

# UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR

\*\*\*\*\*

Faculté des Sciences et Techniques

\*\*\*\*\*

Département de Biologie Végétale



## **Influence de *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. sur les caractéristiques du sol, la croissance et le rendement du mil (*Pennisetum glaucum* (Leek) R Br) à Thilla Ounté (Bassin arachidier du Sénégal)**

Mémoire présenté et soutenu publiquement le 20 novembre 2020 au département de Biologie Végétale pour l'obtention du diplôme de

**Master Agroforesterie, Ecologie, Adaptation (AFECA)**

Par

**Mountaga MBOH**

Composition du jury

|                |                    |                       |          |
|----------------|--------------------|-----------------------|----------|
| Président : Dr | Mame Samba MBAYE   | Maitre de conférences | UCAD/FST |
| Membres : Dr   | Godar SENE         | Assistant             | UCAD/FST |
| Dr             | Moussa N'DIENOR    | Chargé de Recherches  | ISRA     |
| Dr             | Christophe JOURDAN | Chercheur             | CIRAD    |
| Dr             | Sékouna DIATTA     | Maitre-Assistant      | UCAD/FST |

**2019-2020**

## DEDICACES

*Louanges à ALLAH, Seigneur des mondes*

*Paix et Salut sur le Prophète MOUHAMMAD ainsi que sur sa Famille et ses Compagnons*

Je dédie ce travail à :

- ✚ mon Père, Thierno MBOH pour son amour et ses sacrifices à mon égard ;
- ✚ ma chère et bienveillante mère Aminata GAKHO qui a su inculquer en moi des valeurs qui m'ont gardé dans le droit chemin, le chemin de la réussite. Longue vie à toi, Maman!
- ✚ mes frères Abou MBOH, Harouna MBOH, El hadji MBOH et à mes sœurs Faty, Rouguiyata, Hassiyata, Oumou. Vous m'avez appris le sens de la famille, de l'unité et de la fraternité. Trouvez ici ma profonde gratitude, et que le Bon Dieu nous garde unis pour toujours, dans le bonheur, la prospérité et la réussite ;
- ✚ toute ma famille au Parcelle Assainies U25, notamment mon oncle et homonyme Mountaga MBOH, ma tante Oumou GUISSSE, mes cousins et cousines, sans oublier mes parents et amis depuis Saradougou en Mauritanie. Vos prières, soutiens et encouragements m'ont été utiles ;
- ✚ tous les habitants de mon village natale Kogga et à tous mes amis (es) pour votre affection ;
- ✚ tous mes enseignants depuis l'école élémentaire jusqu'au lycée.
- ✚ tous mes camarades de classe au lycée d'Aère Lao (*Team TS2*) ;
- ✚ aux habitants du village de Thilla Ounté particulièrement la famille KHOUMA qui a bien voulu, avec largesse et affection, m'héberger durant l'exécution de mon stage.

## REMERCIEMENTS

Je rends grâce à DIEU, le tout puissant sans qui rien n'est possible ici-bas.

La réalisation de ce mémoire ne serait possible sans l'opportunité qui m'a été offerte d'une part par l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar (UCAD) pour la formation académique et d'autre part le Centre Nationale de Recherche Forestières (CNR/ISRA) qui m'a accueilli pour un stage pratique de 8 mois dans le cadre du projet RAMSES II (« *Rôles de l'agroforesterie dans l'intensification durable des petites exploitations et la sécurité alimentaire des sociétés en Afrique de l'Ouest* »). Je saisis cette occasion pour témoigner ma reconnaissance aux responsables de ces institutions.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude au Docteur Cathy Clermont DAUPHIN, chargé de recherche à l'IRD, pour avoir accepté la charge de m'encadrer. Elle a toujours été présente pour discuter des orientations à suivre.

J'exprime également ma profonde gratitude à mes co-encadrants :

- ✓ Dr Louise LEROUX, chercheur en télédétection, expert en agriculture tropicales CIRAD (France) – CSE (Sénégal)
- ✓ Dr Moussa N'DIENOR, charge de recherches à L'ISRA
- ✓ Dr Sékouna DIATTA, enseignant chercheur au Département de Biologie Végétale de l'UCAD et coordonnateur du Master AFECA
- ✓ Dr Christophe JORDAN, chercheur au CIRAD
- ✓ Dr Halimatou Sadyane BA, cadre supérieur technique ISRA/CNR/

Pour leurs disponibilités, leurs conseils et l'aide scientifique précieuse qu'ils ont pu fournir pendant la durée de ce travail de mémoire.

Je m'en vais aussi remercier cordialement les membres du jury. Je veux citer : Pr Mame Samba MBAYE pour avoir accepté de présider et de juger ce travail, Dr Sékouna DIATTA, Dr Moussa N'DIENOR, Dr Christophe JOURDAN et Dr Godar SENE d'avoir bien voulu être membres.

C'est certes avec joie et fierté que je dépose ce mémoire, mais aussi avec un brin de nostalgie que je conclus ce premier travail de recherche.

Toutes ma gratitude va à l'endroit des chercheurs et des techniciens de LMI-IESOLS et du LAMA du campus de Bel-air, de leurs conseils et pour le partage d'expériences durant les manipulations au laboratoire.

Je remercie les enseignants et le personnel de la FST-UCAD pour tout ce qu'ils m'ont apporté et particulièrement ceux du Département de Biologie Végétale.

J'adresse avec émotion ma reconnaissance à tout le village de Thilla Ounté particulièrement à la famille KHOUMA pour leur accueil et leur hospitalité pendant 4 mois.

Nos remerciements s'adressent particulièrement à mes camarades stagiaires de RAMSES II : Alpha SANE, Adama DIOUF, Franck Sékou DIATTA et Ndeye Katérine NDIAYE, pour les moments de solidarité et de sociabilité vécus ensemble.

Mes parentes, frères et sœurs, mes amis (e) et à toute ma famille pour leurs soutiens et prières. Que dieu vous bénisse.

Je ne saurais trouver les mots adéquats pour remercier mes camarades du Master 2 AFECA pour la joie et la solidarité partagées.

Un grand merci à tous les habitants de Kogga, mon village natal.

À toutes les personnes qui par leurs divers conseils m'encouragent à aller toujours de l'avant. Recevez ma sincère et profonde gratitude.

# TABLE DES MATIERES

|                                                                                                                   |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| DEDICACES.....                                                                                                    | ii   |
| REMERCIEMENTS.....                                                                                                | ii   |
| TABLE DES MATIERES .....                                                                                          | iv   |
| LISTE DES SIGLES, ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS .....                                                                 | vi   |
| TABLE DES ILLUSTRATIONS.....                                                                                      | vii  |
| Listes des figures .....                                                                                          | vii  |
| Liste des tableaux .....                                                                                          | viii |
| RESUME.....                                                                                                       | ix   |
| ABSTRACT .....                                                                                                    | x    |
| INTRODUCTION .....                                                                                                | 1    |
| 1.    SYNTHESE BILIOGRAPHIQUE.....                                                                                | 5    |
| 1.1. Contexte de la production du mil au Sénégal.....                                                             | 5    |
| 1.1.1 Géographie .....                                                                                            | 5    |
| 1.1.2. Climat .....                                                                                               | 6    |
| 1.1.3. Sols .....                                                                                                 | 7    |
| 1.1.4. Exploitations agricoles.....                                                                               | 7    |
| 1.2. Généralités sur le mil et ses systèmes de culture au Sénégal .....                                           | 8    |
| 1.2.1 Evolution de la production du mil et contraintes associées .....                                            | 8    |
| 1.2.2. Physiologie du mil .....                                                                                   | 10   |
| 1.2.3. Diversité des systèmes de culture .....                                                                    | 11   |
| 1.3. Apports de l'association du mil avec <i>Faidherbia albida</i> : Les hypothèses d'interactions positives..... | 12   |
| 1.3.2. Service de régulation de l'eau .....                                                                       | 13   |
| 1.3.3. Service de recyclage du carbone et des nutriments .....                                                    | 13   |
| 1.3.4. Service de régulation des bioagresseurs.....                                                               | 15   |
| 2.    MATERIEL ET METHODES.....                                                                                   | 16   |
| 2.1. Description du site d'étude .....                                                                            | 16   |
| 2.2. Le dispositif d'étude.....                                                                                   | 19   |
| 2.2.1. Choix des parcelles et des <i>Faidherbia albida</i> cibles .....                                           | 19   |
| 2.2.2. Installations des placettes .....                                                                          | 21   |
| 2.3. Mesures et observations.....                                                                                 | 22   |

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.1. Mesures dendrométriques .....                                                | 22 |
| 2.3.2. Cartographie des arbres cibles.....                                          | 23 |
| 2.3. 3. Densité apparente .....                                                     | 23 |
| 2.3.4. Mesure de développement du mil.....                                          | 24 |
| 2.3.5. Potentiel hydrique foliaire du mil .....                                     | 25 |
| 2.3.6. Humidité et Température du sol .....                                         | 26 |
| 2.3.7. Mesure de l'indice de surface foliaire (LAI).....                            | 26 |
| 2.3.8. Meure de floraison du mil.....                                               | 27 |
| 2.3.9. Suivre des bioagresseurs du mil .....                                        | 27 |
| 2.3.10. Mesures à la récolte .....                                                  | 28 |
| 2.3.11. Enracinement du mil.....                                                    | 29 |
| 2.4. Analyses statistiques.....                                                     | 30 |
| 3. RESULTATS.....                                                                   | 31 |
| 3.1. Effets de la proximité de l'arbre sur les paramètres du sol .....              | 31 |
| 3.1.1. L'humidité du sol .....                                                      | 31 |
| 3.1.3. Température du sol .....                                                     | 31 |
| 3.1.3. Densité apparente du sol .....                                               | 32 |
| 3.2. Effets de la proximité de l'arbre sur la croissance du mil.....                | 33 |
| 3.2.1. Potentiel hydrique foliaire du mil .....                                     | 33 |
| 3.2.2. Stades de développement du mil .....                                         | 33 |
| 3.2.3. Indice de surface foliaire (LAI <sub>max</sub> ) du mil .....                | 36 |
| 3.3. Effets de la proximité de l'arbre sur les bioagresseurs .....                  | 36 |
| 3.4. Effets de la proximité de l'arbre sur les composantes du rendement du mil..... | 39 |
| 3.5. Effets de la proximité de l'arbre sur l'enracinement du mil .....              | 40 |
| 4. DISCUSSION.....                                                                  | 41 |
| CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....                                                     | 46 |
| ANNEXES .....                                                                       | 53 |

## **LISTE DES SIGLES, ACRONYMES ET ABRÉVIATIONS**

**ANOVA** : Analyse de variance

**ANSD** : Agence Nationale de la Statistique et de la Démographie

**CERAAS** : Centre d'Etude Régional pour l'Amélioration de l'Adaptation à la Sécheresse

**CIRAD** : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement

**CNRF** : Centre National de Recherche Forestières

**CSE** : Centre de Suivre Ecologique

**DA** : Densité apparente

**DAPSA** : Direction de l'Analyse, de la Prévision et des Statistiques Agricoles

**DSRP** : Document de Stratégie de Réduction de la Pauvreté

**FA** : *Faidherbia albida*

**FAO** : Organisation des Nation unies pour l'alimentation et l'agriculture

**FIDA** : Fonds International de Développement Agricole

**ICRISAT** : Institut Internationale de Recherche sur les Cultures dans les zones Tropicales Semi-arides

**GIEC** : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat

**ISRA** : Institut Sénégalais de Recherches Agricoles

**JAL** : Jour après levé

**LAI** : leaf area index (Indice de surface foliaire)

**LMI-IESOL** : Laboratoire Mixte International – Intensification Ecologique des Sols cultivés en Afrique de l'Ouest

**PAM** : Programme Alimentaire Mondiale

**PDDAA** : Programme Détaillé pour le Développement de l'Agriculture en Afrique

**PIB** : Produit Intérieur Brut

**SAED** : Société nationale d'Aménagement et d'Exploitation des terres du Delta, du Fleuve Sénégal et des vallées du fleuve Sénégal et de la Falémé

