse à partir des années 1970 ayant entraîné la mort de plusieurs espèces qui présentaient une faible résilience face à un déficit pluviométrique de cette ampleur^{351 352 353}. La salinisation des sols contribuerait également à hausser la mortalité de certaines espèces³⁵⁴. Mais le déclin des arbres au sein des parcs agroforestiers est aussi en partie attribuable à des changements sur le plan des politiques agricoles.

Au Sénégal comme dans le reste de l'Afrique de l'Ouest, le modèle de développement agricole promu à l'époque de la Révolution verte a notamment misé sur une forte intensification des activités agricoles, ce qui a mené à des changements de pratiques qui se sont avérés peu favorables aux arbres. À la suite de l'introduction de la charrue, les arbres ont été progressivement perçus comme des obstacles aux activités agricoles^{355 356}, alors que le financement massif des intrants par l'État a rendu leurs apports à la fertilité des sols moins cruciaux pour les communautés paysannes³⁵⁷. L'augmentation de la pression sur les ressources foncières, en partie causée par l'accroissement démogra-

phique, a en outre entraîné un délaissement progressif de la jachère, une pratique ancestrale qui permettait aux sols de se restaurer et de maintenir le délicat équilibre écologique du milieu^{358 359 360}. Or, la culture en continu ne permet plus aux jeunes plants d'arbres de prospérer facilement dans les champs et entraîne de surcroît une baisse de la fertilité des sols. Le couvert ligneux s'amenuisant avec le temps, il protège moins le sol de l'érosion éolienne et hydrique, ce qui aggrave encore davantage le processus de dégradation des sols³⁶¹. Ces sols appauvris sont de moins en moins productifs, ce qui pousse les paysans à cultiver de nouvelles terres³⁶². Le front agricole avance ainsi progressivement, empiétant peu à peu sur les formations forestières naturelles et sur les zones traditionnellement réservées à l'élevage, en laissant derrière lui un environnement de plus en plus appauvri.

D'autres facteurs contribuent également à la dynamique régressive observée dans les parcs. Les feux de brousse, souvent déclenchés par les agriculteurs pour aménager de nouvelles parcelles ou par les éleveurs pour accroître la productivité des pâturages, contribuent notamment à affaiblir les ressources ligneuses des parcs^{363 364 365}. La demande croissante pour le bois-énergie exerce aussi une pression notable sur les arbres, et cela, autant dans les parcs agroforestiers que dans les champs de brousse.

Les ressources ligneuses des parcs peuvent par ailleurs faire l'objet d'importants prélèvements de la part des communautés³⁶⁶. Durant la saison sèche, le feuillage encore verdoyant des arbres devient ainsi un aliment précieux pour le bétail. Les arbres sont donc régulièrement émondés, voire ébranchés, par les pasteurs pour nourrir les troupeaux. Or, des coupes excessives peuvent affaiblir sérieusement les arbres. La pression directe du bétail sur les ligneux est également considérable. Le broutement des repousses ligneuses et l'importante consommation des gousses de certains arbres par les troupeaux peuvent en effet porter gravement atteinte à la régénération naturelle de certaines espèces.

4.2 INTERVENTIONS VISANT À RESTAURER LES PARCS AGROFORESTIERS

Face à la dynamique régressive qu'on observe dans les parcs agroforestiers et considérant les avantages qu'ils peuvent apporter face aux changements climatiques, tout incite à mettre en œuvre des initiatives visant la restauration de ce système agroforestier séculaire. Si différents leviers sont susceptibles de contribuer à ce processus de restauration (notamment des changements apportés aux politiques agricoles et forestières), les prochaines sections porteront sur les interventions plus typiquement agroforestières qui ont été tentées au Sénégal pour parvenir à de telles fins, soient la restauration du couvert ligneux par la plantation, par la régénération naturelle assistée (RNA) et par la mise en défens. Bien que certains bénéficient en matière d'adaptation aux changements climatiques soient présentés dans ces sections, l'accent sera surtout mis sur les aspects techniques et les autres considérations qu'il paraît important de prendre en compte pour

mettre en œuvre ces approches de restauration⁹. On peut finalement noter que ces interventions pourraient également être mises en œuvre dans les savanes arborées, qui sont fréquentées par les communautés pastorales à certaines périodes de l'année.

4.2.1 LA PLANTATION

4.2.1.1 PRESENTATION

La plantation¹⁰ est une approche de restauration du couvert ligneux qu'on pourrait qualifier de plus « interventionniste », comparativement à la régénération naturelle assistée ou à la mise en défens. Elle peut être utilisée pour introduire des espèces ou des cultivars exotiques qui présentent des caractéristiques particulièrement intéressantes, pour accroître la population d'espèces locales qui présentent un faible potentiel de régénération ou pour réintroduire des espèces qui ont totalement disparu d'un terroir donné. Au Sénégal comme dans de nombreuses autres régions arides ou semi-arides du monde, les activités de plantation n'ont pas toujours été couronnées de succès, en raison notamment de considérations techniques diverses (espèces inadaptées aux conditions écologiques de la zone, pratiques et matériel inappropriés dans les pépinières, techniques de plantation inadéquates, etc.) et d'approches descendantes ayant trop peu tenu compte des besoins et priorités des communautés rurales³⁶⁷. Les acquis récents des secteurs de la recherche et du développement permettent toutefois d'entrevoir ce type d'intervention avec plus d'espoir.

4.2.1.2 ASPECTS TECHNIQUES A CONSIDERER

Le choix des espèces à implanter revêt une grande importance dans la réussite des opérations de plantation dans les milieux agrosylvopastoraux. Cette sélection doit évidemment être faite sur la base de l'adaptabilité des espèces aux conditions écologiques de la zone. Si le recours à des espèces exotiques n'est pas à écarter complètement, il est de plus en plus reconnu que les espèces locales confèrent une résilience accrue aux peuplements³⁶⁸. Les espèces ligneuses indigènes sont en effet déjà bien adaptées aux conditions pédoclimatiques locales, présentent généralement une meilleure résistance face aux bioagresseurs qu'on trouve dans le milieu et sont plus susceptibles de favoriser le retour des espèces végétales et animales locales qui contribueront à rétablir l'équilibre de l'écosystème³⁶⁹. La collecte des semences nécessaires aux activités de plantation gagne d'ailleurs à être effectuée à proximité du futur site d'implantation. Les semences devraient être prélevées dans des lieux variés, afin d'accroître la diversité génétique

⁹ Les bénéfices que ces différentes interventions sont susceptibles d'apporter sur le plan de l'adaptation aux changements climatiques sont a priori les mêmes que ceux présentés dans la section sur les parcs agroforestiers.

¹⁰ Pour des fins de simplification, nous utilisons ici le terme « plantation » comme un terme générique ne faisant pas la distinction entre les arbres issus de graines semées directement sur la parcelle de ceux issus de plants produits en pépinière.

intraspécifique du matériel végétal recueilli. Pour accroître la résilience des plantations et multiplier les fonctions écologiques rendues par les arbres, il est également fortement recommandé d'introduire des espèces ligneuses variées³⁷⁰. Un projet mis en œuvre par l'ICRAF¹¹ a par ailleurs expérimenté une approche visant à accroître la résilience des parcs agroforestiers face aux changements climatiques en introduisant, dans les parcs d'une zone donnée, des arbres provenant de régions plus sèches³⁷¹. Cette stratégie dite de «migration assistée» des espèces ligneuses pourrait s'avérer intéressante pour renforcer l'adaptation des parcs face aux conditions climatiques futures.

Il est en outre impératif que le choix des espèces se base sur les préférences des membres des communautés avoisinant le site d'implantation. De nombreux projets de plantation ont échoué faute d'avoir travaillé de manière réellement collaborative avec les collectivités locales. Même si cela peut rallonger substantiellement la phase préparatoire d'un projet, des enquêtes ethnobotaniques portant sur les usages et savoirs traditionnels associés aux différentes espèces qui sont ou ont été présentes dans une zone géographique donnée gagnent vraiment à être menées¹². Une fois cet exercice conduit, les communautés peuvent travailler à identifier les espèces qui paraissent prioritaires pour répondre à leurs besoins à moyen et long terme³⁷². Dans ce processus, il est crucial de tenir compte du fait que les préférences et besoins des membres d'une communauté sont amenés à différer en fonction de facteurs tels le genre, le groupe d'âge, le statut socio-économique et l'appartenance ethnique des personnes. Il est donc essentiel de s'assurer que les différents sous-groupes d'une communauté puissent être présents et participer pleinement au processus de sélection des espèces. Une telle approche est plus à même d'entraîner la mobilisation de l'ensemble de la communauté et minimise de surcroît le risque que l'intervention n'accroisse des inégalités intracommunautaires préexistantes.

Une fois les espèces ligneuses sélectionnées et les semences récoltées, il faut généralement procéder à des traitements visant à favoriser la germination des semences (scarification, ébullition, acidification, etc.), ces derniers variant d'une espèce à l'autre. Par la suite, deux options sont possibles pour introduire les arbres dans le site choisi, soit procéder à l'ensemencement direct ou faire croître les semences en pépinière et planter ensuite les jeunes arbres. L'ensemencement direct est généralement une opération moins coûteuse qui a l'avantage de pouvoir être déployée relativement aisément sur de grandes superficies³⁷³. Le taux de survie des arbres est cependant généralement plus faible avec cette méthode³⁷⁴. Dans le cadre du projet «Gomme arabique et reboisements pastoraux», des semences enrobées d'un substrat rétenteur d'eau constitué de gomme arabique et de terre ont montré des taux de germination et de survie supérieurs

¹¹ Programme for Strengthening Livelihood Strategies in the West African Sahel through Improved Management and Utilization of Parkland Agroforests / Programme de renforcement des stratégies de subsistance à travers une utilisation et une gestion améliorées des parcs agroforestiers au Sahel.

¹² Certains outils pour ce faire sont disponibles dans Sacande et al. (2020). *Op. cit.*

à des semences témoin³⁷⁵. Dans le bassin arachidier, on rapporte en outre que dans le cadre d'un essai visant à regarnir un parc à *Faidherbia albida*, on a observé des taux de survie plus élevés chez les plantules démarrées par ensemencement comparativement à celles développées en pépinière³⁷⁶.

De manière générale, la croissance des plants en pépinière est une option plus coûteuse qui permet cependant de protéger les plants durant les premiers stades de leur croissance et de leur fournir des conditions de croissance plus favorables (eau, lumière tamisée, substrat de croissance de meilleure qualité, etc.), ce qui peut favoriser le taux de survie des arbres à plus long terme. Il est cependant crucial que les jeunes plants puissent développer un système racinaire sain durant leur séjour en pépinière, ce qui n'est souvent pas le cas dans de nombreuses pépinières qu'on retrouve dans les régions arides et semi-arides, en raison principalement de l'utilisation de matériel qui déforme le système racinaire et compromet la croissance et la survie des plants à moyen et long terme³⁷⁷. Des supports de plantation de qualité comme les godets individuels rainurés disposés sur un grillage à larges mailles placé au-dessus du niveau du sol seraient notamment nécessaires pour assurer le succès des opérations de plantation³⁷⁸.

Les recherches tendent de plus à démontrer que le taux de survie et la croissance des jeunes arbres seraient significativement améliorés lorsqu'ils sont associés à des microorganismes symbiotiques comme les champignons mycorhiziens. En se connectant aux racines des végétaux, ces champignons deviennent en quelque sorte une extension de leur système racinaire, ce qui permet aux arbres d'explorer un volume de sol beaucoup plus important. En contrepartie des glucides et des autres produits que les ligneux fournissent aux champignons, ceux-ci approvisionnent les arbres en eau et en minéraux (en particulier le phosphore). Dans les milieux où les ressources en eau sont peu abondantes et où les sols sont relativement pauvres, de tels apports s'avèrent particulièrement précieux pour les arbres. Si des champignons mycorhiziens sont normalement présents dans le milieu naturel, leur présence peut avoir fortement diminué dans les écosystèmes dégradés³⁷⁹.

Différentes approches peuvent être envisagées pour tirer profit des bénéfices octroyés par ces microorganismes. La mycorhization contrôlée serait préconisée dans les sols où on trouve peu ou pas de champignons mycorhiziens³⁸⁰. Celle-ci consiste en l'inoculation des jeunes arbres en pépinière avec une ou plusieurs souches mycorhiziennes préalablement sélectionnées. Au Sénégal, des essais menés lors de l'établissement de plantations forestières ont démontré que l'inoculation de jeunes plants d'*Acacia holosericea* avec des champignons ectomycorhiziens favorisait une réduction importante du taux de mortalité des plants inoculés (3 % de mortalité versus 19 % pour les plants témoins)³⁸¹. En plus d'accroître la biomasse du système racinaire des jeunes acacias, la mycorhization des plants a permis d'augmenter substantiellement leur hauteur et leur diamètre. Dix-huit mois après la plantation, le rendement de bois à l'hectare des blocs d'*A. holosericea* inoculés a ainsi été multiplié par 5,75 par rapport à une plantation té-

moins³⁸². La mycorhization contrôlée constitue donc une avenue prometteuse pour favoriser l'établissement et la croissance des jeunes plants d'arbres.

Dans les sols qui renferment encore une certaine quantité de champignons mycorhiziens, il est possible d'implanter des plantes compagnes dites facilitatrices lors de la plantation des arbres. Ces plantes, qui abritent d'importantes communautés de champignons mycorhiziens sur leurs racines, stimuleraient le potentiel microbien symbiotique des sols, ce qui s'avère bénéfique pour le développement des arbres^{383 384}. De telles techniques présentent un potentiel notable pour favoriser la survie et le bon développement des arbres plantés et gagneraient à être davantage exploitées dans le secteur du développement.

D'autres initiatives, comme le projet « Action contre la désertification », recommandent d'avoir recours à des stratégies de co-plantation, qui impliquent d'implanter d'autres types de végétaux comme des arbustes et des plantes herbacées lors de la plantation des arbres³⁸⁵. Il semble que le fait d'associer des espèces végétales qu'on retrouve généralement côte à côte dans le milieu naturel permette de rétablir plus rapidement l'équilibre écologique des milieux dégradés. Une telle approche présente de plus l'avantage de multiplier les types de produits pouvant être récoltés par les communautés (fruits, feuilles, fourrage, etc.). L'implantation de plantes fourragères serait une intervention particulièrement appréciée des ménages puisqu'elles peuvent être récoltées après quelques mois seulement. Cela pourrait même constituer un levier dans le processus de mobilisation des communautés lors d'opérations de restauration du couvert ligneux³⁸⁶.

Une bonne préparation des sols peut s'avérer cruciale pour la survie des jeunes plants d'arbres. Le recours aux pratiques traditionnelles du zaï ou de la demi-lune permet d'ameublir le sol, ce qui facilite le développement du système racinaire des arbres, et contribue de plus à retenir l'eau dans le sol, ce qui aide les jeunes plants à mieux faire face au stress hydrique. Il faut toutefois mentionner que ce type d'opération requiert beaucoup de temps et d'énergie et peut être une avenue moins adaptée dans les plantations à plus grande échelle. Lorsque les activités de plantation sont prévues sur de vastes superficies, le recours à une charrue de type Delfino peut constituer un bon investissement. À son passage, celle-ci creuse des demi-lunes en fissurant profondément le sol, ce qui permet d'accroître par 10 la quantité d'eau retenue dans les parcelles par rapport aux pratiques traditionnelles, en plus de réduire considérablement le temps requis pour procéder aux opérations³⁸⁷.

4.2.1.3 AUTRES CONSIDERATIONS

Les questions foncières peuvent constituer des freins importants à la mise en place d'activités de plantation. Planter un arbre dans une parcelle cultivée peut en effet être considéré comme un acte d'appropriation de la terre, ce qui tend à limiter la volonté des ménages qui louent ou se sont fait prêter des terres à s'engager dans ce type d'initiatives³⁸⁸. Les droits d'usage sur les produits issus des arbres ne sont par ailleurs

pas clairement définis sur le plan légal et les ménages qui plantent des arbres sur une terre dont ils n'ont pas la propriété formelle pourraient ne pas être en mesure de profiter des fruits de leurs efforts³⁸⁹. Il s'agit là d'une contrainte importante à prendre en compte dans le cadre de projets visant la restauration des parcs agroforestiers. Les enjeux fonciers peuvent également compliquer les opérations de plantation dans les zones à vocation collective comme les espaces sylvopastoraux intervillageois, notamment si des conflits fonciers non résolus subsistent entre certains villages³⁹⁰. Avant d'amorcer des activités de plantation, il est dès lors recommandé de mettre en place un cadre foncier clair qui établit précisément les objectifs menés par l'initiative, les sites concernés et les droits d'usage détenus par les membres des communautés sur les produits récoltés³⁹¹.

Pour assurer la surveillance et l'entretien adéquats des sites restaurés ainsi que la mobilisation des communautés sur le long terme, le projet « Action contre la désertification » suggère par ailleurs de créer des comités de gestion communautaires qui permettent notamment aux femmes et aux jeunes de participer pleinement aux processus décisionnels. La mise en place de telles instances pourrait permettre de prévenir les conflits entre les individus, les groupes sociaux et les communautés villageoises impliqués, en plus de favoriser une distribution équitable des bénéfices issus des plantations³⁹².

4.2.2 LA RÉGÉNÉRATION NATURELLE ASSISTÉE

4.2.2.1 PRÉSENTATION

Technique traditionnelle séculaire pratiquée dans les régions sahéliennes, la régénération naturelle assistée, ou RNA, consiste à protéger et entretenir la régénération ligneuse spontanée d'une zone afin d'y établir une densité ligneuse optimale³⁹³. Cette intervention comprend de fait des pratiques diverses pouvant être combinées entre elles. Il peut ainsi s'agir d'identifier les espèces à conserver dans les parcelles à l'aide de repères visuels pour éviter qu'elles ne soient abîmées lors des travaux au champ ou de protéger les jeunes tiges du bétail avec des branches épineuses. Une taille d'éclaircissement sur une souche ayant plusieurs rejets peut également être conduite afin d'augmenter la vigueur de certaines tiges. Les jeunes ligneux peuvent aussi subir une taille de formation pour favoriser leur développement, voire même être tuteurés³⁹⁴. Dans certains cas, une cuvette est creusée autour des repousses pour maximiser les apports en eau qu'elles peuvent recevoir. La RNA se distingue donc de plusieurs autres interventions agroforestières du fait qu'elle utilise des ressources déjà existantes dans l'agroécosystème et ne nécessite pas de procéder à des plantations³⁹⁵.

Mise en œuvre à plus grande échelle au Niger à partir des années 1980, la RNA aurait conduit à la restauration d'environ cinq millions d'hectares de terres agricoles dans ce pays, dans des régions où la densité de population est pourtant élevée³⁹⁶. Un tel succès a permis de mieux faire connaître cette technique et d'accélérer sa diffusion dans plusieurs pays d'Afrique de l'Ouest. Au Sénégal, elle a surtout été pratiquée dans le bassin arachidier.

4.2.2.2 LES BÉNÉFICES APPORTÉS DANS UN PROCESSUS D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

La technique de la RNA présente des bénéfices multiples dans une perspective d'adaptation face aux changements climatiques et pourrait notamment favoriser une gestion plus durable des sols. Dans le cadre d'essais menés dans le bassin arachidier, des analyses de sol ont par exemple permis de constater que la teneur en carbone du sol était plus importante dans des parcelles où les rejets de souche avaient été taillés de sorte à ne conserver que deux tiges par souche, comparativement à des parcelles témoins sans ligneux³⁹⁷. Une telle différence pourrait notamment être attribuable aux résidus issus de la coupe des rejets qui, en se dégradant, constitueraient un apport précieux en matière organique pour les sols. La totalité des producteurs activement impliqués dans les essais mentionnés ci-dessus ont d'ailleurs conclu que la technique générerait des bénéfices agroécologiques notables, par exemple en enrichissant les sols via la décomposition de la litière aérienne des jeunes ligneux et la capture des particules de sol transportées par le vent³⁹⁸. Dans le cadre du projet SFLEI, il a également été établi que 85 % des ménages ayant adopté la RNA avaient constaté un accroissement de la fertilité du sol, alors que près des deux tiers d'entre eux rapportaient avoir noté une diminution de l'érosion dans leurs parcelles³⁹⁹. Botoni et al. (2010) soulignent aussi qu'en plus de protéger le sol contre l'érosion éolienne, les arbres issus de la RNA génèrent des zones d'ombre où le bétail aime se reposer, ce qui permet d'augmenter la quantité de déjections animales dans les parcelles où on retrouve plus de ligneux⁴⁰⁰. Un tel avantage a également été noté par des paysans du bassin arachidier, qui rapportaient en outre qu'eux-mêmes profitaient fréquemment de la fraîcheur apportée par l'ombre des arbres durant les travaux au champ⁴⁰¹. De plus, comme les résidus de coupe issus de la RNA permettent après quelques années d'approvisionner facilement les communautés en bois de feu, les résidus de récolte et les déjections animales seraient moins fréquemment utilisés comme combustibles et fourniraient ainsi plus de matière organique et de nutriments aux sols agricoles⁴⁰².

Les effets de la RNA sur la gestion de l'eau et des bioagresseurs des cultures paraissent peu documentés au Sénégal. Une étude rapporte que des paysans pratiquant la RNA dans le bassin arachidier ont constaté que l'humidité du sol était plus élevée à proximité des rejets d'arbres⁴⁰³. La majorité des ménages qui pratiquaient la RNA dans le cadre du projet SFLEI estimaient pour leur part que quatre ans après la mise en œuvre de cette technique, les insectes ravageurs étaient moins nombreux dans leurs champs⁴⁰⁴. L'impact de la RNA sur la gestion des plantes adventices était plus mitigé, avec une proportion semblable de paysans et paysannes qui considéraient que la technique avait favorisé ou diminué la présence du striga après quatre années de pratique de la RNA⁴⁰⁵. D'autres producteurs pratiquant la RNA dans le bassin arachidier ont cependant noté que les herbacées adventices étaient plus abondantes à proximité des souches dont les rejets avaient été taillés⁴⁰⁶.

Il semble par ailleurs que la pratique de la RNA ait un impact généralement positif sur le rendement des cultures. Une étude menée dans le centre-nord et le centre-sud du bas-

sin arachidier, où ont respectivement été conduits le projet PREVINOBA et les projets de l'ONG World Vision (SFLEI, Beysatol et Beylen sen tol), a permis de constater que le rendement en mil et en arachide des ménages ayant adopté la RNA était supérieur à celui des ménages non adoptants (voir figure 3)⁴⁰⁷. Une autre étude rapporte que 82 % des ménages de la commune de Diouroup (région de Fatick) et 67 % de ceux de Koussanar (région de Tambacounda) estimaient que pratiquer la RNA leur avait permis d'augmenter leur rendement en mil et en arachide⁴⁰⁸. Camara et al. (2017) soulignent également que dans des parcelles paysannes expérimentales où la RNA avait été pratiquée pendant deux ans, le nombre d'épis fertiles de mil était significativement plus élevé que dans des parcelles témoins sans repousses ligneuses⁴⁰⁹. Des essais conduits par l'ISRA ont aussi permis de constater que dans des parcelles de mil où la RNA était pratiquée, la hauteur des plants, le nombre d'épis par plant et le poids des épis étaient supérieurs, comparativement à des parcelles témoins⁴¹⁰.

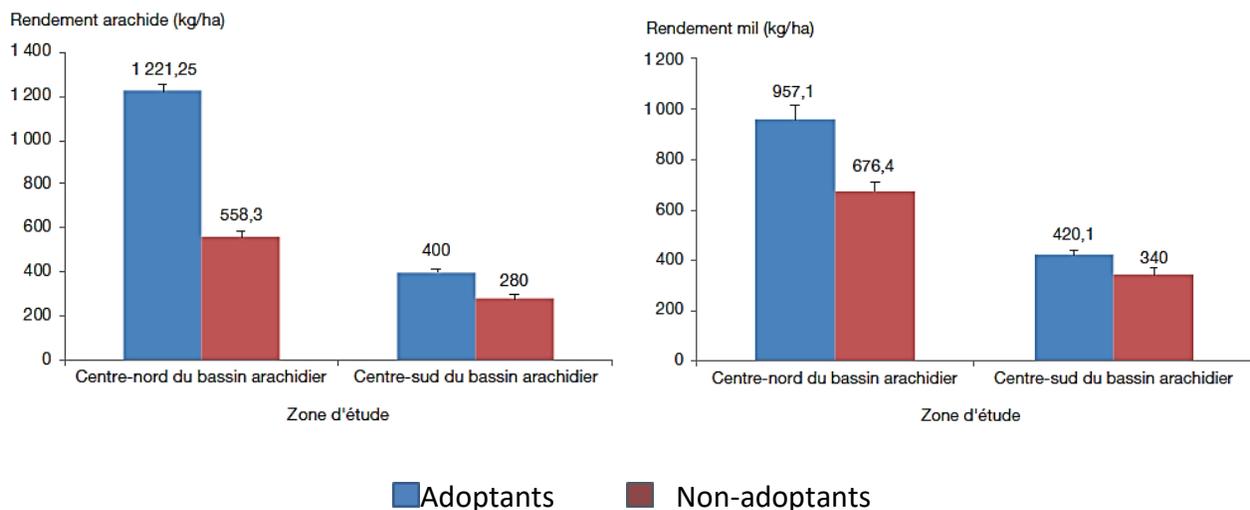


Figure 3 : Comparaison des rendements du mil et de l'arachide entre adoptants et non-adoptants de la RNA dans le bassin arachidier. Reproduit de Sanogo et al. (2019)⁴¹¹

La RNA pourrait de surcroît s'avérer bénéfique pour le bétail puisque parmi les repousses ligneuses couramment protégées dans les champs, on retrouve plusieurs espèces générant du fourrage de qualité, que ce soit sous la forme de feuilles ou de gousses. Les animaux pourraient donc compter sur des sources de nourriture plus abondantes et diversifiées, surtout durant la saison sèche⁴¹². Dans une commune du bassin arachidier et une autre du Sénégal oriental, plusieurs ménages estimaient ainsi que plusieurs espèces multipliées par la pratique de la RNA occupaient une part importante dans l'alimentation du bétail⁴¹³. Une étude menée dans la région du centre-nord du bassin arachidier a toutefois constaté que la production de fourrage dans les parcelles des ménages pratiquant la RNA était significativement inférieure à celle des parcelles des ménages non adoptants⁴¹⁴. Aucune hypothèse n'a cependant été avancée pour expli-

quer une telle situation. Comme la RNA a généralement un effet positif sur les rendements agricoles, il est en outre possible qu'une plus grande quantité de résidus de culture soit présente dans les champs où cette technique est appliquée, ce qui augmenterait la disponibilité en aliments pour le bétail durant la saison sèche. Ainsi, Camara et al. (2017) rapportent que les rendements en paille de mil étaient plus élevés dans les parcelles où la RNA était pratiquée par rapport à des parcelles témoins⁴¹⁵.

En intégrant davantage d'arbres et d'arbustes dans les parcelles agricoles, la pratique de la RNA permet en outre d'accroître le volume et la diversité des produits générés par les ligneux, ce qui augmente le niveau d'autosuffisance des communautés et leur permet de générer certains revenus. Une étude menée dans deux régions du bassin arachidier a notamment constaté que les ménages ayant adopté cette technique tiraient des revenus plus élevés de la vente de produits ligneux et non ligneux⁴¹⁶. Les ménages adoptants auraient par exemple tiré un revenu annuel moyen de 72,65 \$US de la vente de produits forestiers non ligneux, contre 29,73 \$US pour les ménages non adoptants.

La pratique de la RNA pourrait aussi avoir un impact positif sur la sécurité alimentaire des communautés, non seulement parce que les rendements des cultures peuvent être accrus et que la productivité animale pourrait être favorisée par des apports alimentaires plus abondants et diversifiés, mais également parce que plusieurs des espèces régénérées à travers cette technique produisent des fruits et des feuilles consommés par les communautés rurales (*Balanites aegyptiaca*, *Boscia senegalensis*, *Ziziphus* spp., *Sclerocarya birrea*, *Tamarindus indica*, etc.)⁴¹⁷. Dans le bassin arachidier, on rapporte par exemple une hausse de la disponibilité en jujubes dans les zones où se pratique la RNA⁴¹⁸. La vente du bois issu de l'entretien des arbres pourrait en outre constituer un revenu d'appoint précieux permettant aux ménages d'acheter de la nourriture lors de périodes difficiles. En 2005, à la suite d'une crise alimentaire majeure au Niger, il a ainsi été rapporté que grâce à la vente de produits ligneux et non ligneux issus de leurs parcelles, les ménages ayant adopté la RNA auraient été moins touchés par la famine et auraient connu des taux de mortalité infantile plus faibles que les ménages non adoptants⁴¹⁹. Il est néanmoins probable que l'effet de la RNA sur la sécurité alimentaire ne se manifeste qu'après quelques années⁴²⁰. Selon une étude menée par Sanogo et al. (2019), cet effet serait par ailleurs variable selon la zone agroclimatique où elle est pratiquée⁴²¹.

4.2.2.3 ASPECTS TECHNIQUES A CONSIDERER

La RNA semble être une technique particulièrement efficace pour favoriser la restauration du couvert ligneux. Les projets menés par l'ONG World Vision dans le bassin arachidier permettent de bien saisir l'ampleur des résultats possibles via cette technique. Dans le cadre du projet SFLEI, la RNA a ainsi été mise en œuvre sur plus de 8000 hectares en trois ans et on estime qu'environ 265 000 arbres ont été régénérés durant cette période⁴²². Le projet Beylen sen tol a pour sa part permis d'introduire la technique sur près de 25 000 hectares durant le même laps de temps⁴²³. La RNA serait également moins

coûteuse que la plantation d'arbres^{424 425}. L'équipe du projet SFLEI a par exemple calculé que l'investissement financier associé aux arbres issus de la RNA dans le projet aurait atteint en moyenne 1,41 \$US par arbre, alors que les arbres plantés auraient requis des coûts de 2,22 \$US par arbre⁴²⁶.

De nombreuses incertitudes demeurent toutefois sur le plan technique. La densité optimale de ligneux à conserver dans les parcelles n'a par exemple pas été établie. À titre indicatif, on peut toutefois mentionner qu'au terme des projets SFLEI et Beylen sen tol, les parcelles régénérées par le biais de la RNA comptaient respectivement 33⁴²⁷ et 37⁴²⁸ arbres par hectare en moyenne. Le projet CODEVAL recommande pour sa part une densité allant de 20 à 50 arbres par hectare⁴²⁹. Le nombre optimal de rejets à conserver par souche lors des tailles d'éclaircissement n'a pas non plus été déterminé précisément. Dans une étude menée dans le bassin arachidier, le rendement en grains et en paille du mil ainsi que le nombre d'épis fertiles de mil étaient significativement supérieurs lorsque quatre tiges par souche plutôt que deux étaient conservées, mais ces écarts s'amointraient la deuxième année et aucune différence significative n'était alors observée⁴³⁰. La même étude rapporte qu'une enquête auprès de producteurs pratiquant la RNA a permis de constater que 40 % d'entre eux préféraient conserver quatre tiges par souche dans leurs parcelles, arguant que cela avait un effet positif sur la fertilité et l'humidité du sol ainsi que sur le rendement des cultures, en plus de fournir des quantités abondantes de piquets à clôture. Une plus grande proportion de producteurs (53 %) jugeait néanmoins plus approprié de ne conserver qu'une à deux tiges par souche, considérant que cela limitait l'ombrage porté par les ligneux et facilitait l'entretien des rejets et le passage des attelages et des animaux au champ⁴³¹.

Le succès des activités de RNA implique en outre de prendre en compte l'impact du bétail sur les parcelles dès le début de la mise en œuvre de la technique. Si les déjections animales peuvent améliorer la fertilité et la qualité des sols, les animaux peuvent toutefois saboter rapidement les efforts de régénération au cours des premières années d'implantation en consommant les jeunes pousses d'arbres qui seraient insuffisamment protégées. Les zones où la technique est pratiquée devraient dès lors être clairement identifiées et il pourrait être avantageux de restreindre temporairement les droits de pâture dans ces espaces, jusqu'à ce que les arbres atteignent une certaine hauteur et ne soient plus menacés par les animaux.

4.2.2.4 AUTRES CONSIDERATIONS

Différents projets et travaux de recherche menés au Sénégal ont permis d'identifier des facteurs susceptibles de favoriser ou de freiner l'adoption de la RNA. L'équipe du projet Beysatol signale qu'un voyage d'observation au Niger ayant permis à un petit groupe de paysans et paysannes sénégalais de constater de visu les bienfaits de la RNA et d'échanger avec les communautés paysannes nigériennes aurait eu une influence décisive sur l'adoption de la technique⁴³². Différentes craintes rendraient certaines personnes plus réticentes à pratiquer la RNA, notamment celle que les arbres entrent en

concurrence avec les cultures⁴³³, qu'ils constituent une entrave à la circulation des animaux et des attelages lors des travaux aux champs^{434 435} et qu'ils attirent les oiseaux granivores⁴³⁶. Dans certains cas, les communautés peuvent aussi appréhender d'être dépossédées de leurs terres ou d'être dans l'impossibilité de gérer leurs parcelles à leur convenance une fois les arbres établis^{437 438}. Le temps requis pour protéger et entretenir correctement les arbres apparaît aussi comme un frein à l'adoption⁴³⁹. Certains ménages ont par ailleurs mentionné ne pas se sentir suffisamment formés pour mettre en œuvre la technique⁴⁴⁰. Il a également été noté que les chefs de ménage possédant un niveau d'étude plus élevé et disposant de ressources matérielles plus abondantes étaient généralement plus enclins à adopter la RNA⁴⁴¹.

Une fois la technique adoptée, d'autres facteurs peuvent faire en sorte que les ménages paysans continuent ou non de la pratiquer à plus long terme. Le projet Beysatol mentionne qu'un suivi régulier effectué par le Service des Eaux et Forêts ou des facilitateurs paysans locaux permet d'augmenter le niveau de motivation et de confiance des ménages pratiquant la RNA⁴⁴². Les coupes illégales effectuées pour l'alimentation du bétail et la récolte du bois, ainsi que l'absence de conventions locales visant à limiter la divagation des animaux dans les parcelles où la RNA est pratiquée, sont au contraire des éléments qui décourageraient les communautés à continuer de mettre en œuvre la technique⁴⁴³.

Différents projets s'accordent en outre pour dire que pour que les actions de RNA soient couronnées de succès, il est nécessaire de mobiliser un grand nombre de personnes et d'institutions au sein d'une communauté. Le projet SFLEI a par exemple rassemblé des communautés paysannes, des chefs de village, des chefs religieux locaux, du personnel des ministères de l'Agriculture et des Eaux et Forêts, des instituteurs et institutrices locaux et des scientifiques travaillant dans des instituts de recherche nationaux afin d'opérer les changements nécessaires à la mise en œuvre durable de la RNA⁴⁴⁴. La création de comités de gestion et de supervision locaux paraît essentielle pour favoriser un véritable ancrage institutionnel de la technique au sein des communautés et renforcer la durabilité des actions⁴⁴⁵. En mobilisant un grand nombre de partenaires parmi la communauté, le projet Beysatol serait par exemple parvenu à négocier des ententes à l'échelle locale afin que les communautés paysannes aient les mêmes droits sur les arbres issus de la RNA que sur ceux qu'elles ont plantés, ce qui aurait créé un incitatif important dans la diffusion de cette technique⁴⁴⁶.

Pour que la RNA manifeste ses pleins bénéfices et constitue une pratique durable, il est par ailleurs impératif de prendre en considération les besoins et intérêts des différents groupes en présence, surtout ceux qui tendent à être marginalisés. Les femmes, qui s'occupent traditionnellement de la récolte du bois de feu, doivent notamment être intégrées à l'ensemble des activités liées à l'implantation de la RNA et pouvoir participer pleinement aux comités de gestion et de surveillance mis en place, regroupements où elles sont souvent sous-représentées⁴⁴⁷. À moyen et long terme, elles ont beaucoup à gagner avec la pratique de la RNA puisqu'elles devraient bénéficier de la disponibilité

accrue en bois de feu au sein des parcelles agricoles. La proximité et l'abondance des sources de bois devraient réduire le temps qu'elles consacrent à la récolte et leur permettre de générer des revenus via la vente du bois. Dans les premières années qui suivent la mise en œuvre de cette technique, lorsque la coupe des repousses est interdite dans les parcelles en régénération, les femmes peuvent cependant pâtir de la plus faible disponibilité de bois de feu, comme cela a été constaté par le projet SFLEI dans le bassin arachidier⁴⁴⁸. Faute d'un appui adéquat durant cette période critique, elles pourraient être contraintes de continuer à s'approvisionner dans les parcelles protégées, ce qui porterait atteinte à la durabilité des interventions menées. Afin d'éviter une telle situation, le projet SFLEI a notamment fourni aux femmes des fours à rendement amélioré ou des installations de cuisson requérant d'autres types de combustibles que le bois, comme des biodigesteurs. Des activités génératrices de revenus destinées spécifiquement aux femmes ont aussi été développées pour permettre à ces dernières d'acheter du bois de feu durant les premières années plutôt que d'aller le récolter dans les parcelles en régénération⁴⁴⁹.

Similairement, les communautés pastorales peuvent être pénalisées par les activités de RNA si leurs droits de pâture sur les parcelles en régénération se voient limités durant une certaine période. Des accords devraient être négociés avec ces communautés pour minimiser les impacts négatifs que la RNA pourrait entraîner à court et moyen terme. Au bout de quelques années, la disponibilité accrue de ressources fourragères devrait toutefois s'avérer favorable aux activités pastorales.

4.2.3 LA MISE EN DÉFENS

4.2.3.1 PRESENTATION

La mise en défens est une intervention qui consiste à mettre certains espaces dégradés au repos afin de favoriser la régénération des ressources naturelles présentes, notamment la végétation ligneuse⁴⁵⁰. Durant un certain nombre d'années, il est alors interdit d'effectuer des coupes de bois, de mettre les terres en culture ou de procéder à des brûlis dans les zones mises en défens. Le bétail est toutefois généralement admis dans les aires protégées et il est possible d'y effectuer des récoltes diverses, bien que celles-ci soient souvent réglementées⁴⁵¹. Si cette approche peut paraître plus « passive » du fait qu'elle consiste essentiellement à minimiser les pressions et interventions humaines sur un territoire donné, elle résulte en fait d'un processus actif de mobilisation sociale parmi la ou les communautés impliquées. La mise en défens fait effectivement suite à une série de mesures consensuelles adoptées au niveau local par tout un ensemble d'acteurs et d'actrices qui ont décidé de protéger certains espaces pour préserver les avantages qu'ils offrent sur le plan écologique, économique et culturel⁴⁵². La plupart du temps, les aires mises en défens ne sont pas protégées par des clôtures, une solution qui s'avère très coûteuse, mais par des comités locaux qui assurent la surveillance des espaces et le bon respect des règlements établis⁴⁵³.

4.2.3.2 LES BÉNÉFICES APPORTÉS DANS UN PROCESSUS D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

La mise en défens est une intervention qui a démontré son efficacité à maintes reprises au Sénégal pour restaurer le couvert ligneux dans les milieux dégradés. En l'espace de deux à trois ans, cette intervention a contribué à doubler, voire à tripler le taux de couverture végétale dans les zones mises en défens du projet PAGERNA⁴⁵⁴. Une étude menée dans le bassin arachidier révèle pour sa part qu'après six ans de mise en défens, la strate ligneuse d'un site a été multipliée par un facteur de 3 et la surface terrière par un facteur de 6⁴⁵⁵. Dans la zone sylvopastorale, on rapporte aussi que cette intervention a permis une restauration rapide du couvert ligneux, avec notamment une régénération et une propagation marquées du gonakié (*Acacia nilotica*)⁴⁵⁶. La mise en défens favoriserait en outre un accroissement de la diversité des espèces ligneuses présentes dans les aires protégées. La réapparition d'espèces rares ou même disparues dans certaines zones a entre autres été notée par différents projets et études conduits au Sénégal^{457 458}.