# TABLE DES ILLUSTRATIONS

## Listes des figures

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 1 :</b> Localisation des différentes zones agroécologiques du Sénégal .....                                              | 5  |
| <b>Figure 2 :</b> Les grands domaines climatiques du Sénégal.....                                                                  | 6  |
| <b>Figure 3:</b> Représentation schématique illustrant les principales phases du cycle de développement du Mil .....               | 11 |
| <b>Figure 4 :</b> Localisation du site d'étude .....                                                                               | 16 |
| <b>Figure 5 :</b> Evolution interannuelle des précipitations dans la région de Thiès de 1988 à 2018                                | 17 |
| <b>Figure 6 :</b> Evolution des précipitations dans la zone d'étude en 2019 .....                                                  | 18 |
| <b>Figure 7 :</b> Evolution interannuelle de la température maximale et minimal annuel dans la région de Thiès de 1988 à 2018..... | 18 |
| <b>Figure 8 :</b> Localisation des parcelles d'étude et des arbres suivis.....                                                     | 21 |
| <b>Figure 9 :</b> Dispositif de mesure (placette sous couvert et hors couvert).....                                                | 22 |
| <b>Figure 10 :</b> Mesure de la distance entre les arbres .....                                                                    | 23 |
| <b>Figure 11 :</b> Prélèvement de pour des mesures de densité apparente .....                                                      | 24 |
| <b>Figure 12 :</b> Mesure du potentiel hydrique foliaire (A) à l'aide d'une chambre à pression (B)                                 | 25 |
| <b>Figure 13 :</b> Mesure de la teneur en eau et de la température du sol (A) à l'aide d'une sonde TDR (B) .....                   | 26 |
| <b>Figure 14 :</b> Mesure de LAI Max (A) à l'aide du LAI 2200 (B) .....                                                            | 27 |
| <b>Figure 15 :</b> Poquets de mil attaqués par les chenilles à différents degrés : Faible (a), moyen (b) et Fort (c) .....         | 28 |
| <b>Figure 16 :</b> Teneur en eau du sol (%) à différentes dates (53 JAL, 57 JAL, 69 JAL et 72 JAL). JAL : jours après levée.....   | 31 |
| <b>Figure 17 :</b> Température du sol (°C) à différentes dates (53 JAL, 57 JAL, 69 JAL et 72 JAL) .....                            | 32 |



|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 18</b> : Variation de la Densité du sol ( $\text{g/cm}^3$ ) à trois horizons (0-10, 10-20 et 20-30 cm) .....                       | 32 |
| <b>Figure 19</b> : Potentiel hydrique foliaire du mil (bar) (Passage 1) .....                                                                | 33 |
| <b>Figure 20</b> : Mesure du nombre de feuille moyen sur un pied de mil à différents stades (30 JAL, 37 JAL, 44 JAL, 51 JAL et 58 JAL) ..... | 34 |
| <b>Figure 21</b> : Mesure du nombre moyen de talles sur un pied de mil à différents stades (30 JAL, 37 JAL, 44 JAL, 51 JAL et 58 JAL).....   | 34 |
| <b>Figure 22</b> : Evolution du nombre poquets fleuris par placette en fonction du temps .....                                               | 35 |
| <b>Figure 23</b> : Nombre moyen de feuilles adultes sur un pied à la floraison .....                                                         | 35 |
| <b>Figure 24</b> : Indice de surface foliaire du mil à la floraison .....                                                                    | 36 |
| <b>Figure 25</b> : Taux d'infection des chenilles sur les poquets du mil du stade 1 au stade 5 .....                                         | 37 |
| <b>Figure 26</b> : Pourcentage d'attaque su Striga sur les poquets du mil.....                                                               | 38 |
| <b>Figure 27</b> : Pourcentage d'attaque des maladies (Mineuse, Mildiou et Charbon) sur le mil...                                            | 38 |
| <b>Figure 28</b> : Rendement en Epis, Grains et Paille du mil (t/ha) par traitement .....                                                    | 39 |
| <b>Figure 29</b> : Evaluation de la biomasse racinaire du mil (kg/ha) à différents horizons (0-20, 20-50 et 50-100 cm).....                  | 40 |
| <b>Figure 30</b> : Rapport de la biomasse racinaire totale sur la biomasse aérienne totale du mil (g) .....                                  | 40 |

### Liste des tableaux

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau 1</b> : Données météorologique (température et pluviométrie) de la station de Thiès durant le période 1988-2018..... | 17 |
| <b>Tableau 2</b> : Caractéristiques des parcelles d'étude .....                                                                 | 19 |
| <b>Tableau 3</b> : Gestion technique des parcelles étudiées .....                                                               | 20 |
| <b>Tableau 4</b> : Caractéristiques dendrométriques des parcelles d'études .....                                                | 22 |

## RESUME

Au Sénégal, les pratiques agroforestières traditionnelles ou améliorées visent la stabilité et la durabilité des systèmes de production agricole. Dans le but d'évaluer l'impact de ces pratiques sur les conditions biophysiques du sol, le microclimat et la productivité des cultures, une étude sur l'influence du *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev., sur la culture du mil associé (*Pennisetum glaucum*), a été conduite au niveau du Bassin arachidier du Sénégal dans le village de Thilla Ounté (Région de Thiès). La teneur en eau et la température du sol (20 cm de profondeur), le potentiel hydrique foliaire, la densité apparente du sol, le développement, l'indice de surface foliaire, l'enracinement et le rendement du mil ont été évalués dans le site d'étude sous et en dehors du houppier. La teneur en eau du sol et le potentiel hydrique foliaire ont été plus élevés au niveau des placettes sous houppier, en relation avec une évaporation du sol plus faible sous l'ombrage de *Faidherbia*. La température du sol au cours du cycle n'a pas été significativement différent ( $P > 0.05$ ) entre les deux situations. La densité apparente du sol s'est révélée plus faible sous l'arbre, ce qui a pu faciliter l'infiltration de l'eau à cet endroit. De plus, on a observé un effet positif significatif de la proximité de l'arbre sur l'indice de surface foliaire et le développement aérien du mil. La proximité de l'arbre a contribué également à réduire l'impact des bioagresseurs et des parasites du mil. Les résultats ont montré une production de biomasse racinaire du mil plus élevée sous le couvert de l'arbre. Ces effets positifs de la présence des arbres pourraient expliquer l'impact bénéfique observé sur le rendement du mil. En effet le rendement en grains sous le houppier est en moyenne 2 fois plus élevé que le rendement en dehors du houppier. En conclusion, la présence du *Faidherbia albida* dans les agrosystèmes présente un avantage significatif sur les caractéristiques du sol et la productivité du mil.

**Mots-clés :** Sénégal, *F. albida*, *Pennisetum glaucum*, durabilité des systèmes, productivité, microclimat, caractéristiques du sol.

## ABSTRACT

In Senegal, traditional or improved agroforestry practices aim at the stability and sustainability of agricultural production systems. In order to assess the impact of these practices on the biophysical conditions of the soil, the microclimate and the productivity of crops, a study on the influence of *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev., on the cultivation of millet associated (*Pennisetum glaucum*), was carried out in the groundnut basin of Senegal in the village of Thilla Ounté (Region of Thiès). Soil water content and temperature (20 cm depth), leaf water potential, soil bulk density, development, leaf area index, rooting and yield of the millet were evaluated in the study site under and outside the crown. Soil water content and leaf water potential were higher in the crown plots, related to lower soil evaporation under *Faidherbia* shade. The soil temperature during the cycle was not significantly different ( $P>0.05$ ) between the two situations. The bulk density of the soil was found to be lower under the tree, which may have made it easier for water to infiltrate there. In addition, a significant positive effect of tree proximity on leaf area index and aerial development of millet was observed. The proximity to the tree has also helped reduce the impact of pests and pests of millet. The results showed higher millet root biomass production under the tree canopy. These positive effects of the presence of trees could explain the beneficial impact observed on millet yield. Indeed the grain yield under the crown is on average twice as high as the yield outside the crown. In conclusion, the presence of *Faidherbia albida* in agrosystems has a significant advantage on soil characteristics and millet productivity.

**Keywords:** Senegal, *F. albida*, *Pennisetum glaucum*, sustainability of systems, productivity, microclimate, soil characteristics.

## INTRODUCTION

L'Afrique subsaharienne (ASS) compte plus de 950 millions d'habitants, soit environ 13 % de la population mondiale. D'ici 2050, cette part devrait atteindre 22 %, soit 2.1 milliards de personnes (Anonyme, 2016). L'accroissement rapide de la population, d'environ 2.7 %/an, pourrait, si on n'y prend pas garde, amplifier l'insécurité alimentaire déjà prégnante. En effet, le pourcentage de personnes sous-alimentées en ASS, estimé à 218 millions entre 2014 et 2015, reste le plus élevé des pays en développement (FAO, FIDA et PAM, 2015).

Par ailleurs, pour réduire la pauvreté et la faim de la façon la plus directe possible, la priorité doit être accordée à l'agriculture où les facteurs de production appartiennent aux plus démunis et aux personnes sous alimentées, qui engendrent des produits consommés par ces populations et qui se développent dans les régions où elles vivent. Malheureusement, la performance de l'ASS dans le secteur agricole, marquée par des décennies de hauts et de bas, n'a pas été à la hauteur des espérances.

Le mil à chandelle ou mil penicillaire, *Pennisetum glaucum* (Leek) R Br ; occupe la 7ème place parmi les céréales les plus importantes au monde (Moumouni, 2014). Dans le monde, la production mondiale couvrait plus de 33,11 millions d'hectares en 2013 avec une production de 25,9 millions de tonnes (Hamadou *et al.*, 2017). En Afrique, il représente la céréale la plus importante derrière le maïs et le sorgho, avec 22 099 632 ha des terres des cultivés pour une production totale de 15 867 785 tonnes en 2018 (FAOSTAT, 2018). Environ, 50% de la production mondiale de mil provient de l'Afrique de l'Ouest (ROCAFREMI, 2002).

Au Sénégal, l'agriculture (vivrière et de rente) participe à environ 8,4% à la formation du PIB et emploie près de 55,2% de la population active. Le mil est la céréale la plus cultivée dans le pays avec près de 817 901 ha de superficie emblavées (FAOSTAT, 2018). Il représente en moyenne 42% de la production céréalière (DAPSA, 2014), avec une production estimée à 574 000 tonnes en 2018, soit un rendement de 701 kg/ha (FAOSTAT, 2018). Toutefois, le pays connaît une situation alimentaire difficile marquée par des déficits périodiques (soudures cycliques) au moment où la demande alimentaire est sans cesse croissante avec un taux de croissance annuel de 2,7% (ANSD, 2006). Pour cause, le pays enregistre une régression récurrente de sa production nationale de céréale, plus de 1 700 000 t de 2010/11 à moins de 1 100 000 t en 2011/12 (ANSD, 2012).

À l'instar des autres pays de l'ASS, cette baisse de la productivité agricole s'explique principalement par une irrégularité de la pluviométrie due aux changements climatiques, des températures élevées, la sécheresse, des sols appauvris et fragiles causés en partie par l'élimination ou la réduction des durées de jachères (Badiane & Delgado, 1995).

Pour faire face à cette situation, l'agroforesterie est bien positionnée car c'est une pratique qui a été notée parmi les plus prometteuses pour lutter contre l'appauvrissement des sols et le changement climatique lors du dernier rapport de GIEC en 2019. Parmi les espèces agroforestières ciblées dans le Bassin arachidier pour lutter contre ces effets, figure en première ligne l'espèce *Faidherbia albida* (FA).