La restauration de la strate ligneuse est susceptible d'entraîner des bénéfices directs pour les communautés rurales, lesquelles peuvent notamment profiter, après quelques années, de quantités plus importantes de bois mort, ainsi que de produits forestiers non ligneux plus abondants et diversifiés. Le PAGERNA rapporte par exemple que dans certaines zones mises en défens, on a observé la réapparition de colonies d'abeilles locales, ce qui a permis aux femmes de tirer des revenus de la vente du miel⁴⁶⁰. La quantité de fruits sauvages produits dans les espaces protégés aurait en outre connu une hausse importante dans le cadre de ce projet. En 2002, sur les 25 682 ha mis en défens, des revenus totaux de 30 000 000 FCFA ont été dégagés grâce à la vente de ces fruits⁴⁶¹. Dans des parcelles protégées à l'initiative d'un paysan de la communauté de Thiambène Till, dans le nord-ouest du pays, une analyse économique révèle qu'à partir de la sixième année de mise en défens, des bénéfices d'environ 45 000 FCFA/ha/an ont été générés par le producteur, des revenus qui seraient bien supérieurs à ceux tirés des autres terres agricoles des environs⁴⁶². Il semble en outre que l'intervention favorise le retour de la faune sauvage dans les zones protégées^{463 464 465}. Si la réapparition de certaines espèces comme les hyènes peut être préjudiciable aux activités pastorales⁴⁶⁶, d'autres animaux peuvent contribuer à l'amélioration et à la diversification du régime alimentaire des communautés.

La mise en défens présente aussi l'avantage notable de favoriser la restauration de la strate herbacée, probablement en partie en raison du microclimat favorable créé par le retour du couvert ligneux. Dans le bassin arachidier, une étude rapporte que la phytomasse herbacée d'une zone mise en défens présentait une plus grande diversité floristique et était 2,8 fois plus abondante que celle d'une zone témoin⁴⁶⁷. Des travaux de recherche conduits dans le nord du pays ont pour leur part noté que si la mise en défens d'une zone n'avait pas d'impact significatif sur la diversité floristique du tapis herbacé, elle exerçait un effet positif significatif sur le taux de recouvrement et la biomasse de celui-ci, ce qui permettait d'accroître la disponibilité fourragère dans la zone⁴⁶⁸. Dans le

bassin arachidier, des communautés rurales impliquées dans la mise en défens d'espaces sylvopastoraux intervillageois¹³ ont également constaté que l'intervention favorisait une augmentation de la production de fourrage herbacé⁴⁶⁹.

La mise en défens présenterait aussi des avantages notables en termes de conservation des sols et de l'eau, ainsi que pour favoriser une amélioration de la productivité agricole. Des travaux de recherche menés dans une aire mise en défens dans le haut d'un bassin versant du bassin arachidier démontrent ainsi que la porosité et la structure superficielle du sol ont été améliorées dans la zone protégée comparativement à une aire témoin⁴⁷⁰. Grâce à la présence d'une couverture végétale plus abondante, le ruissellement annuel a également été trois fois moins important dans la zone mise en défens par rapport au témoin, alors que les pertes de sol par érosion hydrique ont été, selon les années, quatre à 11 fois moins importantes. L'équipe de recherche chargée de ces travaux rapporte en outre que durant un épisode de pluies très violentes, plus de 4 t/ha de sol auraient été arrachées de l'aire témoin par érosion hydrique, alors que dans la zone mise en défens, ces pertes ne se seraient élevées qu'à 0,56 t/ha⁴⁷¹. De tels résultats sont particulièrement significatifs vu la fréquence accrue d'épisodes de pluies violentes qu'on prévoit au cours des prochaines décennies. Dans la région de Thiès, des communautés estiment également qu'en favorisant la restauration du couvert ligneux, la mise en défens de certaines zones de leur territoire aurait permis de stabiliser les sols et de freiner le phénomène d'érosion éolienne qui affectait fortement la zone et avait conduit à la formation de dunes qui rendait l'agriculture impraticable à certains endroits⁴⁷². Selon les paysans et paysannes impliqués, les actions de protection auraient amélioré la fertilité des sols dans les aires mises en défens, permis de récupérer des espaces cultivables et freiné le phénomène d'ensablement des mares⁴⁷³.

4.2.3.3 ASPECTS TECHNIQUES A CONSIDERER

Avant de mettre une zone en défens, il est important de planifier la durée de l'intervention et les modalités d'exploitation prévues tout au long du processus et au terme de celui-ci. À terme, l'objectif est de favoriser la restauration des sites ciblés pour qu'ils puissent redevenir des lieux productifs qui dispensent des services écosystémiques variés. Il n'est toutefois pas évident de déterminer à quel moment un site peut être considéré comme suffisamment régénéré pour qu'un certain niveau d'exploitation puisse s'y faire de manière durable. Par ailleurs, mettre une zone en défens pendant trop longtemps peut entraîner des frustrations importantes, voire une démobilité progressive des communautés engagées dans l'intervention⁴⁷⁴. Dans le bassin arachidier, une équipe de recherche a comparé les caractéristiques de peuplements ligneux

¹³ « Les espaces sylvo-pastoraux inter-villageois (ESPIV) sont des réserves situées en dehors du domaine forestier de l'Etat et comprises dans les limites administratives de la communauté rurale qui en est le gestionnaire. Ils constituent une source de fourrage pour le bétail local et pour les transhumants, et offrent des revenus additionnels aux populations rurales. » (Sanogo, D. (2011). *Op. cit.*).

situés dans des aires ayant été mises en défens depuis plus ou moins longtemps (un an, cinq ans et 12 ans) (voir tableau 1). Ces scientifiques ont estimé que les peuplements des zones mises en défens depuis 12 ans avaient atteint un certain équilibre alors que ceux des aires protégées depuis cinq ans étaient toujours en phase de régénération⁴⁷⁵. Si la densité des arbres, leur hauteur moyenne et la surface terrière des peuplements augmentaient avec le nombre d'années de mise en défens, aucune différence significative n'a été notée entre le diamètre moyen des ligneux de la mise en défens de cinq ans et de celle de 12 ans. L'équipe de recherche estimait donc qu'une première phase d'exploitation aurait pu être menée dans les sites protégés depuis cinq ans. On peut également mentionner que d'autres travaux de recherche suggèrent que l'exploitation des arbres et arbustes de la famille des Combrétacées pourrait avoir lieu lorsque ceux-ci présentent un diamètre minimum compris entre 8 et 15 cm, une valeur atteinte environ sept ans après l'établissement des ligneux⁴⁷⁶, alors que d'autres avancent que des coupes pourraient être effectuées dès que le diamètre des ligneux atteint 6 à 8 cm⁴⁷⁷, une valeur qui est généralement atteinte après un plus court laps de temps. Des études supplémentaires paraissent nécessaires pour mieux déterminer la durée optimale de la mise en défens et le nombre d'années à partir duquel des coupes planifiées peuvent être entamées.

Tableau 1 : Principales caractéristiques dendrométriques de peuplements dans des aires mises en défens depuis une durée variable. Adapté de Badji et al. (2014)⁴⁷⁸

| Paramètres dendrométriques | Durée des mises en défens | | |
|---------------------------------------|---------------------------|-------------|-------------|
| | 1 an | 5 ans | 12 ans |
| Densité (ligneux/ha) | 19 ± 2,66 | 544 ± 37,65 | 675 ± 39,59 |
| Diamètre moyen (cm) | 5,32 ± 6,87 | 7,16 ± 5,01 | 7,19 ± 4,44 |
| Hauteur moyenne (m) | 2,46 ± 1,07 | 3,95 ± 1,33 | 4,22 ± 1,97 |
| Surface terrière (m ² /ha) | 0,11 ± 0,02 | 3,22 ± 0,27 | 3,78 ± 0,22 |

Par ailleurs, si la mise en place de clôtures ou de haies vives a été promue dans le cadre de certains projets de mise en défens⁴⁷⁹, il semble assez peu réaliste de compter sur ces deux types de structure pour assurer la protection de vastes superficies. Dans ce cas, il paraît préférable de compter sur ce que certains ont nommé la «clôture sociale»⁴⁸⁰, c'est-à-dire sur les règles mises en place d'un commun accord par la ou les collectivités concernées pour garantir la protection d'espaces donnés.

4.2.3.4 AUTRES CONSIDERATIONS

La mise en défens est un type d'intervention relativement complexe qui se déroule sur de nombreuses années. Elle implique la poursuite de différentes démarches sur les plans institutionnel et légal qui permettront de protéger adéquatement le milieu, via des règles qui ont été établies de façon consensuelle parmi les membres et institutions d'une ou de plusieurs communautés¹⁴. Les projets qui ont mis cette approche en œuvre au Sénégal pointent différents aspects qui devraient être considérés pour favoriser le succès de l'intervention.

La viabilité des initiatives de mises en défens dépendrait notamment des éventuelles retombées économiques qui peuvent être tirées à moyen et long terme des zones protégées. Les communautés sont effectivement plus enclines à fournir des efforts et accepter certaines privations si des gains sont prévus après quelques années⁴⁸¹. Or, on rapporte que dans certains cas, les attentes des communautés sur ce plan n'ont pas été comblées, soit parce que les aires mises en défens ne permettaient pas de générer des revenus suffisamment importants, ou que ces revenus étaient inégalement distribués au sein de la communauté⁴⁸².

Une analyse des bénéfices économiques pouvant être tirés d'une zone mise en défens gagnerait donc à être conduite dans les premières phases d'implantation du projet afin que les personnes et institutions impliquées puissent prendre des décisions éclairées. Appuyer les groupements paysans dans des initiatives visant la commercialisation des produits issus des aires protégées serait également une avenue porteuse pour mobiliser les membres de la communauté à plus long terme.

La prise en considération des intérêts particuliers des femmes et leur pleine participation aux processus décisionnels sont également des éléments cruciaux pour garantir l'efficacité des mises en défens. On rapporte que dans les environs de Mbédap, dans la région de Thiès, les femmes ont initialement éprouvé certaines réticences à l'idée de mettre certaines aires en défens, par crainte de faire face à des pénuries de bois de feu. L'octroi de foyers à combustion améliorée aurait permis de lever certaines de leurs appréhensions et de susciter une plus grande adhésion de leur part vis-à-vis des actions de protection menées⁴⁸³. Exclues des processus de prise de décisions, les groupes féminins de cette communauté n'ont toutefois pas été en mesure de faire valoir leurs intérêts à

¹⁴ De nombreuses recommandations relatives aux aspects institutionnels et légaux associés au processus de mise en défens sont présentées dans les documents suivants :

1. Sanogo, D. (2011). *Projet de Renforcement des stratégies locales de gestion des Espaces sylvopastoraux inter-villageois dans le bassin arachidier du Sénégal*. Rapport final. ISRA. CRDI. 103 p. Repéré à <https://hdl-bnc-idrc.dspacedirect.org/handle/10625/48124>
2. Dieng, C., Dieye, P.N., Kairé, M., Ndiaye, J.-P., Ndione, C.M., & Sène, A. (2008). *Impacts environnementaux et socio-économiques du projet autopromotion et gestion des ressources naturelles au Sine Saloum (PAGERNA)*. CILSS, ISRA et CIS. Repéré à https://www.bameinfolpopol.info/IMG/doc/Rapport_PAGERNA.doc

plus long terme et, 17 ans après la mise en défens des zones, les coupes de bois y demeureraient interdites, ce qui générerait des frustrations importantes de la part des femmes⁴⁸⁴. À terme, ce genre de situation risque de mener à un processus de démobilité qui pourrait mettre en péril les initiatives de protection.

La participation des communautés pastorales est également essentielle pour assurer le succès des mises en défens. Souvent perçues comme destructrices et « étrangères », les populations transhumantes sont régulièrement exclues des processus de gestion locale des ressources naturelles. Une telle marginalisation est évidemment peu à même d'inciter les communautés pastorales à respecter les règles fixées pour favoriser la régénération des espaces mis en défens. Dans une zone de la région de Diourbel, la création d'un comité d'accueil des transhumants aurait permis de créer des ponts entre les communautés autochtones et transhumantes et d'impliquer réellement ces dernières dans la gestion des espaces sylvopastoraux⁴⁸⁵. Les coupes de bois illégales auraient diminué à la suite des actions menées par ce comité et ultimement, on aurait observé une réduction des conflits intercommunautaires⁴⁸⁶. Ce type d'initiatives paraît particulièrement porteur sachant que les changements climatiques pourraient accentuer les tensions entre les populations sédentaires et transhumantes.

ENCADRÉ 3 : LA JACHÈRE

Au Sénégal, l'équilibre des agroécosystèmes s'est longtemps appuyé sur une alternance de périodes de mise en culture des terres et de jachères⁴⁸⁷. Soumises à un abandon culturel pendant quelques années, les parcelles mises en jachère sont progressivement colonisées par différentes espèces arbustives et arborées qui enrichissent les terres appauvries en matière organique et favorisent la remontée des éléments minéraux à la surface des sols, ce qui permet de restaurer la fertilité des sols⁴⁸⁸. Les terres en jachère sont en outre des lieux où les communautés peuvent extraire une multitude de produits (bois, fruits, fourrage, etc.). La croissance démographique observée au cours des dernières décennies a néanmoins conduit les collectivités paysannes à prolonger la période de mise en cultures et à réduire peu à peu la durée de la jachère, ce qui limite de plus en plus les bienfaits apportés par cette pratique⁴⁸⁹. Ainsi, en 1995, l'ISRA évaluait déjà que la durée des jachères avait substantiellement raccourci en Casamance et au Sénégal oriental, et que la pratique avait presque complètement disparu dans le bassin arachidier⁴⁹⁰. Si les bénéfices entraînés par la jachère sont indiscutables, son déclin paraît inéluctable, d'où la nécessité d'avoir maintenant recours à d'autres interventions, notamment agroforestières, pour rétablir l'équilibre écologique des systèmes agricoles.

4.2.4 LE CHOIX D'UNE APPROCHE DE RESTAURATION

Différentes avenues sont donc envisageables pour favoriser la restauration des parcs agroforestiers et des zones sylvopastorales. La décision d'avoir recours à l'une ou l'autre des trois principales interventions mentionnées plus haut dépend de plusieurs facteurs. L'état du milieu ciblé sur le plan écologique est un élément important à prendre en considération à cet égard. Dans les zones très dégradées où la couverture ligneuse a prati-

quement disparu et où le recrû ligneux est faible, il est ainsi peu probable qu'une mise en défens entraîne une réelle restauration du milieu⁴⁹¹. La plantation de ligneux peut alors être nécessaire pour favoriser le rétablissement d'un certain équilibre écologique. À d'autres endroits, où on trouve par exemple toujours un nombre suffisant d'arbres semenciers et de souches qui émettent des rejets et des drageons, le recours à la RNA ou à la mise en défens pourrait permettre de restaurer les fonctionnalités du milieu.

Le choix de l'intervention à adopter doit par ailleurs être effectué avec les membres de la communauté, en fonction de leurs intérêts et de leurs besoins. Il est important de réaliser que les différentes interventions peuvent nécessiter des investissements en temps et en énergie variables de la part des paysans et paysannes et qu'elles peuvent avoir des impacts différenciés parmi les sous-groupes d'une collectivité. Le choix de l'approche de restauration à privilégier doit aussi se baser sur des considérations financières. Les activités de plantation requièrent par exemple des budgets externes généralement importants, contrairement à la RNA ou à la mise en défens, qui n'impliquent pas nécessairement de financements initiaux notables, mais exigent que les communautés paysannes investissent de leur temps dans les actions de protection et d'entretien des ligneux ou renoncent temporairement à certains bénéfices qu'elles tirent de certaines zones du territoire. Il est donc essentiel de considérer la balance des coûts et bénéfices associée à chaque intervention pour les différentes parties impliquées.

Il faut également garder en tête que ces approches ne sont pas mutuellement exclusives et qu'il est par exemple tout à fait possible de planter des arbres dans une aire mise en défens si on souhaite l'enrichir avec des espèces qui ne sont pas ou plus présentes dans le milieu. La mise en place d'approches de restauration des parcs agroforestiers et des espaces sylvopastoraux qui sont adaptées aux conditions socioécologiques locales et qui sont réalistes et durables sur le plan économique devrait permettre de renforcer la résilience des milieux agricoles et pastoraux ainsi que des communautés qui y habitent face aux changements du climat qui sont annoncés.

4.3 LA GESTION AGROÉCOLOGIQUE DES ARBUSTES INDIGÈNES ASSOCIÉS AUX CULTURES

4.3.1 PRÉSENTATION

Outre la présence d'arbres dispersés dans les parcelles de culture, on observe fréquemment dans le paysage agricole sénégalais des arbustes indigènes qui poussent spontanément dans les champs. Au cours des deux dernières décennies, deux projets de recherche¹⁵ menés en partenariat avec des institutions américaines, sénégalaises et

¹⁵ Ces deux projets sont : *Regulation of the Hydrologic and C Cycles by Native Shrubs in Soils of Sub-Saharan Africa* et *Hydrologic Redistribution and Rhizosphere Biology of Resource Islands in Degraded Agroecosystems of the Sahel*. Voir également l'annexe 3 pour connaître les autres projets qui y ont été associés ou les ont suivis.

françaises se sont succédé pour étudier l'impact de deux de ces arbustes, le *Piliostigma reticulatum* et le *Guiera senegalensis*, sur les cultures qui y sont associées, de même que sur l'agroécosystème dans son ensemble.

Ces deux espèces arbustives, qui appartiennent respectivement à la famille des *Caesalpinaceae* et des *Combretaceae*, atteignent une hauteur d'environ un mètre en zone cultivée, parfois davantage en milieu naturel, et présentent un diamètre de houppier d'un à deux mètres. Elles possèdent un système racinaire superficiel relativement dense, ainsi que des racines pivotantes leur permettant d'atteindre des horizons plus profonds du sol^{492 493 494}. Différentes observations semblant indiquer qu'une association avec ces arbustes indigènes était bénéfique pour les cultures, des chercheurs ont décidé d'augmenter la densité d'arbustes au sein de parcelles expérimentales afin de comparer l'effet de ce nouvel arrangement à des parcelles où tous les arbustes avaient été dessouchés. La plupart des résultats présentés dans les sections suivantes proviennent d'études conduites sur ce système « optimisé » de gestion des arbustes indigènes.

Traditionnellement, un peu avant la saison des pluies, au moment de la préparation des sols, le *P. reticulatum* et le *G. senegalensis* sont coupés au ras du sol par les paysans (voire parfois carrément dessouchés) pour faciliter l'implantation et la croissance des cultures. Loin de tuer les arbustes (sauf lorsqu'il y a dessouchage), cette coupe radicale les incite plutôt à produire des rejets vigoureux qui leur permettent de retrouver progressivement leur aspect initial, vers la fin de la saison sèche. Au moment de la coupe, les tiges de plus gros diamètre sont habituellement prélevées pour le bois de feu, alors que les feuilles et les plus petites branches sont brûlées dans les champs^{495 496}. Or, si les résidus brûlés fournissent un apport substantiel en minéraux aux cultures, une proportion importante de ces nutriments est perdue durant la saison des pluies et l'azote qu'ils renferment est volatilisé lors de la combustion⁴⁹⁷.

Dans le cadre des projets de recherche mentionnés plus haut, certaines études ont donc porté sur une pratique qui permettrait de mieux valoriser la biomasse générée par les arbustes, en conservant du même coup la matière organique qu'elle contient, une ressource qui s'avère précieuse en climat semi-aride. La technique expérimentée consiste à appliquer au sol des résidus de coupe des arbustes, ceux-ci ayant préalablement été coupés en segments d'environ 5 cm, de sorte à créer un paillis recouvrant de 40 à 60 % de la surface des parcelles⁴⁹⁸. Comme les souches tendent à produire des rejets relativement rapidement après une première coupe, cette pratique de paillage peut être répétée à plus d'une reprise au cours de la saison de culture. D'autres projets de recherche ont pour leur part procédé à des essais semblables, mais comportant plutôt l'application d'un paillis formé de résidus de coupe hachés, une pratique connue sous le nom de « bois raméal fragmenté », ou « BRF ».

Globalement, il semble que la présence du *P. reticulatum* et du *G. senegalensis* et leur gestion agroécologique via le recépage ou le paillage génère des bénéfices importants qui seront détaillés dans les paragraphes qui suivent. Les différents avantages qu'ils pro-

curent ont conduit des chercheurs à conclure qu'ils constituent non seulement des îlots de fertilité, mais de véritables « îlots de ressources » (*resource islands*) pour les cultures environnantes^{499 500}, un atout qui pourrait s'avérer crucial face aux changements climatiques annoncés.

4.3.2 LES BÉNÉFICES APPORTÉS DANS UN PROCESSUS D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

4.3.2.1 GESTION DES SOLS

La gestion agroécologique des arbustes indigènes dans les champs apporterait tout d'abord des bénéfices notables pour les sols. La présence d'arbustes au sein des parcelles pourrait notamment contribuer à limiter l'érosion qu'ils subissent. Il a ainsi été observé qu'autour d'un arbuste comme le *G. senegalensis*, on pouvait noter une légère élévation du sol, ce qui suggère que l'arbuste pourrait être en mesure de limiter l'arrachement des particules de sol par le vent à proximité de sa canopée, et possiblement de piéger des particules transitant sur les parcelles⁵⁰¹. De telles conclusions ont d'ailleurs été validées au Burkina Faso, où une étude a constaté que les arbustes favorisaient une réduction de la vitesse du vent et du transport des particules de sol sur une distance équivalant à sept fois leur hauteur⁵⁰².

De plus, comme la présence du *P. reticulatum* et du *G. senegalensis* dans les champs contribue généralement à augmenter le taux d'humidité des sols⁵⁰³ (voir la section suivante pour les détails relatifs à la gestion de l'eau), il est probable que l'érosion éolienne soit réduite sur les parcelles intégrant ces arbustes, les sols humides étant moins vulnérables à ce phénomène que les sols secs⁵⁰⁴. Les deux espèces arbustives contribuant à une meilleure infiltration de l'eau dans le sol⁵⁰⁵, le ruissellement et l'érosion hydrique seraient également réduits⁵⁰⁶. À Nioro-du-Rip, dans le sud du bassin arachidier, on rapporte par exemple que la présence du *P. reticulatum* a permis de réduire le ruissellement d'environ 50 % dans les parcelles⁵⁰⁷.

L'application au sol d'un paillis végétal constitué des résidus de coupe des arbustes aurait également un effet protecteur face à l'érosion éolienne et hydrique^{508 509}. Le paillis limiterait l'arrachement et le transport des particules et permettrait de protéger le sol de l'impact des gouttes d'eau durant les épisodes de pluies violentes. Il importe ici de noter que si les sols agricoles sont généralement recouverts de résidus de culture à la fin de l'hivernage, ce matériel végétal est souvent consommé par le bétail qui arpente les parcelles durant la saison sèche, laissant ainsi les sols exposés aux aléas climatiques. La présence d'un paillis ligneux généralement peu apprécié par les animaux pourrait donc jouer un effet protecteur notable face à l'érosion des sols^{510 511}.

Il a également été démontré que la présence des deux arbustes permettait d'améliorer la qualité des sols⁵¹². La dégradation progressive de leur paillis contribuerait notamment à augmenter le taux de matière organique des sols. Le *P. reticulatum* entraînerait ainsi une augmentation de la teneur en carbone particulaire, ce qui favoriserait le processus

d'agrégation du sol⁵¹³. Une étude menée sur une période de trois ans rapporte aussi que les teneurs en carbone total et en fraction fine de carbone ($C < 53 \mu\text{m}$) ont connu des augmentations respectives de 12 et 50 % dans les parcelles où le *P. reticulatum* était associé aux cultures, alors que ces mêmes indicateurs connaissent une diminution dans les parcelles sans arbustes (respectivement - 23 et - 22 %) ⁵¹⁴. On estime ainsi que les résidus de coupe de l'arbuste apporteraient annuellement plus d'une tonne de carbone par hectare ⁵¹⁵. Ainsi, alors que la régie de culture habituelle contribue à aggraver le processus de dégradation des sols, la gestion agroécologique des arbustes indigènes permettrait d'inverser ce processus en favorisant la régénération des sols.

Les arbustes permettraient aussi d'accroître les apports de nutriments accessibles aux cultures. Le système racinaire du *P. reticulatum* serait notamment en mesure de récupérer une part de l'azote lessivé sous les cultures ⁵¹⁶, ce qui limiterait les pertes et favoriserait le recyclage de cet élément à l'intérieur du système. La décomposition du paillis permettrait aussi de libérer des nutriments essentiels aux cultures. Bright et al. (2017) ont ainsi démontré que des parcelles agricoles intégrant le *P. reticulatum* présentaient une teneur significativement accrue en certains macronutriments (N, K, Ca, Mg et S) et micronutriments (Mn et Cu), comparativement à des parcelles sans arbustes ⁵¹⁷.

On sait par ailleurs que les communautés microbiennes jouent un rôle de premier plan vis-à-vis de la disponibilité des nutriments dans le sol. Or, la présence du *P. reticulatum* et du *G. senegalensis* augmenterait l'activité microbienne du sol ^{518 519}. À proximité des arbustes, on a retrouvé des communautés microbiennes plus importantes et plus diversifiées que dans les parcelles de cultures pures ^{520 521}. Les deux ligneux favoriseraient notamment la vie fongique du sol. La présence de vastes réseaux de champignons mycorhiziens constitue justement un atout précieux pour les cultures et les sols agricoles. En plus d'alimenter les plantes en eau et en minéraux, le mycélium des champignons facilite la formation de macro-agrégats dans le sol, ce qui améliore l'aération et la capacité de rétention en eau du sol, de même que la pénétration des racines ⁵²².

Une équipe de recherche a constaté que la présence du *P. reticulatum* à proximité de jeunes plants de manguiers favorisait la colonisation des racines de manguiers par des champignons mycorhiziens arbusculaires ⁵²³. Il est également possible que les arbustes et les manguiers aient partagé le même réseau mycorhizien, ce qui serait susceptible de faciliter le partage de l'eau et des nutriments entre les deux espèces. Une telle connexion pourrait contribuer à expliquer le fait que les jeunes manguiers se soient développés plus rapidement en présence de l'arbuste. Différents éléments semblent aussi indiquer qu'il est probable qu'un réseau mycorhizien commun puisse être établi entre le *G. senegalensis* et du mil cultivé à proximité de l'arbuste ⁵²⁴.

Certaines études soulignent en outre que les nématodes bactérivores seraient plus abondants dans les parcelles intégrant le *P. reticulatum* comparativement aux parcelles sans arbustes ⁵²⁵. En consommant les bactéries du sol, les nématodes entraîneraient la

libération des nutriments captés par celles-ci, notamment l'azote immobilisé, ce qui augmenterait la disponibilité des nutriments dans les parcelles avec arbustes⁵²⁶.

4.3.2.2 GESTION DE L'EAU

Plusieurs études ont permis de démontrer que la présence du *P. reticulatum* et du *G. senegalensis* aurait des effets positifs sur le bilan hydrique des parcelles. Grâce aux apports en matière organique générés par les arbustes, la structure du sol serait améliorée, ce qui favoriserait l'infiltration (30 % de plus que dans les parcelles sans arbustes⁵²⁷) et la rétention de l'eau dans le sol⁵²⁸. De manière générale, on sait de plus que la présence d'un paillis limite le ruissellement, ainsi que les pertes d'eau par évaporation⁵²⁹. Dans des parcelles où les arbustes n'étaient pas taillés, des chercheurs rapportent en outre que le taux d'évaporation du sol était réduit d'environ 50 % par rapport aux parcelles sans arbustes, probablement en raison de l'ombrage créé par la partie aérienne des ligneux⁵³⁰. La transpiration des arbustes entraîne cependant des pertes d'eau et, globalement, l'évapotranspiration totale des parcelles avec arbustes serait supérieure à celle des parcelles de cultures pures⁵³¹.

Il semble toutefois que les prélèvements en eau des arbustes ne se fassent pas aux dépens des ressources hydriques accessibles aux cultures. Des chercheurs ont en effet constaté que les arbustes tendaient à utiliser prioritairement l'eau provenant des horizons plus profonds du sol (parfois jusqu'à une profondeur pouvant dépasser 3,5 m) et entraient dès lors peu en concurrence avec les cultures pour l'accès aux ressources en eau⁵³². De plus, l'architecture du système racinaire des arbustes leur permettrait de capter l'eau du sol perdue par drainage profond, limitant ces pertes de 25 à 50 % comparativement aux parcelles de culture sans arbustes⁵³³. Globalement, le bilan hydrique des parcelles serait donc amélioré lorsque les cultures sont associées au *P. reticulatum* et au *G. senegalensis*⁵³⁴.

Un autre atout majeur des deux arbustes est attribuable au fait qu'ils généreraient un phénomène de soulèvement hydraulique permettant d'alimenter les cultures adjacentes en eau. Des chercheurs ont ainsi constaté que durant la nuit, lorsque la transpiration des arbustes était à peu près nulle, leurs racines pivotantes continuaient de puiser de l'eau dans les horizons plus profonds du sol, alors que le flux de sève dans leurs racines superficielles s'inversait pour se diriger vers leurs extrémités, et de là vers le sol. Les arbustes capteraient donc l'eau du sous-sol pour l'acheminer vers la surface du sol, où elle deviendrait alors accessible aux cultures avoisinantes⁵³⁵. Ce phénomène a d'ailleurs pu être confirmé à l'aide de dispositifs expérimentaux ayant recours au marquage isotopique⁵³⁶.

Dans le cadre de ces expérimentations, des chercheurs ont creusé le sol à proximité des arbustes afin d'insérer certaines de leurs racines profondes dans des fioles contenant de l'eau marquée au deutérium. Quelques heures plus tard, ce marqueur isotopique a pu être retrouvé dans les feuilles des plantes cultivées à proximité des arbustes, ce qui démontre que l'eau souterraine pompée par les ligneux est bel et bien utilisée par les cul-

tures environnantes. Un tel processus serait par ailleurs amplifié lors d'années plus sèches, puisque la différence de teneur en eau entre le sol asséché en surface et les profondeurs conduirait l'arbuste à extraire davantage d'eau du sous-sol pour rééquilibrer les écarts⁵³⁷. Sachant que les épisodes de sécheresse sont amenés à se multiplier dans les prochaines décennies, le rôle du *P. reticulatum* et du *G. senegalensis* dans la gestion de l'eau pourrait s'avérer crucial. L'eau apportée aux cultures via le phénomène de soulèvement hydraulique pourrait notamment contribuer à maintenir les activités physiologiques des plantes lors de périodes plus sèches ou d'années à faible pluviométrie⁵³⁸.

Une étude a par ailleurs démontré que le sol à proximité des deux arbustes présenterait une résilience accrue face au stress hydrique⁵³⁹. Il a ainsi été noté que, soumis à des cycles de sécheresse et de réhumidification, des échantillons de sol collectés à proximité du *P. reticulatum* et du *G. senegalensis* maintenaient des taux d'activité microbienne et de nutriments plus élevés comparativement à des échantillons de sol provenant de parcelles sans arbustes. La présence des arbustes pourrait donc contribuer à renforcer la résilience des cultures face aux épisodes de sécheresse.

4.3.2.3 GESTION DES BIOAGRESSEURS

Des chercheurs ont constaté que le *P. reticulatum* pouvait jouer un rôle dans la lutte contre les nématodes phytophages, un type de nématodes qui occasionne des dommages aux cultures. Diakhaté et al. (2013) rapportent ainsi que la population de nématodes phytophages était réduite de 23 % dans les parcelles associant le mil au *P. reticulatum*, comparativement aux cultures pures de mil⁵⁴⁰. Des applications en conditions expérimentales de poudres constituées de feuilles ou de rameaux et de feuilles de *P. reticulatum* ont quant à elles permis d'observer une réduction de 64 % de la population d'un nématode très commun dans les cultures de mil au Sénégal (genre *Helicotylenchus*)⁵⁴¹. L'utilisation de cet arbuste présenterait donc un potentiel intéressant dans la lutte contre certains ravageurs des cultures et constituerait une alternative aux némato-cides de synthèse à la fois moins coûteuse et plus accessible, tout en minimisant les impacts négatifs sur l'environnement⁵⁴².

4.3.2.4 MICROCLIMAT

La présence d'arbustes au sein des parcelles aurait également un effet bénéfique sur la température du sol en début de saison, lorsque le développement des semis peut être compromis par des températures extrêmes. Bogie et al. (2019) rapportent ainsi des baisses de température diurnes de l'ordre de 5 °C dans les cinq premiers centimètres du sol à proximité du *G. senegalensis*, un phénomène qui serait probablement attribuable à l'effet rafraîchissant de l'ombrage projeté par les repousses du ligneux à la suite d'une première taille⁵⁴³. Ces chercheurs notent aussi une légère hausse des températures nocturnes à proximité de l'arbuste. Une telle atténuation des extrêmes de température pourrait s'avérer précieuse pour protéger le système racinaire peu développé des cultures en début de croissance et réduire la mortalité des plants⁵⁴⁴.

4.3.2.5 RENDEMENT

En plus des avantages mentionnés plus haut, les deux arbustes permettraient aussi d'accroître la productivité des cultures associées. Plusieurs études rapportent une augmentation généralement significative du développement végétatif et du rendement du mil cultivé en association avec le *P. reticulatum* et le *G. senegalensis*, comparativement aux parcelles de mil sans arbustes (voir par exemple tableau 2)^{545 546 547 548}. Les arbustes auraient une influence positive^{549 550} à variable⁵⁵¹ sur les rendements de l'arachide.

Tableau 2 : Rendements du mil et de l'arachide cultivés en présence (+ Pr) ou en absence (- Pr) du *P. reticulatum* à Nioro-du-Rip entre 2011 et 2015. Reproduit de Chapuy-Lardy et al. (2019)⁵⁵², à partir d'un tableau de Bright et al. (2017)⁵⁵³

| Apports NPK (× dose recommandée) | Mil (rendement en grains kg/ha) | | | | | | Arachide (rendement en gousses kg/ha) | | | |
|--|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--|-------|-------|-------|
| | 2011 | | 2013 | | 2015 | | 2012 | | 2014 | |
| | + Pr | - Pr | + Pr | -Pr | + Pr | - Pr | + Pr | - Pr | + Pr | -Pr |
| 0 | 886a | 499b | 749a | 315b | 592a | 298a | 1672a | 1354a | 1526a | 1096b |
| 0,5 | 1429a | 1047b | 1194a | 847a | 1198a | 738b | 1713a | 1763a | 1380a | 1204a |
| 1,0 | 1806a | 1457a | 1375a | 1402a | 1565a | 1151b | 1710a | 1837a | 1237a | 1137a |
| 1,5 | 2302a | 1939a | 1675a | 1502a | 2022a | 1388b | 1812a | 1794a | 1384a | 1135a |

* Les lettres a et b indiquent une différence significative au seuil de 5 % entre +Pr et -Pr pour une même année et une même dose de NPK.

On rapporte aussi que l'association avec le *P. reticulatum* et le *G. senegalensis* permettrait de devancer les phases d'épiaison et de floraison du mil et d'accélérer la maturation des épis⁵⁵⁴. D'autres cultures verraient également leur cycle de développement raccourci en présence des arbustes⁵⁵⁵. Il semble en outre que le recépage des arbustes en début d'hivernage ait pour conséquence de freiner temporairement la croissance racinaire de ces derniers, limitant ainsi la concurrence souterraine entre les arbustes et les cultures⁵⁵⁶.

Quant à l'impact des applications de *P. reticulatum* et de *G. senegalensis* sous forme de BRF, il faut d'abord noter que très peu de recherches ont été conduites sur ce sujet au Sénégal. Les résultats d'une étude conduite dans le bassin arachidier indiquent que l'application de résidus fragmentés des deux arbustes (à raison de 4 ou 6 t/ha) avait généralement un impact positif, mais non significatif sur certains paramètres liés à la croissance et à la productivité du mil comme le nombre de feuilles, d'épis et de talles, ainsi que la biomasse aérienne. L'impact des applications était cependant neutre, voire dépressif, sur d'autres paramètres comme la hauteur des plants, le diamètre au collet et la biomasse racinaire⁵⁵⁷. Une méta-analyse portant notamment sur l'utilisation de différentes espèces ligneuses (dont le *P. reticulatum* et le *G. senegalensis*) sous forme de BRF en Afrique de l'Ouest a toutefois révélé que de tels amendements entraînaient une

hausse du rendement des céréales dans 70 % des cas⁵⁵⁸, ce qui dénote le potentiel de cette pratique encore relativement peu étudiée dans la sous-région.

4.3.3 ASPECTS TECHNIQUES À CONSIDÉRER

Si les applications de *P. reticulatum* et de *G. senegalensis* sous forme de tronçons de branches ou de BRF apportent des bénéfices appréciables pour les différentes composantes de l'agroécosystème, plus de recherches gagneraient à être menées afin de déterminer les quantités optimales à apposer au sol. Certains chercheurs ont en effet noté que des applications excessives de matières ligneuses à la surface du sol pouvaient entraîner des impacts négatifs sur le système de culture, en raison d'une immobilisation de l'azote lors de la dégradation des résidus ou d'un effet allélopathique dû à la présence de certains composés chimiques comme les polyphénols^{559 560 561}. Un dosage adéquat de résidus de coupe permettrait de maximiser les bénéfices obtenus, tout en limitant d'éventuels impacts négatifs sur les cultures.

La densité optimale de ligneux au sein des parcelles reste également à déterminer. Dans le cadre des deux projets de recherche principaux introduits dans la présente section, la densité en arbustes a été fortement augmentée (1000-1300 *P. reticulatum*/ha et 1500-1833 *G. senegalensis*/ha) comparativement aux densités qu'on retrouvait naturellement dans les parcelles (134-228 *P. reticulatum*/ha et 228-409 *G. senegalensis*/ha). Si les avantages apportés par ce système densifié semblent indéniables par rapport à des parcelles en cultures pures, il serait intéressant de tester des densités d'arbustes variables et dans une gamme de conditions pédoclimatiques plus étendue afin de préciser les densités recommandées dans les différentes zones agroécologiques du pays où ce système pourrait être implanté.

La question des quantités optimales de résidus de coupe à appliquer au sol est évidemment étroitement associée à celle des densités optimales d'arbustes dans les champs cultivés. Si des prélèvements additionnels de matières ligneuses en périphérie des parcelles sont envisageables, une telle opération augmenterait d'une part le temps et l'énergie requis pour la gestion du système, et hausserait d'autre part la pression exercée sur les plants naturels de ces espèces, qui font déjà l'objet de prélèvements intensifs pour l'approvisionnement en bois de feu et en fourrage⁵⁶². L'atteinte d'une certaine autosuffisance en matériel ligneux à même les parcelles paraît donc préférable, surtout lorsqu'on considère les bénéfices apportés par la présence d'arbustes dans les zones cultivées (apports d'eau par soulèvement hydraulique, amélioration du microclimat, etc.).

4.3.4 AUTRES CONSIDÉRATIONS

Comme le mode de gestion des arbustes natifs proposé dans la présente section (paillage et densité arbustive accrue) diffère de celui habituellement pratiqué par les communautés paysannes (brûlis et densité arbustive plus faible), il paraît important à ce point-ci de bien cerner les facteurs qui pourraient favoriser ou freiner l'adoption de ce

système agroforestier. Un frein potentiel déjà identifié est le fait que l'accroissement des rendements ne semble se manifester qu'après un certain temps (plus de quatre ans selon Bright et al. (2017)⁵⁶³), ce qui risque de conduire certains paysans à délaisser cette nouvelle pratique avant qu'elle ne génère ses pleins bénéfices⁵⁶⁴. Le projet RAMSES II, qui est actuellement en cours au Sénégal et au Burkina Faso, se penche entre autres justement sur les facteurs pouvant favoriser l'adoption de ce système, et cela autant à l'échelle de l'exploitation agricole que du territoire. Certains éléments de réponse devraient donc être disponibles au cours des prochaines années.