Les démarches d'évaluations des performances de ces systèmes in situ ont montré jusqu'à aujourd'hui un effet positif de la proximité de *Faidherbia albida* sur le rendement des cultures de céréales. Un des processus en cause est la phénologie inversée de FA qui fait que sa présence et sa canopée ne font pas concurrence pour la lumière aux cultures installées en saison des pluies. En outre, pendant la saison sèche FA abrite le bétail en pâturage libre sur les parcelles, qui participe ainsi à travers des déjections à l'amélioration de la fertilité du sol. La litière de feuilles et de racines de FA contribue à la concentration de matière organique, de nutriments, d'eau et d'activité biologique dans les horizons superficiels de sols où se concentrent les racines de cultures annuelles. L'ombrage créé par les branches permettrait une réduction de la température et de l'évaporation du sol au voisinage du FA. Un autre mécanisme qui pourrait contribuer à l'effet îlot de fertilité du FA fait intervenir son système racinaire profond, peu compétitif en surface et qui lui permettrait de faire remonter de l'eau et des nutriments dans les horizons superficiels de sol. Les résultats montrant ces interactions positives du FA sur les cultures de céréales associées ont été publiés par Dancette, (1960) ; Charreau et Vidal (1965) ; Louppe et al (1996) ; Rhoades, (1997) ; Roupsard et al. (1997) ; Sileshi, (2016).

Cependant beaucoup reste à faire pour définir les effets des systèmes de cultures pratiqués dans le bassin arachidier sur ces processus de facilitation et les moyens de les améliorer durablement.

En plus de son effet sur les cultures associées, FA joue directement un rôle important dans la vie courante de plusieurs populations rurales : (i) production de bois de chauffe et de construction, (ii) production de fourrages (gousses) pour les animaux, (iii) production de

fibres à usage vétérinaires. Malgré ces avantages, la densité d'arbres dans la zone a décru par rapport au passé, ceci pourrait être due : à l'émondage des arbres par des éleveurs pour l'alimentation du bétail, au vieillissement des arbres entraînant une forte mortalité, à la faible régénération de l'espèce. En effet, le rôle capital que joue cette espèce végétale ligneuse a fait susciter un regain d'intérêt et des efforts sont de plus en plus fournis pour assurer sa gestion durable et optimiser les avantages qu'elle offre aux agriculteurs.

Ce mémoire a été initié dans le cadre du projet RAMSES II (« *Rôles de l'agroforesterie dans l'intensification durable des petites exploitations et la sécurité alimentaire des sociétés en Afrique de l'Ouest* »). La question posée par ce projet est la suivante : « Comment l'agroforesterie peut-elle être intensifiée durablement ? ». Le projet RAMSES II a pour objectif de fournir des scénarios d'intensification innovants pour les quatre parcs d'agroforestiers à base de cultures céréalières les plus représentés en Afrique de l'Ouest (*Faidherbia albida*, *Guiera senegalensis*, *Piliostigma reticulatum* et *Vitellaria paradoxa*), tout en optimisant leur adoption par les petits exploitants. L'approche repose sur un diagnostic multi-échelle des facteurs clés de la dynamique des parcs et la caractérisation des services multiples qu'ils fournissent.

Cette étude se veut une contribution pour mettre en place, avec les agricultures, des stratégies adaptées pour une utilisation efficace et durable des parcs à *Faidherbia* dans le Bassin arachidier du Sénégal afin de répondre aux besoins agronomiques et environnementaux de leurs exploitations.

### ✓ Objectifs de l'étude

L'étude conduite au niveau du village de Thilla ounté situé dans la région de Thiès a comme principal objectif de contribuer à la connaissance de l'impact de l'arbre *Faidherbia albida* sur les différentes variables d'état des sols et des cultures annuelles dans un réseau de parcelle d'agriculteurs. Il s'agit de façon spécifique d'évaluer les effets de la distance à l'arbre sur : (i) les différents indicateurs de fertilité des sols, (ii) l'état sanitaire de la culture (iii) et leurs relations avec l'élaboration du rendement du mil.

## ✓ Hypothèses

Pour répondre aux objectifs fixés, l'étude s'est basée sur trois hypothèses :

- i) La proximité de l'arbre a un effet positif sur les indicateurs de fertilité du sol.
- ii) L'état sanitaire de la culture est affectée par la présence du *Faidherbia*.
- iii) L'arbre influence positivement l'élaboration du rendement du mil.

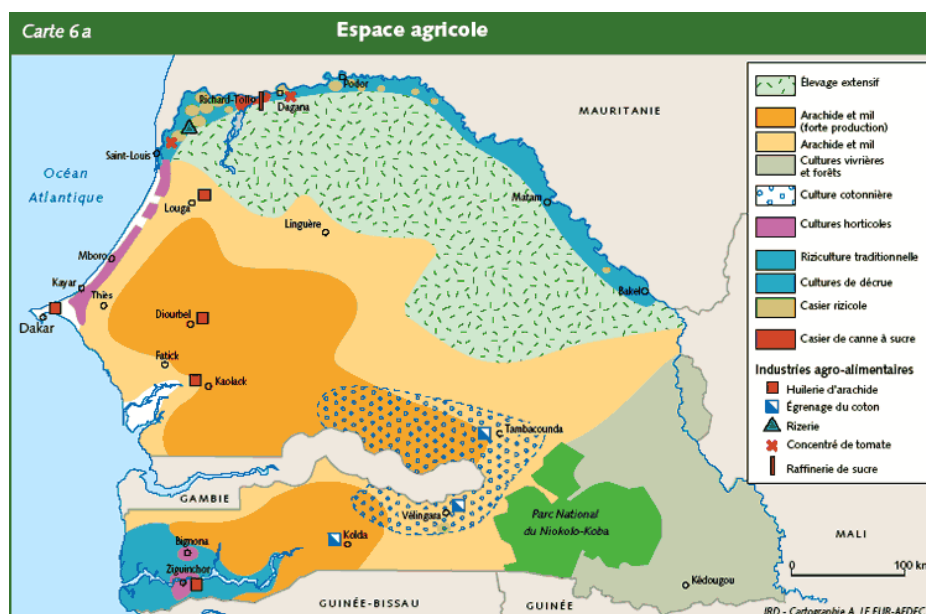
Ce document est constitué de 3 chapitres à la suite de l'introduction. Le premier chapitre présente une synthèse bibliographique. Le second chapitre décrit le matériel et méthodes utilisés. Le troisième présente les résultats et discussion du travail réalisé. Une conclusion générale est proposée à la fin du document.

# 1. SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

## 1.1. Contexte de la production du mil au Sénégal

### 1.1.1 Géographie

Le Sénégal se situe entre les latitudes 12°30 et 16°30 de l'attitude Nord et 12° et 17° de longitude ouest à l'avancée la plus occidentale du continent africain dans l'Océan Atlantique, au confluent de l'Europe, de l'Afrique et des Amériques, et à un carrefour de grandes routes maritimes et aériennes. D'une superficie de 196 722 km<sup>2</sup>, il est limité au nord par la Mauritanie, à l'est par le Mali, au sud par la Guinée et la Guinée Bissau, à l'ouest par la Gambie, et par l'Océan Atlantique sur une façade de 500 km. Dakar (550 km<sup>2</sup>), la capitale, est une presqu'île située à l'extrême Ouest. Pays plat aux sols sablonneux ne dépassant pas 130 m d'altitude sauf à la frontière sud-est vers la Guinée. Trois fleuves traversent le pays : le Sénégal (1700 km) au nord, la Gambie (750 km) et la Casamance (300 km) au sud. (Source : [www.ansd.sn](http://www.ansd.sn)). Le secteur agricole du pays qui participe à environ 8,4% du PIB et emploie près de 55,2% de la population active, est dominé en grande partie par la culture du mil. Il est cultivé principalement au centre du pays plus connu sous l'appellation de Bassin arachidier couvrant les régions de Kaolack de Kaffrine, de Louga, de Diourbel et de Thiès. Il est aussi cultivé dans la région de Tambacounda et de Kolda en Casamance.



**Figure 1:** Localisation des différentes zones agroécologiques du Sénégal



### 1.1.2. Climat

Du nord au sud du bassin arachidier, on passe du climat tropical sahélo-soudanien à celui de type soudanien. Les surfaces emblavées, c'est à dire le Nord et le Centre du bassin arachidier (régions de Louga, de Thiès et de Diourbel), représentent 45% des superficies totales cultivées par an au Sénégal en arachide, mil et sorgho (Cisse, 1986). Le bassin arachidier est caractérisé: par l'alternance de deux saisons très contrastées : une longue saison sèche (Octobre à Juillet) et une courte saison des pluies (Juillet à Septembre) avec une pluviométrie souvent plus forte en Août (Dancette, 1979). Les quantités de pluies et leur répartition peuvent varier d'une année sur l'autre de 15 à 30% (Charreau et Nicou, 1971; Sivakumar, 1991). Cette zone était encadrée par les isohyètes 400 et 800 mm jusqu'en 1968. Mais, entre 1968 et 1990, ces valeurs sont passées respectivement à 300 et 600 mm soit une descente en moyenne du nord au sud de 100 mm. Cette évolution a conduit à une sécheresse caractérisée par une pluviométrie faible, un raccourcissement de l'hivernage et à l'augmentation des risques d'apparition de poches de sécheresse surtout en début et fin de cycle qui peuvent affecter considérablement la croissance et le rendement des cultures (Cochemé et Franquin, 1968; Dancette, 1979; Sivakumar, 1991). Avec une moyenne de 28 à 30°C, la température manifeste des écarts journaliers plus marqués pendant la saison sèche qu'en saison des pluies. Les vents sont très véloces dans cette zone et leurs effets se manifestent par une érosion éolienne qui s'exprime souvent par de véritables vents de sables.



Figure 2 : Les grands domaines climatiques du Sénégal

### 1.1.3. Sols

Environ 80% des sols cultivés du Sénégal sont des sols ferrugineux tropicaux très sableux appelés sols Dior. Ils ont été décrits par plusieurs auteurs comme Bonfils et Faure (1956) ; Charreau, (1961) ; Charreau et Nicou (1971). Ils présentent un profil très homogène de la surface jusqu'à plus de 4m de profondeur mais ils ont une faible porosité globale (30 à 40%), proche de la porosité texturale (Nicou, 1974). Leur faible fraction argileuse (2 à 3%) est constituée de kaolinite, de sesquioxydes et de silice colloïde (Pieri, 1977). Leur horizon humifère, très peu différencié, présente de faibles taux de matière organique de l'ordre de 0.2 à 0.5%. Leur capacité de rétention en eau est limitée avec 75 mm d'eau utile sur 1m de profondeur (Dancette, 1978). Ils ont aussi une capacité d'échanges cationiques faible (1 à 3 meq 100g<sup>-1</sup> de sol). Du fait de leur texture essentiellement sableuse, de leur composition minéralogique et de leur pauvreté en matière organique, ils ont un faible pouvoir tampon avec une acidité fréquente. Ils présentent un pic de minéralisation en début de saison des pluies, libérant une quantité assez importante d'azote minéral dans le profil, mais qui est presque totalement lessivée au bout d'une vingtaine de jours (Blondel, 1971).

À côté des sols Dior, les sols Dek se sont développés dans les interdunes et dans quelques zones planes. Ce sont des sols peu évolués à hydromorphie temporaire de surface. Ils ont des teneurs en argile un peu plus élevées, de 5 à 12% (Lericollais, 1969).