4.4 LE SYSTÈME AGROFORESTIER INTERCALAIRE

4.4.1 PRÉSENTATION

Les systèmes agroforestiers intercalaires, auxquels on réfère souvent sous le nom de cultures intercalaires¹⁶, constituent un système dans lequel des cultures sont implantées entre des rangées d'arbres largement espacées. Globalement, il s'agit d'une association arbres-cultures qui permet d'optimiser l'espace disponible, tout en assurant la production d'une plus grande diversité de produits. Les arbres sont habituellement destinés à la production de bois ou à la production fruitière, mais ils remplissent également une multitude de fonctions dans l'agroécosystème. Si les systèmes agroforestiers intercalaires ne sont pas très communs au Sénégal, plusieurs projets de recherche et de développement menés en Casamance au cours des dernières années les ont étudiés ou en ont fait la promotion et les résultats semblent prometteurs.

ENCADRÉ 4 : LE TAUNGYA

Développé il y a plusieurs décennies au Myanmar et mis en œuvre par la suite dans différentes régions du monde, le système taungya fait généralement suite à une entente entre les services forestiers nationaux et les communautés paysannes. Ces dernières sont alors autorisées à cultiver entre les arbres durant les premiers stades d'évolution d'une plantation forestière⁵⁶⁵ et s'engagent en contrepartie à contrôler la propagation des plantes adventices autour des arbres. Dans les premières années suivant l'établissement des plantations, lorsque les arbres sont encore jeunes et que leur canopée est peu développée, il est en effet possible de profiter de l'espace libre entre les rangées d'arbres pour implanter différentes cultures annuelles. La croissance des arbres peut en outre être améliorée par les apports d'engrais fournis aux cultures. Avec les années, le couvert végétal se referme progressivement et les cultures annuelles ne sont plus en mesure de prospérer au sein de la plantation. Celle-ci retrouve alors sa vocation forestière exclusive. Le taungya est un système agroforestier qu'on dit « séquentiel », puisque les arbres et les cultures ne sont associés que durant une certaine période⁵⁶⁶. S'il s'agit là d'une avenue intéressante pour optimiser l'espace et les ressources natu-

¹⁶ Ce terme ne sera pas utilisé dans le texte afin d'éviter la confusion avec les cultures intercalaires sans arbres.

relles dans les plantations, ce système présente des inconvénients notables, notamment parce qu'il est fondé sur une asymétrie de pouvoir entre les parties prenantes et qu'il ne permet pas un accès durable au foncier pour les communautés paysannes⁵⁶⁷. À ce jour, le système taungya a été très peu utilisé au Sénégal.

4.4.2 LES BÉNÉFICES APPORTÉS DANS UN PROCESSUS D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

À l'instar des arbres qu'on retrouve dans d'autres systèmes agroforestiers, les ligneux des systèmes agroforestiers intercalaires peuvent générer différents bénéfices sur le plan de la gestion des sols (amélioration de la qualité du sol via les apports en matière organique, diminution de l'érosion éolienne et hydrique, etc.) et du bilan hydrique (réduction de l'évaporation, accroissement du niveau d'infiltration, etc.), de la régulation des ravageurs (les rangées d'arbres pouvant constituer des habitats favorables pour les insectes auxiliaires des cultures ou des barrières limitant la propagation des insectes nuisibles au sein du paysage agricole⁵⁶⁸) et de la gestion du microclimat (écrêtement des extrêmes de températures, protection des cultures contre les vents violents, etc.). Si un tel arrangement spatial fait l'objet de plus en plus d'études en milieu tempéré, cela est toutefois moins le cas dans les régions tropicales. Au Sénégal, ce système a été relativement peu diffusé et utilisé à ce jour et la documentation relative aux bénéfices qu'il peut entraîner est rare. Au cours de la dernière décennie, on peut toutefois noter un intérêt croissant pour cette approche en Casamance, où l'association des cultures avec l'anacardier (*Anacardium occidentale*) génère notamment des bénéfices significatifs.

Au cours des dernières décennies, la production d'anacardes a connu une forte hausse en Casamance⁵⁶⁹. Les revenus générés par cette production, qui est essentiellement destinée à l'exportation, sont importants et de plus en plus de paysans convertissent leurs terres en vergers d'anacardiens, réduisant souvent au passage les superficies destinées aux cultures annuelles^{570 571}. Bien que la filière génère des recettes intéressantes, le rendement des anacardiens dans la région est bien en deçà de celui qu'on retrouve dans d'autres pays. Or, il semble de plus en plus évident que la forte densité observée dans les plantations constitue un des facteurs expliquant ces faibles rendements⁵⁷². Lorsqu'ils sont trop rapprochés les uns des autres, les anacardiens entrent en effet en concurrence pour l'accès à la lumière et aux nutriments, ce qui nuit à leur productivité. Les arbres ont par ailleurs tendance à s'étioler lorsque la lumière se fait plus rare et ils deviennent alors plus vulnérables au chablis lors de vents violents⁵⁷³. En Casamance, il est estimé que plus de 70 % des plantations présenteraient une densité trop élevée⁵⁷⁴.

Réduire la densité des plantations permettrait donc d'accroître les rendements des anacardiens. Or, des densités d'arbres plus faibles libéreraient aussi de l'espace dans les plantations, ce qui permettrait d'implanter des cultures annuelles entre les rangées d'arbres. Une telle pratique a été promue par certains projets comme le PADEC et plusieurs producteurs d'anacardiens l'ont mis en œuvre sur leurs terres, tant en Casamance⁵⁷⁵ que dans le bassin arachidier⁵⁷⁶.

De surcroît, il semble que les anacardiens bénéficieraient de la présence d'une culture intercalaire. Dans une étude conduite dans une commune de la Casamance, des chercheurs ont ainsi établi que les plantations pures d'anacardiens présentaient un rendement moyen en noix de 444 kg/ha alors que les plantations mixtes associant des cultures annuelles diverses généraient des rendements de 524 à 786 kg/ha, selon la culture qui leur était associée⁵⁷⁷. L'association avec l'arachide, le niébé et le maïs entraînait une hausse importante de la productivité des anacardiens (un peu plus de 40 %) alors que la culture intercalaire de mil générait une augmentation plus faible (15 %), mais tout de même significative. Si une partie des augmentations de rendement peut sans doute être attribuée à la densité d'anacardiens plus faible qui prévaut dans les plantations mixtes, le fait que le rendement des anacardiens varie en fonction de la culture annuelle qui leur est associée semble indiquer que les cultures elles-mêmes jouent bel et bien un rôle dans l'accroissement de la productivité des arbres. Selon les chercheurs de cette étude, les cultures pourraient notamment améliorer les propriétés du sol (amélioration de la structure du sol sous l'action des racines, fixation de l'azote par les légumineuses, etc.), ce qui bénéficierait indirectement aux arbres⁵⁷⁸.

L'intégration de cultures intercalaires dans les vergers d'anacardiens constituerait donc une option gagnante à tous les niveaux : elle favoriserait une hausse du rendement en anacardes et générerait une production agricole additionnelle. En plus de contribuer à renforcer la sécurité alimentaire des populations, ce système présenterait également l'avantage de rehausser et de diversifier les sources de revenus des communautés paysannes, ce qui augmenterait leur résilience face à des chocs telle la fluctuation des cours mondiaux de l'anacarde. Les revenus des ménages seraient également mieux répartis dans le temps puisque les produits générés par le système sont récoltés à des périodes distinctes de l'année. Dans certains projets comme le PADEC, ce système agroforestier aurait même été bonifié par l'ajout de ruches. Les activités apicoles amélioreraient la pollinisation des anacardiens, et donc le rendement des plantations, en plus de générer une production de miel qui contribuerait à diversifier davantage les sources de revenus des producteurs et productrices⁵⁷⁹. Il s'agit donc là d'un système plus productif et conférant plus de stabilité qui gagnerait à être implanté à plus large échelle, du moins dans le sud du pays, où les bénéfices qu'il génère ont été bien documentés.

Les systèmes agroforestiers intercalaires peuvent également prendre d'autres formes et avoir par exemple pour objectif d'assurer une production ligneuse. En Casamance, une équipe de recherche a par exemple comparé le rendement d'une monoculture d'arachide à celui d'une culture d'arachide cultivée entre des rangées relativement rapprochées d'*Eucalyptus camaldulensis*⁵⁸⁰. Les scientifiques ont constaté que la présence des arbres générait un effet dépressif sur l'arachide, ce qui paraît peu surprenant considérant notamment les propriétés allélopathiques de l'eucalyptus et sa consommation importante en eau, ainsi que la forte densité d'arbres au sein du système. Des systèmes agroforestiers intercalaires destinés à la production de bois qui intégreraient d'autres essences d'arbres et comporteraient des écartements plus importants gagneraient à être testés. L'équipe de recherche ayant conduit l'étude mentionnée plus haut rapporte

néanmoins que lorsque du biochar¹⁷ d'eucalyptus était incorporé au sol, le rendement de l'arachide cultivée entre les rangées d'arbres était supérieur à celui des parcelles en cultures pures⁵⁸¹. L'utilisation de cet amendement issu des arbres pourrait donc être un moyen efficace d'accroître la productivité des cultures dans un système plus diversifié qui générerait de surcroît des revenus après quelques années à la suite de la vente du bois.

Finalement, les systèmes agroforestiers intercalaires peuvent aussi avoir pour objectif premier de renforcer la sécurité alimentaire des communautés rurales. Ainsi, un projet mené dans le bassin arachidier étudie actuellement un système associant le moringa et la patate douce, dans le but de combattre la malnutrition maternelle et infantile dans les premières années de vie des enfants¹⁸. Les bénéfices apportés par le système agroforestier intercalaire dans une perspective de résilience accrue face aux changements climatiques et de renforcement de la sécurité alimentaire peuvent donc être fort variés selon les associations arbres-cultures mises en place.

4.4.3 ASPECTS TECHNIQUES À CONSIDÉRER

Des études récentes ont apporté un éclairage intéressant sur certains aspects relatifs à la culture intercalaire dans les plantations d'anacardiens. Le fait que le sol sous la canopée des anacardiens soit dépourvu de couverture herbacée a longtemps fait croire aux scientifiques et aux communautés paysannes que l'arbre avait un effet allélopathique et exerçait donc une influence négative sur les cultures⁵⁸². Une étude récente dans le cadre de laquelle du sorgho et de l'arachide étaient cultivés dans des pots remplis avec du sol prélevé sous, à la limite de et à l'extérieur du houppier d'anacardiens révèle pourtant que le rendement des cultures était significativement accru dans le sol prélevé sous les arbres, comparativement au sol prélevé loin des arbres⁵⁸³. Le rendement du sorgho aurait même doublé dans les pots contenant du sol prélevé sous le houppier des arbres. Cela semble indiquer que les anacardiens conduiraient en fait à une amélioration des propriétés du sol. Une autre étude rapporte d'ailleurs que la majorité des paramètres physico-chimiques des sols sous les houppiers d'anacardiens étaient améliorés (bien que de façon non significative) par rapport aux échantillons prélevés à une certaine distance des arbres⁵⁸⁴. Les anacardiens ayant un houppier dense qui limite fortement la quantité de lumière parvenant au sol⁵⁸⁵, il est probable que ce soit ce facteur qui freine la croissance des plantes directement sous le houppier, plutôt que d'éventuelles propriétés allélopathiques des arbres. Un élagage ponctuel pourrait alors limiter ce phénomène de concurrence pour les ressources lumineuses.

¹⁷ Le biochar est un amendement issu de la pyrolyse de matières carbonées, tels les résidus agricoles ou forestiers.

¹⁸ Prévention de la malnutrition maternelle et infantile au cours des 1000 premiers jours de vie en milieu rural dans le département de Kaffrine

En termes d'écartements recommandés, il semble qu'un espacement de 10 à 15 mètres entre les rangées et de 10 mètres entre les arbres d'une même rangée soit optimal dans les plantations d'anacardiés^{586 587}. Les cultures intercalaires se développeraient par ailleurs convenablement sous de tels écartements. En ce qui a trait aux systèmes agroforestiers intercalaires intégrant d'autres espèces de ligneux, il ne paraît toutefois pas envisageable actuellement de présenter des recommandations techniques, faute d'études sur le sujet en contexte sénégalais.

4.4.4 AUTRES CONSIDÉRATIONS

Si l'implantation de cultures intercalaires dans les plantations d'anacardiés paraît avantageuse à de multiples égards, différents facteurs pourraient entraver la mise en place de ce système à plus large échelle. Le PADEC rapporte notamment que plusieurs producteurs semblaient réticents à l'idée de réduire la densité dans leurs plantations puisqu'ils croyaient que cela allait nuire au rendement en noix⁵⁸⁸. Des actions de sensibilisation plus soutenues seraient donc nécessaires pour permettre une adhésion plus large des communautés vis-à-vis des plantations à densité plus faible qui comportent des cultures intercalaires.

Par ailleurs, il est à noter que si les femmes sont bien intégrées aux opérations de récolte et de post-récolte dans la filière anacarde, les plantations demeurent en grande partie sous le contrôle des hommes⁵⁸⁹. Les femmes ne seraient par conséquent pas toujours en mesure de prendre part aux décisions relatives à l'organisation et à la gestion des plantations. Comme certaines cultures vivrières, notamment les cultures maraîchères, sont traditionnellement prises en charge par les femmes au Sénégal, on peut néanmoins penser qu'elles pourraient tirer certains avantages à l'établissement de systèmes agroforestiers intercalaires dans les plantations d'anacardiés.

Les jeunes feraient face à des défis similaires. Les plantations appartenant en grande majorité à des personnes plus âgées⁵⁹⁰, il est probable qu'ils aient une influence limitée sur les décisions concernant la régie des plantations. L'intégration de différentes cultures dans les plantations d'anacardiés pourrait néanmoins générer de nouvelles opportunités d'emploi pour les jeunes. Le PADEC note finalement que l'accès au foncier demeure un problème pour les femmes et les jeunes qui souhaitent s'impliquer plus activement dans la filière⁵⁹¹.

4.5 LES CULTURES EN COULOIRS

4.5.1 PRÉSENTATION

Le système des cultures en couloirs présente certaines similitudes avec le système agroforestier intercalaire. De façon générale, les rangées de ligneux y sont toutefois plus rapprochées et les arbres ou arbustes utilisés sont généralement des fixateurs d'azote. Au cours de la saison de croissance des cultures, les ligneux sont taillés, parfois à plusieurs reprises, et les émondes qui résultent de cette coupe sont appliquées au sol afin

de former un paillis riche en nutriments (particulièrement en azote) qui vise à améliorer la fertilité du sol. Au besoin, les résidus de coupe peuvent également servir de fourrage d'appoint⁵⁹². Au Sénégal, cette intervention agroforestière a surtout été testée dans les années 1980 et 1990, notamment dans le cadre des activités des réseaux AFNETA et SALWA, mais d'autres projets en ont également fait la diffusion plus récemment (voir annexe 3).

4.5.2 LES BÉNÉFICES APPORTÉS DANS UN PROCESSUS D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

La culture en couloirs présente certaines caractéristiques qui pourraient s'avérer bénéfiques dans une perspective d'adaptation aux changements climatiques. Les rangées rapprochées de ligneux génèrent d'abord un microclimat favorable pour les cultures (atténuation des températures extrêmes, réduction de la vitesse du vent et diminution du taux d'évaporation)⁵⁹³. Le paillis résultant de la taille des arbres et arbustes peut également avoir un effet protecteur sur le sol, en réduisant l'effet de battance lors de fortes pluies et en limitant l'érosion éolienne et hydrique⁵⁹⁴. Il contribue en outre à la conservation de l'humidité du sol et à la gestion des plantes adventices. Les apports en azote fournis par les arbres et arbustes pourraient aussi favoriser des hausses de rendement pour les cultures associées et ainsi limiter les dépenses requises pour l'achat de fertilisants de synthèse.

De par sa configuration spatiale et la densité d'arbres élevée qu'il comporte, le système de cultures en couloirs est toutefois susceptible d'engendrer une concurrence notable entre les cultures annuelles et les espèces ligneuses. Il semble que ce système ait généré des effets globalement négatifs sur les rendements des cultures dans divers pays présentant un climat semi-aride⁵⁹⁵. Au Sénégal, les effets de cette intervention agroforestière sur les cultures seraient mitigés. Dans le bassin arachidier et en Casamance, des recherches menées par la DRPF n'ont pas permis de conclure que ce système générerait un impact positif sur les cultures associées⁵⁹⁶. Parmi les espèces évaluées, seul le *Prosopis juliflora* aurait été bénéfique pour les cultures dans un essai mené à Thiénaba⁵⁹⁷.

D'autres essais menés sur une période de cinq ans à Nioro-du-Rip, dans le bassin arachidier, ont également fait état de résultats non concluants dans des parcelles associant des espèces comme le *Leucaena leucocephala*, le *Cassia siamea*, le *Gliricidia sepium*, l'*Albizia lebbeck* et le *Moringa oleifera* à du maïs et de l'arachide^{598 599}. Des chercheurs ont notamment avancé l'hypothèse que la faible pluviométrie prévalant dans la zone ne permettrait peut-être pas une production suffisante de biomasse ligneuse pour que cela ait un effet positif sur la fertilité du sol⁶⁰⁰. D'autres recherches menées dans la même région ont toutefois mis en lumière le fait que si le système de cultures en couloirs n'engendrait pas d'impact significatif sur le rendement de l'arachide dans les premières années de culture, il permettrait de maintenir les rendements au fil du temps alors que des baisses de productivité étaient constatées dans les parcelles témoins cultivées en monoculture⁶⁰¹.

Une étude conduite dans le bassin arachidier et en Casamance rapporte par ailleurs que le rendement du maïs cultivé dans un système de cultures en couloirs intégrant *G. sepium* aurait été supérieur à celui de parcelles de maïs en culture pure cultivées sans engrais⁶⁰². Le rendement du maïs dans le système agroforestier n'aurait toutefois équivalu qu'à 40 % de celui de parcelles de maïs dépourvues d'arbres qui bénéficiaient d'une fertilisation azotée⁶⁰³. Un autre projet de recherche mené à Kolda a permis de constater que les rendements en sorgho d'un système de cultures en couloirs dont les haies étaient composées de *G. sepium* et de *Bauhinia rufescens* étaient équivalents à ceux de parcelles pures de sorgho fertilisées avec un engrais minéral ou organique⁶⁰⁴. Judicieusement conçu et adapté aux conditions pédoclimatiques locales, un tel système pourrait donc réduire les quantités de fertilisants utilisées, voire remettre leur pertinence en question. Dans l'état actuel des connaissances, il paraît toutefois difficile de tirer des conclusions générales claires quant à l'effet de cette intervention agroforestière sur les rendements agricoles en contexte sénégalais.

4.5.3 ASPECTS TECHNIQUES

La conception d'un système de cultures en couloirs qui est susceptible de bénéficier aux communautés paysannes implique de trouver la bonne combinaison entre différents facteurs tels le choix des espèces ligneuses et des cultures, la largeur des allées, la période et la fréquence des tailles, etc.⁶⁰⁵ En ce qui a trait au choix des ligneux, Kaïre (2003) suggère de sélectionner des espèces ayant un système racinaire pivotant à croissance rapide, ainsi qu'un feuillage abondant, riche en éléments nutritifs et facilement décomposable. Des ligneux présentant une bonne réaction face à la taille et dont peuvent être extraits des produits variés sont également recommandés⁶⁰⁶. Samba et al. (2005) rapportent que le *L. leucocephala* serait l'espèce générant la plus grande biomasse (foliaire et ligneuse) parmi les espèces testées par l'ISRA, suivie du *Cajanus cajan*, de l'*Azadirachta indica*, du *C. siamea* et du *G. sepium*⁶⁰⁷. Sur certains sites, le *L. leucocephala* serait toutefois fortement apprécié par les rongeurs, ce qui peut compromettre sa croissance et sa survie, et certains paysans ont jugé que cette espèce était trop envahissante dans leurs parcelles⁶⁰⁸. Le projet CODEVAL recommande pour sa part les espèces suivantes : *L. leucocephala*, *C. cajan*, *C. siamea*, *G. sepium*, *M. oleifera*, *Sesbania rostrata* et *A. lebeck*⁶⁰⁹. Différents écartements ont été testés entre les rangées de ligneux au Sénégal (de 3 à 10 m),⁶¹⁰ mais il n'a pas été possible d'accéder aux résultats de ces essais. La documentation qui a pu être consultée ne présente pas non plus d'indications quant aux opérations de taille (période et fréquence) qui s'avèreraient plus profitables.

Certaines pistes ont été identifiées pour tenter de maximiser les bénéfices apportés par les arbres et arbustes de ce système sur le plan de la fertilité. Dans le cadre du projet CODEVAL, il a ainsi été souligné que bien que les émondes des ligneux contribuent à protéger le sol, le fait de les laisser en surface entraînerait des pertes importantes en certains éléments volatils comme l'azote. L'incorporation des émondes dans le sol pourrait éventuellement limiter de telles pertes, mais nécessiterait évidemment des investis-

sements additionnels en temps⁶¹¹. Ce mode de gestion des résidus de coupe présenterait en outre le désavantage de limiter l'effet protecteur apporté par le paillis. D'autres travaux de recherche ont également démontré que les apports en azote générés par les rangées d'arbres du système pourraient être significativement augmentés en présence de certaines bactéries fixatrices d'azote. Ndiaye (1997) a ainsi établi que l'inoculation de plants de *G. sepium* par certaines souches de *Bradyrhizobium* permettait d'accroître de façon importante leur taux de fixation d'azote, ce qui augmenterait significativement le contenu en azote des émondes appliquées au sol⁶¹².

4.5.4 AUTRES CONSIDÉRATIONS

Il est important de souligner que la taille des ligneux exigée dans le système de cultures en couloirs implique du temps et de l'énergie, et donc des besoins accrus en main-d'œuvre. Cela peut dès lors constituer un frein vis-à-vis de l'adoption de cette technique, surtout sachant que les opérations de taille doivent habituellement être effectuées en plein cœur de la saison agricole⁶¹³. Comme c'est le cas pour d'autres interventions agroforestières, il a également été noté que les paysans pouvaient être réticents à implanter ce système si la terre ne leur appartenait pas⁶¹⁴.

4.6 LES HAIES VIVES

4.6.1 PRÉSENTATION

Technique traditionnelle employée dans diverses zones de l'Afrique de l'Ouest, la haie vive est constituée d'arbres ou d'arbustes appartenant à une ou plusieurs espèces qui sont plantés en rangées afin de remplir différentes fonctions. Les haies vives dites défensives, sans doute les plus communes en Afrique de l'Ouest⁶¹⁵, visent à empêcher le bétail de pénétrer dans les espaces qui doivent être protégés, tels les périmètres maraîchers. Les haies peuvent aussi servir à des fins de délimitation foncière. Elles sont alors mises en place afin d'établir clairement les limites d'un champ ou d'une exploitation et d'affirmer une certaine appropriation de l'espace. Les haies vives sont parfois également implantées dans le but de favoriser une meilleure conservation des eaux et du sol. Ces haies dites anti-érosives sont souvent déployées sur des terrains en pente, le long des courbes de niveau. Les haies peuvent aussi être mises en place afin de fournir des produits divers tels du bois de feu ou de service, des fruits, du fourrage, des produits médicinaux, etc.⁶¹⁶ Plusieurs de ces fonctions peuvent par ailleurs être combinées dans une même haie, afin de répondre à des besoins multiples.

4.6.2 LES BÉNÉFICES APPORTÉS DANS UN PROCESSUS D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Un des principaux avantages apportés par les haies vives est le fait qu'elles protègent les parcelles cultivées des intrusions du bétail. Les animaux occasionnent en effet parfois des dégâts importants lorsqu'ils pénètrent dans les espaces cultivés. Les haies vives peuvent ainsi contribuer à réduire les pertes agricoles au champ. Durant la saison sèche,

lorsque le bétail circule librement sur le territoire, il devient en outre pratiquement impossible de cultiver quoi que ce soit dans les champs qui ne sont pas ceinturés d'une haie vive ou d'un autre type de clôture. La haie vive peut alors être utilisée pour récupérer certains espaces afin d'y implanter des cultures de contre-saison⁶¹⁷, lesquelles peuvent accroître et diversifier les revenus des communautés paysannes et renforcer leur sécurité alimentaire. Les femmes, qui sont généralement responsables des cultures maraîchères de contre-saison, pourraient particulièrement bénéficier de cette intervention agroforestière. Une étude menée dans la région de Kaolack a d'ailleurs permis de constater que les bénéfices économiques générés par cette technique pouvaient être cinq fois plus élevés pour les femmes que pour les hommes, principalement parce que les deux groupes utilisaient les haies vives à des fins différentes. Sans surprise, les femmes étaient également plus enclines à adopter les haies vives que les hommes⁶¹⁸.

Le fait d'établir des délimitations claires entre les zones cultivées et celles destinées à la pâture permettrait de plus de minimiser les tensions entre les agriculteurs et les éleveurs⁶¹⁹ (à la condition toutefois que cela ne soit pas perçu comme un acte d'appropriation du territoire de la part des premiers). Le renforcement de la cohésion sociale entre les communautés est un aspect important à considérer dans une perspective d'adaptation aux changements climatiques, le tissu social risquant d'être fragilisé dans les prochaines décennies suite à la raréfaction des ressources naturelles.

Les haies vives défensives peuvent en outre jouer un rôle clé pour protéger adéquatement les parcelles mises en défens, ce qui peut favoriser une meilleure régénération de la végétation ligneuse. Une étude conduite dans le bassin arachidier rapporte ainsi que dans des parcelles protégées par des haies vives, les paysans recensaient environ deux fois plus d'espèces ligneuses différentes que dans des parcelles témoins sans haies⁶²⁰. Dans le cadre des activités du PAGF, il a également été noté que le taux de survie de jeunes *Faidherbia albida* plantés dans des parcelles entourées de haies bien entretenues atteignait 80 %, alors qu'il était presque nul dans les parcelles auxquelles les animaux avaient accès⁶²¹. Les haies vives défensives pourraient donc contribuer au processus de restauration des parcs agroforestiers. Il faut toutefois garder à l'esprit qu'il n'est pas forcément réaliste d'avoir recours à cette technique pour assurer la protection de vastes superficies, entre autres parce que le temps requis pour entretenir les haies serait alors considérable.

Les haies vives de délimitation, qui matérialisent les limites des terres, permettent pour leur part de mieux sécuriser le patrimoine foncier des paysans et paysannes. Selon Sanoogo et al. (2000), de nombreux paysans sénégalais se servent des haies vives comme moyen de revendiquer la propriété légale de leur terre⁶²². Le fait d'avoir un accès sécurisé aux ressources foncières peut conduire les paysans à investir dans l'amélioration des terres à plus long terme, par exemple en déployant des stratégies visant une meilleure conservation du sol ou en diversifiant leurs productions avec des cultures pérennes comme les productions fruitières.

L'implantation de haies vives serait également une bonne stratégie pour limiter les phénomènes de ruissellement et d'érosion hydrique, en particulier dans les zones présentant une pente. Au Sénégal, un groupe de chercheurs a étudié pendant plusieurs années l'impact de différents dispositifs de conservation des eaux et des sols au sein d'un bassin versant situé dans le bassin arachidier. Parmi les types de dispositifs évalués, on comptait notamment une série de haies vives antiérosives, constituées de 11 espèces ligneuses différentes, qui étaient implantées le long des courbes de niveau. Les chercheurs ont notamment constaté que les haies permettaient de réduire la vitesse des eaux de ruissellement le long de la pente, ainsi que les volumes d'eau totaux ruisselés au bas de celle-ci⁶²³. Le profil hydrique du sol sous les haies et en amont de celles-ci révélait que l'eau s'infiltrait plus profondément dans ces zones que dans des zones éloignées des rangées de ligneux⁶²⁴. Les haies permettraient donc de stocker une plus grande quantité d'eau dans les paysages. De tels atouts paraissent particulièrement intéressants pour renforcer la résilience du secteur agricole face aux changements climatiques sachant qu'au cours des prochaines décennies, les pluies violentes et les épisodes de sécheresse sont amenés à se multiplier, ce qui risque d'aggraver le ruissellement et l'érosion hydrique, et d'amenuiser ultimement les réserves d'eau disponibles pour les cultures. Les chercheurs ont toutefois constaté que lors d'une année plus sèche, une grande partie de l'eau stockée dans les horizons plus profonds du sol était utilisée pour les besoins des végétaux des haies⁶²⁵. Les bénéfices que les cultures pourraient retirer des quantités d'eau stockée par ce type d'aménagement agroforestier pourraient donc être limités en période de sécheresse. Des études supplémentaires semblent nécessaires pour investiguer davantage ce phénomène. Les observations menées sur le même site de recherche ont en outre permis de noter que les haies permettaient de capturer les particules de sol emportées par les eaux de ruissellement. Un an après l'implantation des haies, l'épaisseur des dépôts retrouvés en amont de la haie a atteint en moyenne 1,8 cm et ce processus s'est poursuivi à raison de 0,5 cm/an durant les années subséquentes⁶²⁶. Le sol à proximité des haies pourrait donc être enrichi au fil des ans, alors que la rétention des particules le long des pentes pourrait limiter le phénomène de sédimentation dans les fonds de vallées.

De manière générale, les haies vives entraînent en outre la création d'un microclimat particulier. Elles permettent notamment de réduire la vitesse du vent et contribuent ainsi à limiter les dommages pouvant être occasionnés aux cultures, que ce soit face aux épisodes de vents violents qui surviennent durant la saison des pluies ou face aux vents chauds et chargés en particules de sol de la saison sèche qui peuvent avoir un effet asséchant et abrasif sur les cultures de contre-saison⁶²⁷. Le phénomène d'érosion éolienne est également diminué aux environs des haies, ce qui contribue à protéger les sols agricoles⁶²⁸. Une étude menée dans la région de Kaolack révèle d'ailleurs que la protection contre l'érosion éolienne était la principale raison incitant les paysans à adopter la technique de la haie vive⁶²⁹. Comme les haies contribuent à capturer les particules de sol transportées par le vent, elles peuvent de surcroît être utilisées pour freiner l'ensablement de certaines zones d'intérêt, comme les mares d'abreuvement pour le bétail ou les cuvettes maraîchères dans une région comme celles des Niayes⁶³⁰.

L'ombrage porté par les haies permet aussi d'abaisser les températures et de réduire l'évaporation à proximité immédiate de la haie. L'effet des haies sur les températures et l'évapotranspiration à l'échelle de la parcelle demeure toutefois incertain, le sujet ayant été très peu étudié en Afrique de l'Ouest.

Les haies vives n'ont cependant pas que des avantages. Une étude a ainsi constaté que des haies vives constituées d'*Acacia nilotica*, de *Bauhinia rufescens* et de *Ziziphus mauritiana* favorisaient la présence de nématodes phytophages sur une zone allant de 2 à 8 mètres de part et d'autre des haies⁶³¹. Une plus grande quantité de nématodes libres, des microorganismes bénéfiques, a par contre aussi été observée à proximité de ces haies. On ignore l'impact que pourraient avoir d'autres espèces ligneuses qu'on retrouve couramment dans les haies sur les différentes populations de nématodes. Par ailleurs, si les haies constitueraient un habitat favorable pour certains ravageurs comme des oiseaux granivores⁶³², leur rôle plus global dans la régulation naturelle des insectes ravageurs ne semble pas avoir été investigué.

Les haies semblent en outre avoir un effet neutre ou négatif sur les rendements agricoles. Si des recherches ont permis d'observer qu'à une distance de cinq mètres de part et d'autre des haies vives, les teneurs en matière organique, en azote, en magnésium et en potassium dans l'horizon superficiel du sol étaient plus élevées⁶³³, cette fertilité accrue des sols ne semble toutefois pas se traduire par des hausses de rendement pour les cultures adjacentes. Diatta (1994) rapporte notamment un effet neutre des haies sur le rendement de l'arachide, mais dépressif sur celui du mil cultivé à moins de deux mètres des haies⁶³⁴, alors que Sanogo (2003) fait état de baisses de rendement jusqu'à deux et dix mètres des haies, respectivement, pour l'arachide et le mil associés à certaines espèces ligneuses⁶³⁵. Un tel effet dépressif pourrait être expliqué par un phénomène de concurrence pour les ressources lumineuses et hydriques⁶³⁶, par un éventuel effet allélopathique des ligneux⁶³⁷ ou par l'accroissement des populations d'organismes pathogènes comme les nématodes à proximité des haies.

Il faut toutefois souligner que si les haies vives sont susceptibles d'entraîner des baisses de rendement pour certaines cultures qui leur sont adjacentes, elles peuvent cependant générer des hausses importantes de la production agricole annuelle totale d'une famille lorsque des cultures de contre-saison sont produites dans des parcelles protégées par des haies. L'équipe du PAGF a notamment pu constater un accroissement notable de la production alimentaire chez les familles détenant des parcelles correctement clôturées par les haies vives, ces ménages ayant alors pu cultiver des spéculations diverses durant la saison sèche, ce qui a augmenté significativement leurs revenus⁶³⁸. L'implantation de haies vives pourrait donc constituer une avenue avantageuse pour intensifier et diversifier la production agricole dans les terroirs.

4.6.3 ASPECTS TECHNIQUES À CONSIDÉRER

En fonction des buts recherchés, les haies vives peuvent comporter une ou plusieurs espèces ligneuses. Le choix de ces dernières doit bien sûr être fait sur la base de critères

pédoclimatiques, mais doit également tenir compte des traditions locales et des savoirs paysans⁶³⁹. Pour la mise en place de haies vives défensives, certaines caractéristiques s'avèrent particulièrement intéressantes. Les espèces gagnent alors à être épineuses, buissonnantes et peu appétibles, afin de former une barrière étanche et durable contre les intrusions du bétail⁶⁴⁰. Les espèces qui présentent une croissance rapide et qui peuvent être multipliées aisément devraient aussi être favorisées⁶⁴¹. L'ISRA a établi une liste permettant de guider le choix des espèces pour ce type d'aménagement dans les différentes zones agroécologiques du pays (voir tableau 3)¹⁹. En ce qui concerne les haies vives antiérosives, on rapporte que les espèces suivantes présenteraient un potentiel intéressant : le *Piliostigma reticulatum*, l'*A. nilotica*, le *Bauhinia rufescens* et le *Z. mauritiana*⁶⁴².

Tableau 3 : Espèces recommandées par l'ISRA pour les haies vives défensives dans différentes zones écologiques du Sénégal. Adapté de Samba et al. (2005)⁶⁴³.

| Zone écologique | Espèces ligneuses |
|------------------------------------|---|
| Niayes | <i>Acacia seyal</i> , <i>Acacia tortilis</i> , <i>Jatropha curcas</i> , <i>Parkinsonia aculeata</i> , <i>Ziziphus mauritiana</i> |
| Ferlo | <i>Balanites aegyptiaca</i> , <i>P. aculeata</i> , <i>Z. mauritiana</i> |
| Haute vallée du fleuve Sénégal | <i>A. tortilis raddiana</i> , <i>Bauhinia rufescens</i> , <i>P. aculeata</i> |
| Bassin arachidier (nord et centre) | <i>Acacia ataxacantha</i> , <i>Acacia laeta</i> , <i>Acacia mellifera</i> , <i>Acacia nilotica</i> var. <i>adansonii</i> , <i>Acacia senegal</i> , <i>A. tortilis raddiana</i> , <i>B. rufescens</i> , <i>J. curcas</i> , <i>P. aculeata</i> , <i>Z. mauritiana</i> |
| Bassin arachidier (sud) | <i>A. ataxacantha</i> , <i>A. laeta</i> , <i>A. mellifera</i> , <i>A. nilotica</i> var. <i>adansonii</i> , <i>A. senegal</i> , <i>A. seyal</i> , <i>B. rufescens</i> , <i>J. curcas</i> , <i>Moringa oleifera</i> , <i>Z. mauritiana</i> |
| Tambacounda (nord) | <i>Acacia macrostachya</i> , <i>B. rufescens</i> , <i>Combretum</i> spp., <i>Z. mauritiana</i> |

Ndour et al. (1999) rapportent en outre que le *Z. mauritiana*, l'*Acacia mellifera* et l'*A. nilotica* seraient plus adaptés sur les sols sablo-argileux (deck-dior) alors que l'*Acacia laeta* et l'*Acacia tortilis* donneraient de meilleurs résultats sur les sols sableux⁶⁴⁴. Il a par ailleurs été noté que contrairement au *B. rufescens* et au *Z. mauritiana*, l'*A. nilotica* ne

¹⁹ Il faut toutefois garder à l'esprit que ces espèces sont adaptées au climat actuel des différentes zones agroécologiques du pays mais que cela n'est pas garant de leur capacité d'adaptation au climat qui prévaudra dans ces mêmes zones dans le futur.

favoriserait pas la multiplication d'un type particulier de nématode phytoparasite qui attaque fréquemment les cultures au Sénégal⁶⁴⁵.

En ce qui concerne l'installation et l'entretien des haies vives, Samba (1991) note que lorsque les haies sont implantées par semis, l'application d'un paillis augmente grandement le taux de survie des plants si une période sèche survient à la suite de l'implantation⁶⁴⁶. De façon générale, Sall (2012) recommande un écartement de 0,25 à 1 mètre entre les plants et suggère de couper les haies à 50 centimètres au-dessus du sol au début de la saison sèche afin de favoriser la production de rejets vigoureux et abondants⁶⁴⁷²⁰. Durant les deux à trois premières années, les jeunes plants devraient par ailleurs être protégés par des haies mortes constituées de branches épineuses qui bloquent l'avancée du bétail⁶⁴⁸.

Un aspect crucial relatif aux haies vives défensives est le fait qu'elles ne peuvent jouer correctement leur rôle qu'à condition d'être parfaitement « étanches » face aux animaux, ce qui nécessite un entretien régulier (remplacer les jeunes plants morts, combler les trouées à l'aide de branches mortes, tailler pour densifier les haies). Dans le cadre des interventions du PAGF, la présence de trouées dans les haies aurait ainsi fait en sorte que seules 5 à 10 % des parcelles entourées de haies vives d'*Euphorbia balsamifera* auraient été adéquatement protégées contre la divagation du bétail, en dépit du fait que les haies avaient été renforcées par des fils barbelés⁶⁴⁹.

L'utilisation de fils métalliques pour consolider les haies vives paraît d'ailleurs être une pratique questionnable. Si l'octroi de ce type de matériel semble avoir motivé les communautés participant au PRECOBA à adopter la haie vive⁶⁵⁰, son efficacité réelle semble limitée⁶⁵¹. L'équipe d'intervention du PAGF a ainsi constaté que c'est surtout l'utilisation de branches mortes servant à combler les trouées des haies vives qui permettait de renforcer correctement les haies⁶⁵²²¹. Il faut en outre souligner que ce matériel est coûteux, ce qui le rend inaccessible pour la majorité des ménages⁶⁵³, et que les vols de fils barbelés peuvent être fréquents dans certaines zones⁶⁵⁴. Par ailleurs, bien que certains projets aient prévu de récupérer les fils barbelés pour les réutiliser ailleurs après quelques années, il semble que cette opération soit difficile à réaliser, en raison notamment des dommages qu'elle occasionne aux ligneux.

L'approvisionnement en matériel végétal semble aussi être une contrainte notable pour les aménagements de haies à plus grande échelle⁶⁵⁵⁶⁵⁶. Faut de semences et de bou-

²⁰ Pour des recommandations plus approfondies concernant la mise en place et l'entretien des haies vives, il peut être utile de se référer au document *Les haies vives au Sahel* (Yossi, H., Kaya, B., Traoré, C.O., Niang, A., Butare, I., Levasseur, V., & Sanogo, D. (2006). Les haies vives au Sahel : Etat des connaissances et recommandations pour la recherche et le développement. ICRAF. Occasional Paper no. 6. Repéré à https://www.formad-environnement.org/YOSSI_haies_vives_au_sahel.pdf).

²¹ Il est cependant à craindre que cette pratique ne conduise certaines personnes à ébrancher des arbres vivants, ce qui pourrait accroître les pressions sur les arbres des parcs agroforestiers.

tures en quantité suffisante, le PAGF a notamment dû restreindre fortement l'ampleur de ses activités. Le projet rapporte également que les peuplements naturels d'*Euphorbia balsamifera* ont subi des pressions excessives à la suite du prélèvement de boutures par les populations pour l'établissement de leurs haies⁶⁵⁷.

4.6.4 AUTRES CONSIDÉRATIONS

Peu d'études semblent s'être penchées sur les facteurs qui favorisent ou non l'adoption de la technique de la haie vive au Sénégal. Selon une étude effectuée dans le sud du bassin arachidier, les principales raisons ayant motivé les adoptants de la haie vive étaient la lutte contre l'érosion éolienne et la divagation du bétail, de même que la possibilité d'établir plus clairement les limites des champs. Les non-adoptants mettaient pour leur part de l'avant les contraintes liées au manque de main-d'œuvre, de superficie à cultiver, de matériel végétal ou de temps⁶⁵⁸. De manière générale, il semble que les ménages moins nombreux et qui disposent d'une superficie foncière plus limitée soient moins enclins à adopter la haie vive⁶⁵⁹.

4.7 LES HAIES BRISE-VENT

4.7.1 PRÉSENTATION

La haie brise-vent est constituée d'une ou de plusieurs rangées d'arbres ou d'arbustes se situant en bordure d'une parcelle agricole. On l'implante généralement pour le rôle protecteur qu'elle peut jouer vis-à-vis des sols et des cultures, ainsi que pour tenter de tirer profit du microclimat qu'elle génère. La haie brise-vent est une des techniques agroforestières qui a été le plus largement diffusée au Sénégal. Elle a été mise en place dans toutes les régions agroécologiques du pays, mais plus particulièrement dans le bassin arachidier, où la réduction du couvert ligneux a augmenté la vulnérabilité des sols face à l'érosion éolienne. Cette technique a aussi été promue par de multiples projets dans les Niayes, afin de compléter le dispositif visant à freiner le déplacement des dunes et l'ensablement des cuvettes maraîchères (voir la section 4.8.5 sur la fixation des dunes). Quelques projets ont également tenté d'implanter des haies brise-vent dans les périmètres irrigués de la vallée du fleuve Sénégal.

4.7.2 LES BÉNÉFICES APPORTÉS DANS UN PROCESSUS D'ADAPTATION AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Un des effets les plus notables des haies brise-vent est la modification des conditions microclimatiques qu'elles entraînent. Elles ont d'abord évidemment un impact majeur sur les vents et jouent un rôle important dans la protection des sols contre l'érosion éolienne, en particulier dans les zones où les sols sont à dominance sableuse et où le couvert végétal est fortement dégradé. Dans les Niayes, en entraînant une réduction de la vitesse des vents, les haies contribuent à limiter l'ensablement des cuvettes maraîchères⁶⁶⁰, alors que dans la zone sylvopastorale, on estime qu'en freinant la poussière transportée par le vent, elles pourraient améliorer la qualité de l'eau des mares⁶⁶¹ et

limiter le phénomène de comblement qui affecte ces dernières⁶⁶². Dans les zones touchées par la salinisation des sols, elles peuvent également contribuer à freiner le transport des cristaux de sel vers les aires adjacentes, prévenant ainsi l'expansion des zones affectées par cette problématique (Mayecor Diouf, communication personnelle, 25 juillet 2019). Les haies brise-vent jouent aussi un rôle de protection important vis-à-vis des cultures. Elles limitent notamment les déchirures du feuillage et l'abrasion causée par les particules de sable. Dans la vallée du fleuve Sénégal, on rapporte ainsi que, faute d'une protection adéquate, les bananiers, les tomates et le riz peuvent subir des dommages importants lors de vents violents⁶⁶³. Dans cette même zone, des producteurs de riz ayant adopté des haies brise-vent mentionnent aussi que ce type d'aménagement agroforestier permettrait de protéger les rizières de la verse des cultures⁶⁶⁴. On estime également qu'en raison de la réduction de la vitesse des vents qu'elles entraînent, les haies pourraient favoriser les déplacements des pollinisateurs, ce qui pourrait avoir un impact favorable sur les rendements horticoles⁶⁶⁵.

Les haies brise-vent entraîneraient par ailleurs généralement une légère hausse des températures dans les parcelles protégées, ce qui peut avoir des impacts variables en fonction des cultures et de leur stade de développement. Au Niger, une étude a ainsi noté un retard dans la période de germination d'un champ de mil cultivé à l'abri d'une haie brise-vent de neem (*Azadirachta indica*) par rapport à un champ témoin. Il semble probable que ce délai ait été causé par des températures supra-optimales pour le mil durant ce stade de développement⁶⁶⁶. Au milieu de l'hivernage, une plus forte croissance végétative aurait cependant été observée et la culture serait arrivée à maturité plus tôt dans la saison, une particularité qui pourrait s'avérer intéressante dans le cas où la saison des pluies connaîtrait une fin hâtive.

Si les haies brise-vent occasionnent habituellement une hausse du taux de l'humidité relative de l'air dans la zone qu'ils protègent des vents, leur effet sur l'évapotranspiration demeure plus incertain⁶⁶⁷. Dans le centre du bassin arachidier, on a ainsi mesuré que l'évapotranspiration dans un champ dépourvu d'arbres atteignait 2200 mm, alors qu'elle n'était que de 1850 mm à l'abri d'une haie brise-vent de *Faidherbia albida*⁶⁶⁸. Dans l'étude menée au Niger citée précédemment, une hausse de la transpiration du mil a été notée dans la zone protégée par la haie. L'équipe de recherche impliquée dans cette étude estimait qu'en conditions non irriguées, ce type d'aménagement agroforestier pourrait ne pas favoriser une conservation optimale de l'eau au sein des parcelles⁶⁶⁹.

Bien qu'on note souvent des baisses de rendement à proximité des haies brise-vent, il semble qu'elles génèrent habituellement un effet neutre ou positif sur les rendements à l'échelle de la parcelle. Près des haies, on remarque en effet fréquemment une certaine concurrence avec les ligneux pour l'accès à la lumière, à l'eau et aux nutriments²², alors

²² Ce phénomène varie toutefois selon les associations cultures-ligneux impliquées.

que les cultures situées à une plus grande distance des haies bénéficient presque exclusivement d'avantages, notamment la protection qu'elles confèrent contre les vents. Ainsi, si dans les périmètres irrigués villageois de la vallée du fleuve Sénégal on a rapporté des baisses de rendement à une distance allant jusqu'à 10 mètres des haies durant l'hivernage, une hausse totale des rendements de 23 % a été observée dans l'ensemble des parcelles protégées au cours de la contre-saison^{670 671}. Au Niger, en dépit d'une germination retardée, le rendement en mil d'une parcelle protégée par une haie aurait été similaire à celui d'une parcelle témoin⁶⁷², alors qu'à Bambey, des recherches signalent que les haies brise-vent auraient un effet neutre sur le rendement de l'arachide⁶⁷³.

Les haies brise-vent seraient également avantageuses pour les productions horticoles. Selon un chercheur de l'ISRA, « de nombreux essais ont prouvé que les brise-vent sont bénéfiques et nécessaires à la très grande majorité des plantations fruitières et maraîchères dans les zones irriguées, et d'autant plus que l'on va vers le nord du Sénégal »⁶⁷⁴. Dans la vallée du fleuve Sénégal, les rendements de différentes cultures de contre-saison (maïs, arachide, tomate, gombo, oignon) protégées par des haies brise-vent étaient généralement supérieurs ou sinon équivalents à ceux obtenus dans des parcelles non protégées⁶⁷⁵.

Un autre projet conduit dans la même zone a également permis de noter un accroissement de la hauteur et du diamètre de jeunes plants d'agrumes et de manguiers dans une parcelle entourée par une haie brise-vent périmétrale, comparativement à de jeunes fruitiers cultivés sur une parcelle témoin^{23 676}. Le melon qui avait été planté en tant que culture intercalaire parmi les arbres fruitiers a aussi connu une hausse de rendement comparativement au témoin. Les chercheurs de ce projet expliquent de tels gains par l'amélioration des conditions microclimatiques et la protection contre le bétail conférée par la haie périmétrale⁶⁷⁷.

Il faut également souligner qu'après quelques années, et dépendamment des espèces ligneuses choisies, l'entretien des haies peut générer de multiples produits (émondages pour le bétail, bois de chauffe, perches, etc.) permettant de renforcer l'autonomie des ménages agricoles et de générer des revenus non négligeables. Différentes études confirment d'ailleurs que cette technique agroforestière générerait des bénéfices notables sur le plan économique^{678 679 680 681}. Fall et al. (2002) estimaient ainsi que dans la vallée du fleuve Sénégal, le taux de rentabilité interne²⁴ d'une haie brise-vent dans des cultures de riz irrigué était de 36 %, voire de 58 % lorsque l'on considérait l'apport des produits ligneux générés par la haie⁶⁸². Dans deux villages de la même zone, des haies brise-vent associées à des cultures diverses ont généré des taux de rentabilité marginaux res-

²³ Le rendement des fruits n'a pas pu être mesuré puisque les jeunes arbres fruitiers n'étaient pas encore en âge de fructifier.

²⁴ Un indicateur financier qui permet de guider la prise de décision face à une possibilité d'investissement donnée.

pectifs de 170 % et 1213 %, avec des valeurs bondissant respectivement à 400 % et 2293 % lorsque les produits ligneux et non ligneux des haies étaient intégrés au calcul.

Sous un climat futur changeant où on peut s'attendre à des fluctuations importantes des rendements agricoles, la présence de haies brise-vent pourrait donc s'avérer précieuse pour stabiliser et éventuellement accroître les revenus des communautés paysannes. Il faut toutefois noter que malgré la rentabilité de ces aménagements, plusieurs chercheurs estiment que la plupart des ménages paysans ne disposeraient souvent pas des fonds initiaux nécessaires pour assumer les coûts liés à la mise en place de haies brise-vent sur leurs terres^{683 684}.

Si les haies brise-vent présentent de nombreux avantages, les bénéfiques qu'elles sont susceptibles d'entraîner sous les conditions climatiques futures restent néanmoins à déterminer. Sachant qu'on attend des températures plus chaudes durant les prochaines décennies, le léger accroissement thermique qu'elles occasionnent incite notamment à la prudence. La littérature scientifique ne rapporte en outre pas de consensus clair quant aux effets que les haies brise-vent engendrent en période de sécheresse. Certaines études pointent le fait que le rendement de plusieurs cultures établies à proximité de haies brise-vent serait accru durant les années plus sèches^{685 686 687}, tandis que d'autres jugent que l'effet des haies pourrait alors nuire aux cultures non irriguées⁶⁸⁸. Des études supplémentaires paraissent nécessaires pour clarifier ces éléments.

4.7.3 ASPECTS TECHNIQUES À CONSIDÉRER

Différents facteurs doivent être considérés pour que les haies brise-vent puissent générer leurs pleins bénéfices. De manière générale, on recommande d'abord d'orienter les haies perpendiculairement aux vents dominants. Au Sénégal, comme la direction des vents dominants varie selon les saisons, il peut être souhaitable d'installer de haies brise-vent périmétrales qui permettent de protéger la totalité des parcelles⁶⁸⁹. Une telle stratégie présente de plus l'avantage notable de protéger l'espace ceinturé de la divagation du bétail. En fonction des besoins, les haies peuvent en outre comporter une rangée, ce qui permet de minimiser la perte d'espace cultivable, ou plusieurs rangées, donnant ainsi la possibilité de récolter du bois de feu et du bois de service sans compromettre l'effet brise-vent.

La porosité de la haie doit également être considérée. Celle-ci dépend de plusieurs facteurs comme l'espacement entre les végétaux, la largeur des houppiers, la densité de feuillage, les coupes effectuées, etc. Une haie trop poreuse ne diminuera pas suffisamment la vitesse du vent, alors qu'un aménagement qui bloque trop sévèrement la circulation naturelle de l'air risque d'occasionner des turbulences importantes en aval de la haie, ce qui pourrait s'avérer nuisible pour les cultures. Une porosité de 40 à 50 % semble optimale^{690 691}.

Il faut également savoir qu'une haie brise-vent bien conçue est en mesure de protéger les parcelles sur une distance équivalente à 10 à 20 fois sa hauteur⁶⁹². La hauteur des

arbres à maturité déterminera donc l'étendue de la surface qui sera protégée des vents. Finalement, comme la divagation du bétail pose souvent un obstacle majeur à la survie des arbres dans les haies récemment implantées^{693 694}, il apparaît essentiel d'assurer une protection adéquate des jeunes plants jusqu'à ce qu'ils atteignent une hauteur qui les rend inaccessibles à la dent des animaux.

Les recherches menées par l'ISRA ont permis d'identifier certaines espèces ligneuses qui s'avèreraient plus adaptées dans certaines zones agroécologiques du pays²⁵ (voir tableau 4).

Tableau 4 : Espèces recommandées par l'ISRA pour les haies brise-vent dans différentes zones écologiques du Sénégal. Adapté de Samba et al. (2005)⁶⁹⁵.

| Zone écologique | Espèces ligneuses |
|------------------------------------|---|
| Niayes | <i>Acacia holosericea</i> , <i>Anacardium occidentale</i> , <i>Azadirachta indica</i> , <i>Casuarina equisetifolia</i> , <i>Eucalyptus camaldulensis</i> , <i>Melaleuca leucodendron</i> |
| Ferlo | <i>Acacia senegal</i> , <i>Balanites aegyptiaca</i> , <i>Guiera senegalensis</i> |
| Haute vallée du fleuve Sénégal | <i>A. holosericea</i> , <i>Cajanus cajan</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>Prosopis juliflora</i> |
| Bassin arachidier (nord et centre) | <i>A. holosericea</i> , <i>Acacia tumida</i> , <i>A. indica</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>P. juliflora</i> |
| Bassin arachidier (sud) | <i>A. holosericea</i> , <i>Acacia trachycarpa</i> , <i>Albizia lebbek</i> , <i>A. occidentale</i> , <i>A. indica</i> , <i>Cassia sieberiana</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>M. leucodendron</i> , <i>P. juliflora</i> |
| Tambacounda (nord) | <i>A. holosericea</i> , <i>A. occidentale</i> , <i>A. indica</i> , <i>E. camaldulensis</i> , <i>P. juliflora</i> |

En ce qui concerne l'intégration de haies brise-vent dans les périmètres irrigués villageois, différentes équipes de recherche ont noté que certaines problématiques, comme l'encombrement des canaux par les feuilles ou les racines des arbres, sont survenues du fait qu'il n'était initialement pas prévu d'intégrer des arbres dans les périmètres. Un processus de planification qui tiendrait compte dès le départ de la composante arborée

²⁵ Il faut toutefois garder à l'esprit que ces espèces sont adaptées au climat actuel des différentes zones agroécologiques du pays mais que cela n'est pas garant de leur capacité d'adaptation au climat qui prévaudra dans ces mêmes zones dans le futur.

dans les aménagements permettrait sans doute de limiter ce genre de désagréments⁶⁹⁶
697 698

4.7.4 AUTRES CONSIDÉRATIONS

Si l'implantation de haies brise-vent semble être une intervention profitable sur les plans agronomique et économique, il peut être intéressant de chercher à savoir si les bénéfices qui en sont tirés sont équitablement répartis au sein des ménages. Dans la région de Kaolack, une étude qui portait sur les aspects économiques des haies brise-vent a conduit une analyse différenciée selon le genre, laquelle a permis de constater que les avantages économiques de cette intervention agroforestière bénéficiaient environ quatre fois plus aux hommes qu'aux femmes. Cela pourrait être expliqué par le fait que dans cette zone, les haies brise-vent sont le plus souvent implantées à une certaine distance des concessions familiales, sur des terres qui sont généralement attribuées aux hommes⁶⁹⁹. D'autres analyses intégrant la dimension du genre gagneraient à être conduites pour mieux comprendre la répartition des bénéfices associés à cette technique en fonction du genre.

Certaines contraintes à l'implantation des haies ont en outre été identifiées par différents projets. La crainte qu'elles ne servent d'abri aux oiseaux granivores, insectes ravageurs et rongeurs divers est souvent un frein à l'adoption de cette technique, bien qu'il n'ait pas été clairement établi que les haies jouaient un rôle déterminant à ce niveau⁷⁰⁰⁷⁰¹, puisque d'autres soulignent qu'elles pourraient aussi héberger les prédateurs et les parasites de ces ravageurs. La perte d'espace cultivable entraînée par la présence des haies peut également générer une certaine réticence chez certains ménages paysans. Les baisses de rendement souvent observées à proximité des haies peuvent également décourager les communautés paysannes dans les premières années suivant l'implantation de l'aménagement⁷⁰²⁷⁰³. Il faut noter qu'un tel désavantage est facilement observable alors qu'on voit peut-être moins aisément de prime abord la légère hausse de rendement qu'on retrouve souvent dans la plus grande partie de la zone protégée par les haies brise-vent. Similairement, l'effet protecteur des haies contre des événements extrêmes comme des vents violents n'est pas toujours facilement perceptible, bien qu'il puisse prévenir des dommages importants.

4.8 AUTRES TYPES D'INTERVENTIONS AGROFORESTIÈRES

4.8.1 LE SYLVOPASTORALISME

Au cours des dernières décennies, différents types d'interventions agroforestières ont été mis en œuvre au Sénégal pour que les services et produits procurés par les arbres puissent bénéficier davantage aux animaux d'élevage. Il paraît aujourd'hui pertinent de voir dans quelle mesure ces initiatives pourraient permettre aux communautés pastorales et à leurs troupeaux de mieux faire face aux défis qui se profilent sur le plan climatique.

Parmi les interventions menées à travers le pays, certaines ont visé à reconstituer la strate ligneuse au sein du milieu naturel ou à enrichir cette dernière avec des espèces présentant un intérêt particulier pour le bétail. Ainsi, lors de la mise en place des unités pastorales dans le nord du pays, certaines communautés ont choisi de planter des arbres sur leur territoire, en particulier aux abords des forages où le couvert ligneux est souvent fortement dégradé. D'autres ont opté pour la mise en défens de certaines zones de pâturage afin de mieux protéger les ressources naturelles du milieu et d'accroître la disponibilité en fourrage herbacé et ligneux. Dans le cadre du projet « Gomme arabique et reboisements pastoraux », mené à partir de la fin des années 1970, différentes essences d'arbres et d'arbustes ont été plantées aux alentours d'un village de la zone sylvopastorale dans le but d'augmenter la production ligneuse fourragère⁷⁰⁴. Les résultats auraient toutefois été généralement peu concluants : malgré les coûts relativement importants associés à la mise en place et au suivi des plantations, seules les parcelles d'*A. tortilis* auraient présenté une productivité ligneuse fourragère supérieure à celle du milieu naturel. Dans ce contexte, les responsables du projet ont conclu qu'il était préférable de mieux gérer les ressources fourragères naturelles existantes plutôt que d'effectuer des plantations⁷⁰⁵. Il faut toutefois noter que le projet s'est déroulé dans une période marquée par de fortes sécheresses, ce qui a entraîné des taux de mortalité importants dans les plantations établies par ce projet.

Le projet PRECOBA a également mis en place des aménagements sylvopastoraux expérimentaux dans certaines zones de parcours du bassin arachidier. Des parcelles ont été enrichies avec des espèces ligneuses fourragères locales (notamment le *Parkinsonia aculeata*, l'*A. tortilis*, le *F. albida*, l'*Acacia senegal*, l'*Acacia trachycarpa*, l'*Acacia holoce-rica* et des *Prosopis* spp.) plantées à des écartements moyens de 7 m x 7 m (FAO, 1998). Dans certains cas, des plantes herbacées comme *Andropogon gayanus* ont également été introduites dans les parcelles. Pour maximiser le taux de survie des ligneux et favoriser l'implantation du couvert herbacé, ces espaces ont été mis en défens. En plus d'être protégées par des clôtures barbelées renforcées par des haies vives épineuses, ces zones ont été placées sous la responsabilité de comités villageois chargés de la surveillance et de l'exploitation des aménagements. En dépit de certaines problématiques (vol de clôtures, non-respect des règles instaurées par les communautés, etc.), le projet rapporte que la majorité des parcelles aménagées aurait permis d'obtenir des résultats satisfaisants et que la demande était forte dans la zone pour ce genre d'aménagement (FAO, 1998).

L'ISRA a aussi procédé à quelques essais de banques fourragères, notamment sur un site à Bambey où on rapporte que parmi les neuf espèces ligneuses testées, le *Ziziphus mauritiana*, le *Gliricidia sepium* et le *Hardwickia binata* étaient les plus performantes en termes de production de biomasse foliaire (1 à 2 t/ha selon les espèces), alors que le *Moringa oleifera* et le *Calotropis procera* étaient les moins productives⁷⁰⁶. Les résultats de cet essai indiquent également que les ligneux toléraient mieux les coupes effectuées à 50 centimètres au-dessus du sol plutôt qu'à la base du plant.

En partenariat avec des scientifiques sénégalais, l'Institut Rodale a également développé une banque fourragère dans le bassin arachidier, laquelle était constituée de rangées de graminées des genres *Panicum* et *Andropogon* et d'arbres fixateurs d'azote comme le *G. sepium* et le *Leucaena leucocephala*⁷⁰⁷. Un aménagement similaire a été testé par le projet PROGEDE au Sénégal oriental et en Casamance. Il associait des rangées de *L. leucocephala* et d'*Albizia lebeck* (4 m x 1,5 m) destinées à la production fourragère, entre lesquelles du fourrage herbacé (*A. gayanus*) ou des cultures annuelles avaient été implantées⁷⁰⁸. Il n'a toutefois pas été possible d'accéder aux résultats de ces deux dernières interventions.

Finalement, on peut souligner que l'organisation APAF expérimente actuellement un modèle de pâturage agroforestier rotatif dans le bassin arachidier. Ceinturé par une haie vive et une haie brise-vent, ce dispositif agroforestier est constitué d'un ensemble de parcelles qui sont séparées les unes des autres par des haies composées notamment d'arbres fourragers (*G. sepium*, *A. lebeck*, *L. leucocephala*), et à l'intérieur desquelles on retrouve des cultures fourragères herbacées diverses (voir figure 4). Le bétail est d'abord parqué dans une des parcelles du dispositif jusqu'à ce que la disponibilité en ressources fourragères arrive à un certain seuil, après quoi les animaux sont conduits à la parcelle suivante. Le déplacement des bêtes d'une parcelle à l'autre se poursuit de la sorte jusqu'à ce que toutes les parcelles aient été pâturées. Un tel système permettrait d'éviter le surpâturage et pourrait même favoriser la régénération des ressources fourragères de l'aire ciblée, tout en fournissant des aliments abondants et diversifiés pour le bétail. Les performances d'un tel aménagement gagneraient à être mesurées scientifiquement.

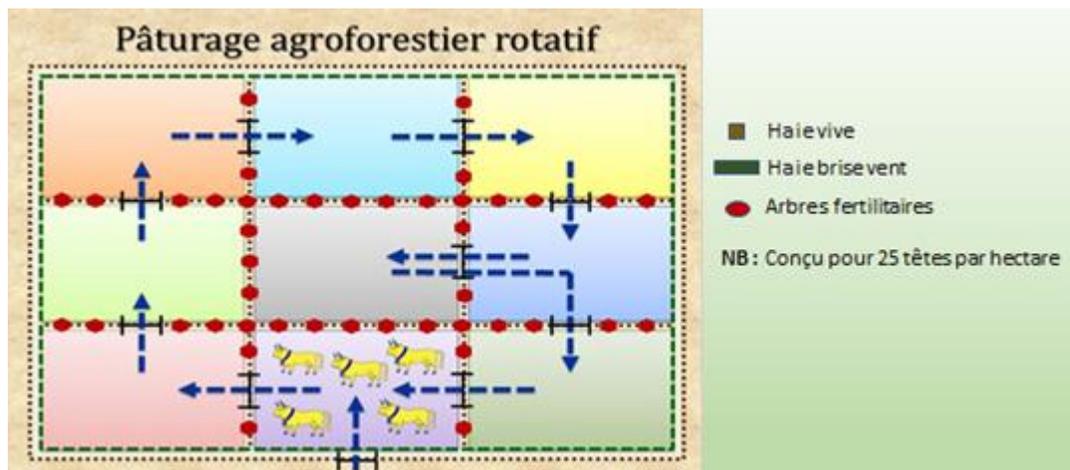


Figure 4: Schéma du modèle de pâturage agroforestier rotatif développé par l'APAF. Reproduit de APAF Sénégal (2019)⁷⁰⁹

4.8.2 LES FRUITIERS FORESTIERS

Dans les parcs agroforestiers et les champs de brousse, on retrouve souvent des arbres qu'on a qualifiés de « fruitiers forestiers », comme le baobab (*Adansonia digitata*), le jujubier (*Ziziphus mauritiana*), le « soump » (*Balanites aegyptiaca*), le « ditax » (*Detarium senegalensis*), le « madd » (*Saba senegalensis*) et le tamarinier (*Tamarindus indica*). Leurs fruits sont généralement cueillis par les femmes et les enfants et sont consommés à l'état frais ou sous forme de produits transformés (jus, fruits séchés, pâtes, etc.)⁷¹⁰. Les fruitiers forestiers jouent un rôle fort intéressant sur le plan de la sécurité alimentaire. Riches en vitamines et en micronutriments⁷¹¹, ils constituent une source alimentaire précieuse lors de la période de soudure et contribuent notamment à l'équilibre nutritionnel des enfants, qui en sont particulièrement friands⁷¹². Lors d'années de faibles productions agricoles, la vente des fruits récoltés peut en outre générer des recettes permettant d'acheter d'autres aliments ou d'engager certaines dépenses essentielles (santé, éducation, etc.)⁷¹³.

Ces arbres sont toutefois soumis à des pressions croissantes en raison de l'emploi de pratiques de cueillette parfois destructrices, mais surtout d'une intensification des prélèvements, certaines espèces faisant notamment l'objet d'une demande croissante à l'échelle nationale, voire internationale⁷¹⁴. Les conditions climatiques difficiles des dernières décennies et la divagation du bétail portent de plus atteinte à la régénération naturelle des fruitiers forestiers et comme ceux-ci sont rarement plantés par les communautés rurales, on observe depuis quelques années une raréfaction des ressources en fruits et une érosion génétique progressive de plusieurs espèces⁷¹⁵. Dans un contexte d'accroissement démographique, si l'on souhaite que les ménages paysans puissent continuer de bénéficier de ces fruits, il importe d'une part de préserver au mieux les ressources existantes, et d'autre part d'augmenter la disponibilité des fruits via différentes avenues⁷¹⁶.

Des initiatives visant la préservation des fruitiers forestiers au sein des terroirs ont donc été déployées dans certaines communautés pour assurer la durabilité des activités de cueillette. Par exemple, dans le cadre de la mise en place du village climato-intelligent de Daga Birame, dans la région de Kaffrine, la communauté villageoise a décidé de mettre en place des mesures visant à interdire la coupe et l'émondage excessif des baobabs afin de protéger les arbres existants⁷¹⁷.

En parallèle, au cours des dernières années, différents projets ont travaillé à des stratégies destinées à domestiquer les essences fruitières forestières. Une des avenues explorées a consisté à multiplier certaines espèces indigènes par propagation végétative. Des sujets présentant un potentiel appréciable, par exemple en termes de rendement ou de goût, ont notamment été identifiés par des paysans et paysannes, puis multipliés en station de recherche via des techniques simples qui sont ensuite enseignées aux communautés rurales. Le greffage est une technique de propagation particulièrement intéressante du fait qu'elle permette de raccourcir de façon substantielle le cycle de fructifi-

cation des espèces⁷¹⁸ (voir tableau 5), ce qui permet une production de fruits beaucoup plus hâtive.

L'introduction de cultivars améliorés d'espèces fruitières forestières a également été testée par certains projets de recherche. À Daga Birame, des parcelles de démonstration de fruitiers forestiers ont ainsi été mises en place afin de comparer les variétés locales de différentes espèces à des cultivars améliorés greffés. Cette initiative, qui a entraîné une forte participation féminine, a notamment permis de confirmer l'intérêt du jujubier « Gola »⁷¹⁹, un cultivar développé en Inde dont le poids total des fruits frais peut être jusqu'à 20 fois supérieur à celui des variétés sénégalaises, et qui présente de plus des qualités gustatives intéressantes⁷²⁰. Des recherches additionnelles gagneraient à être menées pour permettre l'identification de cultivars de différents fruitiers forestiers qui soient productifs, adaptés au climat sénégalais et appréciés des communautés sur le plan gustatif.

D'autres essais semblent par ailleurs indiquer que le recours à l'inoculation mycorhizienne pourrait contribuer à améliorer le taux de survie et le taux de croissance de jeunes fruitiers forestiers. Le jujubier répondrait particulièrement bien à cette technique et des chercheurs ont ainsi constaté que par rapport à des plants témoins, l'inoculation de champignons mycorhiziens permettait de pratiquement doubler la biomasse des jujubiers traités après quatre mois de plantation en pépinière, en plus d'accroître substantiellement leur taux de survie en milieu naturel⁷²¹.

Tableau 5 : Comparaison entre la durée du cycle de fructification de différentes espèces, selon qu'elles aient été greffées (cycle raccourci) ou pas (cycle naturel). Adapté de Samba et al. (2005)

| Nom de l'espèce | Cycle naturel (ans) | Cycle raccourci (ans) |
|------------------------------|---------------------|-----------------------|
| <i>Adansonia digitata</i> | 20 | 5 |
| <i>Balanites aegyptiaca</i> | 5 | 3 |
| <i>Saba senegalensis</i> | 5 | 2 |
| <i>Tamarindus indica</i> | 15 | 4 |
| <i>Zizyphus mauritiana</i> | 4 | 1 |
| <i>Detarium senegalensis</i> | 20 | 6 |

Sur le plan socioéconomique, on estime que les collectivités rurales gagneraient à ce que des chaînes de valeur mieux organisées soient développées et que des infrastructures adaptées soient mises en place pour favoriser la commercialisation des fruits à l'échelle locale, nationale et sous-régionale. Si l'exportation de volumes importants de certains fruits forestiers vers le marché international semble a priori constituer une op-

portunité économique des plus intéressantes pour le milieu rural, cette avenue devrait être envisagée avec prudence.

La marchandisation de ces fruits est en effet susceptible d'entraîner une réorganisation des arrangements fonciers au sein des terroirs, ce qui peut se faire au profit des élites locales ou d'entreprises basées à l'extérieur des communautés⁷²². Une telle appropriation de l'espace et des ressources pourrait restreindre les droits de cueillette des populations, portant ainsi atteinte à la sécurité alimentaire des ménages plus vulnérables et exacerbant les inégalités sociales au sein des collectivités⁷²³. Paradoxalement, les femmes, qui bénéficient actuellement de l'exploitation de plusieurs fruitiers forestiers, pourraient être désavantagées advenant une hausse des gains économiques pouvant être tirés de cette filière. Il a en effet été observé que lorsque des activités traditionnellement féminines deviennent plus profitables, les hommes peuvent tenter de prendre le contrôle de ces filières^{724 725}. Dans l'avenir, le développement de solides mécanismes de gouvernance des ressources naturelles et de chaînes de production éthiques paraît indispensable pour assurer la durabilité des activités de cueillette de fruits forestiers et la répartition équitable des bénéfices qui en sont tirés parmi les collectivités.

4.8.3 LA RÉHABILITATION DES SOLS SALÉS PAR LA PLANTATION DE LIGNEUX HALOPHYTES

La salinisation des terres est une contrainte importante à l'atteinte de la sécurité alimentaire en Afrique de l'Ouest. En raison notamment de son relief plat, le Sénégal est particulièrement vulnérable face à la montée des eaux océaniques et il est probable que le phénomène de salinisation s'amplifie au pays, surtout dans les régions côtières et estuariennes. Alors qu'environ 78 000 ha de terres cultivées étaient touchés par la salinisation en 2010 au Sénégal, on estime que cette superficie devrait s'accroître de plus du double à l'horizon 2050⁷²⁶, ce qui devrait augmenter la vulnérabilité de nombreuses communautés paysannes.

Les espèces ligneuses pourraient toutefois contribuer à la lutte contre la salinisation des terres. En accumulant les sels dans leurs tissus, les arbres seraient notamment en mesure d'agir comme une sorte de pompe biologique qui désaliniserait les sols, afin que ces derniers puissent être remis en culture⁷²⁷. Dans les endroits où la nappe phréatique est affleurante et a été contaminée par les eaux salées, certaines espèces ligneuses pourraient également contribuer à rabattre légèrement le niveau des eaux souterraines, prévenant ainsi la progression de l'eau salée par remontée capillaire vers les horizons superficiels du sol. Certains ligneux halophytes pourraient aussi être implantés afin de consolider les diguettes dans les milieux salés⁷²⁸. Disposés en haies brise-vent, les arbres parviendraient également à limiter la propagation des cristaux de sel qui se développent à la surface des sols et risquent de contaminer les zones adjacentes durant les épisodes de forts vents. En Casamance, certaines communautés utiliseraient en outre les coques de *Parkia biglobosa* pour désaliniser les sols dans les rizières⁷²⁹.

La plantation d'arbres et d'arbustes constituerait finalement un excellent moyen de valoriser les zones affectées par une salinisation faible à modérée. Via l'implantation de ligneux, ces aires peuvent en effet être transformées en espaces productifs destinés à la récolte de produits ligneux et non ligneux variés et au pâturage du bétail. Une expérience menée dans la région de Fatick aurait notamment donné d'excellents résultats en ce sens⁷³⁰. Le reboisement de ces zones permettrait en outre de recréer une certaine zone tampon qui protégerait les terres arables et contribuerait à stabiliser le front de salinisation⁷³¹.

Ce n'est bien entendu pas tous les ligneux qui parviennent à survivre et à prospérer en milieux salés. Une analyse des résultats obtenus par de nombreux projets ayant tenté de planter des arbres et arbustes en zones salées indique qu'au Sénégal, les espèces qui semblent les plus adaptées à ces conditions seraient les *Melaleuca* spp., les *Acacia* spp., les *Prosopis* spp., les *Eucalyptus* spp., les *Casuarina* spp. et les *Tamarix* spp.⁷³² Certains chercheurs émettent toutefois certaines réserves vis-à-vis de l'introduction d'espèces du genre *Prosopis*, en raison notamment de leur caractère envahissant⁷³³. Si les *Acacia* indigènes ne présentent généralement pas les plus hauts taux de survie dans ce type de milieu, ils semblent néanmoins fort appréciés des populations qui connaissent bien les nombreux produits qu'ils fournissent et qui peuvent en tirer des revenus intéressants⁷³⁴.

En somme, la sélection des espèces ligneuses utilisées dans la lutte contre la salinisation des sols doit se baser non seulement sur leur potentiel d'adaptation aux conditions pédo-climatiques locales (climat, salinité, acidité, conditions hydrologiques, etc.)⁷³⁷, mais également sur les préférences exprimées par les communautés. L'introduction d'espèces diversifiées semble en outre être une bonne stratégie pour favoriser la survie d'un plus grand nombre de ligneux⁷³⁸. L'inoculation des jeunes plants avec des organismes symbiotiques adaptés (bactéries fixatrices d'azote, champignons mycorhiziens, etc.) pourrait également favoriser leur survie et leur croissance en milieu salé et constituerait ainsi une avenue à considérer pour la reconstitution des écosystèmes dégradés par la salinisation⁷³⁹. Il semble que l'utilisation de certaines graminées halophytes jumelées à des champignons mycorhiziens arbusculaires et des bactéries fixatrices d'azote adaptés aux conditions salines créerait un milieu favorable à la réintroduction des arbres et pourrait accélérer le processus de réhabilitation des sols salés⁷⁴⁰.

4.8.4 LES PÉRIMÈTRES MARAÎCHERS AGROFORESTIERS

Promus par des ONG²⁶ œuvrant au Sénégal, les périmètres maraîchers agroforestiers (voir figures 5 et 6) sont en quelque sorte un amalgame de différentes techniques agroforestières. Ces périmètres comprennent des rangées d'arbres fruitiers et d'espèces

²⁶ Principalement l'Association pour la promotion des arbres fertilitaires, de l'agroforesterie et de la foresterie (APAF) et Trees for the Future.

ligneuses fixatrices d'azote, entre lesquelles des cultures maraîchères diversifiées sont cultivées. Ces parcelles sont entourées d'une haie vive et d'une haie brise-vent, deux aménagements qui incorporent des ligneux à usage multiple et qui permettent de protéger les cultures contre la divagation du bétail.

Si cette intervention semble avoir fait l'objet de peu de recherches scientifiques à ce jour, les bénéfices qu'elle est susceptible d'entraîner dans une perspective de résilience face aux changements climatiques pourraient être importants. Un des apports notables engendrés par les périmètres maraîchers agroforestiers vient du fait qu'ils génèrent un microclimat favorable pour les cultures. L'ombre partielle portée par le houppier des arbres permettrait d'abaisser les températures et de limiter l'évapotranspiration dans les périmètres⁷⁴¹, des avantages appréciables vu les hausses de températures annoncées. Les haies installées au pourtour des périmètres favoriseraient pour leur part la réduction de la vitesse du vent, contribuant ainsi à minimiser l'érosion éolienne et la dessiccation des cultures⁷⁴².

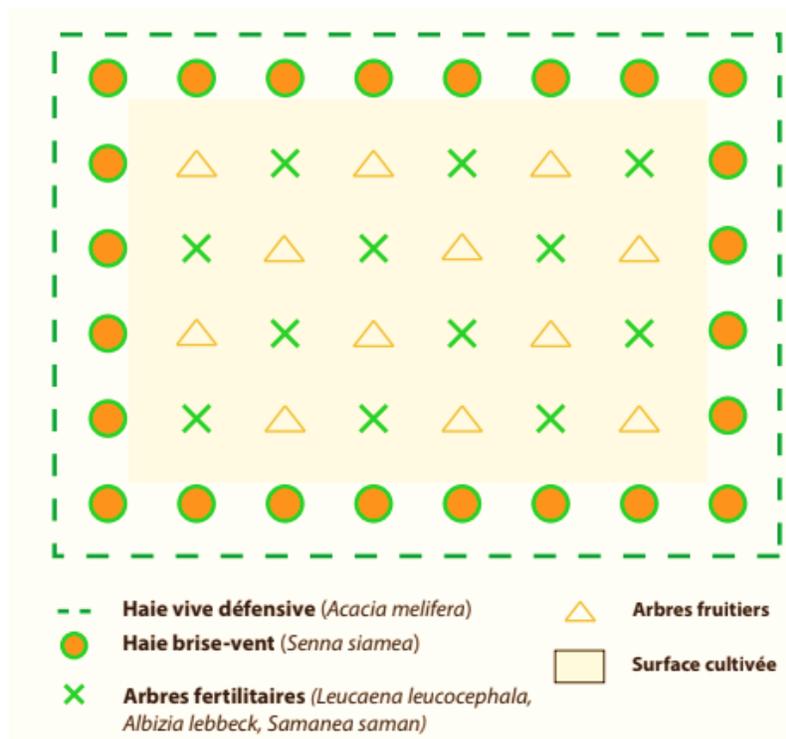


Figure 5 : Schéma d'aménagement d'un périmètre maraîcher agroforestier, tel que proposé par l'ONG APAF Sénégal. Reproduit de APAF Sénégal (2019)⁷⁴³

De plus, la litière foliaire et racinaire des arbres et arbustes du périmètre permettrait d'enrichir les sols en minéraux (particulièrement en azote), en plus d'apporter des quantités appréciables de matière organique. Le feuillage de plusieurs arbres des périmètres constituerait en outre un fourrage d'appoint pour les animaux durant la saison sèche. De plus, certains ligneux peuvent être recepés pour la production de bois de feu, ce qui

pourrait limiter les prélèvements en bois dans les parcs agroforestiers et les écosystèmes forestiers naturels⁷⁴⁴, ainsi que le temps consacré par les femmes aux activités de collecte de bois.