### 1.1.4. Exploitations agricoles

Les contours de l'exploitation agricole sont un peu ambigus en zone sahélienne. Ils correspondent parfois à la concession qui regroupe plusieurs ménages ayant chacun leurs cases distribuées autour du chef de concession, l'ainé de la famille, dont la mission est d'entretenir la cohésion sociale entre les foyers issus d'une même famille et de gérer les relations du groupe avec l'extérieur, en particulier les relations matrimoniales. Ces contours peuvent être aussi, dans une certaine mesure, en particulier pour les décisions relatives à la gestion de leurs moyens de production, ceux du foyer constitué du père de la mère et des enfants. Plusieurs démarches de typologie d'exploitation au niveau des villages du Bassin arachidier ont été rapportés dans la bibliographie (Audouin, 2014; Ricome *et al*, 2017; Ndiaye, 2018). Toutes ces typologies, s'accordent pour mettre en évidence :

1) L'existence d'une forte hétérogénéité de moyens de production entre fermes. Par exemple les surfaces agricoles cultivées peuvent varier entre 1 ha à plus de 10 ha dans certains villages, le chargement animal peut varier de 1 à 5 unités de gros bétail par hectare, le niveau de trésorerie peut varier d'un facteur 4 entre exploitations agricoles à l'intérieur d'un même village.

2) L'existence de stratégies variées correspondant notamment à différents niveaux d'intégration entre activités d'agriculture et d'élevage et d'activités annexes ou hors de l'exploitation agricole.

3) Le faible niveau de trésorerie et d'accès à un capital financier et au crédit de la plupart des exploitations. Par conséquent les objectifs prioritaires de la plupart des agriculteurs sont avant tout de satisfaire les besoins vivriers du foyer et de sécuriser un revenu minimum à court terme pour couvrir les besoins de première nécessité (alimentation, scolarité, etc.), plutôt que d'améliorer la production à n'importe quel prix.

## **1.2. Généralités sur le mil et ses systèmes de culture au Sénégal**

### **1.2.1 Evolution de la production du mil et contraintes associées**

#### **a) Evolution de la production de mil au Sénégal**

Le mil (*Pennisetum glaucum*), cultivé sur l'ensemble du Bassin arachidier, constitue la première céréale produite dans le pays. Sa production présente une tendance stationnaire entre 1996 et 2004 avec une production moyenne tournant autour de 600 000 t (Dieng, 2006). De 2004 à 2006 la production a chuté jusqu'à 400 000 t (Sahel, 2006) avant de se stabiliser à une moyenne annuelle tournant autour de 623 000 t (ANSD, 2012) durant la période (2008-2012). De 2013 à 2017, le Sénégal a produit en moyenne 640 170 t par an (DAPSA, 2018). La production en 2017 est en moyenne 875 484 t contre 827 601 t en 2018 soit une variation de 5% entre ces deux années (DAPSA, 2018) avec des rendements moyens faibles de l'ordre de 630 kg/ha sur les quinze dernières années. En 2019 la production du mil est de 807 044 t (FAOSTAT, 2018). Cette variation inter-annuelle et cette faiblesse des rendements font apparaître la nécessité d'une stabilisation et/ou d'une amélioration de la productivité du mil pour contribuer à la sécurisation alimentaire. Les travaux conduits dans ce sens par les différents Instituts de recherches intervenant dans la zone sahélienne (ISRA/CERAAS,

ICRISAT, IRD...) ont connu deux orientations complémentaires en fonction des approches disciplinaires : l'optimisation des itinéraires techniques et la création de variétés adaptées à la sécheresse. Les effets des techniques culturales telles que le travail du sol combiné avec les amendements organiques et les fertilisations minérales ont été étudiés par plusieurs auteurs (Charreau et Nicou, 1971; Ganry et al. 1974; Cissé, 1986; Wey et al. 1987). Mais les recommandations tirées de ces travaux ont du mal à passer dans la pratique des agriculteurs, notamment à cause des contraintes socio-économiques. Aujourd'hui, avec la pression démographique et la régression du troupeau qu'elle a entraîné, les quantités de fumiers disponibles pour amender les parcelles sont devenues très faibles. Le bilan des entrées et des sorties de nutriments tirés des résultats d'enquêtes de Audouin et al. (2015) montrent des valeurs souvent négatives. La concentration de fumier dans les champs de case serait à l'origine de rendements du mil plus élevés que dans les champs de brousse (Fofana *et al.*, 2008 ; Tounkara *et al.*, 2020). Avec une pluviométrie variant entre 300 et 1200 mm, les niveaux de besoin d'un mil Souna sont plus ou moins satisfaits par la pluviométrie, mais la répartition de cette quantité au cours du cycle n'est pas toujours favorable. Les risques de déficit hydrique en fin de cycle, au moment du remplissage des grains sont donc fréquents.

#### b) Les contraintes de la production du mil au Sénégal

Malgré les quelques améliorations de la productivité due à l'adoption de nouvelles techniques, la production du mil au Sénégal reste limitée par des contraintes abiotiques et biotiques (Broutin *et al.*, 1996). Les contraintes abiotiques portent essentiellement sur les facteurs édaphiques et climatiques. La faible fertilité des sols est le principal facteur limitant la production des cultures dans les pays sahéliens (Rekunda *et al.*, 1997). L'irrégularité des pluies, la faiblesse des hauteurs recueillies, leur mauvaise répartition dans le temps et dans l'espace et une forte évaporation constituent l'un des facteurs limitant la production du mil. Ce dernier est aussi victime de bioagresseurs comprenant insectes, maladies et mauvaises herbes (Badiane, 1999). La mineuse de l'épi du mil (*H. albipunctella*) est devenue le principal insecte ravageur du mil et le plus largement répandu dans la zone sahélienne (Ndoye et Gahukar, 1989). Elle occasionnerait en moyenne 10 à 20% de perte et jusqu'à une perte quasi-totale des récoltes (Geddes, 1990). Parmi les maladies les plus importantes, figure le mildiou (*Sclerospora graminicola* Schroet), le charbon (*Tolyposporium penicillariae* Bref) et

l'ergot (*Claviceps fusiformis* Loc) (Mbaye, 1993). Les mauvaises herbes comme le *Striga hermontica* Benth constituent un grand problème pour la culture du mil dans la zone sahélienne de l'Afrique (FAO, 1986 in Badiane, 1999).

#### 1.2.2. Physiologie du mil

Le mil à chandelle, *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br., est une plante de la famille des graminées. Il est originaire de l'Afrique de l'ouest, dans la zone limite sud du Sahara entre le Soudan occidentale et le Sénégal (Diallo, 2012). Selon (Maiti & Bidinger, 1981) cité par (Eldin, 1990), les différentes étapes du développement du mil peuvent être regroupées en trois phases principales :

##### ✓ La phase végétative

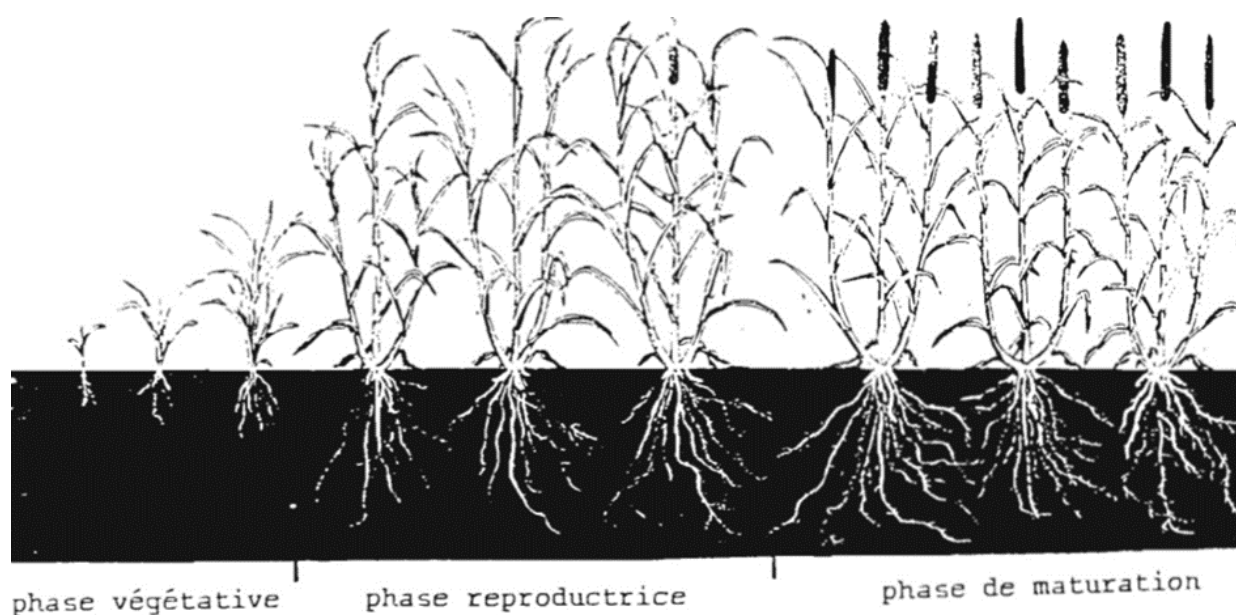
Cette phase débute par l'émergence de la coléoptile et continue jusqu'au point d'initiation du panicule. La germination est hypogée et dure environ 24 heures. Après la levée les stades intermédiaires apparaissent, radicule peu ramifiée, tige et premières feuilles, puis multiplication des racines adventives. Les jeunes plantules prennent possession du sol, les bourgeons de la tige principale se multiplient et forment des talles (tiges secondaires). Le tallage suivant les variétés, peut se poursuivre tout au long de la croissance de la plante (figure 3). Les nœuds à la base des tiges secondaires peuvent donner à leur tour des tiges tertiaires. L'initiation du panicule se caractérise par l'élongation du dôme apical de la tige principale et la formation d'une constriction à la base de l'apex, c'est le passage de la phase végétative à la phase reproductrice.

##### ✓ La phase reproductrice

Les premières feuilles sorties deviennent sénescentes, l'élongation des tiges secondaires se poursuit ainsi que la multiplication de nouvelles talles. La feuille terminale de la tige principale apparait, enroulée autour du panicule qui se développe alors rapidement. Cette phase se termine par la floraison du panicule, floraison femelle tout d'abord, puis floraison mâle (figure 3). Le stade 50 % de floraison est atteint lorsque l'inflorescence couvre la moitié de la hauteur de l'épi.

### ✓ La phase de maturation

Le grain prend naissance au moment de la fécondation, il se développe et mûrit en passant par trois états: laiteux, pâteux puis vitreux (maturité). Pendant cette phase la sénescence des feuilles basales se poursuit, les talles développées tardivement restent souvent stériles, si elles produisent des inflorescences, celles-ci n'arrivent pas à maturité.



**Figure 3 :** Représentation schématique illustrant les principales phases du cycle de développement du Mil

#### 1.2.3. Diversité des systèmes de culture

Le modèle de culture dans le bassin arachidier est fondé sur une division par zones des surfaces cultivables : une première zone jouxtant le village ou champs de case et une deuxième zone située à peu près à un kilomètre des lieux d'habitation, les champs de brousse. Dans les champs de case, les producteurs cultivent en permanence le mil sans rotation ni mise en jachère. Dans les champs de brousse, l'arachide associée au niébé alterne avec le mil et la jachère y est pratiquée. (Tounkara *et al.*, 2020). La fertilisation organique et minérale constitue les principales pratiques des producteurs pour améliorer la fertilité des terres agricoles. La jachère volontaire faisant partie du système de rotation est pratiquée par les exploitants. Cependant la mise en jachère des terres devient de plus en plus rare à cause de l'augmentation démographique et certains ont laissé des terres en jachère seulement par manque de semences. D'autres optent pour les moyens de fertilisation disponibles : le fumier,

les déchets ménagers, les cendres, les arbres et les nombreux déchets fertilisants qu'ils produisent. Le fumier est souvent réservé aux champs de case et l'engrais minéral pour les champs de brousse.