Les périmètres maraîchers agroforestiers présentent un potentiel notable pour renforcer la sécurité alimentaire des ménages au Sénégal, notamment en raison de leurs apports à la diversification de la diète et des sources de revenus des communautés⁷⁴⁵. La diversité des produits cultivés contribuerait à stabiliser la production agricole des ménages et à accroître leur niveau de résilience face aux risques climatiques, biologiques et économiques. Bénéficiant d'une plus grande autonomie sur le plan alimentaire, les ménages verraient leur dépendance envers les marchés réduite. Par ailleurs, comme ce sont généralement les femmes qui gèrent les activités maraîchères, ce type d'aménagement est susceptible d'accroître les bénéfices économiques que celles-ci pourraient en tirer⁷⁴⁶. Plus de recherches devraient être menées pour quantifier les bénéfices apportés par cette intervention agroforestière et identifier les contraintes et leviers associés à sa mise en œuvre.



Figure 6 : Vue aérienne de parcelles avant et durant le processus d'implantation (année 1) d'un périmètre maraîcher agroforestier mis en place par Trees for the Future, dans la région de Kaffrine. Reproduit de Zacharias (2019)⁷⁴⁷

4.8.5 LA FIXATION DES DUNES

Balayée par de forts vents dont celui de l'alizé maritime, la région des Niayes est depuis longtemps affectée par l'érosion éolienne et l'avancée des dunes littorales vers l'intérieur des terres. En contribuant à l'ensablement progressif, voire à la disparition des cuvettes interdunaires, ces deux phénomènes sont susceptibles de porter sévèrement atteinte à la pérennité des activités agricoles dans cette zone. L'État sénégalais

s'est heureusement mobilisé très tôt pour protéger les espaces agricoles de la région et au fil des décennies, avec l'appui de différents projets bilatéraux et multilatéraux, un vaste dispositif de fixation des dunes a progressivement été mis en place, la composante principale de celui-ci étant la plantation d'une bande de filaos (*Casuarina equisetifolia*) d'une largeur de 200 à 300 mètres qui s'étale sur toute la longueur de la Grande Côte⁷⁴⁸.

Les différentes interventions qui ont été menées au fil des décennies ont connu un grand succès : les dunes ont été stabilisées dans la plupart des secteurs, ce qui a permis de protéger les cuvettes maraîchères et les infrastructures⁷⁴⁹ et de dynamiser les activités agricoles dans la région. On rapporte par exemple que dans certaines zones des Niayes, la remise en culture d'aires auparavant envahies par le sable et la possibilité de cultiver sur les dunes stabilisées auraient permis de doubler, voire de tripler la superficie moyenne cultivée par ménage entre 1986 à 2006⁷⁵⁰. La mise en place des initiatives de protection aurait en outre convaincu certaines familles de revenir s'installer dans la zone⁷⁵¹.

À la base de ces différents changements se trouve le filao, espèce ligneuse pionnière capable de fixer l'azote dans le sol grâce à son association avec des bactéries du genre Frankia. Il semble en effet que le filao soit la seule espèce qui parviendrait à s'adapter aux conditions pédoclimatiques passablement hostiles qu'on retrouve à proximité immédiate des côtes dans les Niayes. Cette essence exotique a cependant une durée de vie limitée (30-40 ans)⁷⁵² et on observe depuis plusieurs années un dépérissement progressif des peuplements. Comme la régénération naturelle du filao par semis est quasi inexistante et que le potentiel de régénération par rejets de souche est faible, des actions de plantation doivent maintenant être menées pour conserver les avantages apportés par la bande forestière protectrice. Cela semble d'autant plus nécessaire sachant que dans les années futures, l'accroissement prévu de la vitesse des vents dans les zones littorales⁷⁵³ devrait rendre la zone des Niayes encore plus vulnérable face à l'érosion éolienne.

Certains scientifiques pointent en outre la nécessité d'adopter une démarche plus globale pour protéger adéquatement les cuvettes maraîchères des Niayes. Ainsi, Sanogo et al. (2018) proposent une démarche d'intervention portant sur deux échelles distinctes, soit celle du terroir et celle de la parcelle⁷⁵⁴. Dans le premier cas, l'étude recommande la mise en place des mesures suivantes : « i) la gestion intégrée de la bande de filaos; ii) les plantations de fixation sur le cordon dunaire littoral; iii) l'installation d'un réseau de brise-vent et/ou de mises en défens enrichies sur dunes semi-fixées pour réduire l'érosion éolienne et l'effet desséchant de l'harmattan ». À l'échelle de la parcelle, les scientifiques suggèrent de mieux protéger les parcelles maraîchères via la mise en place d'une haie brise-vent périmétrale, d'implanter des haies vives défensives pour lutter contre la divagation du bétail et d'assurer une gestion plus optimale de certaines espèces cactées à caractère envahissant, voire de les remplacer par différentes espèces agroforestières utiles aux communautés.

Certains intervenants estiment par ailleurs que dans les zones situées plus à l'intérieur des terres, où les conditions sont moins hostiles qu'à proximité de la côte, il serait avantageux de diversifier les espèces ligneuses implantées afin d'améliorer la résilience des peuplements⁷⁵⁵. Le choix des espèces à introduire gagnerait à être fait en partenariat avec les collectivités locales et il semble essentiel que celles-ci puissent bénéficier des différents produits fournis par les ligneux implantés, avec des règles claires et connues de tous concernant les droits d'usage.

Il apparaît finalement pertinent de mentionner que des études ont exploré différentes avenues visant à mieux valoriser les sous-produits du filao dans le secteur agricole. Des applications de bois raméal fragmenté (BRF) et de litière compostée de filao ont notamment été testées sur différentes cultures horticoles. Une étude rapporte ainsi que des apports de BRF de filao auraient exercé un effet dépressif sur des cultures de tomates durant la première année de culture (probablement en raison d'un phénomène d'immobilisation de l'azote), mais que durant la seconde année suivant l'application, le rendement des tomates aurait surpassé celui des parcelles témoin, ce qui aurait permis d'accroître les rendements totaux sur une base bisannuelle⁷⁵⁶. La même équipe de recherche a par ailleurs testé l'effet d'apports de litière de filao compostée sur le rendement des tomates et a constaté des hausses de rendement (entre + 82 % et + 132 %) durant les deux années de l'expérimentation⁷⁵⁷. Diallo et al. (2018) notent aussi une augmentation de rendement des tomates suite à des applications de litière de filao et d'un mélange de litière de filao et de *Faidherbia albida*, mais la différence n'était pas statistiquement significative⁷⁵⁸. Un mélange de compost composé de litière de filao, de fiente de poule, d'urée et de phosphogypse a également eu un effet positif sur le rendement de navets, de laitues et d'oignons, comparativement à des cultures témoins⁷⁵⁹. L'utilisation des sous-produits du filao dans le secteur agricole semble dès lors constituer une avenue intéressante pour accroître la productivité dans la zone et représente une autre manière de tirer profit des interactions entre les arbres et les cultures.

4.8.6 LES PARE-FEU VERTS

Les feux de brousse incontrôlés constituent une menace sérieuse sur l'ensemble du territoire sénégalais et peuvent notamment entraîner des dommages majeurs dans les parcs agroforestiers et les plantations forestières. Bien que le déclenchement des feux soit le plus souvent d'origine anthropique, les facteurs climatiques et biophysiques jouent un rôle important dans leur propagation et il est probable que ce phénomène soit influencé dans l'avenir par les changements climatiques. Sous un climat plus sec, la végétation herbacée pourrait être moins abondante, mais sa teneur en eau pourrait diminuer, ce qui risque d'accroître son niveau d'inflammabilité⁷⁶⁰. À l'inverse, des précipitations abondantes pourraient favoriser une baisse du risque de feux de brousse à court terme, mais permettre la croissance d'une importante quantité de biomasse, laquelle constitue par la suite un combustible de choix durant la saison sèche^{761 762 763}. Un éventuel accroissement de la force des vents pourrait également avoir un impact signifi-

catif dans la propagation des feux de brousse⁷⁶⁴. La relation entre les changements climatiques et les feux de brousse est donc complexe et marquée par l'incertitude.

Au Sénégal, différentes mesures de protection ont été mises en place au fil du temps pour faire face aux feux de brousse. Parmi celles-ci, on compte les pare-feu, de larges bandes où la végétation est régulièrement fauchée par les communautés rurales ou le Service des Eaux et Forêts, et qui permettent, en créant des zones libres de combustible, de freiner la propagation des feux. Ce type d'aménagement présente cependant le désavantage de réduire les superficies disponibles pour les cultures et requiert de plus des besoins importants en main-d'œuvre. De telles contraintes pourraient cependant être contournées via l'implantation de pare-feu « verts », au sein desquels sont plantés des arbres multi-usages qui résistent bien au feu ou qui freinent sa propagation. Si ces bandes ont souvent une largeur d'environ 20 mètres⁷⁶⁵, certains estiment qu'elles devraient avoir de 60 à 100 mètres de largeur pour éviter la propagation des brandons par le vent et les sauts de feu qui peuvent en découler⁷⁶⁶. Au Sénégal, c'est essentiellement l'anacardier (*Anacardium occidentale*) qui aurait été utilisé dans les pare-feu. Grâce à l'ombre projetée par son houppier dense, cette espèce parvient en effet à limiter la croissance de la strate herbacée sous sa canopée⁷⁶⁷, ce qui réduirait considérablement le temps nécessaire pour entretenir les bandes pare-feu. Ce type d'aménagement permettrait de plus aux communautés de tirer des bénéfices économiques notables via la production d'anacardes. Si plusieurs projets ont mis en place des pare-feu verts, principalement dans le sud du pays, aucune étude ne semble toutefois s'être penchée pour l'instant sur l'efficacité réelle de ce type d'aménagement.

5 CONCLUSION

Au cours des dernières décennies, une grande diversité de projets et d'expérimentations ont été menés en agroforesterie au Sénégal. Les connaissances qui ont été acquises au fil des années sur les différentes interventions agroforestières constituent une richesse inestimable dans laquelle on gagne assurément à puiser pour orienter les actions agroforestières futures. Par le biais du présent document, nous avons cherché à valoriser ce savoir, en mettant notamment en lumière les bénéfices que les différentes interventions agroforestières sont susceptibles d'offrir dans le processus d'adaptation du secteur agricole aux changements climatiques. Nous espérons avoir contribué à rendre ce bassin de connaissances plus accessible aux décideurs et décideuses, ainsi qu'à tous les acteurs et actrices qui s'intéressent à l'agroforesterie, et avoir ainsi renforcé leur motivation à appuyer le déploiement de cette approche sur l'ensemble du pays.

Bien qu'un nombre important de documents aient été rassemblés et analysés pour compléter le présent travail, ceux-ci ne représentent évidemment qu'une partie de ce qui a été publié en agroforesterie au Sénégal à travers les années. De manière générale, il s'est avéré plutôt difficile d'obtenir des informations détaillées sur les projets de développement qui ont eu lieu dans le pays, d'une part parce que les rapports de ces projets sont souvent destinés exclusivement aux bailleurs de fonds, et d'autre part parce que les documents auxquels il a été possible d'accéder ne faisaient parfois état que de données descriptives sur les réalisations menées plutôt que de leçons et recommandations. Il a également été relativement ardu d'avoir accès aux rapports de projets plus anciens, ceux-ci n'étant souvent pas disponibles en format numérisé. Notre analyse s'est donc davantage basée sur ce qui a été mis en œuvre et étudié au cours des deux dernières décennies et a fait une plus large part aux connaissances acquises par le biais de la recherche. Par ailleurs, bien que certains entretiens auprès d'experts et d'expertes en agroforesterie aient pu être menés dans les premiers stades du projet, les circonstances particulières qui ont prévalu par la suite²⁷ n'ont pu permettre la poursuite des entrevues initialement planifiées. Dès lors, on peut dire que notre analyse s'est appuyée presque essentiellement sur la revue documentaire effectuée.

Dans la mesure du possible, nous avons tenté, tout au long du document, de faire ressortir le potentiel des diverses interventions agroforestières à atténuer certaines des problématiques propres aux différentes zones agroécologiques du pays. Nous estimons toutefois qu'il serait malavisé, voire présomptueux de notre part d'émettre des recommandations sur les interventions spécifiques qui devraient être implantées dans chacune de ces zones. En effet, l'état de l'avancée des connaissances concernant plusieurs interventions agroforestières permet difficilement de faire des recommandations aussi ciblées. Par exemple, si la RNA et la gestion agroécologique des arbustes indigènes sont

²⁷ Pandémie de COVID-19

des interventions prometteuses qui apportent de nombreux bénéfices dans une optique de résilience accrue face aux changements climatiques, elles ne semblent pas avoir été mises en œuvre dans d'autres zones que le bassin arachidier et il serait donc nécessaire de tester ces interventions dans d'autres régions agroécologiques avant de statuer sur leur pertinence dans ces zones. D'autre part, pour être réellement efficaces et durables, les interventions agroforestières doivent impérativement s'ancrer dans le contexte socioculturel des lieux où elles sont implantées, ce qui ne saurait se faire par le biais d'une approche prescriptive. Ainsi, de nombreux projets n'ont pas été en mesure d'engendrer des changements durables, faute d'avoir œuvré en réel partenariat avec les communautés locales et d'avoir implanté des pistes de solutions qui faisaient réellement sens pour ces dernières.

Nous suggérons que les grandes orientations régionales en matière d'agroforesterie soient plutôt co-définies au travers d'un processus de consultation mené dans de multiples communautés des différentes zones agroécologiques du pays, à l'image de qui a été fait par l'initiative « Dynamique pour une transition agroécologique au Sénégal (DY-TAES) », auquel pourraient s'ajouter des forums d'échanges régionaux regroupant notamment élus et élues locaux et régionaux, gestionnaires de projets, scientifiques et personnel des ministères de l'Agriculture et des Eaux et Forêts, ainsi que différentes organisations de la société civile. C'est probablement en rassemblant les différents acteurs et actrices concernés et en intégrant pleinement les communautés paysannes dans les processus décisionnels que l'agroforesterie sera plus à même de se déployer durablement sur l'ensemble du territoire sénégalais.

REFERENCES

- ¹Olivier, A., Richard, C., Bonneville, J., & Marone, D. (2020). Contribution de l'agroforesterie à l'amélioration de la résilience de l'agriculture sénégalaise face aux impacts des changements climatiques. Groupe interdisciplinaire de recherche en agroforesterie, Université Laval. 59 p.
- ² World Bank Group. (2020). Senegal. Climate Change Knowledge Portal. Repéré à <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/senegal>
- ³ McSweeney, C., New, M., & Lizcano, G. (2010). UNDP Climate Change Country Profiles. Senegal. Repéré à <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc226561/>
- ⁴ World Bank Group. (2020). *Op. cit.*
- ⁵ *Ibid.*
- ⁶ McSweeney, C. et al. (2010). *Op. cit.*
- ⁷ World Bank Group. (2020). *Op. cit.*
- ⁸ D'Alessandro, S., Fall, A.A., Grey, G., Simpkin, S., & Wane, A. (2015). Agricultural sector risk assessment – Senegal. World Bank Group report number 96296-SN. 114 p. Repéré à <http://documents.worldbank.org/curated/en/238261468184467370/Senegal-Agricultural-sector-risk-assessment>
- ⁹ McSweeney, C. et al. (2010). *Op. cit.*
- ¹⁰ Noblet, M., Faye, A., Camara, I., Seck, A., Sadio, M., & Bah, A. (2018). État des lieux des connaissances scientifiques sur les changements climatiques pour les secteurs des ressources en eau, de l'agriculture et de la zone côtière. Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation dans les pays francophones les moins avancés d'Afrique subsaharienne. Climate Analytics GmbH. 76 p. Repéré à <https://climateanalytics.org/publications/2019/etat-des-lieux-des-connaissances-scientifiques-sur-les-changements-climatiques-pour-les-secteurs-des-ressources-en-eau-de-lagriculture-et-de-la-zone-cotiere-au-senegal/>
- ¹¹ Zamudio, A.N., & Terton, A. (2016). Review of current and planned adaptation action in Senegal. CARIAA Working Paper no. 18. CRDI & UK Aid. Repéré à <https://www.iisd.org/sites/default/files/publications/idl-55877-senegal.pdf>
- ¹² McSweeney, C. et al. (2010). *Op. cit.*
- ¹³ World Bank Group. (2020). *Op. cit.*
- ¹⁴ McSweeney, C. et al. (2010). *Op. cit.*
- ¹⁵ Sarr, A.B., & Camara, M. (2018). Simulation of the impact of climate change on peanut yield in Senegal. *International Journal of Physical Sciences*, 13(5), 79-89. Repéré à <https://doi.org/10.5897/IJPS2017.4710>
- ¹⁶ MEPN. (2010). Deuxième communication nationale du Sénégal. Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. 177 p. Repéré à http://unfccc.int/files/national_reports/non-annex_i_natcom/submitted_natcom/application/pdf/rapport_final_2010.pdf
- ¹⁷ *Ibid.*
- ¹⁸ Sarr, A.B., & Camara, M. (2018). *Op. cit.*
- ¹⁹ Sène, I.M. et al. (2006), cité dans D'Alessandro, S. et al. (2015). *Op. cit.*
- ²⁰ Daron, J.D. (2014). Regional Climate Messages: West Africa. Scientific report from the CARIAA Adaptation at Scale in Semi-Arid Regions (ASSAR) Project. 30 p. Repéré à <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/57487/IDL-57487.pdf>
- ²¹ MEPN. (2010). *Op. cit.*

- ²² MPEN. (1999), cité dans PNUD. (2010). Rapport National sur le Développement Humain. Changement climatique, sécurité alimentaire et développement humain. Sénégal. 150 p. Repéré à <http://hdr.undp.org/en/content/changement-climatique-s%C3%A9curit%C3%A9-alimentaire-et-d%C3%A9veloppement-humain>
- ²³ Sawadogo, W., Abiodun, B.J. & Okogbue, E.C. (2019). Projected changes in wind energy potential over West Africa under the global warming of 1.5 °C and above. *Theoretical and Applied Climatology*, 138, 321-333. <https://doi.org/10.1007/s00704-019-02826-8>.
- ²⁴ *Ibid.*
- ²⁵ Noblet, M. et al. (2018). *Op. cit.*
- ²⁶ Schaeffer, M., Baarsch, F., Balo, G., de Bruin, K., Calland, R., Fallasch, F. et al. (2015). Africa's Adaptation Gap 2. Technical Report. Bridging the gap – mobilising sources. AMCEN, UNEP, Climate Analytics & African Climate Finance Hub. 67 p. Repéré à <http://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/9092>
- ²⁷ Miller, D., Wasson, M., Trazska, S., Coxon, S.-K., Dinshaw, A., McGray, H. et al. (2014). Senegal climate change vulnerability assessment and options analysis. African and Latin American Resilience to Climate Change Project. USAID. 957 p. Repéré à <https://www.climatelinks.org/resources/senegal-climate-change-vulnerability-assessment-and-options-analysis>
- ²⁸ Moretti, C.L., Mattos, L.M., Calbo, A.G., & Sargent, S.A. (2010). Climate changes and potential impacts on postharvest quality of fruit and vegetable crops: A review. *Food Research International*, 43(7), 1824-1832. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.10.013>
- ²⁹ Miller, D. et al. (2014). *Op. cit.*
- ³⁰ Visser, S.M., Sterk, G., & Karssenbergh, D. (2005). Modelling water erosion in the Sahel: application of a physically based soil erosion model in a gentle sloping environment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 30, 1547-1566. doi: 10.1002/esp.1212
- ³¹ Miller, D. et al. (2014). *Op. cit.*
- ³² D'Alessandro, S. et al. (2015). *Op. cit.*
- ³³ Miller, D. et al. (2014). *Op. cit.*
- ³⁴ Noblet, M. et al. (2018). *Op. cit.*
- ³⁵ PNUD. (2010). *Op. cit.*
- ³⁶ D'Alessandro, S. et al. (2015). *Op. cit.*
- ³⁷ MEPN. (2010). *Op. cit.*
- ³⁸ PNUD. (2010). *Op. cit.*
- ³⁹ MEPN. (2010). *Op. cit.*
- ⁴⁰ PNUD. (2010). *Op. cit.*
- ⁴¹ Noblet, M. et al. (2018). *Op. cit.*
- ⁴² Organisation météorologique mondiale. (2005). Le climat et la dégradation des sols. No. 989. 34 p. Repéré à https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5097
- ⁴³ Visser, S.M. et al. (2005). *Op. cit.*
- ⁴⁴ Noblet, M. et al. (2018). *Op. cit.*
- ⁴⁵ Sawadogo, W. et al. (2019). *Op. cit.*
- ⁴⁶ Organisation météorologique mondiale. (2005). *Op. cit.*
- ⁴⁷ PNUD. (2010).
- ⁴⁸ Organisation météorologique mondiale. (2005). *Op. cit.*
- ⁴⁹ World Bank Group. (2020). *Op. cit.*

- ⁵⁰ Cotter, M., Pena-Lavander, R., de la Sauerborn, J. (2012). Understanding the present distribution of the parasitic weed *Striga hermonthica* and predicting its potential future geographic distribution in the light of climate change. *Julius-Kühn-Archiv*, 434, 630-636. doi:10.5073/jka.2012.434.082
- ⁵¹ Diakhaté, S., Badiane-Ndour, N.-Y., Founoune-Mboup, H., Diatta, S., Fall, A.F., Hernandez, R.R. et al. (2016). Impact of Simulated Drought Stress on Soil Microbiology, and Nematofauna in a Native Shrub + Millet Intercropping System in Senegal. *Open Journal of Soil Science*, 6, 189-203. Repéré à <http://dx.doi.org/10.4236/ojss.2016.612018>
- ⁵² IUCN. (2010). Renforcement des capacités de résistance du bétail au changement climatique en Afrique subsaharienne. Initiative mondiale pour un pastoralisme durable (IMPD). 64 p. Repéré à https://www.iucn.org/sites/dev/files/import/downloads/resilience_french.pdf
- ⁵³ Miller, D. et al. (2014). *Op. cit.*
- ⁵⁴ *Ibid.*
- ⁵⁵ *Ibid.*
- ⁵⁶ Niang, I., Ruppel, O.C., Abdrabo, M.A., Essel, A., Lennard, C., Padgham, J., & Urquhart, P. (2014). Africa. Dans V.R. Barros, C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir et al. (dir.), *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p.1199-1265. Repéré à https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-Chap22_FINAL.pdf
- ⁵⁷ IUCN. (2010). *Op. cit.*
- ⁵⁸ Porter, J.R., & Xie, L. (2014). Food security and food production systems. Dans: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B. et al. (dir.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York, NY, USA, p.485-533. Repéré à https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIAR5-Chap7_FINAL.pdf
- ⁵⁹ USAID. (2017). Climate change risk profile. West Africa Sahel. Regional fact sheet. 10 p. Repéré à <https://www.climatelinks.org/resources/climate-change-risk-profile-west-africa-sahel>
- ⁶⁰ Wade, C.T. (2016). *Op. cit.*
- ⁶¹ VOA Afrique. (2018). Les pluies et le manque de fourrage entraînent la mort de milliers d'animaux au Sénégal. Repéré à <https://www.voafrique.com/a/les-pluies-et-le-manque-de-fourrage-entra%C3%A9nent-la-mort-de-milliers-d-animaux-aus%C3%A9gal/4470652.html>
- ⁶² IUCN. (2010). *Op. cit.*
- ⁶³ PNUD. (2010). *Op. cit.*
- ⁶⁴ Diop, A.T., Diaw, O.T., Diémé, I., Touré, I., Sy, O., & Diémé, G. (2004). Mares de la zone sylvopastorale du Sénégal : tendances évolutives et rôle dans les stratégies de production des populations pastorales. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 57(1-2), 77-85. Repéré à <http://agritrop.cirad.fr/524015/>
- ⁶⁵ Porter, J.R., & Xie, L. (2014). *Op. cit.*
- ⁶⁶ IUCN. (2010). *Op. cit.*
- ⁶⁷ *Ibid.*
- ⁶⁸ *Ibid.*
- ⁶⁹ Miller, D. et al. (2014). *Op. cit.*

⁷⁰ *Ibid.*

⁷¹ Niang, I. et al. (2014). *Op. cit.*

⁷² Gueye, S. (2000). Étude sur les ressources forestières et les plantations forestières du Sénégal. Période 1992- 99. Projet GCP/INT/679/EC. Commission européenne et FAO. 61 p. Repéré à <http://www.fao.org/3/a-x6815f.pdf>

⁷³ FAO. (2007). Caractérisation des systèmes de production agricole au Sénégal. Document de synthèse. LADA. Centre de suivi écologique. Repéré à http://www.ntiposoftware.com/domaine_200/pdf/caractspasenegal.pdf

⁷⁴ *Ibid.*

⁷⁵ *Ibid.*

⁷⁶ Benoit-Cattin, M., & Ba, C.O. (2005). Les systèmes productifs. Dans *Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal*. ISRA, ITA et CIRAD, 129-142.

⁷⁷ D'Alessandro, S. et al. (2015). *Op. cit.*

⁷⁸ Fall, C.A. (2008). État des ressources phylogénétiques pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde. Second Rapport National du Sénégal. Ministère de l'Agriculture. FAO-WIEWS. 46 p. Repéré à http://base.dnsgb.com.ua/files/book/SoWPGR_2_38891-i/Content/Documents/Senegal.pdf

⁷⁹ Gueye, S. (2000). *Op. cit.*

⁸⁰ Diouf, D., Sougoufara, B., Neyra, M., & Lesueur, D. (2000). Le reboisement au Sénégal : Bilan des réalisations de 1993 à 1998. IRD et ISRA. 50 p. Repéré à https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/num-dakar-02/010021689.pdf

⁸¹ Gueye, S. (2000). *Op. cit.*

⁸² Fall, C.A. (2008). *Op. cit.*

⁸³ FAO. (2007). *Op. cit.*

⁸⁴ MEPN. (2010). *Op. cit.*

⁸⁵ *Ibid.*

⁸⁶ Diouf, D. et al. (2000). *Op. cit.*

⁸⁷ *Ibid.*

⁸⁸ Roquet, D. (2008). Partir pour mieux durer : la migration comme réponse à la sécheresse au Sénégal ? *Espace populations sociétés*, 1, 7-53. doi: 10.4000/eps.2374

⁸⁹ Jokkale. (s.d.). Développement local et changement climatique parole à la société civile. 50 p. Repéré à https://www.pfongue.org/IMG/pdf/synthese_-_developpement_local_et_cc_-_version_finale.pdf

⁹⁰ Gueye, S. (2000). *Op. cit.*

⁹¹ Aguiar, L.A.A. (2009). *Impact de la variabilité climatique récente sur les écosystèmes des Niayes du Sénégal entre 1950 et 2004* [thèse de doctorat, Université de Montréal]. Archipel. <https://archipel.uqam.ca/2222/>

⁹² Touré, O., & Seck, S.M. (2005). Exploitations familiales et entreprises agricoles dans la zone des Niayes au Sénégal. International Institute for Environment and Development. Programme Zones arides. Dossier no. 133. Repéré à <https://pubs.iied.org/pdfs/9551FIIED.pdf>

⁹³ *Ibid.*

⁹⁴ FAO. (2007). *Op. cit.*

⁹⁵ *Ibid.*

⁹⁶ Cissé, I., Tandia, A.A., Fall, S.T., & Diop, E.S. (2003). Usage incontrôlé des pesticides en agriculture périurbaine: cas de la zone des Niayes au Sénégal. *Cahiers Agricultures*, 12, 181-186. Repéré à <https://revues.cirad.fr/index.php/cahiers-agricultures/article/view/30390>

- ⁹⁷ Aguiar, L.A.A. (2009). *Op. cit.*
- ⁹⁸ Touré, O., & Seck, S.M. (2005). *Op. cit.*
- ⁹⁹ Diouf, D. et al. (2000). *Op. cit.*
- ¹⁰⁰ Gueye, S. (2000). *Op. cit.*
- ¹⁰¹ Touré, O., & Seck, S.M. (2005). *Op. cit.*
- ¹⁰² Diouf, D. et al. (2000). *Op. cit.*
- ¹⁰³ Cissé, I. et al. (2003). *Op. cit.*
- ¹⁰⁴ *Ibid.*
- ¹⁰⁵ Touré, O., & Seck, S.M. (2005). *Op. cit.*
- ¹⁰⁶ FAO. (2007). *Op. cit.*
- ¹⁰⁷ Aguiar, L.A.A. (2009). *Op. cit.*
- ¹⁰⁸ Touré, O., & Seck, S.M. (2005). *Op. cit.*
- ¹⁰⁹ Benoit-Cattin, M., & Ba, C.O. (2005). *Op. cit.*
- ¹¹⁰ Diouf, D. et al. (2000). *Op. cit.*
- ¹¹¹ FAO. (2007). *Op. cit.*
- ¹¹² Gueye, S. (2000). *Op. cit.*
- ¹¹³ Benoit-Cattin, M., & Ba, C.O. (2005). *Op. cit.*
- ¹¹⁴ Mbaye, M., Kane, P.A., & Baldé, M. (2014). Projet de sécurisation de l'élevage pastoral dans la région de Matam. Une contribution à l'aménagement du territoire et à la gestion participative et durable des ressources naturelles par la création des Unités Pastorales. Agronomes et vétérinaires sans frontières. 20 p. Repéré à <https://www.avsf.org/fr/posts/1657/full/les-unites-pastorales-une-contribution-a-l-amenagement-du-territoire-et-a-la-gestion-participative-et-durable-des-ressources-naturelles>
- ¹¹⁵ *Ibid.*
- ¹¹⁶ Miller, D. et al. (2014). *Op. cit.*
- ¹¹⁷ Diouf, D. et al. (2000). *Op. cit.*
- ¹¹⁸ *Ibid.*
- ¹¹⁹ Wade, C.T. (2016). Développement de l'élevage dans la zone sylvopastorale: l'apport des Unités pastorales. IED Afrique. Repéré à <http://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/470865/>
- ¹²⁰ Diouf, D. et al. (2000). *Op. cit.*
- ¹²¹ Wade, C.T. (2016). *Op. cit.*
- ¹²² Miller, D. et al. (2014). *Op. cit.*
- ¹²³ Mbaye, M. et al. (2014). *Op. cit.*
- ¹²⁴ *Ibid.*
- ¹²⁵ Wade, C.T. (2016). *Op. cit.*
- ¹²⁶ Benoit-Cattin, M., & Ba, C.O. (2005). *Op. cit.*
- ¹²⁷ Tschakert, P., & Tappan, G. (2004). The social context of carbon sequestration: considerations from a multi-scale environmental history of the Old Peanut Basin of Senegal. *Journal of Arid Environments*, 59, 535-564. doi:10.1016/j.jaridenv.2004.03.021
- ¹²⁸ *Ibid.*
- ¹²⁹ *Ibid.*
- ¹³⁰ Bignebat, C., & Sakho-Jimbira, M.S. (2014). Quelle place pour la production agricole dans un contexte de migration et diversification des activités ? Dynamique du Bassin arachidier du Sénégal. INRA Sciences Sociales. Recherches en économie et sociologie rurales. No 3-4. Repéré à <https://ageconsearch.umn.edu/record/190886/>

- ¹³¹ Benoit-Cattin, M., & Ba, C.O. (2005). *Op. cit.*
- ¹³² *Ibid.*
- ¹³³ Badji, M., Sanogo, D., & Akpo, L.E. (2014). Dynamique de la végétation ligneuse des espaces sylvo-pastoraux villageois mis en défens dans le Sud du Bassin arachidier au Sénégal. *Bois et Forêts des Tropiques*, 319(1), 43-52. Repéré à <https://doi.org/10.19182/bft2014.319.a20551>
- ¹³⁴ Dione, M., Diop, O., Dièye, P.N., & Ndao, B. (2008). Caractérisation et typologie des exploitations agricoles familiales du Sénégal. Tome 3. Bassin arachidier. ISRA. Vol. 8, no. 3. 31 p. Repéré à https://www.bameinfol.info/IMG/pdf/Expl_1._Fam_3.pdf
- ¹³⁵ FAO. (2007). *Op. cit.*
- ¹³⁶ Sène, A. (2004). Dynamique et gestion paysanne des parcs agroforestiers dans le bassin arachidier (Sénégal). Dans M. Picouet, M. Sghaier, D. Genin, A. Abaab, H. Guillaume, & M. Elloumi (dir.), *Environnement et sociétés rurales en mutation: Approches alternatives*, (185-199). IRD Éditions. doi: 10.4000/books.irdeditions.1125
- ¹³⁷ Dione, M. et al. (2008). *Op. cit.*
- ¹³⁸ FAO. (2007). *Op. cit.*
- ¹³⁹ Noblet, M. et al. (2018). *Op. cit.*
- ¹⁴⁰ *Ibid.*
- ¹⁴¹ Guèye, G., Sall, M., Dièye, P.N., Louhounghou, C.E.R., & Sy, I. (2008). Caractérisation et typologie des exploitations agricoles familiales du Sénégal. Tome 2. Sénégal Oriental et Haute Casamance. ISRA. Vol. 8, no. 4. 37 p. Repéré à https://www.bameinfol.info/IMG/pdf/Expl._Fam_2.pdf
- ¹⁴² Diouf, D. et al. (2000). *Op. cit.*
- ¹⁴³ Gueye, S. (2000). *Op. cit.*
- ¹⁴⁴ Benoit-Cattin, M., & Ba, C.O. (2005). *Op. cit.*
- ¹⁴⁵ Diouf, D. et al. (2000). *Op. cit.*
- ¹⁴⁶ *Ibid.*
- ¹⁴⁷ Gueye, S. (2000). *Op. cit.*
- ¹⁴⁸ Guèye, G. et al. (2008). *Op. cit.*
- ¹⁴⁹ Benoit-Cattin, M., & Ba, C.O. (2005). *Op. cit.*
- ¹⁵⁰ FAO. (2007). *Op. cit.*
- ¹⁵¹ Benoit-Cattin, M., & Ba, C.O. (2005). *Op. cit.*
- ¹⁵² Guèye, G. et al. (2008). *Op. cit.*
- ¹⁵³ Diouf, D. et al. (2000). *Op. cit.*
- ¹⁵⁴ Fall, C.A. (2008). *Op. cit.*
- ¹⁵⁵ Gueye, S. (2000). *Op. cit.*
- ¹⁵⁶ FAO. (2007). *Op. cit.*
- ¹⁵⁷ Diouf, D. et al. (2000). *Op. cit.*
- ¹⁵⁸ Arbonnier, M., & Gueye, B. (2010). USAID/WULA-NAFAA. Vers une stratégie de gestion des feux de brousse dans la zone d'intervention de Wula-nafaa (régions de Tambacounda, Kolda et Sédhiou). USAID et MEPN. 121 p. Repéré à https://agritrop.cirad.fr/558795/1/document_558795.pdf
- ¹⁵⁹ Jokkale. (s.d.). *Op. cit.*
- ¹⁶⁰ Benoit-Cattin, M., & Ba, C.O. (2005). *Op. cit.*
- ¹⁶¹ Diouf, D. et al. (2000). *Op. cit.*
- ¹⁶² FAO. (2007). *Op. cit.*
- ¹⁶³ Gueye, S. (2000). *Op. cit.*

¹⁶⁴ *Ibid.*

¹⁶⁵ FAO. (2007). *Op. cit.*

¹⁶⁶ Benoit-Cattin, M., & Ba, C.O. (2005). *Op. cit.*

¹⁶⁷ *Ibid.*

¹⁶⁸ INADA. (2012). Cité dans Ndiaye, S., Chaharabil, M.M., & Diatta, M. (2017). Caractérisation des plantations à base d'anacardier (*Anacardium occidentale L.*) dans le Balantacounda : Cas des communes de Kaour, Goudomp et Djibanar (Casamance/Sénégal). *European Scientific Journal*, 13(12), 242-257. doi: 10.19044/esj.2017.v13n12p242

¹⁶⁹ Benoit-Cattin, M., & Ba, C.O. (2005). *Op. cit.*

¹⁷⁰ Gueye, S. (2000). *Op. cit.*

¹⁷¹ *Ibid.*

¹⁷² FAO. (2007). *Op. cit.*

¹⁷³ Descroix, L., Djiba, S., Sané, T., & Tarciani, V. (2015). Eaux et sociétés face au changement climatique dans le bassin de la Casamance. Actes de l'Atelier scientifique et du lancement de l'initiative « Casamance : un réseau scientifique au service du développement en Casamance » du 15-17 juin 2015 à Hôtel Kadiandoumagne de Ziguinchor, Sénégal. 242 p. Repéré à <https://hal.ird.fr/ird-02157658/document>

¹⁷⁴ Jokkale. (s.d.). *Op. cit.*

¹⁷⁵ Diouf, D. et al. (2000). *Op. cit.*

¹⁷⁶ Ngom, D., Charahabil, M.M., Akpo, L.E., Camara, B., Diedhiou, M.A.A., Gomis, Z.D., & Sagna, B. (2015). Rapport final. Les Parcs agroforestiers traditionnels: Caractéristiques écologiques et influence sur la riziculture pluviale en zone post-conflit de la Basse Casamance. Université Assane Seck de Ziguinchor. UFR des Sciences et Technologie. Département d'Agroforesterie. 40 p.

¹⁷⁷ Leakey, R.R.B. (1996). Definition of agroforestry revisited. *Agroforestry Today*, 8, 5-7.

¹⁷⁸ IPCC. (2019). Summary for Policymakers. Dans P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.- O. Pörtner, D.C. Roberts, et al. (dir.), *Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Repéré à <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/summary-for-policymakers/>

¹⁷⁹ Olivier, A. et al. (2020). *Op. cit.*

¹⁸⁰ Boffa, J.-M. (2000a). Les parcs agroforestiers en Afrique de l'Ouest: Clés de la conservation et d'une gestion durable. *Unasylva* 200, 51, 11-17.

¹⁸¹ Sall, P.N. (2012). Jachères et agroforesterie. Dans A. Dia et R. Duponnois (dir.), *La Grande Muraille Verte : Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux*, (1^{ère} éd., 581-592). IRD Éditions. Repéré à <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.3324>.

¹⁸² *Ibid.*

¹⁸³ Boffa, J.-M. (2000a). *Op. cit.*

¹⁸⁴ Masse, D., Chotte, J.-L., & Scopel, E. (dir.). (2015). L'ingénierie écologique pour une agriculture durable dans les zones arides et semi-arides d'Afrique de l'Ouest. Les dossiers thématiques du CSFD, 11. Septembre 2015. CSFD/Agropolis International. 60 p. Repéré à http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers16-03/010066477.pdf

¹⁸⁵ Boffa, J.-M. (2000a). *Op. cit.*

- ¹⁸⁶ Sanogo, D., Camara, B.A., Diatta, Y., Coly, L., Diop, M., Badji, M., & Binam, J.-N. (2019). La régénération naturelle assistée dans le bassin arachidier du Sénégal, une alternative pour réduire la pauvreté en milieu rural. Dans J. Seghieri et J.-M. Harmand (dir.), *Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale : Recherche de compromis entre services d'approvisionnement et autres services écosystémiques, (175-190)*. Éditions Quae. Repéré à <https://www.quae.com/produit/1580/9782759230600/agroforesterie-et-services-ecosystemiques-en-zone-tropicale>
- ¹⁸⁷ Diatta, A.A., Ndour, N., Manga, A. Sambou, B., Faye, C.S., Diatta, L., et al. (2016). Services écosystémiques du parc agroforestier à *Cordyla pinnata* (Lepr. ex A. Rich.) Milne-Redh. dans le Sud du Bassin Arachidier (Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(6), 2511-2525.
- ¹⁸⁸ Samba, S.A.N., Faye, E., Tala, G., Hank, M., & Camire, C. (2012). *Cordyla pinnata* améliore les propriétés du sol et la productivité des cultures. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(2), 714-725. Repéré à <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v6i2.15>
- ¹⁸⁹ Masse, D. et al. (2015). *Op. cit.*
- ¹⁹⁰ Boffa, J.-M. (2000b). Les parcs agroforestiers en Afrique subsaharienne. Cahier FAO Conservation 34. 258 p.
- ¹⁹¹ Bernoux, M., & Chevallier, T. (2013). Le carbone dans les sols des zones sèches: Des fonctions multiples indispensables. Les dossiers thématiques du CSFD. N°10. Décembre 2013. CSFD/Agropolis International, Montpellier, France. 40 p. Repéré à https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers14-06/010061688.pdf
- ¹⁹² Boffa, J.-M. (2000b). *Op. cit.*
- ¹⁹³ Félix, G.F., Scholberg, J.M.S., Clermont-Dauphin, C., Cournac, L., & Tittonell, P. (2018). Enhancing agroecosystem productivity with woody perennials in semi-arid West Africa. A meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(57), 1-21. Repéré à <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0533-3>
- ¹⁹⁴ Samba, S.A.N. (2001). Effet de la litière de *Cordyla pinnata* sur les cultures : Approche expérimentale en agroforesterie. *Annals of Forest Science, Springer Verlag/EDP Sciences*, 58(1), 99-107. doi: 10.1051/forest:2001110
- ¹⁹⁵ Charreau, C., & Vidal, P. (1965), cité dans Samba, S.A.N. (2001). *Op. cit.*
- ¹⁹⁶ Sileshi, G.W. (2016). The magnitude and spatial extent of influence of *Faidherbia albida* trees on soil properties and primary productivity in drylands. *Journal of Arid Environments*, 132, 1-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.03.002>
- ¹⁹⁷ Grouzis, M., & Akpo, E. (1996). Dynamique des interactions arbre-herbre en milieu sahélien: Influence de l'arbre sur la structure et le fonctionnement de la strate herbacée. Dans C. Campa, C. Grignon, M. Gueye et S. Hamon (dir.), *L'acacia au Sénégal*, (p. 37-46). Éditions de l'Orstom. Repéré à https://books.google.ca/books?id=frwzj-_2es8C&printsec=frontcover&hl=fr#v=onepage&q&f=false
- ¹⁹⁸ Bernoux, M., & Chevallier, T. (2013). *Op. cit.*
- ¹⁹⁹ FAO. (2017). Carbone organique du sol: Une richesse invisible. 90 p. Repéré à <http://www.fao.org/3/b-i6937f.pdf>
- ²⁰⁰ Bernoux, M., & Chevallier, T. (2013). *Op. cit.*
- ²⁰¹ Marsden, C., Martin-Chave, A., Cortet, J., Hedde, M., & Capowiez, Y. (2019). How agroforestry systems influence soil fauna and their functions - a review. *Plant soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04322-4>
- ²⁰² Jung, G. (1970), cité dans Boffa, J.-M. (2000b). *Op. cit.*

- ²⁰³ Diallo, M.D., Goalbaye, T., Mahamat-Saleh, M., Sarr, P.S., Masse, D., Wood, S.A. et al. (2017). Effects of major woody species of the Senegalese Great Green Wall on N mineralization and microbial biomass in soils. *Bois et forêts des tropiques*, 333(3), 43-54. Repéré à <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:010071245>
- ²⁰⁴ Samba, S.A.N. (2001). *Op. cit.*
- ²⁰⁵ Samba, S.A.N. (1997). *Influence de Cordyla pinnata sur la fertilité d'un sol ferrugineux tropical et sur le mil et l'arachide dans un système agroforestier traditionnel au Sénégal* [thèse de doctorat, Université Laval]. 186 p.
- ²⁰⁶ Sileshi, G.W. (2016). *Op. cit.*
- ²⁰⁷ Masse, D. et al. (2015). *Op. cit.*
- ²⁰⁸ Boffa, J.-M. (2000b). *Op. cit.*
- ²⁰⁹ Ganry, F., Feller, C., Harmand, J.-M., & Guibert, H. (2001). Management of soil organic matter in semiarid Africa for annual cropping systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 61, 105-118.
- ²¹⁰ Félix, G.F. et al. (2018). *Op. cit.*
- ²¹¹ Bayala, J., & Prieto, I. (2019). Water acquisition, sharing and redistribution by roots: applications to agroforestry systems. *Plant Soil*. <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04173-z>
- ²¹² Boffa, J.-M. (2000b). *Op. cit.*
- ²¹³ Leenders, J.K., van Boxel, J.H., & Sterk, G. (2007). The Effect of Single Vegetation Elements on Wind Speed and Sediment Transport in the Sahelian Zone of Burkina Faso. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32, 1454-1474. doi: 10.1002/esp.1452
- ²¹⁴ Ganry, F. et al. (2001). *Op. cit.*
- ²¹⁵ Sène, A. (2004). *Op. cit.*
- ²¹⁶ Sileshi, G.W. (2016). *Op. cit.*
- ²¹⁷ Ganry, F. et al. (2001). *Op. cit.*
- ²¹⁸ Rouspard, O., Ferhi, A., Granier, A. Pallo, F., Depommier, D., Mallet, B. et al. (1999). Reverse phenology and dry-season water uptake by *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. in an agroforestry parkland of Sudanese west Africa. *Functional Ecology*, 13, 460-472.
- ²¹⁹ Rouspard, O. (s.d.). "Faidherbia-Flux": A long-term Collaborative Observatory on food security, GHG fluxes, ecosystem services, mitigation and adaptation in a semi-arid agro-silvopastoral ecosystem (groundnut basin in Niakhar/Sob, Senegal). Repéré à http://agraf.msem.univ-montp2.fr/img/Observatory%20Ecosystem%20Niakhar_October_2019.pdf
- ²²⁰ Loum, M., Viaud, V., Fouad, Y., Nicolas, H., & Walter, C. (2014). Retrospective and prospective dynamics of soil carbon sequestration in Sahelian agrosystems in Senegal. *Journal of Arid Environments* 100-101, 100-105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2013.10.007>
- ²²¹ *Ibid.*
- ²²² *Ibid.*
- ²²³ Samba, S.A.N. (2001). *Op. cit.*
- ²²⁴ Akpo, L.E., Goudiaby, V.A., Grouzis, M., & Le Houerou, H.N. (2005). Tree shade effects on soils and environmental factors in a Savanna of Senegal. *West African Journal of Applied Ecology*, 7(1), 41-52. doi: 10.4314/wajae.v7i1.45647
- ²²⁵ Deans, J.D., & Munro, R.C. (2004). Comparative water use by dryland trees in Parklands in Senegal. *Agroforestry Systems*, 60, 27-38.
- ²²⁶ Rouspard, O. et al. (1999). *Op. cit.*
- ²²⁷ Masse, D. et al. (2015). *Op. cit.*

- ²²⁸ Do, F., Rocheteau, A., Diagne, A.L., & Grouzis, M. (1996). Dans C. Campa, C. Grignon, M. Gueye et S. Hamon (dir.), *L'acacia au Sénégal*, (p. 63-80). Éditions de l'Orstom. Repéré à <https://books.google.ca/books?id=frwzj-2es8C&printsec=frontcover&hl=fr#v=onepage&q&f=false>
- ²²⁹ Lhote, H. (1961), cité dans Do, F. et al. (1996). *Op. cit.*
- ²³⁰ Rounsard, O. et al. (1999). *Op. cit.*
- ²³¹ Bayala, J., Sanou, J., Teklehaimanot, Z., Ouedraogo, S.J., Kalinganire, A., Coe, R., & van Noordwijk, M. (2015). Advances in knowledge of processes in soil–tree–crop interactions in parkland systems in the West African Sahel: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 205, 25-35. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2015.02.018>
- ²³² Ilstedt, U., Bargués Tobella, A., Bazié, H.R., Bayala, J., Verbeeten, E., Nyberg, G. et al. (2016). Intermediate tree cover can maximize groundwater recharge in the seasonally dry tropics. *Scientific Reports*, 6, 21930. doi:10.1038/srep21930
- ²³³ Jonsson, K. (1995), cité dans Boffa, J.-M. (2000b). *Op. cit.*
- ²³⁴ Niang, M. (1998), cité dans Boffa, J.-M. (2000b). *Op. cit.*
- ²³⁵ Bayala, J., & Prieto, I. (2019). *Op. cit.*
- ²³⁶ Boffa, J.-M. (2000b). *Op. cit.*
- ²³⁷ Ilstedt, U. et al. (2016). *Op. cit.*
- ²³⁸ Masse, D. et al. (2015). *Op. cit.*
- ²³⁹ Bayala, J., & Prieto, I. (2019). *Op. cit.*
- ²⁴⁰ *Ibid.*
- ²⁴¹ Ilstedt, U. et al. (2016). *Op. cit.*
- ²⁴² Leenders, J.K. et al. (2007). *Op. cit.*
- ²⁴³ Boffa, J.-M. (2000b). *Op. cit.*
- ²⁴⁴ *Ibid.*
- ²⁴⁵ *Ibid.*
- ²⁴⁶ Belsky, A.J., Amundson, R.G., Duxbury, J.M., Riha, S.J., Ali, A.R., & Mwonga, S.M. (1989). The Effects of Trees on Their Physical, Chemical and Biological Environments in a Semi-Arid Savanna in Kenya. *Journal of Applied Ecology*, 26(3), 1005-1024.
- ²⁴⁷ Grouzis, M., & Akpo, E. (1993), cité dans Grouzis, M., & Akpo, E. (1996). *Op. cit.*
- ²⁴⁸ Bayala, J., Sanou, J., Teklehaimanot, Z., Ouédraogo, S., Kalinganire, A., Coe, R. & Van Noordwijk, M. (2015). Advances in knowledge of processes in soil–tree–crop interactions in parkland systems in the West African Sahel: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 205. doi :10.1016/j.agee.2015.02.018.
- ²⁴⁹ Akpo, L.E. et al. (2005). *Op. cit.*
- ²⁵⁰ *Ibid.*
- ²⁵¹ Sinare, H., & Gordon, L.J. (2015). Ecosystem services from woody vegetation on agricultural lands in Sudano-Sahelian West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 200, 186-199. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2014.11.009>
- ²⁵² Dancette, C., & Poulain, J.F. (1968). Influence de l'*Acacia albida* sur les facteurs pédoclimatiques et les rendements des cultures. Institut des recherches agronomiques tropicales et des vivrières. Centre national de recherche agronomique de Bambey. 48 p. Repéré à https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers15-11/22886.pdf

- ²⁵³ Bayala, J. et al. (2013), cité dans Bayala, J., Sanou, J., Teklehaimanot, Z., Kalinganire, A., & Ouédraogo, S.J. (2014). Parklands for buffering climate risk and sustaining agricultural production in the Sahel of West Africa. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6, 28-34. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2013.10.004>
- ²⁵⁴ Rao, M.R., Singh, M.P., & Day, R. (2000). Insect pest problems in tropical agroforestry systems: Contributory factors and strategies for management. *Agroforestry Systems*, 50, 243-277.
- ²⁵⁵ *Ibid.*
- ²⁵⁶ Pumariño, L., Sileshi, G.W., Gripenberg, S., Kaartinen, R., Barrios, E., Muchaned, M.N. et al. (2015). Effects of agroforestry on pest, disease and weed control: A meta-analysis. *Basic and Applied Ecology*, 16, 573-582. <http://dx.doi.org/10.1016/j.baae.2015.08.006>
- ²⁵⁷ Masse, D. et al. (2015). *Op. cit.*
- ²⁵⁸ Soti, V., Thiaw, I., Debaly, Z.M., Sow, A., Diaw, M., Fofana, S., Diakhate, M. et al. (2019). Effect of landscape diversity and crop management on the control of the millet head miner, *Heliocheilus albipunctella* (Lepidoptera: Noctuidae) by natural enemies. *Biological Control*, 129, 115-122. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2018.10.006>
- ²⁵⁹ *Ibid.*
- ²⁶⁰ Ba, M., Bourgoïn, J., Thiaw, I., & Soti, V. (2018). Impact des modes de gestion des parcs arborés sur la dynamique des paysages agricoles, un cas d'étude au Sénégal. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne]*, 18(2). doi:10.4000/vertigo.20397
- ²⁶¹ Rouspard, O., Audebert, A., Ndour, A.P., Clermont-Dauphin, C., Agbohessou, Y., Sanou, J. et al. (2020). How far does the tree affect the crop in agroforestry? New spatial analysis methods in a *Faidherbia* parkland. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 296, 106928. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106928>
- ²⁶² Gworgwor, N. (2007), cité dans Sinare, H, & Gordon, L.J. (2015). *Op. cit.*
- ²⁶³ Bayala, J. et al. (2014). *Op. cit.*
- ²⁶⁴ *Ibid.*
- ²⁶⁵ Boffa, J.-M. (2000b). *Op. cit.*
- ²⁶⁶ Ganry, F. et al. (2001). *Op. cit.*
- ²⁶⁷ Dancette, C., & Poulain, J.F. (1968). *Op. cit.*
- ²⁶⁸ Rouspard, O. et al. (2020). *Op. cit.*
- ²⁶⁹ Louppe, D., N'dour, B., & Samba, S.A.N. (1996). Influence de *Faidherbia albida* sur l'arachide et le mil au Sénégal : Méthodologie de mesure et estimations des effets d'arbres émondés avec ou sans parcage d'animaux. Dans R. Peltier (dir.), *Les parcs à Faidherbia*, (123-140). CIRAD-Forêt.
- ²⁷⁰ *Ibid.*
- ²⁷¹ Institut de recherche pour les huiles et les oléagineux. (1966), cité dans Boffa, J.-M. (2000b). *Op. cit.*
- ²⁷² Louppe, D. et al. (1996). *Op. cit.*
- ²⁷³ Ngom, D. et al. (2015). *Op. cit.*
- ²⁷⁴ Sileshi, G.W. (2016). *Op. cit.*
- ²⁷⁵ Boffa, J.-M. (2000b). *Op. cit.*
- ²⁷⁶ Samba, S.A.N. (1997). *Op. cit.*
- ²⁷⁷ Samba, S.A.N. et al. (2012). *Op. cit.*
- ²⁷⁸ Samba, S.A.N. (1997). *Op. cit.*
- ²⁷⁹ Boffa, J.-M. (2000b). *Op. cit.*
- ²⁸⁰ Kater, L.J.M. et al. (1992), cité dans Boffa, J.-M. (2000b). *Op. cit.*

- ²⁸¹ Bakhoum, C., Samba, S.A.N., & Ndour, B. (2001). *Sterculia setigera* Del. : Effet sur les cultures. *Annals of Forest Science, Springer Verlag/EDP Sciences*, 58(2), 207-215. doi: 10.1051/forest:2001120
- ²⁸² *Ibid.*
- ²⁸³ Sall, P.N. (1996), cité dans Ngom, D. et al. (2015). *Op. cit.*
- ²⁸⁴ Sagna, B., Ngom, D., Diedhiou, M.A.A., Camara, B., Goudiaby, M., Mane, A.S., & Le Coq, Y. (2019). Importance socioéconomique des parcs agroforestiers à *Elaeis guineensis* Jacq. dans la région de Cacheu (Guinée-Bissau). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(7), 3289-3306. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i7.25>
- ²⁸⁵ Sall, P.N. (1996), cité dans Ngom, D. et al. (2015). *Op. cit.*
- ²⁸⁶ Cassou, J. et al. (1997), cité dans Boffa, J.-M. (2000b). *Op. cit.*
- ²⁸⁷ Moussa, H. (1997), cité dans Boffa, J.-M. (2000b). *Op. cit.*
- ²⁸⁸ Porter, J.R., & Xie, L. (2014). *Op. cit.*
- ²⁸⁹ Dancette, C., & Poulain, J.F. (1968). *Op. cit.*
- ²⁹⁰ Rousard, O. et al. (2020). *Op. cit.*
- ²⁹¹ Dancette, C., & Poulain, J.F. (1968). *Op. cit.*
- ²⁹² Louppe, D. et al. (1996). *Op. cit.*
- ²⁹³ Akpo, L.E., Banoïn, M., & Grouzis, M. (2003). Effet de l'arbre sur la production et la qualité fourragères de la végétation herbacée: bilan pastoral en milieu sahélien. *Revue de Médecine Vétérinaire*, 154(10), 619-628.
- ²⁹⁴ Diallo, M.D., Mahamat-Saleh, M., Goalbaye, T., Diop, L., Wade, T.I., Niang, K. et al. (2016). Chute et décomposition de la litière de cinq espèces ligneuses et leur influence sur la biomasse herbacée dans la zone Nord Ferlo du Sénégal. *Journal de la Recherche Scientifique de l'Université de Lomé*, 18(3), 1-18.
- ²⁹⁵ Akpo, L.E. et al. (2003). *Op. cit.*
- ²⁹⁶ Diop, A.T., Ickowicz, A., Diène, M., & Nzimulinda, J.C. (2009). Production laitière dans la zone sylvopastorale du Sénégal : étude des facteurs de variation et modes de gestion par les populations locales. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 62(1), 39-47.
- ²⁹⁷ Akpo, L.E. et al. (2003). *Op. cit.*
- ²⁹⁸ Akpo, L.E., & Grouzis, M. (2004). Interactions arbre/herbe en bioclimat semi-aride: influence de la pâture. *Sécheresse*, 15(3), 253-261.
- ²⁹⁹ Diallo, M.D., Ndiaye, O., Diallo, A., Saleh, M.M., Bassene, C., & Wood, S.A. (2015). Influence de la litière foliaire de cinq espèces végétales tropicales sur la diversité floristique des herbacées dans la zone du Ferlo (Sénégal). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(2), 803-814. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v9i2.20>
- ³⁰⁰ Diallo, M.D. et al. (2016). *Op. cit.*
- ³⁰¹ Akpo, L.E. et al. (2003). *Op. cit.*
- ³⁰² *Ibid.*
- ³⁰³ Sarr, O., Ngom, D., Bakhoum, A., & Akpo, L.E. (2013). Dynamique du peuplement ligneux dans un parcours agrosylvopastoral du Sénégal. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 13(2). doi: 10.4000/vertigo.14067
- ³⁰⁴ Dendoncker, M., Ngom, D., Balent, G., Ickowicz, A., & Vincke, C. (2019). Dynamique de la strate ligneuse. Dans J. Bourgoïn, C., Corniaux, L. Touré et J.-D. Cesaro (dir.), *Atlas des dynamiques observées dans le bassin de collecte de la Laiterie du Berger*, (18-19). CIRAD, ISRA, UGB, PPZS, GRET et Laiterie du Berger. 52 p. Repéré à <http://agritrop.cirad.fr/591173/>
- ³⁰⁵ Bayala, J. et al. (2015). *Op. cit.*

- ³⁰⁶ Petit, S., & Mallet, B. (2001). L'émondage d'arbres fourragers : détail d'une pratique pastorale. *Bois et Forêts des tropiques*, 270(4), 35-45. Repéré à <https://pdfs.semanticscholar.org/f202/e292fcfcfee0f930a3cfecdd24abf992ea55.pdf>
- ³⁰⁷ Le Houérou, N.H. (1980). Cité dans Akpo, L.E. et al. (2003). *Op. cit.*
- ³⁰⁸ Fall, S.T., Friot, D., Richard, D., & Guérin, H. (1994). Utilisation des ligneux fourragers dans l'alimentation des ruminants domestiques en zone sahélienne. LNERV, ISRA. 63 p. Repéré à http://intranet.isra.sn/aurifere/opac_css/docnum/V0001509.pdf
- ³⁰⁹ Ba, M. Bourgoïn, J., Thiaw, I., & Soti, V. (2018). Impact des modes de gestion des parcs arborés sur la dynamique des paysages agricoles, un cas d'étude au Sénégal. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 18(2). doi : 10.4000/vertigo.20397
- ³¹⁰ Petit, S., & Mallet, B. (2001). *Op. cit.*
- ³¹¹ Sarr, O. et al. (2013). *Op. cit.*
- ³¹² Goudiaby, M. (2013). *Les parcs agroforestiers en Basse Casamance: Contribution du Parkia biglobosa (nééré) à la réduction des risques de pauvreté des ménages de la communauté rurale de Mangagoulack, au Sénégal* [mémoire, Université Laval]. Corpus. <https://corpus.ulaval.ca/jspui/bitstream/20.500.11794/24206/1/30035.pdf>
- ³¹³ Sène, E. (1985). Arbres, production alimentaire et lutte contre la désertification. *Unasylva*, 150. Repéré à <http://www.fao.org/3/r5265f/r5265f03.htm>
- ³¹⁴ Faye, N.F., Mbodj, S., Jahel, C., Bouquet, E., & Leroux, L. (2019). Planting trees to increase food security? The case study of the groundnut basin of Senegal. *4th World Congress on Agroforestry. Agroforestry: strengthening links between science, society and policy*. Montpellier: CIRAD, INRA, World Agroforestry.
- ³¹⁵ Goudiaby, M. (2013). *Op. cit.*
- ³¹⁶ Faye, N.F. et al. (2019). *Op. cit.*
- ³¹⁷ Mbodj, S. (2019). *Les effets des arbres sur la sécurité alimentaire des ménages ruraux des zones de Niakhar et de Nioro* [mémoire, École Nationale de la Statistique et de l'Analyse Économique (ENSAE)].
- ³¹⁸ Faye, N.F. et al. (2019). *Op. cit.*
- ³¹⁹ *Ibid.*
- ³²⁰ Buchmann, C., Prehlsler, S., Hartl, A., & Vogl, C.R.(2010). The Importance of Baobab (*Adansonia digitata* L.) in Rural West African Subsistence: Suggestion of a Cautionary Approach to International Market Export of Baobab Fruits. *Ecology of Food and Nutrition*, 49(3), 145-172. doi: 10.1080/03670241003766014
- ³²¹ *Ibid.*
- ³²² Mbaye, T., Diallo, O., Ndiaye, S., Toure, I., Ngom, D. Fall, D. et al. (2018). Effet de la fréquence de coupe et de l'inoculation mycorhizienne sur la production de biomasse foliaire des plants de baobab (*Adansonia digitata*) en planche maraichère en Haute et Moyenne Casamance, Sénégal. Conférence: 2ème Doctoriales ED2DS, Université de Thiès, Sénégal. Repéré à https://www.researchgate.net/publication/327631603_Effet_de_la_frequence_de_coupe_et_de_l_inoculation_mycorhizienne_sur_la_production_de_biomasse_foliaire_des_plants_de_baobab_Adansonia_digitata_en_planche_maraichere_en_Haute_et_Moyenne_Casamance_Sene
- ³²³ Bationo, B.A., Lamien, N., Demers, N., & Kandji, S. (2009). Culture du baobab *Adansonia digitata* L. (Bombacaceae) en planche maraichère : une méthode pour simplifier sa récolte et favoriser sa propagation au Sahel. *Bois et forêts des tropiques*, 299(1), 79-86. doi:10.19182/bft2009.299.a20426
- ³²⁴ Mbaye, T. et al. (2018). *Op. cit.*

- ³²⁵ Bationo, B.A. et al. (2009). *Op. cit.*
- ³²⁶ Mbaye, T. et al. (2018). *Op. cit.*
- ³²⁷ *Ibid.*
- ³²⁸ *Ibid.*
- ³²⁹ Bationo, B.A. et al. (2009). *Op. cit.*
- ³³⁰ Rousard, O. et al. (2020). *Op. cit.*
- ³³¹ *Ibid.*
- ³³² *Ibid.*
- ³³³ Sinare, H., & Gordon, L.J. (2015). *Op. cit.*
- ³³⁴ Louppe, D. et al. (1996). *Op. cit.*
- ³³⁵ Rousard, O. et al. (2020). *Op. cit.*
- ³³⁶ Samba, S.A.N. (1997). *Op. cit.*
- ³³⁷ Bakhoum, C. et al. (2001). *Op. cit.*
- ³³⁸ Lesueur, D. (2011). Innovative Management of Acacia senegal trees to improve land productivity and Gum Arabic production in Arid and Semi Arid Sub-Saharan Africa. ACACIAGUM, newsletter No. 1, April 2011. Repéré à <https://inco-aca-ciagum.cirad.fr/content/download/1085/5724/version/1/file/ACACIAGUM%20Newsletter%20A%20pril%202011REVISED.pdf>
- ³³⁹ Fall, D., Wilson, J., Kane, A., Bakhoum, N., Ndoye, F., Sylla, E.H.S.N. et al. (2019). Importance and trees management of *Senegalia senegal* on soil fertility and yield of associated crops in northern Senegal. Dans C. Dupraz, M. Gosme et G. Lawson (dir.), *Book of Abstracts, 4th World Congress on Agroforestry. Agroforestry: strengthening links between science, society and policy*. Montpellier: CIRAD, INRA, World Agroforestry. Repéré à <http://agritrop.cirad.fr/592966/1/ID592966.pdf>
- ³⁴⁰ *Ibid.*
- ³⁴¹ Boffa, J.-M. (2000a). *Op. cit.*
- ³⁴² Gonzalez, P., Tucker, C.J., & Syc, H. (2012). Tree density and species decline in the African Sahel attributable to climate. *Journal of Arid Environments*, 78, 55-64. doi:10.1016/j.jaridenv.2011.11.001
- ³⁴³ Lericollais, A. (1989). La mort des arbres à Sob, en pays Sereer (Sénégal). Dans B. Antheaume, C. Blanc-Pamard, J.L. Chaléard, A. Dubresson, V. Lassailly-Jacob, J.-Y. Marchal et al. (dir.), *Tropiques : lieux et liens: Florilège offert à Paul Pelissier et Gilles Sautter, (187-197)*. ORSTOM. Repéré à http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/doc34-08/30676.pdf
- ³⁴⁴ Sène, A. (2004). *Op. cit.*
- ³⁴⁵ Lericollais, A. (1989). *Op. cit.*
- ³⁴⁶ Delaunay, V., Deschamps-Cottin, M., Bertaudière, V., Vila, B., Oliveau, S., dos Santos, S. et al. (2009). *Dynamique démographique et dynamique du parc agroforestier à Faidherbia albida (Del.) A. Chev. en pays Serer (Sob, Sénégal)*. 26th International Population Conference, IUSSP, septembre 2009, Marrakech, Maroc. Repéré à <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01140561/document>
- ³⁴⁷ Diatta, A.A. et al. (2016). *Op. cit.*
- ³⁴⁸ Ngom, D. et al. (2015). *Op. cit.*
- ³⁴⁹ Camara, B., Gosme, M., Ngom, D., Gomis, Z.D., Badji, M., Sanogo, D., & Dupraz, C. (2019). Ecological characterization and evolution of *Elaeis guineensis* Jacq. traditional parklands in Low-

er Casamance (Senegal). *Agroforestry Systems*, 93, 1251-1260. Repéré à <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0237-3>

³⁵⁰ Gonzalez, P. et al. (2012). *Op. cit.*

³⁵¹ Boffa, J.-M. (2000a). *Op. cit.*

³⁵² Lericollais, A. (1989). *Op. cit.*

³⁵³ Sène, A. (2004). *Op. cit.*

³⁵⁴ Ngom, D. et al. (2015). *Op. cit.*

³⁵⁵ Lericollais, A. (1989). *Op. cit.*

³⁵⁶ Sène, A. (2004). *Op. cit.*

³⁵⁷ Boffa, J.-M. (2000b). *Op. cit.*

³⁵⁸ Boffa, J.-M. (2000a). *Op. cit.*

³⁵⁹ Lericollais, A. (1989). *Op. cit.*

³⁶⁰ Sène, A. (2004). *Op. cit.*

³⁶¹ Lericollais, A. (1989). *Op. cit.*

³⁶² Boffa, J.-M. (2000a). *Op. cit.*

³⁶³ Diatta, A.A. et al. (2016). *Op. cit.*

³⁶⁴ Samaké, O., Dakouo, J.M., Kalinganire, A., Bayala, J., & Koné, B. (2011). Régénération naturelle assistée: Gestion des arbres champêtres au Sahel. ICRAF. Technical Manual No. 16. World Agroforestry Centre. Repéré à <http://fmnrhub.com.au/wp-content/uploads/2018/03/Manuel-Tech-no-16-RNA-Final-Mali.pdf>

³⁶⁵ Sène, A. (2004). *Op. cit.*

³⁶⁶ Diatta, A.A. et al. (2016). *Op. cit.*

³⁶⁷ Sacande, M., Parfondry, M., & Cicatiello, C. (2020). La restauration des terres en action contre la désertification : Manuel de restauration des terres à grande échelle pour renforcer la résilience des communautés rurales dans la Grande Muraille Verte. FAO. 92 p. Repéré à <http://www.fao.org/documents/card/fr/c/ca6932fr/>

³⁶⁸ *Ibid.*

³⁶⁹ *Ibid.*

³⁷⁰ *Ibid.*

³⁷¹ Weber, J.C. (2009). Programme for strengthening livelihood strategies in the West African Sahel through improved management and utilization of parkland agroforests. Final Report. Technical Assistance Grant 799. 2006-2009. World Agroforestry Centre. 45 p.

³⁷² Sacande, M. et al. (2020). *Op. cit.*

³⁷³ *Ibid.*

³⁷⁴ *Ibid.*

³⁷⁵ Département des recherches sur les productions forestières (DRPF). (1986). Projet gomme arabique et reboisements pastoraux (Mbiddi). Fascicule 1: Rapport technique. Fascicule 2: Rapport financier. CRDI. 49 p.

³⁷⁶ Kaïre, M. (2005). Importance de la biodiversité agroforestière dans les agrosystèmes du Bassin

arachidier du Sénégal. Dans G.O. Omany et D. Pasternak (dir.), *Sustainable Agriculture Systems for the Drylands. Proceedings of the International Symposium for Sustainable Dryland Agriculture Systems, 2-5 December 2003, Niamey, Niger*, (211-222). International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT).

³⁷⁷ Masse, D. et al. (2015). *Op. cit.*

³⁷⁸ *Ibid.*

³⁷⁹ Duponnois, R., Hadifi, M., Ndoye, I., Galiana, A., Dreyfus, B., & Prin, Y. (2010). Gestion et valorisation des ressources microbiennes des sols pour une revégétalisation durable des milieux sahéliens. Dans A. Dia et R. Duponnois (dir.), *Le projet majeur africain de la Grande Muraille Verte : concepts et mise en œuvre*, (171-182). IRD. Repéré à https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-06/010050329.pdf

³⁸⁰ Bellefontaine, R., Malagnoux, M., & Ichaou, A. (2012). Techniques forestières et innovations dans les opérations de reboisement. Dans A. Dia et R. Duponnois (dir.), *La Grande Muraille Verte : Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux*, (431-467). IRD Éditions. doi: 10.4000/books.irdeditions.3311

³⁸¹ Duponnois, R., Founoune, H., Masse, M., & Pontanier, R. (2005). Inoculation of *Acacia holosericea* with ectomycorrhizal fungi in a semiarid site in Senegal: growth response and influences on the mycorrhizal soil infectivity after 2 years plantation. *Forest Ecology and Management*, 207, 351-362.

³⁸² Duponnois, R. et al. (2007), cité dans Duponnois, R. et al. (2010). *Op. cit.*

³⁸³ Bellefontaine, R. et al. (2012). *Op. cit.*

³⁸⁴ Masse, D. et al. (2015). *Op. cit.*

³⁸⁵ Sacande, M. et al. (2020). *Op. cit.*

³⁸⁶ *Ibid.*

³⁸⁷ *Ibid.*

³⁸⁸ Ba, M. et al. (2018). *Op. cit.*

³⁸⁹ *Ibid.*

³⁹⁰ *Ibid.*

³⁹¹ *Ibid.*

³⁹² *Ibid.*

³⁹³ Samaké, O. et al. (2011). *Op. cit.*

³⁹⁴ *Ibid.*

³⁹⁵ Sanogo, D. et al. (2019). *Op. cit.*

³⁹⁶ 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. Dans Dia, A., & Duponnois, R. (dir.), *Le projet majeur africain de la Grande Muraille Verte: Concepts et mise en œuvre*. IRD Éditions. doi:10.4000/books.irdeditions.2122

³⁹⁷ Camara, B.A., Drame, M., Sanogo, D., Ngom, D., Badji, M., & Diop, M. (2017). La régénération naturelle assistée: perceptions paysannes et effets agro-écologiques sur le rendement du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) dans le bassin arachidier au Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, 112, 11025-11034. Repéré à <https://www.ajol.info/index.php/jab/article/view/156134>

³⁹⁸ *Ibid.*

³⁹⁹ Australian Aid & World Vision. (2012). End of project evaluation. Senegal Food and Livelihood Enhancement Initiatives (SFLEI). 105 p. Repéré à <http://fmnrhub.com.au/wp-content/uploads/2013/09/SFLEI-End-project-evaluation-FINAL.pdf>

⁴⁰⁰ Botoni, E. et al. (2010). *Op. cit.*

⁴⁰¹ Australian Aid & World Vision. (2012). *Op. cit.*

⁴⁰² Botoni, E. et al. (2010). *Op. cit.*

⁴⁰³ Camara, B.A. et al. (2017). *Op. cit.*

⁴⁰⁴ Australian Aid & World Vision. (2012). *Op. cit.*

⁴⁰⁵ *Ibid.*

- ⁴⁰⁶ Camara, B.A. et al. (2017). *Op. cit.*
- ⁴⁰⁷ Sanogo, D. et al. (2019). *Op. cit.*
- ⁴⁰⁸ Sène, J.M.W., & Mbaye, G. (2019). Situation de référence du programme « Les communautés reverdissent le Sahel » dans les communes de Diouroup et Koussanar. Rapport d'études. Enda Pronat. 74 p. Repéré à http://www.endapronat.org/wp-content/uploads/2019/09/Etude-situaton-de-re%CC%81fe%CC%81rence-Enda-Pronat_09032019Final-.pdf
- ⁴⁰⁹ Camara, B.A. et al. (2017). *Op. cit.*
- ⁴¹⁰ ISRA. (2011), cité dans Australian Aid & World Vision. (2012). *Op. cit.*
- ⁴¹¹ Sanogo, D. et al. (2019). *Op. cit.*
- ⁴¹² Botoni, E. et al. (2010). *Op. cit.*
- ⁴¹³ Sène, J.M.W., & Mbaye, G. (2019). *Op. cit.*
- ⁴¹⁴ Sanogo, D. et al. (2019). *Op. cit.*
- ⁴¹⁵ Camara, B.A. et al. (2017). *Op. cit.*
- ⁴¹⁶ Sanogo, D., et al. (2019). *Op. cit.*
- ⁴¹⁷ Botoni, E. et al. (2010). *Op. cit.*
- ⁴¹⁸ Australian Aid & World Vision. (2012). *Op. cit.*
- ⁴¹⁹ Botoni, E. et al. (2010). *Op. cit.*
- ⁴²⁰ Australian Aid & World Vision. (2012). *Op. cit.*
- ⁴²¹ Sanogo, D., et al. (2019). *Op. cit.*
- ⁴²² Australian Aid & World Vision. (2012). *Op. cit.*
- ⁴²³ World Vision Australia. (2019). Senegal: Beylene Sen Tol. FMNR projects. Repéré à <https://fmnrhub.com.au/projects/senegal-beylene-sen-tol/#.Xs1jO2hKjIU>
- ⁴²⁴ Botoni, E. et al. (2010). *Op. cit.*
- ⁴²⁵ Australian Aid & World Vision. (2012). *Op. cit.*
- ⁴²⁶ *Ibid.*
- ⁴²⁷ Australian Aid & World Vision. (2012). *Op. cit.*
- ⁴²⁸ World Vision Australia. (2019). *Op. cit.*
- ⁴²⁹ Centre FoReT. (2016). Guide pratique: Lutte contre la dégradation des terres et leur valorisation. Projet CODEVAL. Ministère de l'Environnement et du Développement Durable.
- ⁴³⁰ Sanogo, D. et al. (2019). *Op. cit.*
- ⁴³¹ *Ibid.*
- ⁴³² World Vision. (2019). Senegal Beysatol project. Repéré à <https://fmnrhub.com.au/projects/senegal/#.X1fdXXIKjIU>
- ⁴³³ *Ibid.*
- ⁴³⁴ Camara, B.A. et al. (2017). *Op. cit.*
- ⁴³⁵ Ndiaye Cissé, M.F. (2018). Développement de technologies microbiennes pour la restauration de la fertilité des sols du bassin arachidier et l'augmentation des rendements du mil et sorgho. Rapport final. ISRA et ISFAR. 29 p.
- ⁴³⁶ Camara, B.A. et al. (2017). *Op. cit.*
- ⁴³⁷ Ndiaye Cissé, M.F. (2018).
- ⁴³⁸ World Vision. (2019). *Op. cit.*
- ⁴³⁹ Australian Aid & World Vision. (2012). *Op. cit.*
- ⁴⁴⁰ *Ibid.*
- ⁴⁴¹ Sanogo, D. et al. (2019). *Op. cit.*
- ⁴⁴² World Vision. (2019). *Op. cit.*
- ⁴⁴³ Sanogo, D. et al. (2019). *Op. cit.*

- ⁴⁴⁴ Australian Aid & World Vision. (2012). *Op. cit.*
- ⁴⁴⁵ Groupe Travail Désertification. (s.d.). Les communautés reverdissent le Sahel. Repéré à <http://www.gtdesertification.org/Projets/Les-communautés-ververdissent-le-Sahel>
- ⁴⁴⁶ World Vision. (2019). *Op. cit.*
- ⁴⁴⁷ Touré, O., & Sylla, I. (s.d.). Étude de faisabilité. Partenariat pour la transition agroécologique. Rapport final. Enda Pronat. 35 p. Repéré à http://www.endapronat.org/wp-content/uploads/2019/06/RAPPORT-ETUDE-TAE_Enda-Pronat_Version-finale-1.pdf?fbclid=IwAR1FOSejtA1C9WP-khNWZMcOlhJGbVcz3e5nzO9i4iTj5Qun-PbBeeRf8hA
- ⁴⁴⁸ Australian Aid & World Vision. (2012). *Op. cit.*
- ⁴⁴⁹ *Ibid.*
- ⁴⁵⁰ Diatta, M., Albergel, J., Perez, P., Faye, E., Séne, M., & Grouzis, M. (s.d.). Efficacité de la mise en défens testée dans l'aménagement d'un petit bassin versant de Thyssé Kaymor (Sénégal). Repéré à <http://www.fao.org/tempref/docrep/nonfao/lead/x6208f/x6208f00.pdf>
- ⁴⁵¹ Projet Autopromotion et gestion des ressources naturelles au Sine Saloum (PAGERNA). (2003). Capitalisation des acquis du PAGERNA dans le domaine de la réhabilitation du couvert végétal et de l'habitat de la faune sauvage. MEPN et GTZ. 25 p. Repéré à <https://www.doc-developpement-durable.org/file/Arbres-Bois-de-Rapport-Reforestation/theses-me-moires/Capitalisation%20des%20acquis%20du%20projet%20PAGERNA%20dans%20le%20domaine%20de%20la%20r%C3%A9habilitation%20du%20couvert%20v%C3%A9g%C3%A9tal.pdf>
- ⁴⁵² *Ibid.*
- ⁴⁵³ Projet d'aménagement des forêts et de gestion de terroirs villageois du Walo (PROWALO). (1996). Rapport de la mission d'évaluation tripartite à mi-parcours. FAO. Repéré à <http://www.fao.org/3/x5640f/x5640f00.htm#Contents>
- ⁴⁵⁴ PAGERNA. (2003). *Op. cit.*
- ⁴⁵⁵ Albergel, J., Diatta, M., Grouzis, M., Perez, M., & Sène, M. (1995). Réhabilitation d'un écosystème semi-aride au Sénégal par l'aménagement des éléments de paysage. Dans R. Pontanier, A. M'Hiri, N. Akrimi, J. Aronson et E. Le Floch (dir.) *L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait?* (293-306). Congrès International sur la Restauration des Terres Dégradées, des Zones Arides et Semi-Arides, Tunis, 1994/11/14-19. ISBN 2-7420-01018. Repéré à http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers10-09/010004783.pdf
- ⁴⁵⁶ Diouf, D. et al. (2000). *Op. cit.*
- ⁴⁵⁷ Albergel, J. et al. (1995). *Op. cit.*
- ⁴⁵⁸ Badji, M. et al. (2014). *Op. cit.*
- ⁴⁵⁹ PAGERNA. (2003). *Op. cit.*
- ⁴⁶⁰ PAGERNA. (2003). *Op. cit.*
- ⁴⁶¹ *Ibid.*
- ⁴⁶² André, D., Kaisin, É., & Bjorkdhal, G. (s.d.). Mise en défens sylvo-pastorale pour la régénération de l'*Acacia tortilis* (f.) Hayne ssp. raddiana. Les résultats de 10 ans de protection par un agro-pasteur de Thiambène Till. 14 p. Repéré à <http://www.beep.ird.fr/collect/bre/index/assoc/HASH01c3/f833461e.dir/14-319-332.pdf>
- ⁴⁶³ IED Afrique. (2009). Les conventions locales au Sénégal. Mbédap: À l'épreuve du temps. 28 p. Repéré à <http://www.iedafrique.org/Conventions-locales.html>
- ⁴⁶⁴ PAGERNA. (2003). *Op. cit.*