### **1.3. Apports de l'association du mil avec *Faidherbia albida* : Les hypothèses d'interactions positives**

*Faidherbia albida* (Del). A. Chev. (Syn. *Acacia albida*, Del) est un arbre Africain de la famille des Leguminosae, sous-famille des Mimosoideae. Il est très proche de la tribu des *Acacia*, avec néanmoins quelques différences, qui en font un genre à part des acacias (Chevalier 1934 ; CTFT, 1988 ; Joly 1991). L'arbre est vigoureux, atteignant couramment une hauteur de 15 à 20 m avec une circonférence de tronc de l'ordre du mètre. C'est un arbre à usages multiples (feuilles et fruits fourragers, bois, propriétés médicinales), potentiellement fixateur d'azote et présentant un très grand intérêt dans les parcs agroforestiers aménagés traditionnellement par l'homme. Son aire de répartition est remarquablement vaste: au Nord, elle forme un bandeau des côtes occidentales aux côtes orientales de la zone subsaharienne, et monte également dans le Sahara. Elle contourne la zone centrale guinéenne (humide), trouve sa limite australe au Lesotho, remonte le long de la côte atlantique Sud en Namibie et en Angola. Cette distribution s'accompagne d'une très importante amplitude écologique, en termes de pluviométrie (de 50 à 1500 mm) (Fagg et Barnes, 1990), de distribution des pluies (une ou deux saisons humides), d'hygrométrie, d'altitude, de sols, etc. Il semble que les *Faidherbia* affectionnent les sols profonds, légers, et pourvus d'une nappe phréatique, même profonde (CTFT, 1988). Outre son amplitude écologique, la caractéristique la plus remarquable de *Faidherbia albida* est sa "phénologie inversée". Sa phase de végétation est centrée sur la saison sèche : les *Faidherbia* débourrent en fin de saison des pluies, fleurissent en cours de saison sèche, et la chute des feuilles suit généralement l'arrivée des nouvelles pluies. L'espèce est donc caducifoliée, et sa croissance est indéfinie durant la phase feuillée. Cette productivité de contre-saison présente des avantages évidents pour l'économie des populations des zones sèches. En Afrique de l'Ouest principalement, *Faidherbia albida* a été intégré à l'économie rurale de longue date, et constitue la composante arborée principale de systèmes agro-sylvo-pastoraux appelés "parcs à *Faidherbia*" (Pélissier, 1980) ; (Ouedraogo, 1994) ; (Depommier, 1996) ; (CIRAD-Forêt, 1996). Dans ces systèmes agroforestiers, les arbres sont disséminés dans les champs, avec une faible densité, de l'ordre d'une dizaine

d'arbres à l'hectare. Émondé par les pasteurs, *Faidherbia albida* fournit du fourrage de grande qualité nutritionnelle aux troupeaux en période de soudure. En outre, les cultivateurs lui reconnaissent communément un effet améliorant du rendement et certaines cultures, en particulier céréalières. On parle des "effets *Faidherbia*", dont l'origine est certainement complexe : comme la plupart des arbres, *Faidherbia albida* pourrait freiner l'érosion et la perte des éléments nutritifs, améliorer les propriétés physiques du sol, la fraction organique et la fertilité au sens large (Charreau et Vidal, 1965). Plus spécifiquement, il faut envisager un effet de concentration des déjections des troupeaux et de l'avifaune en saison sèche (faune attirée par l'ombrage, les insectes, etc.), et la fixation symbiotique de l'azote. En saison humide, *Faidherbia albida* est défeuillé complètement ou presque, et la compétition avec les cultures pour la lumière, l'eau, les éléments nutritifs devient minimale. Aux intersaisons (levée des cultures, récolte), cette compétition reste possible, mais elle est peu étudiée. En raison de son enracinement profond et de sa prédilection pour les formations rupicoles à l'état naturel, de nombreux auteurs ont supposés que *Faidherbia albida* était phréatophyte (Roupsard, 1997). En définitive, on a coutume de classer *Faidherbia albida* parmi les essences à usages multiples, à fort potentiel, et donc à caractère prioritaire dans les programmes de développement agroforestier de nombreux pays semi-arides d'Afrique.

#### 1.3.2. Service de régulation de l'eau

Le système racinaire de *Faidherbia albida* est essentiellement pivotant (Cazet, 1989). Mais une grande variabilité architecturale du système racinaire a été décrite, et mise en relation avec la profondeur des sols notamment (Alexandre et Ouedraogo, 1993 ; Depommier, 1996). Des racines de *Faidherbia albida* ont été observées à des profondeurs supérieures à 30 m (Lemaitre, 1954 ; Dupuy et Dreyfus, 1992), atteignant le voisinage de la nappe phréatique. On considère généralement que *Faidherbia albida* utilise des réservoirs hydriques profonds, et/ou qu'il est phréatophyte. Le comportement phréatophyte, bien que souvent admis n'a pas été démontré de manière expérimentale.

#### 1.3.3. Service de recyclage du carbone et des nutriments

Dans la plupart des régions semi-arides, ou la perte de fertilité des sols est un facteur inquiétant pour l'agriculture, *Faidherbia albida* est une des espèces des zones sahéliennes dont le rôle dans la restauration de la fertilité des sols est reconnu depuis longtemps. Un



certain nombre de populations africaines ont favorisé sa présence dans les champs, créant ainsi un véritable parc (Diouf *et al.*, 1998). Ce système agro-pastoral et ses effets bénéfiques sur le maintien de la fertilité des sols ont fait l'objet de recherches détaillées dans le domaine de la pédologie, de la microbiologie et de la bioclimatologie depuis les années soixante (Diouf *et al.*, 1998). Elle montre que la présence de *F. albida* entraîne une modification favorable du microclimat ainsi que les propriétés physico-chimique du sol. La forte réduction de l'évapotranspiration sous *F. albida* pendant la saison la saison des pluies, période de croissance des cultures, constitueraient, avec l'atténuation de l'action du vent sur le dessèchement du sol et des cultures, les apports bénéfiques de l'arbre aux plantes cultivées (Schoch, 1966 ; Dancette, 1966). En ce qui concerne les sols, les taux de carbone et d'azote sont plus élevés sous *F. albida*, alors que le rapport C/N diminue au fur et à mesure que l'on s'approche de l'arbre, traduisant une grande rapidité de minéralisation (CTFT, 1988) et une plus forte activité biologique (Jung, 1970). Les caractéristiques chimiques du sol sont considérablement modifiées par la présence de l'arbre. De plus, les cations échangeables, en particulier le calcium et le magnésium, augmentent dans des proportions importantes sous *F. albida* (Charreau & Vidal, 1965) et le pH du sol sous couvert est supérieur à celui hors houppier (Jung, 1970).

Les propriétés agro-sylvopastorales de *F. albida* adulte seraient, du moins en partie, dues à sa capacité à fixer l'azote de l'air grâce à des rhizobiums dont la présence a été signalée à des profondeurs de 20 à 30 m (Dupuy *et al.*, 1992). Ndoye *et al.* (1995) ont cependant montré que malgré leur capacité à former des symbioses avec des bactéries fixatrices d'azote, les jeunes plants de *F. albida* présentent un faible potentiel fixateur d'azote.

Ces propriétés sont également attribuées à son rythme phénologique inversé. La chute des feuilles intervient en fin de saison sèche, dès les premières pluies, au démarrage des travaux champêtres. Les feuilles sont alors immédiatement intégrées au sol, au moment où l'activité biologique est importante avec la ré-humectation récente du sol. Jung (1970) estime à 4,2 t/ha la quantité de feuilles recueillie à partir des arbres dont la fondaison est en moyenne de 231 m<sup>2</sup>, ce qui équivaut à une production aussi importante qu'en zone tropicale semi-humide. De plus, l'absence quasi-totale de systèmes racinaire traçant en surface et de feuilles en saison des pluies réduisent la compétition pour l'eau entre *F. albida* et les cultures sous ombrage

(Roupsard *et al.*, 1998). En fait, *F. albida* jouerait le rôle d'une pompe qui remonterait dans son houppier les éléments nutritifs fixés par les symbiotes ou absorbés par les racines profondes, puis les déposerait à la surface du sol par les retombées de litière. Il est également fait état de l'apport d'éléments fertilisants sous *F. albida* dus aux déjections du bétail qui séjourne sous son ombre aux heures chaudes de la saison sèche (CTFT, 1988).

#### 1.3.4. Service de régulation des bioagresseurs

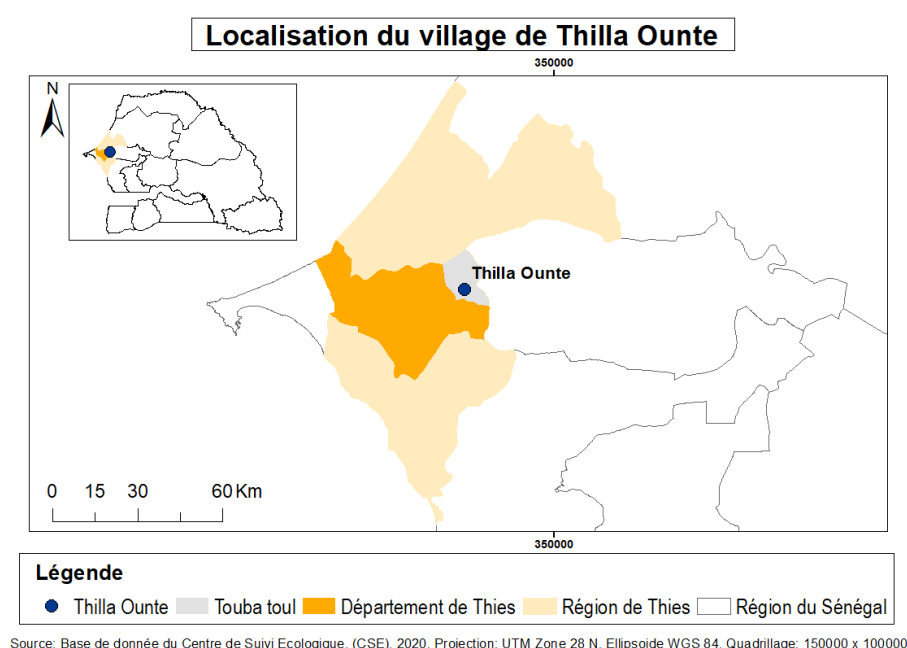
Grace à une structure complexe composée de strates et de milieux différents, les systèmes agroforestiers offrent aux arthropodes une grande diversité de niches écologiques dans le temps et dans l'espace qu'une simple mosaïque de cultures annuelles. Ils peuvent ainsi jouer un rôle de source ou de relais pour les populations de bioagresseurs, ou favoriser l'impact des ennemis naturels en leur offrant des ressources complémentaires, en particulier pendant la saison sèche. Les bioagresseurs sont plus ou moins sensibles aux variations du microclimat, en fonction de leurs caractéristiques de développement et de dispersion (Schroth *et al.*, 2000). Leurs réponses aux altérations microclimatiques induites par la diversité végétale associée ne sont donc pas forcément les mêmes. Une augmentation de l'intensité de l'ombrage diminue la température moyenne et augmente l'humidité relative moyenne de la parcelle (Avelino *et al.*, 2011). Ces modifications du microclimat peuvent affecter la dynamique des populations de bioagresseurs, leur incidence et leur action sur la culture. L'ombrage stimule de multiples mécanismes écologiques, en interaction avec le climat, dont les effets peuvent être antagonistes (négatifs, mais aussi positifs) sur les dynamiques des bioagresseurs (Ratnadass *et al.*, 2012).

## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1. Description du site d'étude

#### ✓ Localisation

L'étude a été conduite de juillet à novembre 2019 dans le village de Thilla Ounté, localité située dans la partie Est de la région de Thiès à 4 km de la ville de Khombole. Le village se situe dans le département de Thiès et dans la commune de Touba Toul et est limité au Nord par le terroir Thilla Boubou, au Sud par celui de Ghasse, au Sud-Est par le terroir de Sothiane et à l'Est par le terroir de Darou ndiaye.



**Figure 4 : Localisation du site d'étude**

#### ✓ Climat et pluviométrie

Le village de Thilla Ounté est localisé dans le secteur sahélo-soudanien du bassin arachidier qui est caractérisé par un climat à deux saisons très contrastées : une longue saison sèche (octobre à juillet) et une courte saison des pluies (juillet à septembre) avec une pluviométrie souvent plus forte en août (Dancette *et al.*, 1979). La pluviométrie du site a été suivie à l'aide d'un pluviomètre et les données recueillies sont présentées sur la Figure 5. Les données météorologiques de la station de Thiès (pluviométrie et température) située à 30 km de Thilla Ounté et durant la période 1988-2018 sont présentées sur le Tableau 1 (Source ANACIM).

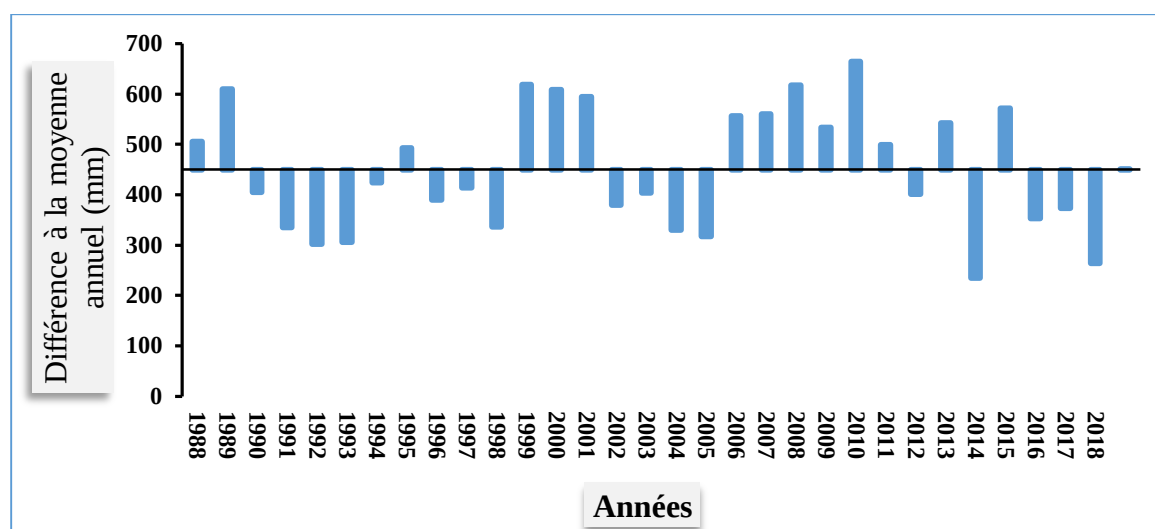
**Tableau 1 :** Données météorologique (température et pluviométrie) de la station de Thiès durant le période 1988-2018

| Année             | Cumul Pluviométrique (mm) moy annuelle | Température minimale (°C) moy annuelle | Température maximale (°C) moy annuelle |
|-------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| Période 1988-2018 | 449,79                                 | 20,34                                  | 33,29                                  |

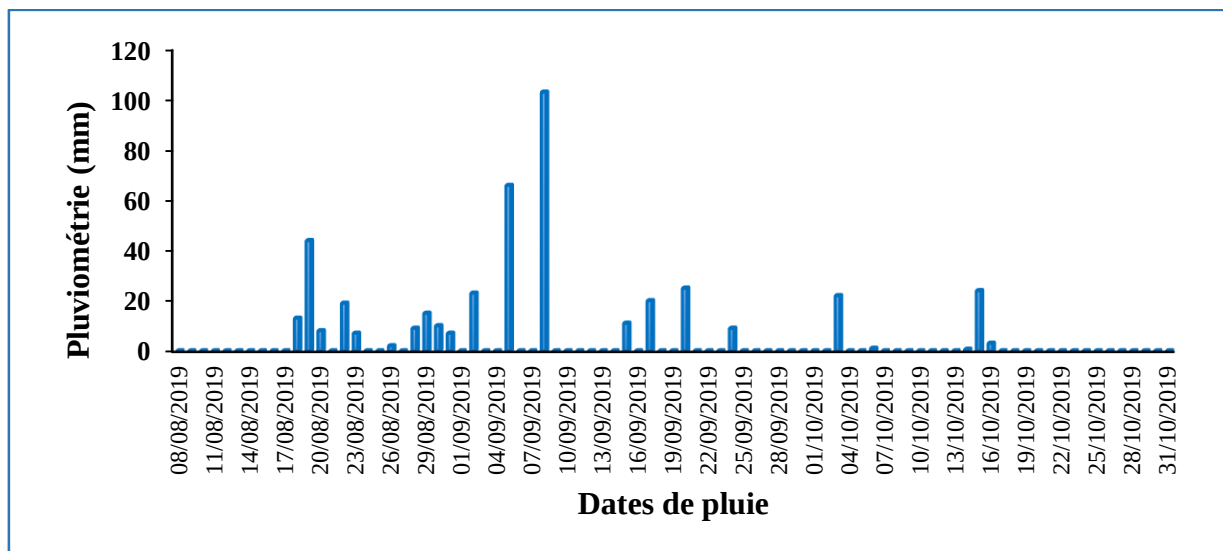
La pluviométrie de la région de Thiès reste variable (Figure 5), la moyenne annuelle durant le période 1988-2018 est de 449,79 mm (Tableau 1). La comparaison des données pluviométriques de l'hivernage 2019 avec celles des 30 dernières années montre que l'hivernage 2019 a été un hivernage caractéristique pour la région de Thiès.

Les températures au Sénégal sont relativement élevées du fait de la position latitudinale tropical du pays. L'analyse de l'évolution des températures maximales moyennes de la station de Thiès (Figure 7) de 1988 à 2018 conforte cette dynamique. Les années les plus chaudes sont respectivement 1997 (35,5 °C), 2017 (34,31 °C) et 2009 (34,23 °C). Ces fortes températures et leurs fluctuations intra et interannuelles viennent exacerber le déficit hydrique et le stress cultural que connaît déjà la zone. Cette exacerbation est due au fait que les températures augmentent l'évapotranspiration.

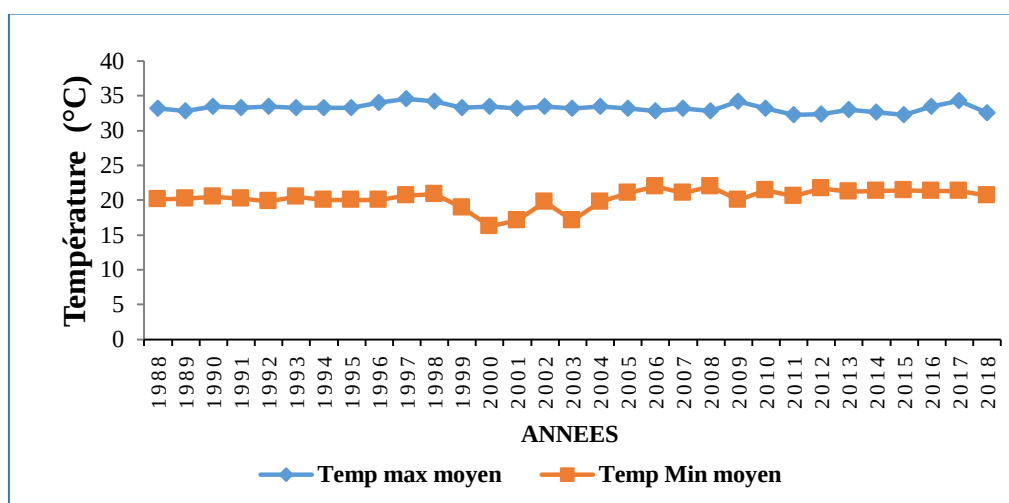
En 2019, la saison des pluies s'est installée dans la zone à partir 24 juillet et s'est terminé le 16 octobre (Figure 6). La quantité totale de pluie reçue dans le site pour cette année 2019 est 441,6 mm (donnée de la 1<sup>er</sup> pluie n'est pas enregistrée : faute de pluviomètre).



**Figure 5 :** Evolution interannuelle des précipitations dans la région de Thiès de 1988 à2018



**Figure 6 :** Evolution des précipitations dans la zone d'étude en 2019



**Figure 7 :** Evolution interannuelle de la température maximale et minimal annuel dans la région de Thiès de 1988 à 2018

#### ✓ Types de sols et végétation

Au niveau des sols, la formation la plus répandue est constituée des « sols Dior » qui sont des sols ferrugineux tropicaux lessivés à texture sableuse très propices aux cultures de l'arachide et du petit mil (Bonfils et Faure, 1956; Charreau, 1961; Charreau et Nicou, 1971). La végétation du terroir de Thilla Ounté est de type savane arborée plus ou moins dense caractéristique du climat sud-soudanien. Elle se présente sous forme de parcs arborés. Ces parcs sont dominés essentiellement par le *Faidherbia albida* (Kad en wolof).

La composition floristique des parcs est souvent diversifiée et les espèces couramment rencontrées sont entre autres *Balanites aegyptiaca*, *Neocarya macrophylla*, *Tamarindus indica*, *Acacia nilotica*, *Acacia ataxacantha* et *Combretum aculeatum*.

#### ✓ Activités socio-économiques

L'agriculture pluviale constitue ainsi la principale activité socio-économique des populations constituées à majorité des wolofs. Les cultures dominantes sont le mil, l'arachide et le niébé. L'élevage et le commerce sont aussi pratiqués par la population pour diversifier leurs sources de revenus.

## 2.2. Le dispositif d'étude

### 2.2.1. Choix des parcelles et des *Faidherbia albida* cibles

Deux parcelles composent notre dispositif. Elles présentent les caractéristiques suivantes : ce sont des champs de brousse avec un sol Dior où le mil (variété Souna III) est cultivé et dans lesquels l'espèce *Faidherbia albida* est présente. Dans ces parcelles, il n'y a pas d'apport de fumure organique ni d'engrais chimiques.

La 1<sup>ère</sup> parcelle nommée P1 a une superficie de 3,39 ha (mesure prise par un GPS) et contient 44 arbres avec une certaine diversité (sept espèces différentes : *Faidherbia albida*, *Balanites aegyptiaca*, *Neocarya macrophylla*, *Tamarindus indica*, *Acacia nilotica*, *Acacia ataxacantha* et *Combretum aculeatum*). Les individus de *Faidherbia albida* sont au nombre de 34 ce que représente 77% de la densité. Parmi ces 34 individus, 14 ont été choisis pour l'étude. Les six autres arbres cibles du dispositif sont localisés dans une parcelle nommée P2 située à l'ouest de P1 (environ 50 m) et dont la superficie est 1,072 ha. Dans cette parcelle nous avons 16 arbres dont 13 appartiennent à *Faidherbia albida*. Les caractéristiques et la gestion technique de chaque parcelle sont rapportées dans les tableaux 2 et 3 ci-dessous.