- ⁴⁶⁵ Sanogo, D. (2011). Projet de Renforcement des stratégies locales de gestion des Espaces sylvopastoraux inter-villageois dans le bassin arachidier du Sénégal. Rapport final. ISRA. CRDI. 103 p. Repéré à <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/handle/10625/48124>
- ⁴⁶⁶ *Ibid.*
- ⁴⁶⁷ Albergel, J. et al. (1995). *Op. cit.*
- ⁴⁶⁸ Bakhoum, A., Ngom, D., Sarr, O., Ickowicz, A., & Akpo, L.E. (2019). Impact de la mise en défens sur les parcours des axes de collecte. Dans J. Bourgoïn, C., Corniaux, L. Touré et J.-D. Cesaro (dir.). *Atlas des dynamiques observées dans le bassin de collecte de la Laiterie du Berger*, (28-29). CIRAD, ISRA, UGB, PPZS, GRET et Laiterie du Berger. Repéré à <http://agritrop.cirad.fr/591173/>
- ⁴⁶⁹ Sanogo, D. (2011). *Op. cit.*
- ⁴⁷⁰ Diatta, M. et al. (s.d.). *Op. cit.*
- ⁴⁷¹ *Ibid.*
- ⁴⁷² IED Afrique. (2009). *Op. cit.*
- ⁴⁷³ *Ibid.*
- ⁴⁷⁴ Sanogo, D. (2011). *Op. cit.*
- ⁴⁷⁵ Badji, M. et al. (2014). *Op. cit.*
- ⁴⁷⁶ Nouvellet, Y. (1992), cité dans Badji, M. et al. (2014). *Op. cit.*
- ⁴⁷⁷ Peltier, R. et al. (1994), cité dans Badji, M. et al. (2014). *Op. cit.*
- ⁴⁷⁸ Badji, M. et al. (2014). *Op. cit.*
- ⁴⁷⁹ PROWALO. (1996). *Op. cit.*
- ⁴⁸⁰ Sacande, M. et al. (2020). *Op. cit.*
- ⁴⁸¹ IED Afrique. (2009). *Op. cit.*
- ⁴⁸² Charpin, M. (2004), cité dans Sanogo, D., N'Diaye, M., Badji, M., & Beye, S.A. (2014). Optimisation de l'utilisation des ressources communes dans le bassin arachidier du Sénégal : évaluation ex ante de plans et d'alternatives de gestion durable. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 18(3), 339-352.
- ⁴⁸³ IED Afrique. (2009). *Op. cit.*
- ⁴⁸⁴ Sanogo, D. (2011). *Op. cit.*
- ⁴⁸⁵ *Ibid.*
- ⁴⁸⁶ *Ibid.*
- ⁴⁸⁷ Ganry, F., et al. (2001). *Op. cit.*
- ⁴⁸⁸ Masse, D. et al. (2015). *Op. cit.*
- ⁴⁸⁹ *Ibid.*
- ⁴⁹⁰ ISRA. (1995), cité dans Samba, S.A.N. et al. (2005). *Op. cit.*
- ⁴⁹¹ Floret, C. (2012). Jachères et production fourragère. Dans A. Dia et R. Duponnois (dir.), *La Grande Muraille Verte : Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux*, (1ère éd., 551-580). IRD Éditions. Repéré à <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.3324>.
- ⁴⁹² 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(98), 1-12. doi: 10.3389/fenvs.2018.00098
- ⁴⁹³ Diack, M., Sene, M., Badiane, A.N., Diatta, M., & Dick, R.P. (2000). Decomposition of a Native Shrub, *Piliostigma reticulatum*, Litter in Soils of Semiarid Senegal. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 14(3), 205-218. doi: 10.1080/089030600406626
- ⁴⁹⁴ Masse, D. et al. (2015). *Op. cit.*

- ⁴⁹⁵ 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 sahé-lien. Dans J. Seghieri et J.-M. Harmand (dir.), *Agroforesterie et services écosystémiques en zone tropicale : Recherche de compromis entre services d'approvisionnement et autres services écosystémiques, (191-203)*. Éditions Quae. Repéré à <https://www.quae.com/produit/1580/9782759230600/agroforesterie-et-services-ecosystemiques-en-zone-tropicale>
- ⁴⁹⁶ Masse, D. et al. (2015). *Op. cit.*
- ⁴⁹⁷ *Ibid.*
- ⁴⁹⁸ Bogie, N.A., Bayala, R., Diedhiou, I., Dick, R.P., & Ghezzehei, T.A. (2019). Intercropping with two native woody shrubs improves water status and development of interplanted groundnut and pearl millet in the Sahel. *Plant Soil*, 435, 143-159. Repéré à <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3882-4>
- ⁴⁹⁹ Diatta, S., Diakhaté, S., Founoune-Mboup, H., Alster, C.J., Diouf, D., Dick, R.P. et al. (2019). Temporal Microbial Response to Wetting- Drying Cycles in Soils within and Outside the Influence of a Shrub in the Sahel. *Open Journal of Soil Science*, 9, 284-297. Repéré à <https://doi.org/10.4236/ojss.2019.912018>
- ⁵⁰⁰ Chapuis-Lardy, L. et al. (2019). *Op. cit.*
- ⁵⁰¹ Louppe, D. (1991). *Guiera senegalensis* : espèce agroforestière ? Micro-jachère dérobée de saison sèche et approvisionnement énergétique d'un village du centre nord du bassin arachidier sénégalais. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, 228, 41-47. Repéré à http://bft.cirad.fr/revues/notice_fr.php?dk=403049
- ⁵⁰² Leenders, J.K. et al. (2007). *Op. cit.*
- ⁵⁰³ Kizito, F., Sene, M., Dragila, M.I., Lufafa, A., Diedhiou, I., Dossa, E. et al. (2007). Soil water balance of annual cropenative shrub systems in Senegal's Peanut Basin: The missing link. *Agricultural Water Management*, 90, 137-148.
- ⁵⁰⁴ OMAFRA. (2018). L'érosion du sol : Causes et effets. Fiche technique. Repéré à <http://www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/12-054.htm>
- ⁵⁰⁵ Kizito, F., Dragila, M.I., Sène, M., Lufafa, A., Diedhiou, I., Dick, R.P. et al. (2006). Seasonal soil water variation and root patterns between two semi-arid shrubs co-existing with Pearl millet in Senegal, West Africa. *Journal of Arid Environments*, 67(3), 436-455.
- ⁵⁰⁶ Masse, D. et al. (2015). *Op. cit.*
- ⁵⁰⁷ Kizito, F. et al. (2007). *Op. cit.*
- ⁵⁰⁸ Diack, M. et al. (2000). *Op. cit.*
- ⁵⁰⁹ Masse, D. et al. (2015). *Op. cit.*
- ⁵¹⁰ Diack, M. et al. (2000). *Op. cit.*
- ⁵¹¹ Roose, E. (2015). Potentiel du paillage pour réduire l'érosion et restaurer la productivité des sols tropicaux: Une revue en Afrique francophone. Dans E. Roose (dir.), *Restauration de la productivité des sols tropicaux et méditerranéens: Contribution à l'agroécologie, (191-198)*. IRD. Repéré à http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers16-05/010064970.pdf
- ⁵¹² Dossa, E.L., Khouma, M., Diedhiou, M., Sene, M., Kizito, F., Badiane, A.N. et al. (2009). Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization potential of semiarid Sahelian soils incubated with native shrub residues. *Geoderma*, 148, 251-260. doi:10.1016/j.geoderma.2008.10.009
- ⁵¹³ Dossa, E.L., Diedhiou, I., Khouma, M., Sene, M., Badiane, A.N., Samba, S.A.N. et al. (2013). Crop Productivity and Nutrient Dynamics in a Shrub-Based Farming System of the Sahel. *Agronomy Journal*, 15(4), 1237-1246. doi:10.2134/agronj2012.0432

- ⁵¹⁴ Bright, M.B.H., Diedhiou, I., Bayala, R., Assigbetse, K., Chapuis-Lardy, L., Ndour, Y., & Dick, R.P. (2017). Long-term *Piliostigma reticulatum* intercropping in the Sahel: Crop productivity, carbon sequestration, nutrient cycling, and soil quality. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 242, 9-22. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2017.03.007>
- ⁵¹⁵ *Ibid.*
- ⁵¹⁶ Dossa, E.L. et al. (2013). *Op. cit.*
- ⁵¹⁷ Bright, M.B.H. et al. (2017). *Op. cit.*
- ⁵¹⁸ Diakhaté, S., Gueye, M., Chevallier, T., Diallo, N.H., Assigbetse, K., Masse, D. et al. (2016). Soil microbial functional capacity and diversity in a millet-shrub intercropping system of semi-arid Senegal. *Journal of arid environments*, 129, 71-79. Repéré à <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.01.010>.
- ⁵¹⁹ Chapuy-Lardy et al. (2019). *Op. cit.*
- ⁵²⁰ 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(4), 273-286. doi: 10.1016/j.pedobi.2008.11.002
- ⁵²¹ Hernandez, R.R., Debenport, S.J., Leewis, M.C.E., Ndoye, F, Nkenmogne, I.E., Soumare, A. et al. (2015). The native shrub, *Piliostigma reticulatum*, as an ecological “resource island” for mango trees in the Sahel. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 204, 51-61. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2015.02.009>
- ⁵²² Diedhiou, S. et al. (2009). *Op. cit.*
- ⁵²³ Hernandez, R.R. et al. (2015). *Op. cit.*
- ⁵²⁴ Bright, M.B.H. (2014). Arbuscular Mycorrhizal Colonization Rate Dynamics in a *Guiera Senegalensis*-Millet Agroforestry Intercropping System Across a Rainfall Gradient of Senegal. Great challenges, great solutions. ASA, CSSA, & SSSA International Annual Meeting. Nov. 2-5, 2014. Long Beach, CA. Repéré à <https://scisoc.confex.com/scisoc/2014am/webprogram/Paper88230.html>
- ⁵²⁵ Diakhaté, S., Villenave, C., Diallo, N.H., Ba, A.O., Djigal, D., Masse, D. et al. (2013). The influence of a shrub-based intercropping system on the soil nematofauna when growing millet in Senegal. *European Journal of Soil Biology*, 57, 35-41. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejsobi.2013.04.003>
- ⁵²⁶ Chapuis-Lardy, L. et al. (2019). *Op. cit.*
- ⁵²⁷ Kizito, F. et al. (2006). *Op. cit.*
- ⁵²⁸ Bright, M.B.H. et al. (2017). *Op. cit.*
- ⁵²⁹ Roose, E. (2015). *Op. cit.*
- ⁵³⁰ Kizito, F., Dragila, M.I., Sène, M., Brooks, J.R., Meinzer, F.C., Diedhiou, I. et al. (2012). Hydraulic redistribution by two semi-arid shrub species: Implications for Sahelian agroecosystems. *Journal of Arid Environments*, 83, 69-77.
- ⁵³¹ Kizito, F. et al. (2006). *Op. cit.*
- ⁵³² Kizito, F. et al. (2007). *Op. cit.*
- ⁵³³ *Ibid.*
- ⁵³⁴ Kizito, F. et al. (2006). *Op. cit.*
- ⁵³⁵ Kizito, F. et al. (2012). *Op. cit.*
- ⁵³⁶ Bogie, N.A. et al. (2018). *Op. cit.*
- ⁵³⁷ Kizito, F. et al. (2012). *Op. cit.*
- ⁵³⁸ *Ibid.*
- ⁵³⁹ Diatta, S. et al. (2019). *Op. cit.*
- ⁵⁴⁰ Diakhaté, S. et al. (2013). *Op. cit.*

- ⁵⁴¹ Chapuis-Lardy, L., Diakhaté, S., Djigal, D., Ba, A.O., Dick, R.P., Sembène, P.M., & Masse, D. (2015). Potential of Sahelian Native Shrub Materials to Suppress the Spiral Nematode *Helicotylenchus dihystrera*. *Journal of Nematology*, 47(3), 214-217.
- ⁵⁴² *Ibid.*
- ⁵⁴³ Bogie, N.A. et al. (2019). *Op. cit.*
- ⁵⁴⁴ *Ibid.*
- ⁵⁴⁵ *Ibid.*
- ⁵⁴⁶ Bright, M.B.H. et al. (2017). *Op. cit.*
- ⁵⁴⁷ Debenport, S.J., Assigbetse, K., Bayala, R., Chapuis-Lardy, L., Dick, R.P., & McSpadden Gardner, B.B. (2015). Association of shifting populations in the root zone microbiome of millet with enhanced crop productivity in the Sahel region (Africa). *Applied and Environmental Microbiology*, 81, 2841-2851. doi:10.1128/AEM.04122-14
- ⁵⁴⁸ Dossa, E.L., Diedhiou, I., Khouma, M., Sene, M., Lufafa, A., Kizito, F. et al. (2012). Crop productivity and nutrient dynamics in a shrub (*Guiera senegalensis*)-based farming system of the Sahel. *Agronomy Journal*, 104, 1255-1264. Repéré à <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2011.0399>.
- ⁵⁴⁹ Bright, M.B.H. et al. (2017). *Op. cit.*
- ⁵⁵⁰ Dossa, E.L. et al. (2012). *Op. cit.*
- ⁵⁵¹ Dossa, E.L., Diedhiou, I., Khouma, M., Sene, M., Badiane A.N., Ndiaye, S.A. et al. (2013). Crop productivity and nutrient dynamics in a shrub-based farming system in the Sahel. *Agronomy Journal*, 105, 1237- 1246. Repéré à <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2012.0432>.
- ⁵⁵² Chapuis-Lardy, L. et al. (2019). *Op. cit.*
- ⁵⁵³ Bright, M.B.H. et al. (2017). *Op. cit.*
- ⁵⁵⁴ Jourdan, C., Sambou, D., Ouedraogo, A., Dione, M., Tounou, N., Pouya, M. et al. (2019). Effect of coppice management of shrubs associated with cereals on their root dynamics features in dry Western Africa. Dans C. Dupraz, M. Gosme et G. Lawson (dir.), *Book of Abstracts, 4th World Congress on Agroforestry. Agroforestry: strengthening links between science, society and policy*. Montpellier: CIRAD, INRA, World Agroforestry. Repéré à <http://agritrop.cirad.fr/593056/>
- ⁵⁵⁵ Bayala, J. et al., 2017, cité dans Chapuis-Lardy, L. et al. (2019). *Op. cit.*
- ⁵⁵⁶ Jourdan, C. et al. (2019). *Op. cit.*
- ⁵⁵⁷ Ba, M.F., Samba, S.A.N., & Bassene, A. (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.). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 8(3), 1039-1048. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v8i3.18>
- ⁵⁵⁸ Félix, G.F. et al. (2018). *Op. cit.*
- ⁵⁵⁹ Ba, M.F. et al. (2014). *Op. cit.*
- ⁵⁶⁰ Chapuy-Lardy, L. et al. (2015). *Op. cit.*
- ⁵⁶¹ Chapuis-Lardy, L. et al. (2019). *Op. cit.*
- ⁵⁶² Bernoux, M., & Chevallier, T. (2013). *Op. cit.*
- ⁵⁶³ Bright, M.B.H. et al. (2017). *Op. cit.*
- ⁵⁶⁴ *Ibid.*
- ⁵⁶⁵ Mille, G., & Louppe, D. (2015). *Mémento du forestier tropical* (1^{ère} éd.). Éditions Quae.
- ⁵⁶⁶ *Ibid.*
- ⁵⁶⁷ Dubiez, E., Peltier, R., Peroches, A., & Smith, E. Appréhender la sylviculture tropicale dans sa complexité. Gembloux Agro Bio Tech et CIRAD. Repéré à https://agritrop.cirad.fr/574409/1/document_574409.pdf
- ⁵⁶⁸ Rao, M.R. et al. (2000). *Op. cit.*

⁵⁶⁹ INADA. (2012), cité dans Ndiaye, S., Chaharabil, M.M., & Diatta, M. (2017). Caractérisation des plantations à base d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) dans le Balantacounda : Cas des communes de Kaour, Goudomp et Djibanar (Casamance/Sénégal). *European Scientific Journal*, 13(12), 242-257. doi: 10.19044/esj.2017.v13n12p242

⁵⁷⁰ Badiane, A., Sané, T., & Thior, M. (2018). Impacts de la dynamique des paysages agraires sur les activités agricoles dans la commune d'Adéane en Basse-Casamance (Sénégal). *European Scientific Journal*, 15(21), 1857-1881. doi:10.19044/esj.2019.v15n21p489

⁵⁷¹ Ndiaye, S. et al. (2017). *Op. cit.*

⁵⁷² *Ibid.*

⁵⁷³ Samb, C.O., Faye, E., Touré, M.A., Ba, H.S., Diallo, A.M., Sanogo, D. et al. (2017). *Typologie des plantations d'anacardier (Anacardium occidentale L.) dans deux zones agro-écologiques du Sénégal*. Intensification agro-écologique de la production et de la transformation du cajou en Afrique : Problématique - Acquis scientifiques et technologiques - Perspectives. Actes du Colloque International d'Échanges Scientifiques sur l'Anacarde (CIESA). Bassam (Côte d'Ivoire) 26-28 octobre 2017. Repéré à <http://www.pressesagro.be/e-book/9782870161661.pdf>

⁵⁷⁴ *Ibid.*

⁵⁷⁵ Ndiaye, S. et al. (2017). *Op. cit.*

⁵⁷⁶ Mansal, E. (2011), cite dans Samb, C.O. et al. (2017)

⁵⁷⁷ Ndiaye, S. et al. (2017). *Op. cit.*

⁵⁷⁸ *Ibid.*

⁵⁷⁹ PADEC. (2018). Rapport d'achèvement. Avril 2010-Mars 2018. 81 p.

⁵⁸⁰ Goudiaby, A.O.K., Diedhiou, S., Diatta, Y., Adiane, A., Diouf, P., Fall, S. et al. (2020). Soil properties and groundnut (*Arachis hypogea* L.) responses to intercropping with *Eucalyptus camaldulensis* Dehn and amendment with its biochar. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 11(2), 220-230.

⁵⁸¹ *Ibid.*

⁵⁸² Ndiaye, S., Charahabil, M.M., Diatta, M., & Sambou, A. (2020). The agricultural suitability of cashew nut substrate on the growth and yield of *Sorghum bicolor* L. (sorghum) and *Arachis hypogaea* L. (peanut) according to the sampling distance (Casamance / Senegal). *International Journal of Agriculture, Environment and BioResearch*, 5(1), 259-271.

<https://doi.org/10.35410/IJAEB.2020.5475>

⁵⁸³ *Ibid.*

⁵⁸⁴ Ndiaye, S., Charahabil, M.M., Diatta, M., & Fall, A.C.A.L. (2020). Effet de l'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) sur les propriétés physicochimiques des sols (Casamance / Sénégal). *American Journal of Innovative Research and Applied Sciences*, 10(2), 44-54.

⁵⁸⁵ Arbonnier, M. (2019). *Arbres, arbustes et lianes d'Afrique de l'Ouest* (4^e éd.). Éditions Quae.

⁵⁸⁶ PADEC. (2018). *Op. cit.*

⁵⁸⁷ Azam-Ali, S.H., & Judge, E.C. (2001). Small-scale cashew nut processing. ITDG. Schumacher Centre for Technology and Development Bourton on Dunsmore. Repéré à <http://www.fao.org/3/a-ac306e.pdf>

⁵⁸⁸ PADEC. (2018). *Op. cit.*

⁵⁸⁹ Samb, C.O., Touré, M.A., Faye, E., Ba, H.S., Diallo, A.M., Badiane, S., & Diaminatou, S. (2018). Caractéristiques sociodémographique, structurale et agronomique des plantations d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) du Bassin arachidier et de la Casamance / Sénégal. *Journal of Animal & Plant Sciences*, 38(3), 6307-6325.

⁵⁹⁰ *Ibid.*

⁵⁹¹ PADEC. (2018). *Op. cit.*

⁵⁹² DRPF. (1988). Animation scientifique du 5 mai 1988. Premiers résultats des recherches sur les systèmes agroforestiers. Projet Recherche-Développement sur le rôle de l'arbre en exploitation agricole. Repéré à <https://agritrop.cirad.fr/578899/1/1988%20Agroforesterie%20S%C3%A9n%C3%A9gal%20D%20LOUPPE.pdf>

⁵⁹³ Sanchez, E.A. (1995). Science in agroforestry. *Agroforestry Systems*, 30, 5-55.

⁵⁹⁴ Centre FoReT. (2016). *Op. cit.*

⁵⁹⁵ Sanchez, E.A. (1995). *Op. cit.*

⁵⁹⁶ DRPF. (1992). Rapport de synthèse sur les activités de recherches agroforestières. Mai 1992. 68 p.

⁵⁹⁷ *Ibid.*

⁵⁹⁸ *Ibid.*

⁵⁹⁹ ICRAF. (1996). 8^e atelier régional d'évaluation et de planification. 10 - 14 Juin 1996. Rapport final. Réseau de recherches agroforestières pour les zones semi-arides d'Afrique de l'Ouest (SALWA). Bamako, Mali. Repéré à http://intranet.isra.sn/aurifere/opac_css/docnum/FT0100511.pdf

⁶⁰⁰ *Ibid.*

⁶⁰¹ Kaïre, M. (2005). *Op. cit.*

⁶⁰² Ndiaye, M., Ganry, F., & Oliver, R. (2000). Alley Cropping of Maize and *Gliricidia sepium* in the Sudanese Sahel Region: Some Technical Feasibility Aspects. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 14(4), 317-327. doi:10.1080/08903060050136432

⁶⁰³ *Ibid.*

⁶⁰⁴ Ndiaye Cissé, M.F. (2018). *Op. cit.*

⁶⁰⁵ Sanchez, E.A. (1995). *Op. cit.*

⁶⁰⁶ Kaïre, M. (2005). *Op. cit.*

⁶⁰⁷ Samba, S.A.N., Gaye, A., Diatta, M., Thomas, I., & Diagne, O. (2005). Les produits forestiers. Dans *Bilan de la recherche agricole et agroalimentaire au Sénégal* (369-388). ISRA, ITA et CIRAD.

⁶⁰⁸ Louppe, D. (1989). Rapport d'étape à la date du 15 juillet 1989. Projet de recherche développement sur le rôle de l'arbre en exploitation agricole. DRPF. Repéré à https://agritrop.cirad.fr/308184/1/document_308184.pdf

⁶⁰⁹ Centre FoReT. (2016). *Op. cit.*

⁶¹⁰ Louppe, D. (1989). *Op. cit.*

⁶¹¹ Centre FoReT. (2016). *Op. cit.*

⁶¹² Ndiaye, M. (1997). *Contribution des légumineuses arbustives à l'alimentation azotée du maïs (Zea mays L.): Cas d'un système de culture en allées dans le Centre-Sud Sénégal* [thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine]. <https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01776298/document>

⁶¹³ Sanchez, E.A. (1995). *Op. cit.*

⁶¹⁴ Lawry, S., Stienbarger, D., & Jabbar, M.A. (1994). Land Tenure and the Potential for the Adoption of Alley Farming in West Africa. *Outlook on Agriculture*, 23(3), 183-187.

⁶¹⁵ Yossi, H., Kaya, B., Traoré, C.O., Niang, A., Butare, I., Levasseur, V., & Sanogo, D. (2006). Les haies vives au Sahel : Etat des connaissances et recommandations pour la recherche et le développement. ICRAF. Occasional Paper no. 6. Repéré à https://www.formad-environnement.org/YOSSI_haies_vives_au_sahel.pdf

⁶¹⁶ *Ibid.*

- ⁶¹⁷ Samba, S.A.N. et al. (2005). *Op. cit.*
- ⁶¹⁸ Satin, M.S. (1998). *A socioeconomic evaluation of live fencing and windbreak agroforestry technologies in Kaolack, Senegal* [mémoire, Université de West Virginia]. 255 p.
- ⁶¹⁹ *Ibid.*
- ⁶²⁰ Sanogo, D. (2003), cité dans Yossi, H. et al. (2006). *Op. cit.*
- ⁶²¹ Projet de développement agroforestier de Diourbel (PAGF). (1996). Rapport d'évaluation intermédiaire. Rapport No 0665-SE. Avril 1996. 65p.
- ⁶²² Sanogo, D., Dia, Y.K., Ayuk, E., & Pontanier, R. (2000). Adoption de la haie vive dans le bassin arachidier du Sénégal. Dans C. Floret et R. Pontanier (dir.), *La jachère en Afrique tropicale : Rôles, aménagement, alternatives : 1. Actes du séminaire international, Dakar, 13-16 avril 1999*. IRD. Repéré à http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers15-11/010024607.pdf
- ⁶²³ Diatta, M., Faye, E., Grouzis, M., & Perez, P. (2012). Rôles de la haie vive antiérosive sur la gestion de l'eau, du sol et le rendement des cultures du centre sud du bassin arachidier sénégalais. Dans E. Roose, H. Duchaufour et G. De Noni (dir.), *Lutte antiérosive : réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles*. IRD. Repéré à http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers14-01/010055533.pdf
- ⁶²⁴ *Ibid.*
- ⁶²⁵ *Ibid.*
- ⁶²⁶ Albergel, J. et al. (1995). *Op. cit.*
- ⁶²⁷ Yossi, H. et al. (2006). *Op. cit.*
- ⁶²⁸ Centre FoReT. (2016). *Op. cit.*
- ⁶²⁹ Sanogo, D. et al. (2000). *Op. cit.*
- ⁶³⁰ Diouf, D. et al. (2000). *Op. cit.*
- ⁶³¹ Cadet, P., & Sanogo, D. (2007). Rôle potentiel des haies vives pour la gestion des nématodes sur les bassins versants de la zone soudano-sahélienne au Sénégal. *Tropicultura*, 25(3), 153-160. Repéré à <http://www.tropicultura.org/text/v25n3/153.pdf>
- ⁶³² Yossi, H. et al. (2006). *Op. cit.*
- ⁶³³ Sanogo, D. (2000), cité dans Yossi, H. et al. (2006). *Op. cit.*
- ⁶³⁴ Diatta, M. (1994). *Mise en défens et techniques agroforestières au Sine Saloum (Sénégal) : Effets sur la conservation de l'eau, du sol et sur la production primaire* [thèse de doctorat, Université scientifique L. Pasteur (Strasbourg I)]. Repéré à https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers15-07/010019502.pdf
- ⁶³⁵ Sanogo, D. (2003), cité dans Yossi et al. (2006). *Op. cit.*
- ⁶³⁶ Diatta, M. (1994). *Op. cit.*
- ⁶³⁷ Diatta, M. et al. (2012). *Op. cit.*
- ⁶³⁸ IFAD. (1995). Projet de Développement Agroforestier de Diourbel : Résumé du rapport d'évaluation intermédiaire. Repéré à <https://www.ifad.org/fr/web/ioe/evaluation/asset/39827722>
- ⁶³⁹ Satin, M.S. (1998). *Op. cit.*
- ⁶⁴⁰ Yossi, H. et al. (2006). *Op. cit.*
- ⁶⁴¹ *Ibid.*
- ⁶⁴² Diatta, M. (1994). *Op. cit.*
- ⁶⁴³ Samba, S.A.N. et al. (2005). *Op. cit.*
- ⁶⁴⁴ Ndour, et al. (1999), cité dans Yossi, H. et al. (2006)
- ⁶⁴⁵ Cadet, P., & Sanogo, D. (2007). *Op. cit.*
- ⁶⁴⁶ Samba, S.A.N. (1991). La haie vive. Bilan des expérimentations menées sur les haies vives dans le cadre du programme d'agroforesterie de la DRPF/ISRA. 21 p.

⁶⁴⁷ Sall, P.N. (2012). *Op. cit.*

⁶⁴⁸ Levasseur, V., Olivier, A., & Niang, A. (2008). Aspects fonciers liés à l'utilisation de la haie vive améliorée. *Bois et forêts des tropiques*, 297(3), 55-64. Repéré à http://bft.cirad.fr/cd/BFT_297_55-64.pdf

⁶⁴⁹ Projet de développement agroforestier de Diourbel (PAGF). (1996). Rapport d'évaluation intermédiaire. Rapport No 0665-SE.

⁶⁵⁰ FAO. (1992). Reboisement communautaire dans le bassin arachidier. Conclusions et recommandations du projet. Rapport terminal. FO:GCP/SEN/027/FIN.

⁶⁵¹ PAGF. (1996). *Op. cit.*

⁶⁵² *Ibid.*

⁶⁵³ Satin, M.S. (1998). *Op. cit.*

⁶⁵⁴ PROWALO. (1996). *Op. cit.*

⁶⁵⁵ Satin, M. (1998). Synthèse des résultats de la recherche sur l'agroforesterie. Rapport de mission de Michael Satin. Juillet 1998. Recherche appliquée en agriculture et sur la gestion des ressources naturelles (Programme ISRA/USAID PR1/NRBAR). 31 p.

⁶⁵⁶ IFAD. (1995). *Op. cit.*

⁶⁵⁷ *Ibid.*

⁶⁵⁸ Sanogo, D. et al. (2000). *Op. cit.*

⁶⁵⁹ *Ibid.*

⁶⁶⁰ Diouf, D. et al. (2000). *Op. cit.*

⁶⁶¹ Projet de développement agricole dans le département de Matam (PRODAM). (2004). Rapport d'évaluation intermédiaire. Rapport no 1564-SN. FIDA. 121 p.

⁶⁶² Diop, A.T., Diaw, O.T., Diémé, I., Touré, I., Sy, O., & Diémé, G. (2004). Mares de la zone sylvopastorale du Sénégal : tendances évolutives et rôle dans les stratégies de production des populations pastorales. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux.*, 57(1-2), 77-85.

⁶⁶³ Harmand, J.-M. (1988). L'opération « Pôles verts » : Plantations et brise-vent irrigués expérimentaux dans la Basse vallée et le Delta du Fleuve Sénégal. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, 218, 3-31.

⁶⁶⁴ Fall, A.A., Tamba, A., & Samba, S.A.N. (2002). Impact social et économique de la recherche sur les brise-vent en riziculture irriguée dans le delta et la moyenne vallée du fleuve Sénégal. Rapport de recherche. ISRA, ICRAF et Université Laval. 25 p.

⁶⁶⁵ Norton, R. L. (1988). Windbreaks: Benefits to orchard and vineyard crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 22-23(C), 205-213. [https://doi.org/10.1016/0167-8809\(88\)90019-9](https://doi.org/10.1016/0167-8809(88)90019-9)

⁶⁶⁶ Brenner, A.J., Jarvis, P.G., & van den Beldt, R.J. (1995). Windbreak-crop interactions in the Sahel. 2. Growth response of millet in shelter. *Agricultural and Forest Meteorology*, 75, 235-262.

⁶⁶⁷ Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ). (2019).

L'agroforesterie au bénéfice du microclimat : Un atout face aux changements climatiques. Fiche dynamique. Comité agroforesterie du CRAAQ. Québec. Repéré à

https://www.craaq.qc.ca/Publications-du-CRAAQ/l_agroforesterie-au-benefice-du-microclimat-un-atout-face-aux-changements-climatiques/p/PAGF0103-HTML

⁶⁶⁸ Boffa, J.-M. (2000b). *Op. cit.*

⁶⁶⁹ Brenner, A.J. et al. (1995). *Op. cit.*

⁶⁷⁰ Tamba, A. (s.d.). L'intégration de l'arbre dans les périmètres hydro-agricoles de la vallée du fleuve Sénégal. 9 p. Repéré à https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_6/colloques2/010006479.pdf

- ⁶⁷¹ Samba, S.A.N. et al. (2005). *Op. cit.*
- ⁶⁷² Brenner, A.J. et al. (1995). *Op. cit.*
- ⁶⁷³ ICRAF. (1996). *Op. cit.*
- ⁶⁷⁴ Cisse, M. (s.d.). *Op. cit.*
- ⁶⁷⁵ Marone, D. (2010). *Évaluation de l'impact socio-économique des brise-vent dans le delta et la moyenne vallée du fleuve Sénégal* [mémoire, Université Laval]. Corpus.
<https://corpus.ulaval.ca/jspui/handle/20.500.11794/21928>
- ⁶⁷⁶ Marone, D., & Cissé, M. (2008). Intégration de techniques d'installation et d'exploitation de brise-vent dans les périmètres irrigués maraîchers et fruitiers du Delta du fleuve Sénégal. Rapport final. Centre de Recherches Agricoles de Saint-Louis, ISRA. 98 p.
- ⁶⁷⁷ *Ibid.*
- ⁶⁷⁸ Marone, D. (2010). *Op. cit.*
- ⁶⁷⁹ Marone, D., & Cissé, M. (2008). *Op. cit.*
- ⁶⁸⁰ Fall, A.A. et al. (2002). *Op. cit.*
- ⁶⁸¹ Satin, M.S. (1998). *Op. cit.*
- ⁶⁸² *Ibid.*
- ⁶⁸³ Cisse, M. (s.d.). *Op. cit.*
- ⁶⁸⁴ Fall, A.A. et al. (2002). *Op. cit.*
- ⁶⁸⁵ Kanzler, M., Böhm, C., Mirck, J., Schmitt, D., & Veste, M. (2018). Microclimate effects on evaporation and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield within a temperate agroforestry system. *Agroforestry Systems*, 4. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0289-4>
- ⁶⁸⁶ Nuberg, I.K. (1998). Effect of shelter on temperate crops: A review to define research for Australian conditions. *Agroforestry Systems*, 41(1), 3-34. <https://doi.org/10.1023/A:1006071821948>
- ⁶⁸⁷ Thevathasan, N.V., & Gordon, A.M. (2004). Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: Experiences from southern Ontario, Canada. *Agroforestry Systems*, 61-62(1-3), 257-268. <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000029003.00933.6d>
- ⁶⁸⁸ FAO. (1986). Brise-vent et rideaux abris avec référence particulière aux zones sèches. Cahier FAO conservation 15. Repéré à <http://www.fao.org/3/AD086F/AD086f17.htm#1>
- ⁶⁸⁹ Harmand, J.-M. (1988). *Op. cit.*
- ⁶⁹⁰ Centre FoReT. (2016). *Op. cit.*
- ⁶⁹¹ Harmand, J.-M. (1988). *Op. cit.*
- ⁶⁹² Cleugh, H. A. (1998). Effect of windbreaks on air-flow, microclimate and productivity. *Agroforestry Systems*, 41, 55-84.
- ⁶⁹³ Louppe, D. (1989). *Op. cit.*
- ⁶⁹⁴ PAGF. (1996). *Op. cit.*
- ⁶⁹⁵ Samba, S.A.N. et al. (2005). *Op. cit.*
- ⁶⁹⁶ Cisse, M. (s.d.). *Op. cit.*
- ⁶⁹⁷ Fall, A.A. et al. (2002). *Op. cit.*
- ⁶⁹⁸ Harmand, J.-M. (1988). *Op. cit.*
- ⁶⁹⁹ Satin, M.S. (1998). *Op. cit.*
- ⁷⁰⁰ Centre FoReT. (2016). *Op. cit.*
- ⁷⁰¹ Harmand, J.-M. (1988). *Op. cit.*
- ⁷⁰² Centre FoReT. (2016). *Op. cit.*
- ⁷⁰³ Harmand, J.-M. (1988). *Op. cit.*
- ⁷⁰⁴ DRPF. (1986). *Op. cit.*
- ⁷⁰⁵ *Ibid.*

- ⁷⁰⁶ Ndour, B., & Sarr, A. (1997). Rapport analytique des recherches agroforestières du centre nord bassin arachidier. ISRA. 17 p. Repéré à http://intranet.isra.sn/aurifere/opac_css/docnum/CN0103051.pdf
- ⁷⁰⁷ Oakland Institute & Alliance for food sovereignty in Africa. (s.d.). L'agriculture régénératrice au Sénégal. Agroecology case studies. 5 p. Repéré à <https://www.oaklandinstitute.org/agriculture-regenerative-senegal>
- ⁷⁰⁸ Mbaye, M., Sow, B., Ickowicz, A., Rippstein, G., & Lesueur, D. (2003). Gestion d'un système agro-sylvo-pastoral au Sénégal: L'exemple des terroirs agro-sylvo-pastoraux de la forêt communautaire de Nétéboulou (Tambacounda). Dans P. Dugué et P. Jouve (dir), Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux : Actes du colloque international Umr Sagert, 25-27 février 2003. Montpellier, France. Repéré à <https://agritrop.cirad.fr/514659/>
- ⁷⁰⁹ APAF Sénégal. (s.d.). L'arbre fertilisateur au service d'un développement durable. 14p. Repéré à https://www.ulb-coopera-tion.org/sites/default/files/kcfinder/files/Projets/Arbres%20fertilitaires%20et%20développement%20rural%20durable_%20APAF%20Sénégal%202019_.pdf
- ⁷¹⁰ Buchmann, C. et al. (2010). *Op. cit.*
- ⁷¹¹ De Groot, S., De Caluwé, E., & Van Damme, P. (2007). Domestication and Development of Baobab and Tamarind (DADOBAT). Tropentag 2007. Conference on International Agricultural Research for Development. University of Kassel-Witzenhausen and University of Göttingen, October 9-11, 2007. Repéré à https://www.academia.edu/2852363/Domestication_and_Development_of_Baobab_and_Tamarind_DADOBAT
- ⁷¹² Danthu, P., Soloviev, P., Totté, A., Tine, E., Ayessou, N., Gaye, A. et al. (2002). Caractères physico-chimiques et organoleptiques comparés de jujubes sauvages et des fruits de la variété Gola introduite au Sénégal. *Fruits*, 57(3), 173-182. doi: 10.1051/fruits:2002016
- ⁷¹³ Sanogo, D., & Dayamba, D. (2016). How local fruit trees contribute to food security and resilience in the Climate-Smart Village of Daga-Birame, Senegal. CGIAR. Repéré à <https://ccafs.cgiar.org/blog/how-local-fruit-trees-contribute-food-security-and-resilience-climate-smart-village-daga-birame#.XpeHTahKJIU>
- ⁷¹⁴ De Groot et al. (2007). *Op. cit.*
- ⁷¹⁵ Danthu, P., & Soloviev, P. (2000). Propagation par greffage de trois espèces forestières fruitières des zones tropicales sèches: *Adansonia digitata*, *Balanites aegyptiaca*, *Tamarindus indica*. *Le Flamboyant*, 53, 22-24. Repéré à https://www.researchgate.net/publication/291505609_Propagation_par_greffage_de_trois_especes_forestieres_fruitiere_des_zones_tropicales_seches_Adansonia_digitata_Balanites_aegyptiaca_Tamarindus_indica
- ⁷¹⁶ Van der Stege, C., Vogl, C., Hartl, A., Vogl-Lukasser, B., Prehler, S., Havinga, R. et al. (2010). The ethnobotany of baobab and tamarind: A regional study in West Africa. DADOBAT. Repéré à https://boku.ac.at/fileadmin/data/H03000/H93000/H93300/AG_Wissenssysteme_und_Innovationen/Blog/2010_dadobat_Poster_Van_der_Stege_A0.pdf
- ⁷¹⁷ Sanogo, D., & Dayamba, D. (2016). *Op. cit.*
- ⁷¹⁸ Samba, S.A.N. et al. (2005). *Op. cit.*

⁷¹⁹ Sanogo, D., Badji, M., Diop, M., Samb, C.O., Tamba, A., & Gassama, Y.K. (2015). Évaluation de la production en fruits de peuplements naturels de Baobab (*Adansonia digitata* L.) dans deux zones climatiques au Sénégal. *Journal of Applied Biosciences*, 85, 7838-7847. Repéré à <http://dx.doi.org/10.4314/jab.v85i1.8>

⁷²⁰ Danthu, P. et al. (2002). *Op. cit.*

⁷²¹ Bâ, A.M., Guissou, T., Duponnois, R., Plenchette, C., Sacko, O., Sidibé, D. et al. (2012). Mycorhization contrôlée et fertilisation phosphatée Applications à la domestication du jujubier, arbre fruitier forestier sahélien. Dans A. Dia et R. Duponnois (dir.), *La Grande Muraille Verte: Capitalisation des recherches et valorisation des savoirs locaux (1^{ère} éd., 251-262)*. IRD Éditions. Repéré à <https://books.openedition.org/irdeditions/3300>

⁷²² Buchmann, C. et al. (2010). *Op. cit.*

⁷²³ *Ibid.*

⁷²⁴ *Ibid.*

⁷²⁵ Corniaux, C. (2008). Organisation sociale et zootechnique de la gestion des produits laitiers en milieu sahélien : la sphère laitière. Cas du delta du fleuve Sénégal. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 61(1), 37-43.