**Tableau 2 :** Caractéristiques des parcelles d'étude

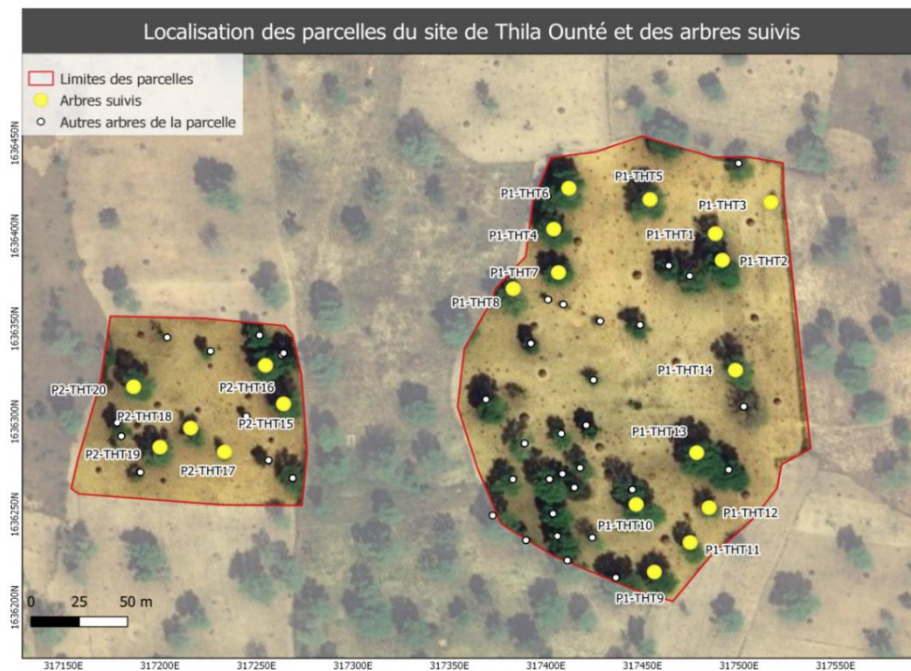
| N° Parcelle | Superficie (ha) | Type de sol | variété de mil cultivée | Nombre d'espèces présentes | Nombre d'arbres total / Parcelle |           |                |
|-------------|-----------------|-------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------|----------------|
|             |                 |             |                         |                            | <i>Faidherbia albida</i>         |           | Autres espèces |
|             |                 |             |                         |                            | Suivi                            | Non suivi |                |
| P1          | 3,391           | Dior        | Souna III               | 7                          | 14                               | 20        | 10             |
| P2          | 1,0724          | Dior        | Souna III               | 4                          | 6                                | 7         | 3              |
| P1 & P2     | 4,4634          | Dior        | Souna III               | 11                         | 20                               | 27        | 13             |

**Tableau 3 :** Gestion techniques des parcelles étudiées

| Dates des interventions lors de la gestion technique des parcelles |                   |            |                            |                   |                             |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------|------------|----------------------------|-------------------|-----------------------------|
| N° Parcelle                                                        | Semis à sec       | Levée      | 1 <sup>er</sup> Désherbage | Démariage         | 2 <sup>ème</sup> Désherbage |
| P1                                                                 | Du 14 au 15/06/19 | 28/07/2019 | Du 07 au 08/08/19          | Du 09 au 11/08/19 | Du 01 au 02/09/19           |
| P2                                                                 | Du 26 au 27/06/19 | 28/07/2019 | Du 04 au 06/08/19          | Du 09 au 14/08/19 | Du 03 au 06/09/19           |

Vingt arbres de *Faidherbia albida* ont été sélectionnés (Figure 8), ce sont les arbres que nous appellerons arbres cibles. Chaque arbre a été géo-référencé. Ils sont répartis dans 2 parcelles de mil. Le choix des arbres a été fait en période hivernale en fin du mois de juillet à peu près 1 mois après le semis, en respectant les critères suivants:

- ❖ La topographie doit être homogène pour éviter l'effet de drainage dû à des élévations ou des dépressions du site. Ce critère n'a pas pu être respecté avec rigueur car le relief est très accidenté dans la zone.
- ❖ La distance entre l'arbre cible et l'arbre le plus proche (que nous appellerons arbre de référence) est variable et réaliste (10m minimum) par rapport aux situations du terrain.
- ❖ Pas d'autres arbres à proximité du *Faidherbia albida* ciblé (10m minimum).
- ❖ Enfin l'arbre ne doit pas être à côté de la limite des champs pour éviter l'effet de bordure.



**Figure 8 :** Localisation des parcelles d'étude et des arbres suivis

### 2.2.2. Installations des placettes

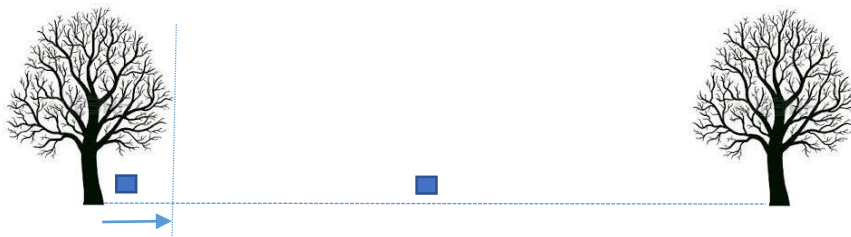
Pour chaque arbre nous avons deux placettes :

- une placette sous le houppier (SH) placée à 50cm du tronc de l'arbre
- une placette hors houppier ou placette témoin (HH) située à mi-distance par rapport à l'arbre le plus proche (arbre de référence) suivant une direction donnée.

Dans la parcelle P1, la distance moyenne par rapport à l'arbre de référence est de 28,43m et dans la parcelle P2 la moyenne est de 26,47m.

Chaque placette a une surface de 16m<sup>2</sup> (4mx4m). Les deux placettes ne sont différentes que par un seul critère : la distance à l'arbre, l'une est sous le houppier et l'autre en dehors du houppier. La placette témoin doit obligatoirement se situer sur la même parcelle de culture que l'arbre cible avec le même itinéraire technique (Figure 8). Au total 40 placettes (20 arbres x 2 placettes) constituent le dispositif, soit 28 placettes pour la parcelle P1 et 12 placettes pour la parcelle P2. Pour délimiter les placettes, le mètre ruban (décamètre) a été utilisé en adoptant le théorème de Pythagore afin d'avoir un angle droit de chaque côté.





**Figure 9 :** Dispositif de mesure (placette sous couvert et hors couvert)

## 2.3. Mesures et observations

### 2.3.1. Mesures dendrométriques

Les mesures morphologiques prises sur les pieds de *Faidherbia albida* cibles de la zone étudiée comprennent (Annexes 1) :

- ❖ La circonférence à 1,30 m de hauteur mesurée à l'aide d'un décimètre. Il s'agit de faire passer le ruban du décimètre autour du tronc à cette hauteur et ensuite noter la valeur de la circonférence. Elle renseigne sur la dynamique des peuplements face aux conditions de croissance et aux opérations sylvicoles pratiquées (Rondeux, 1993).
- ❖ La hauteur totale mesurée à partir de la base du tronc jusqu'au sommet avec un télémètre. La mesure de la hauteur permet de caractériser les étapes de croissance des arbres et de différencier les strates.
- ❖ Le rayon du houppier mesuré à partir de sa projection au sol avec un mètre ruban suivant les quatre directions (Est, Ouest, Nord et Sud).

**Tableau 4 :** Caractéristiques dendrométriques des parcelles d'études

| N° Parcelle | Circonférence à 1,30 (m) |            | Rayon du houppier (m) |            | Hauteur (m) |            |
|-------------|--------------------------|------------|-----------------------|------------|-------------|------------|
|             | Moyenne                  | Ecart-Type | Moyenne               | Ecart-Type | Moyenne     | Ecart-Type |
| P1          | 2,779                    | 0,661      | 8,477                 | 1,768      | 14,2        | 2,052      |
| P2          | 2,92                     | 0,991      | 6,96                  | 1,517      | 12,85       | 1,854      |

### 2.3.2. Cartographie des arbres cibles

Après avoir pris les coordonnées de chaque arbre cible y compris les autres espèces présentes dans la parcelle à l'aide d'un GPS, une cartographie des arbres cibles a été faite afin d'avoir une idée de la densité mais aussi de caractériser l'influence que pourraient avoir les autres espèces non cibles. La distance qui sépare chaque arbre cible à l'ensemble des arbres qui sont autour a été mesurée dans toutes les directions (Annexes 1).



**Figure 10 :** Mesure de la distance entre les arbres

### 2.3. 3. Densité apparente

Les échantillons de densité ont été prélevés du 25 juillet au 04 août 2019 à l'aide d'un petit cylindre en métal de 5cm de hauteur et 5 cm de diamètre. Les prélèvements étaient faits au niveau des quatre coins de la placette et à trois horizons différents (0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm) ce qui fait 12 (4 x 3) prélèvements par placette et 480 (12 x 40) échantillons pour l'ensemble des 40 placettes de notre dispositif. Contrairement à l'analyse de sol, il n'y pas de mélange de sol des quatre coins.

Le principe consiste à prélever des échantillons de sol correspondant au volume strict du cylindre qui est rempli par enfoncement vertical dans le sol. La manipulation est faite avec soin, de sorte à garder intacte la structure naturelle de l'échantillon de sol pendant le prélèvement. Les échantillons ont été gardés dans des sachets numérotés pour éviter les erreurs.

Cette opération, consistant à distinguer soigneusement (à partir d'un volume total d'un échantillon de sol) les volumes des particules solides et des porosités occupées par de l'air et de l'eau, nous a permis d'obtenir des valeurs de densités apparentes calculées selon la formule:

$$\text{DA} = \text{Poids sec de l'échantillon} / \text{volume cylindre}$$

Pour avoir la masse sèche, on a fait sortir les échantillons des sachets pour les mettre dans des pots en aluminium pour les sécher à l'étuve pendant 72 heures à 105 °C.



**Figure 11** : Prélèvement de pour des mesures de densité apparente

#### 2.3.4. Mesure de développement du mil

Des mesures de développement du mil ont été effectuées sur l'ensemble des placettes. Les observations ont été faites une fois par semaine et pendant cinq semaines ce qui correspond à 5 stades de développement dans une période comprise entre le 27 aout (30 Jour Après la Levée) jusqu'au 25 septembre 2019 (58 JAL).

Le principe a été de choisir dans chaque placette 8 poquets repartis dans deux lignes de semis (4 poquets / ligne). Sur chaque poquet, on choisit 2 brins-maitres (les 2 pieds les plus développés) ce qui fait 16 pieds de mil à suivre dans une placette. Sur chaque pieds, le nombre de feuilles adultes a été compté c'est-à-dire les feuilles qui présentent une ligule ainsi que le nombre de talles à chaque stade de développement.

### 2.3.5. Potentiel hydrique foliaire du mil

Des mesures de potentiel hydrique ont été effectuées à l'aide d'une presse à membrane pour connaître l'état hydrique du mil et son comportement en situation de stress. Pour les deux premières mesures, la fréquence d'observation était de 3 mesures par jour: le potentiel de base c'est-à-dire l'équilibre en fin de nuit entre l'arbre et le sol mesuré avant le lever du soleil, le potentiel intermédiaire après le lever du soleil et le potentiel foliaire à midi au moment du maximum de transpiration. Quant à la dernière campagne de mesure, deux observations seulement ont été faites (potentiel de base et potentiel à midi). Le suivi se faisait sur la dernière feuille adulte de cinq brins-maitre différents répartis dans cinq poquets situés à l'extérieur de la placette.

Le principe est le suivant: une petite portion de la feuille a été coupée en mi-chemin jusqu'à la nervure principale, l'échantillon est déposé sur le papier filtre situé entre les deux cylindres et fermé de manière étanche (Figure 12). Ensuite la pression a été montée grâce au levier situé tout en bas jusqu'à voir une goutte de sève apparaître sur la zone découpée de la feuille et la valeur de pression en bar qui s'affiche sur le nanomètre est notée. Plus le potentiel hydrique est élevé et plus l'eau a tendance à quitter les cellules de la feuille. A l'inverse l'eau a tendance à être retenue dans les cellules ayant un faible potentiel hydrique.



**Figure 12 :** Mesure du potentiel hydrique foliaire (a) à l'aide d'une chambre à pression (b)



### 2.3.6. Humidité et Température du sol

Un suivi de l'humidité du sol a été réalisé sur l'ensemble des placettes du dispositif à l'aide de sondes TDR. Les paramètres évalués sont la teneur en eau et la température du sol. Les mesures se faisaient une fois par semaine au début, par la suite nous sommes passés à deux mesures par semaine car les pluies se faisaient rares et le sol devenait sec à une période cruciale du développement du mil. La mesure se faisait suivant la diagonale de la placette, à quatre points différents et espacés de 1 m. les fourchettes de la sonde TDR ont été enfoncé de manière verticale dans le sol (20 cm) et un appui sur le bouton « Read » de l'appareil a permis d'afficher la valeur de la teneur en eau et de la température.