⁷²⁶ Kaire, M. (s.d.). Impact du changement climatique sur la salinisation des terres agricoles côtières de l'Afrique de l'Ouest. Étude CILSS/GCCA. 20 p. Repéré à <https://europa.eu/capacity4dev/file/32210/download?token=cOHYuQAN>

⁷²⁷ Faye, E., Touré, M.A., Diatta, M., & Sarr, M. (2019). Performances de *Tamarix aphylla* (L.) H.Karst. var erectus sur sols sulfatés acides salés du terroir de Ndiaffate, Kaolack (Sénégal). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 40(2), 359-367.

⁷²⁸ Faye, E., Diatta, M., & Touré, M.A. (2014). Evaluation et amélioration du comportement de *Atriplex lentiformis* sur les sols salés sulfatés acides de Ndiaffate. Dans E. Faye et M. Diatta (dir.), *Lutte contre la salinisation et valorisation des terres salées au Sénégal. État des connaissances et perspectives. Actes du Séminaire national, Dakar, 26-29 avril 2011*, (112-124).

⁷²⁹ Goudiaby, M. (2013). *Op. cit.*

⁷³⁰ Ndour, B. (2014). Une approche participative pour la reforestation des tannes arbustives du Sine maritime. Dans E. Faye et M. Diatta (dir.), *Lutte contre la salinisation et valorisation des terres salées au Sénégal. État des connaissances et perspectives. Actes du Séminaire national, Dakar, 26-29 avril 2011*, (125-132).

⁷³¹ *Ibid.*

⁷³² Diouf, D., Matty, F., Faye, E., Ndour, B., & Diatta, M. (2014). Inventaire et analyse des méthodes et techniques développées par la recherche scientifique au Sénégal, en Afrique et dans le monde pour la récupération des terres salées. Dans E. Faye et M. Diatta (dir.), *Lutte contre la salinisation et valorisation des terres salées au Sénégal. État des connaissances et perspectives. Actes du Séminaire national, Dakar, 26-29 avril 2011*, (215-229).

⁷³³ Ndour, B. (2014). *Op. cit.*

⁷³⁴ Diatta, M., Diouf, B., & Faye, E. (2014). Comportement d'espèces forestières introduites dans le reboisement des sols salés dans le bassin du Sine. Dans E. Faye et M. Diatta (dir.), *Lutte contre la salinisation et valorisation des terres salées au Sénégal. État des connaissances et perspectives. Actes du Séminaire national, Dakar, 26-29 avril 2011*, (133-135).

⁷³⁵ Diouf, D. et al. (2014). *Op. cit.*

⁷³⁶ Ndour, B. (2014). *Op. cit.*

⁷³⁷ Diouf, D. et al. (2014). *Op. cit.*

⁷³⁸ Samba, S.A.N., Faye, E., & Mbaye, A. (2014). Réhabilitation des sols salés au Sénégal: Expérience de la recherche forestière dans le bassin arachidier. Dans E. Faye et M. Diatta (dir.), *Lutte contre la salinisation et valorisation des terres salées au Sénégal. État des connaissances et perspectives. Actes du Séminaire national, Dakar, 26-29 avril 2011*, (159-169).

⁷³⁹ Diouf, D. et al. (2014). *Op. cit.*

⁷⁴⁰ Masse, D. et al. (2015). *Op. cit.*

⁷⁴¹ Zacharias, A. (2019). Aerial Survey Report. Kaffrine 3, Senegal. 2018-2019 Forest Garden Baseline & Year 1 Analysis. Trees for the Future. Repéré à <https://trees.org/v2/web/post/aerial-survey-report/>

⁷⁴² *Ibid.*

⁷⁴³ APAF Sénégal. (s.d.). L'arbre fertilitaire au service d'un développement durable. 14p. Repéré à https://www.ulb-coopera-tion.org/sites/default/files/kcfinder/files/Projets/Arbres%20fertilitaires%20et%20développement%20rural%20durable_%20APAF%20Sénégal%202019_.pdf

⁷⁴⁴ Association pour la promotion des arbres fertilitaires, de l'agroforesterie et la foresterie (APAF). (2020). Agroforesterie avec APAF. Repéré à <https://ong-apaf.org/lagroforesterie/agroforesterie-avec-apaf/>

⁷⁴⁵ Association pour la promotion des arbres fertilitaires, de l'agroforesterie et la foresterie (APAF). (2020). *Op. cit.*

⁷⁴⁶ *Ibid.*

⁷⁴⁷ Zacharias, A. (2019). *Op. cit.*

⁷⁴⁸ Mailly, D., Ndiaye, P., Margolis, H.A., & Pineau, M. (1994). Fixation des dunes et reboisement avec le filao (*Casuarina equisetifolia*) dans la zone du littoral nord du Sénégal. *The Forestry Chronicle*, 70(3), 282-290.

⁷⁴⁹ FAO. (2011). Gestion des plantations sur dunes. Document de travail sur les Forêts et la Foresterie en zones arides, 3. 52 p. Repéré à <http://www.fao.org/docrep/014/mb043f/mb043f00.pdf>

⁷⁵⁰ Wade, C.T. (2019). Implication des populations locales dans la conservation des sols et la gestion de la biodiversité des Niayes du Sénégal. 19 p. Repéré à https://www.researchgate.net/publication/337948588_Implication_des_populations_locales_dans_la_conservation_des_sols_et_la_gestion_de_la_biodiversite_des_Niayes_du_Senegal_Involvement_of_the_local_population_in_soil_conservation_and_biodiversity_manag

⁷⁵¹ Mailly, D. et al. (1994). *Op. cit.*

⁷⁵² *Ibid.*

⁷⁵³ Sawadogo, W. et al. (2019). *Op. cit.*

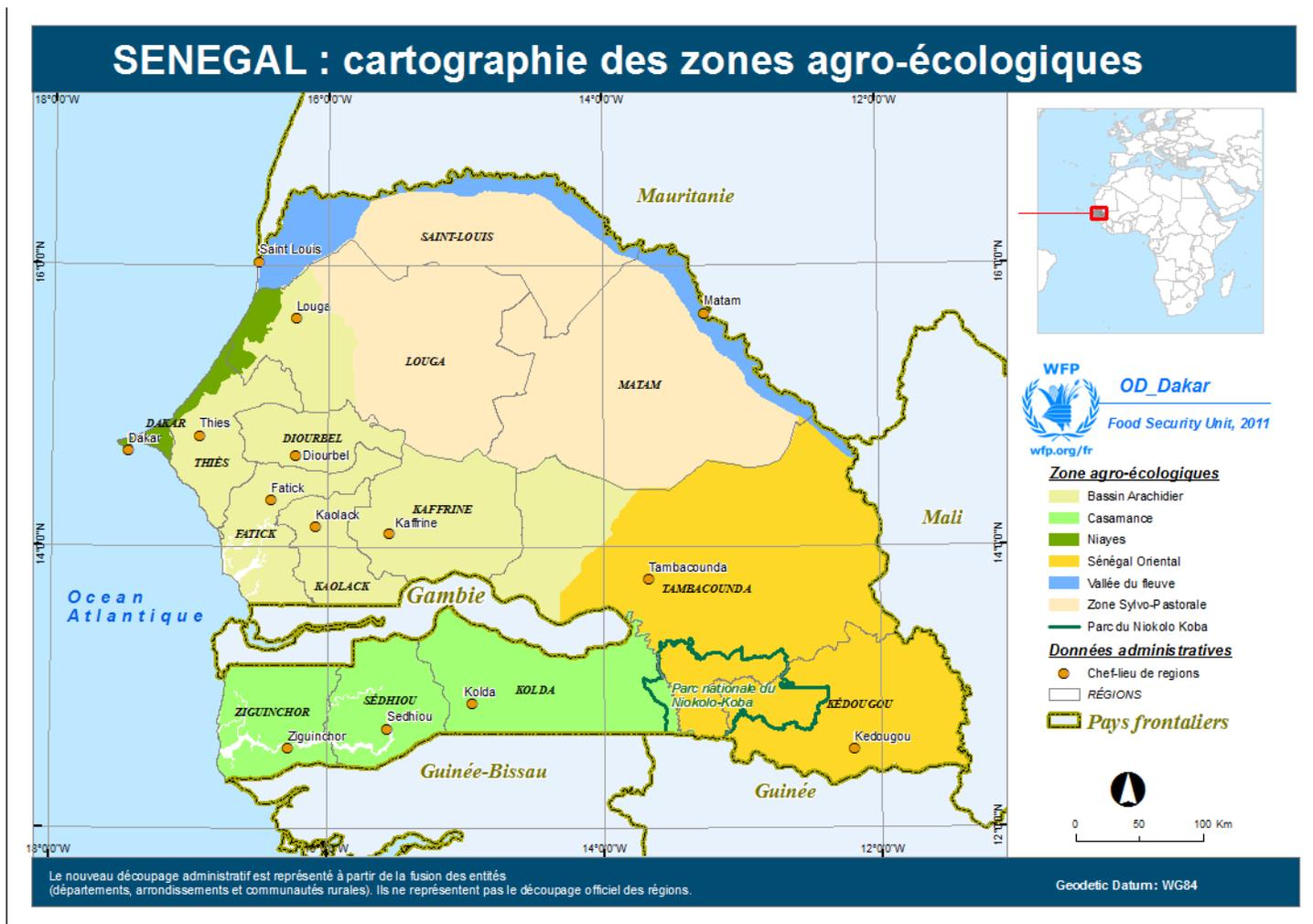
⁷⁵⁴ Sanogo, D., Ba, H.S., Diop, M., Dieng, A., Diallo, I., & Diatta, M. (2018). La vulnérabilité des cuvettes maraîchères dans la zone des Niayes au Sénégal: quelles espèces forestières et technologies agroforestières résilientes dans un contexte de changements climatiques ? Résumé de présentation. 1ère édition des journées scientifiques de l'ISRA, 5-8 février 2018. Repéré à http://isracnrf.sn/wp-content/uploads/2018/02/resumes%201_opt.pdf

⁷⁵⁵ Diaw, A.T., Bâ, A., Bouland, P., Kouf, P.S., Lake, L.-A., Mbow, M.-A. et al. (1992). Gestion des ressources côtières et littorales du Sénégal. Actes de l'Atelier de Gorée, 27-29 juillet 1992. Programme Zones Humides de l'UICN. 502 p. Repéré à <https://portals.iucn.org/library/node/6806>

- ⁷⁵⁶ Soumare, M.D., Mnkeni, P.N.S., & Khouma, M. (2012). Effects of *Casuarina equisetifolia* Composted Litter and Ramial-Wood Chips on Tomato Growth and Soil Properties in Niayes, Senegal. *Biological Agriculture & Horticulture*, 20(2), 111-123. Repéré à <https://doi.org/10.1080/01448765.2002.9754955>
- ⁷⁵⁷ *Ibid.*
- ⁷⁵⁸ Diallo, M.D., Baldé, M., Daité, B., Goalbaye, T., Diop, A., & Guissé, A. (2018). Arrière-effet de différents apports de fertilisants sur les paramètres de croissance et de rendement de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revue Agrobiologia*, 8(2), 1078-1085.
- ⁷⁵⁹ Touré, M.A., Ngom, S., Faye, E., Sanogo, D., & Diatta, M. (2018). Effets du compost de filao (*Casuarina equisetifolia*) enrichi sur les rendements des cultures maraichères dans la zone des Niayes au Sénégal. *Synthèse: Revue des Sciences et de la Technologie*, 37, 39-48.
- ⁷⁶⁰ Sow, M., Mbow, C., Hély, C., Fensholt, R., & Sambou, B. (2013). Estimation of Herbaceous Fuel Moisture Content Using Vegetation Indices and Land Surface Temperature from MODIS Data. *Remote Sensing*, 5, 2617-2638. doi:10.3390/rs5062617
- ⁷⁶¹ Arbonnier, M., & Gueye, B. (2010). *Op. cit.*
- ⁷⁶² Earl, N., & Simmonds, I. (2018). Spatial and temporal variability and trends in 2001-2016 global fire activity. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123, 2524-2536. doi: 10.1002/2017JD027749
- ⁷⁶³ Prichard, S.J., Stevens-Rumann, C.S., & Hessburg, P.F. (2017). Tamm Review: Shifting global fire regimes: Lessons from reburns and research needs. *Forest Ecology and Management*, 396, 217-233. Repéré à <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2017.03.035>
- 0378-1127
- ⁷⁶⁴ Sow, M. et al. (2013). *Op. cit.*
- ⁷⁶⁵ Diarra, A., & Diouf, M.R. (s.d.). Identification des besoins en transfert de technologie dans le secteur de la foresterie et de l'agroforesterie. Projet SEN/97/G31: Activités habilitantes pour les changements climatiques phase 2. 32 p. Repéré à http://www.un-gsp.org/sites/default/files/documents/senegal_tna_2.pdf
- ⁷⁶⁶ Louppe, D. (1992). Le feu: Mieux le comprendre pour mieux lutter. IDEFOR. Institut des forêts. Département Foresterie. 38 p. Repéré à http://agritrop.cirad.fr/336819/1/document_336819.pdf
- ⁷⁶⁷ Arbonnier, M. (2019). *Op. cit.*

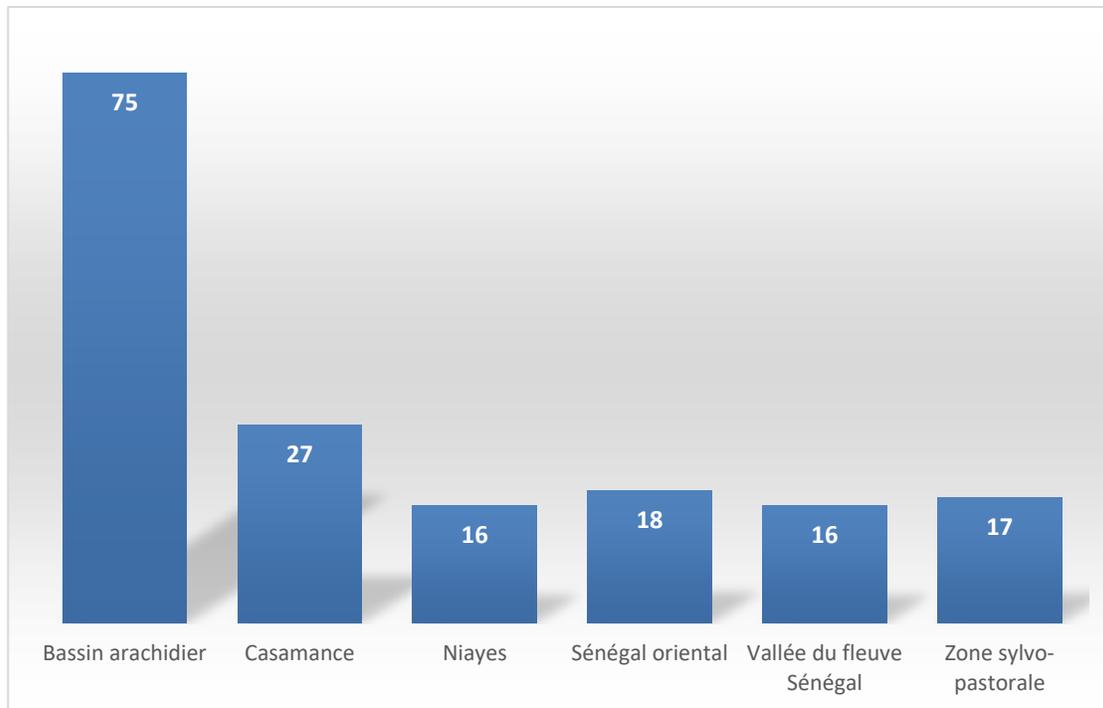
ANNEXE 1

CARTE DES ZONES AGROÉCOLOGIQUES DU SÉNÉGAL.

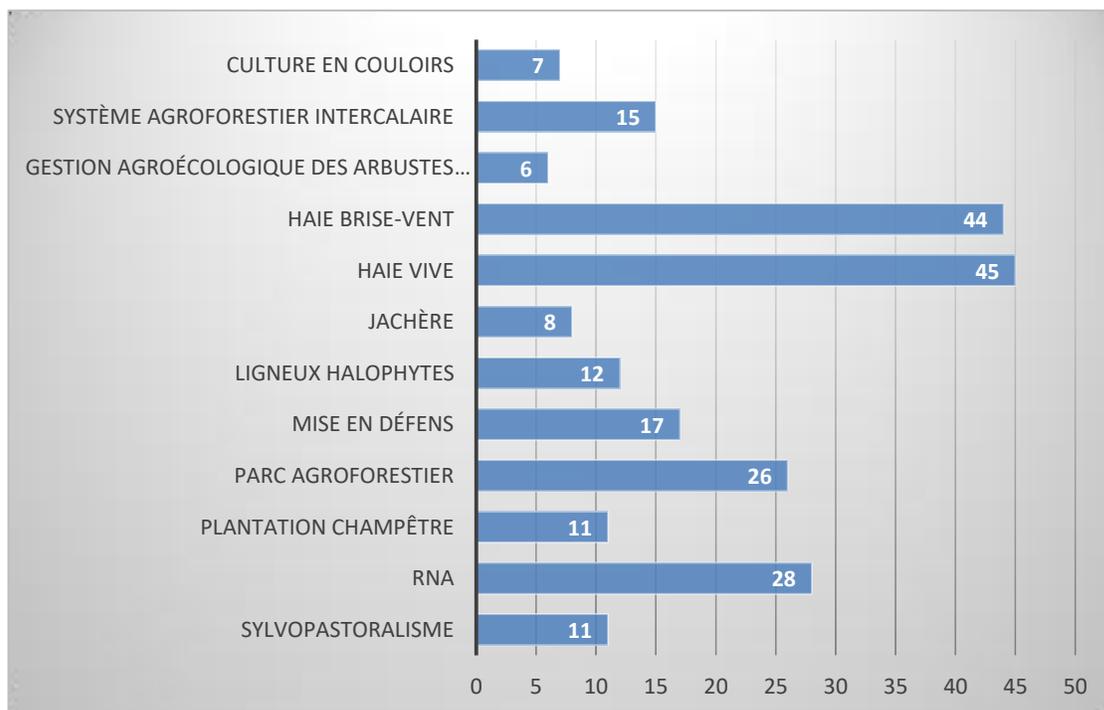


ANNEXE 2

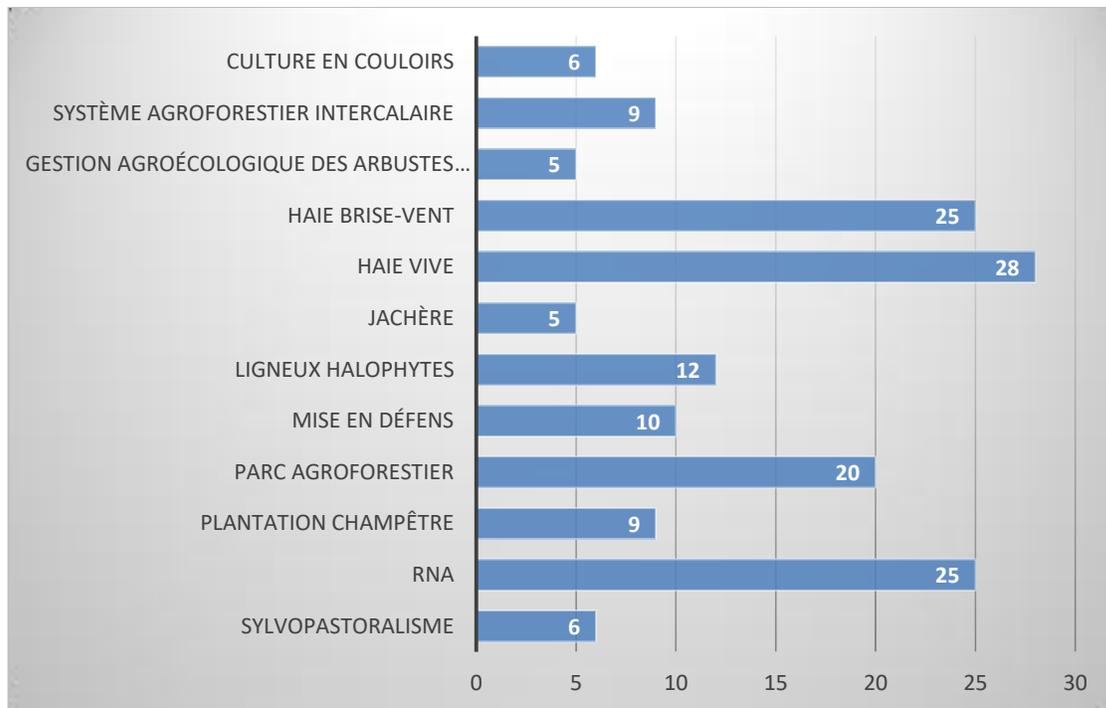
PROFIL DES PROJETS RELATIFS À L'AGROFORESTERIE AU SÉNÉGAL



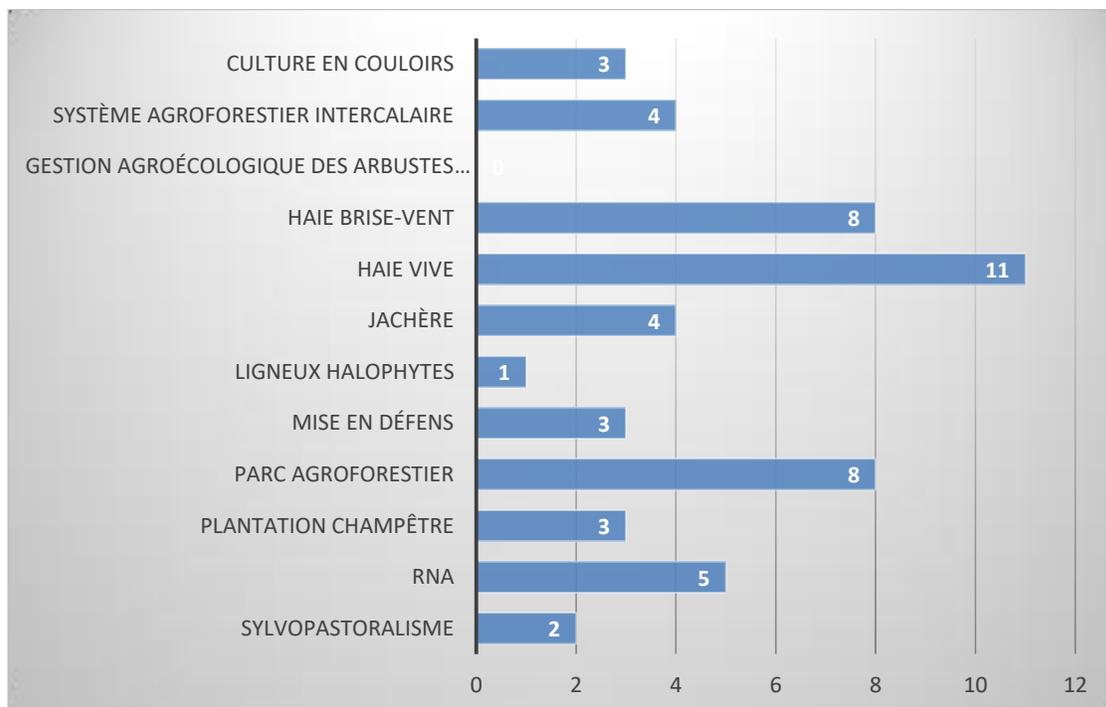
Graphique 1 : Nombre de projets par zone agroécologique concernée



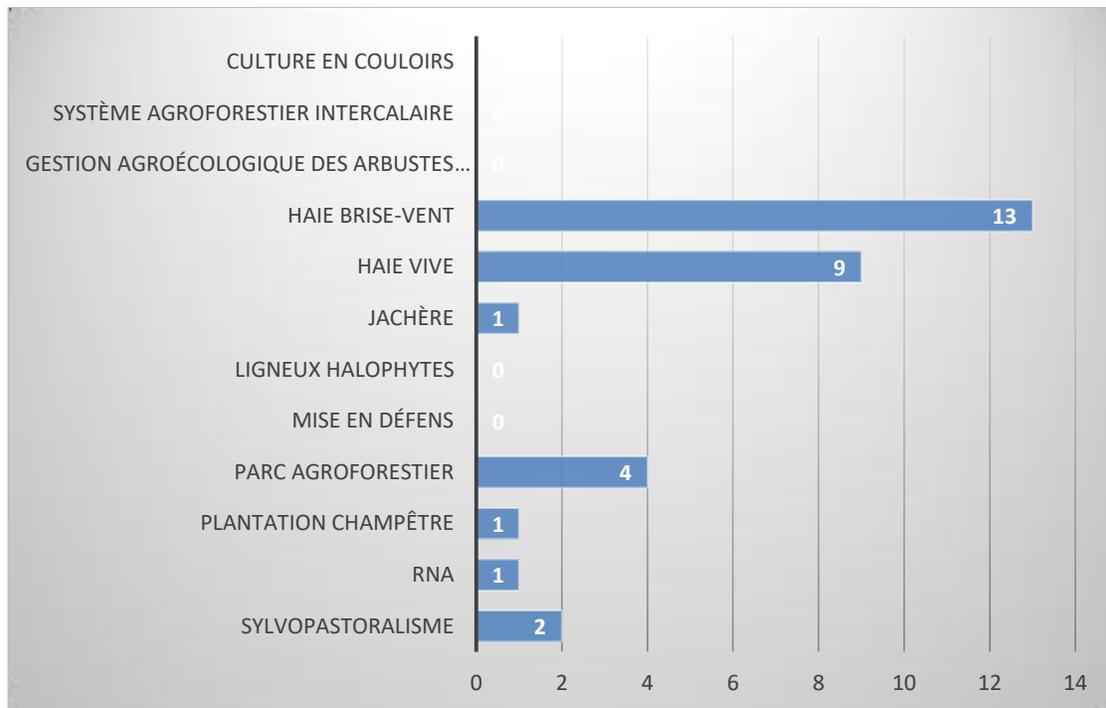
Graphique 2 : Nombre de projets par type d'intervention - Niveau national



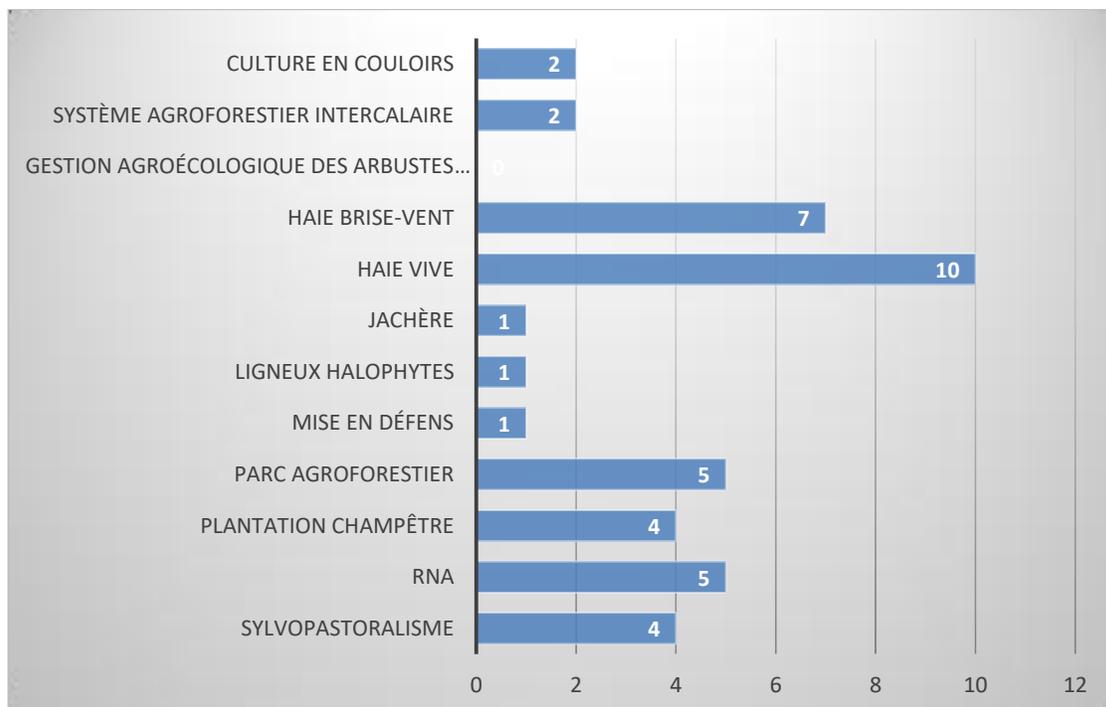
Graphique 3 : Nombre de projets par type d'intervention – Bassin arachidier



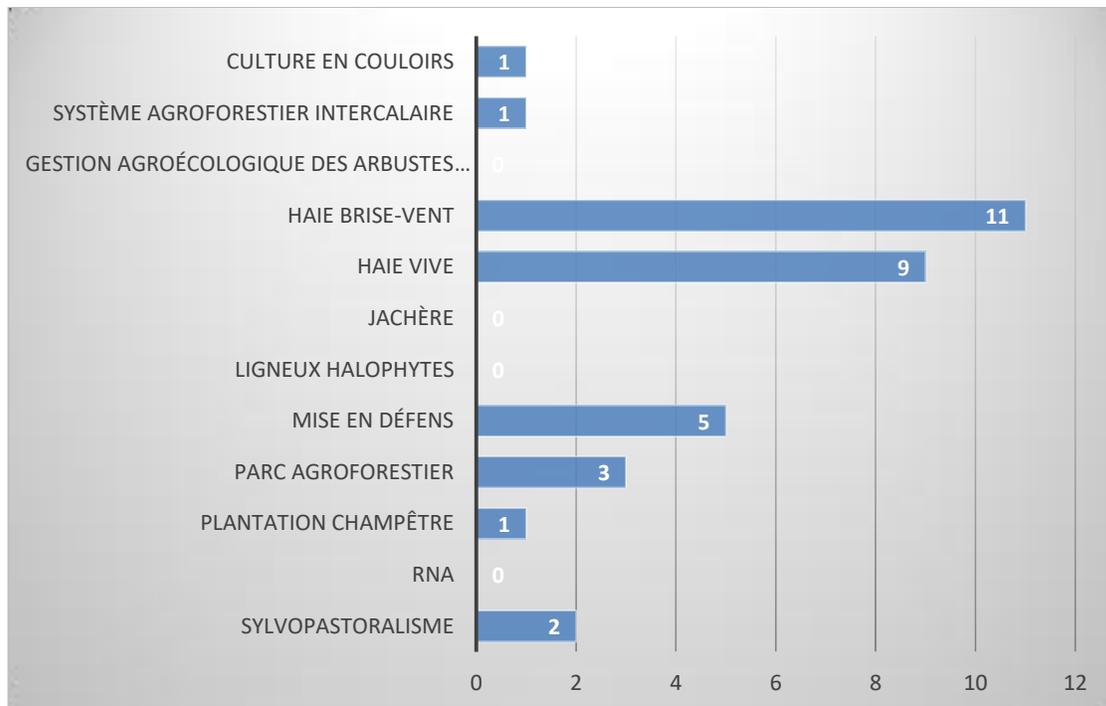
Graphique 4 : Nombre de projets par type d'intervention – Casamance



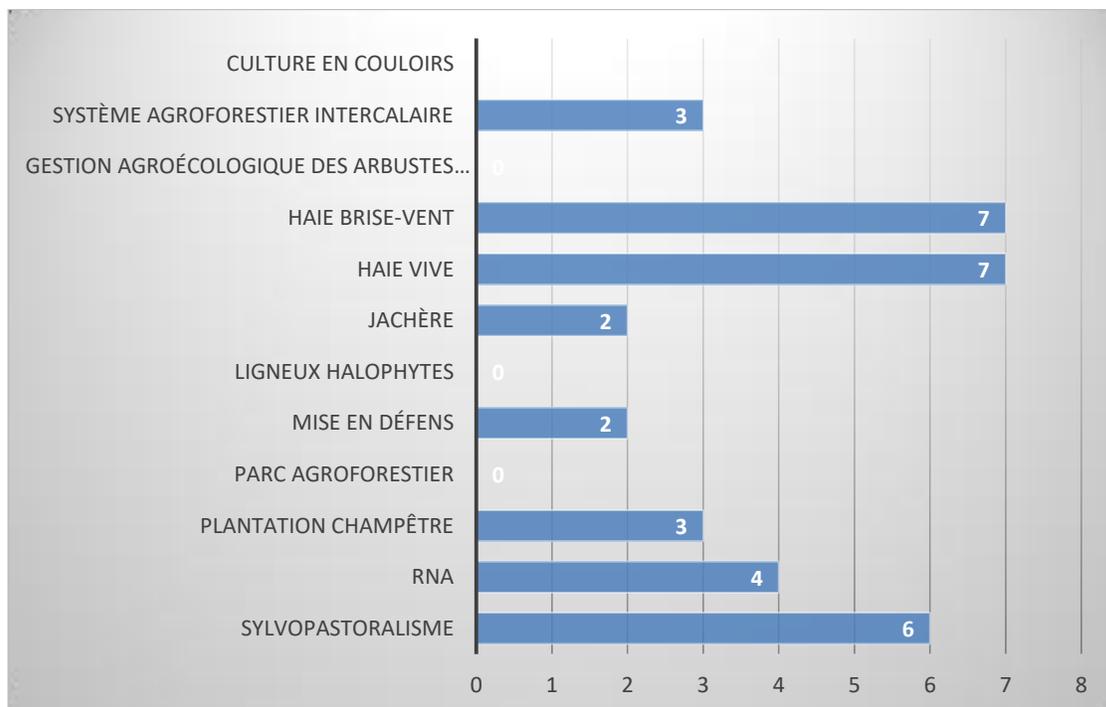
Graphique 5 : Nombre de projets par type d'intervention – Niayes



Graphique 6 : Nombre de projets par type d'intervention – Sénégal oriental



Graphique 7 : Nombre de projets par type d'intervention – Vallée du fleuve Sénégal



Graphique 8 : Nombre de projets par type d'intervention – Zone sylvopastorale

ANNEXE 3

PRINCIPAUX PROJETS MENÉS AU SÉNÉGAL DANS LE DOMAINE DE L'AGROFORESTERIE SELON LE TYPE D'INTERVENTION CONCERNÉ²⁸

| Interventions agro-forestières | Projets associés |
|--|--|
| Parcs agroforestiers | <ul style="list-style-type: none"> - DSCATT - Les Parcs agroforestiers traditionnels: Caractéristiques écologiques et influence sur la riziculture pluviale en zone post-conflit de la Basse Casamance - RAMSES II - SERENA - TRECS |
| Plantation | <ul style="list-style-type: none"> - Action contre la désertification - PAGF |
| Régénération naturelle assistée | <ul style="list-style-type: none"> - Beylene Sen Tol - Beysatol - Les communautés reverdissent le Sahel / Communities re-green the Sahel - Regreening Africa. Reversing Land Degradation in Africa by Scaling-up Evergreen Agriculture / Reverdir l'Afrique. Inverser la tendance de la dégradation des terres en Afrique en intensifiant l'agriculture pérenne - SFLEI |
| Mise en défens | <ul style="list-style-type: none"> - PAGERNA - Projet de renforcement des stratégies locales de gestion des espaces sylvo-pastoraux inter-villageois dans le bassin arachidier du Sénégal |
| Gestion agroécologique des arbustes indigènes au sein des cultures | <ul style="list-style-type: none"> - Hydrologic Redistribution and Rhizosphere Biology of Resource Islands in Degraded Agroecosystems of the Sahel - RAMSES II - Regulation of the Hydrologic and C Cycles by Native Shrubs in |

²⁸ La version actualisée du répertoire des projets agroforestiers menés au Sénégal est accessible via le lien suivant : https://docs.google.com/spreadsheets/d/15XIGc3F7PGONc6QPzHXRw8ybU-qVx_ffPnndV4R1LUQ/edit?usp=sharing

| | |
|--|---|
| | <p>Soils of Sub-Saharan Africa</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rhizosphere biology of shrub-created resource islands of Sahelian agroecosystems: optimization and adaptation to climate change - WASSA |
| Cultures agroforestières intercalaires | <ul style="list-style-type: none"> - Caractérisation agro-écologique des systèmes de production des parcs à base d'anacardier dans la région de Sédhiou (Casamance/Sénégal) - PADEC - Prévention de la malnutrition maternelle et infantile au cours des 1000 premiers jours de vie en milieu rural dans le département de Kaffrine |
| Cultures en couloirs | <ul style="list-style-type: none"> - CODEVAL - Projet de recherche développement sur le rôle de l'arbre en exploitation agricole - NRBAR - WAAPP-Jachère |
| Haies vives | <ul style="list-style-type: none"> - PAGF - POGV - PRECOBA - PREVINOBA - Recherche sur l'amélioration et la gestion de la Jachère en Afrique de l'Ouest (Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Mali, Niger, Sénégal). |
| Haies brise-vent | <ul style="list-style-type: none"> - Intégration de techniques d'installation et d'exploitation de brise-vent dans les périmètres irrigués maraîchers et fruitiers du Delta du fleuve Sénégal - Nouer des liens entre la recherche en agroforesterie et le développement au Sahel / Forging links between agroforestry research and development in the Sahel - Opération Pôles verts - PAGF |
| Sylvopastoralisme | <ul style="list-style-type: none"> - OHMI - PRECOBA - Projet Gomme arabe et reboisements pastoraux - Projet d'aménagement sylvopastoral au Ferlo |
| Fruitiers forestiers | <ul style="list-style-type: none"> - BRASPAR - DADOBAT - ENRACCA-WA - FNRAA/Baobab |

| | |
|--|--|
| | - PAR-CSA |
| Planches maraî- chères de ligneux | - FNRAA/Baobab - Préservation des terroirs et des biens naturels communs pour le renforcement de la citoyenneté koldoise - Transition écologique et renforcement organisationnel pour la durabilité et la résilience des exploitations agricoles familiales |
| Réhabilitation des sols salés par la plantation de li- gneux halophytes | - PRASS - Projet Amélioration durable de la productivité céréalière en milieu salé - PROMASC - PROVASS |
| Jachère | - Raccourcissement du temps de jachère, biodiversité et développement durable en Afrique centrale (Cameroun) et en Afrique de l'Ouest (Mali, Sénégal) - Recherche sur l'amélioration et la gestion de la Jachère en Afrique de l'Ouest (Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Mali, Niger, Sénégal). |
| Périmètres maraî- chers agroforestiers | - Sécurité alimentaire, économique et nutritionnelle - Forest Garden Program |
| Fixation des dunes | - CTL Nord et Sud - Fixation des dunes, protection des Niayes et des sols diors de la grande côte - PAFDUGA - Projet de fixation des dunes de Kébémér - Projet de Reboisement de la Zone du Littoral |
| Pare-feu verts | - P2RS - PAFD - PROGEDE |