**Figure 13 :** Mesure de la teneur en eau et de la température du sol (a) à l'aide d'une sonde TDR (b)

### 2.3.7. Mesure de l'indice de surface foliaire (LAI)

Des mesures de l'indice foliaire ont été effectuées sur l'ensemble des placettes au moment de la floraison à l'aide du LAI 2200. Sur chaque traitement, cinq mesures ont été effectuées (une mesure au-dessus du couvert et quatre en-dessous). Le principe est le suivant: après avoir allumé la console et vérifié que tous les paramètres sont réglés, un appui long sur le bouton « Log » a permis de faire la mesure en-dessus du couvert, attendre les deux bips pour faire les quatre mesures en-dessous du couvert. La valeur de LAI et l'heure d'acquisition qui s'affichent sur l'écran de la console ont été notés.



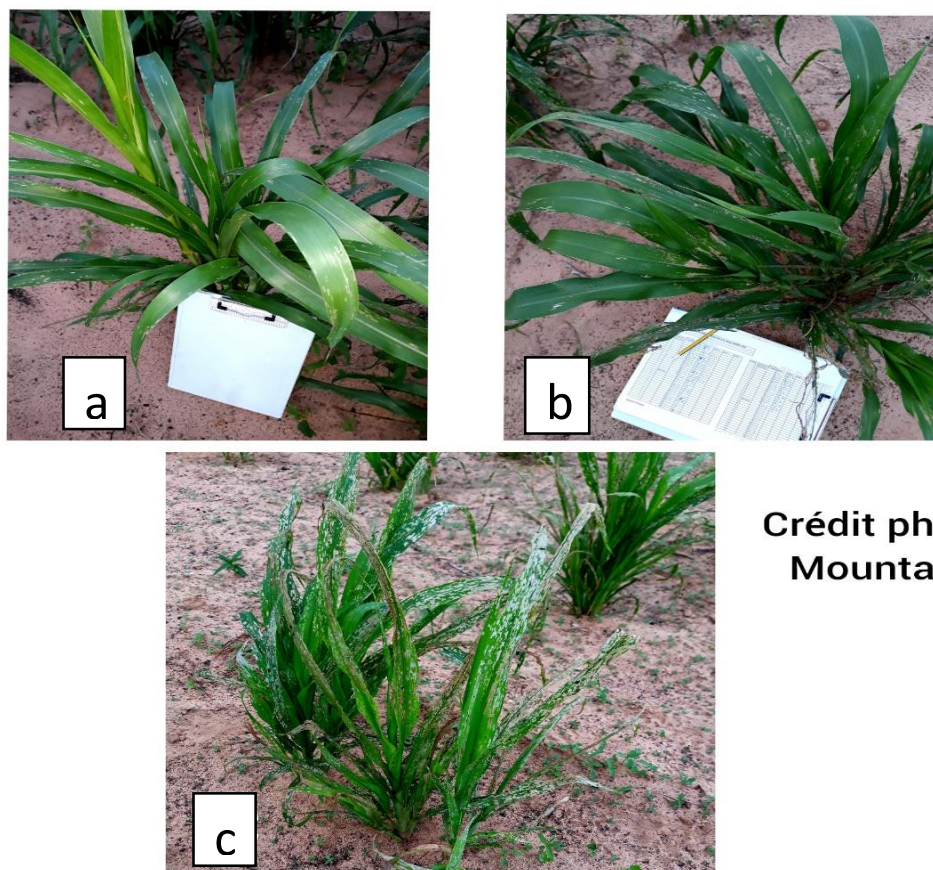
**Figure 14** : Mesure de LAI Max (a) à l'aide du LAI 2200 (b)

#### 2.3.8. Meure de floraison du mil

Durant le stade de floraison, un suivi de tous les deux jours a été fait pour évaluer le nombre de poquets ayant fleuri dans chaque placette. Dans les placettes qui étaient à 50% de floraison (c'est à dire la moitié des poquets ont au moins un pied qui a fleuri), le nombre de feuilles sur 10 pieds choisis au hasard a été aussi compté afin de connaître le nombre moyen de feuilles au stade 50% floraison.

#### 2.3.9. Suivie des bioagresseurs du mil

Un suivi hebdomadaire a été effectué sur les placettes pour évaluer l'attaque des chenilles sur le mil pendant cinq semaines (du 30<sup>e</sup> JAL au 58<sup>e</sup> JAL). Lors de chaque observation, on a compté le nombre de poquets attaqués par les chenilles à différents degrés (Faible, Moyen et Fort). Le nombre de poquets parasités par *Striga hermontica* a été aussi évalué dans chaque traitement juste avant la récolte, et pendant la récolte, le degré d'attaque des bioagresseurs (mineuses, mildiou, charbon) sur les épis est aussi pris en compte.



**Crédit photo :  
Mountaga**

**Figure 15** : Poquets de mil attaqués par les chenilles à différents degrés : Faible (a), Moyen (b) et Fort (c)

#### 2.3.10. Mesures à la récolte

A la récolte, les composantes du rendement ont été déterminées au niveau de chaque placette.

- ✓ Nombre de pieds, talles et épis

Sur 10 poquets choisis au hasard dans chaque placette, le nombre de pieds, de talles, nombre d'épis matures et d'épis immatures ont été comptés.

- ✓ Classification des épis selon leur degré de maturité et de niveau d'attaques

Les épis récoltés dans chaque placette ont été classés en trois catégories (A, B et C) en fonction de : (i) leur maturité, (ii) leur longueur et (iii) leur circonférence.

Dans la **catégorie A** : les épis sont sains et bien remplis avec une longueur moyenne de 50 cm et une circonférence moyenne environ 7 cm ;

La **catégorie B** regroupe les épis qui ont une longueur moyenne de 40 cm et la circonférence moyenne 4 cm et enfin ;

**La catégorie C** est constituée des épis qui sont immatures.

Dans chaque catégorie le nombre d'épis a été évalué, pesé le poids frais à l'aide d'une balance commerciale d'une capacité maximale de 5 kg et de précision 1g. Dans chacune des catégories A et B, des sous-échantillons de 3 épis représentatifs du lot, ont été prélevés et le poids frais déterminé. Ces épis ont été séchés au soleil pendant une semaine ensuite pillés et les grains séparés pour la détermination de leurs poids. Les grains sont passés à l'étuve à 65°C pendant 48 heures afin d'évaluer la matière sèche et le rendement (Annexes 2).

## **Rendement = Biomasse produite / Surface cultivée**

### ✓ Evaluation de pailles de la placette

Dans chaque placette, un échantillon de deux poquets représentatifs a été récolté et le nombre de pieds, de talles et d'épis. Les poquets ont été coupés au ras du sol à l'aide d'un coupe-coupe et le poids frais pesé sur place à l'aide d'un peson d'une capacité maximale de 50 kg et de précision 10 g. Ensuite tous les autres pieds de la placette ont été récoltés et le poids frais total déterminé (Annexes 2). Les échantillons ont été ensuite séchés au soleil pendant 7 jours afin de faciliter le broyage. Le poids sec après séchage au soleil a été mesuré. Après broyage, un sous échantillon du broyat a été pesé et passer à l'étuve à 65°C pendant 48h. Le poids sec après étuve a été déterminé à l'aide d'une balance commerciale puis on a calculé la teneur en eau et le rendement en paille.

### 2.3.11. Enracinement du mil

Après la récolte des épis et la paille, la biomasse racinaire a été également évaluée.

### ✓ Racines à 0-10cm

Les placettes ont été d'abord désherbées à l'aide d'une hilaire et le poids frais total des adventices pesé. Ensuite les racines de tous les poquets de chaque placette coupés à 10 cm de profondeur ont été extraites en prenant soin de prendre toujours le même volume de sol lors du dessouchage des poquets. Le poids frais total a été pesé sur place (Annexes 3).



#### ✓ Racines profondes

Pour la biomasse racinaire en profondeur, seulement 6 placettes ont été choisies (3 sous-houppier et 3 hors-houppier). Le principe a été de creuser une fosse de 1 m<sup>3</sup> (1m de largeur x 1m longueur et 1m de profondeur) dans chacune des placettes autour d'un poquet idéalement situé au milieu et délimité par les demi-distances entre les autres poquets voisins. L'extraction s'est faite suivant trois profondeurs (0-20 cm, 20-50 cm et 50-100 cm). A l'aide d'un tamis, les racines de mil ont été recueillies pour chaque horizon et le poids frais pesé au bord du champ. Ces échantillons ont été lavés et passés à l'étuve à 105°C pendant 72h pour ensuite peser le poids sec et calculer le ratio biomasse racinaire d'un poquet limité à 10 cm de profondeur sur la biomasse racinaire totale d'un poquet entier de mil afin de pouvoir estimer la biomasse racinaire de tous les plants mil des placettes.

#### **2.4. Analyses statistiques**

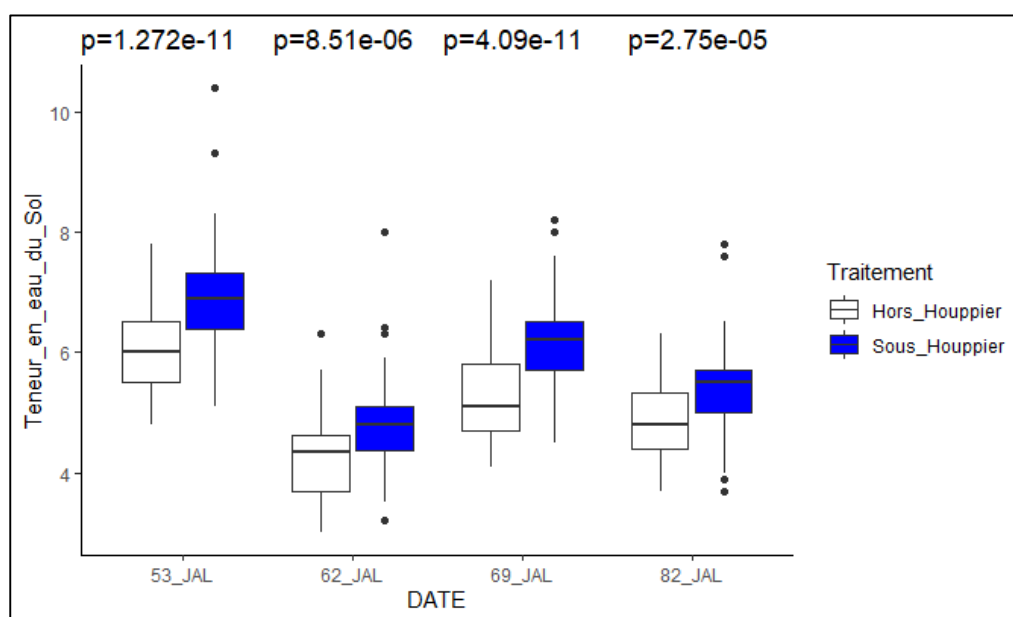
Les données brutes recueillies ont été saisies sur un tableur (Excel 2013) puis des analyses de variance (ANOVA) et des tests de Kruskal-Wallis (en cas de distribution non normale des données) ont été effectués sur toutes les variables mesurées pour déterminer les effets du *Faidherbia albida* sur les caractéristiques du sol et le rendement du mil grâce au logiciel R-Studio (version 1.2.1). Avant l'analyse des variances, des tests d'homogénéité (Test de Shapiro) au seuil de 5% ont été effectués pour déterminer la distribution des données.

### 3. RESULTATS

#### 3.1. Effets de la proximité de l'arbre sur les paramètres du sol

##### 3.1.1. L'humidité du sol

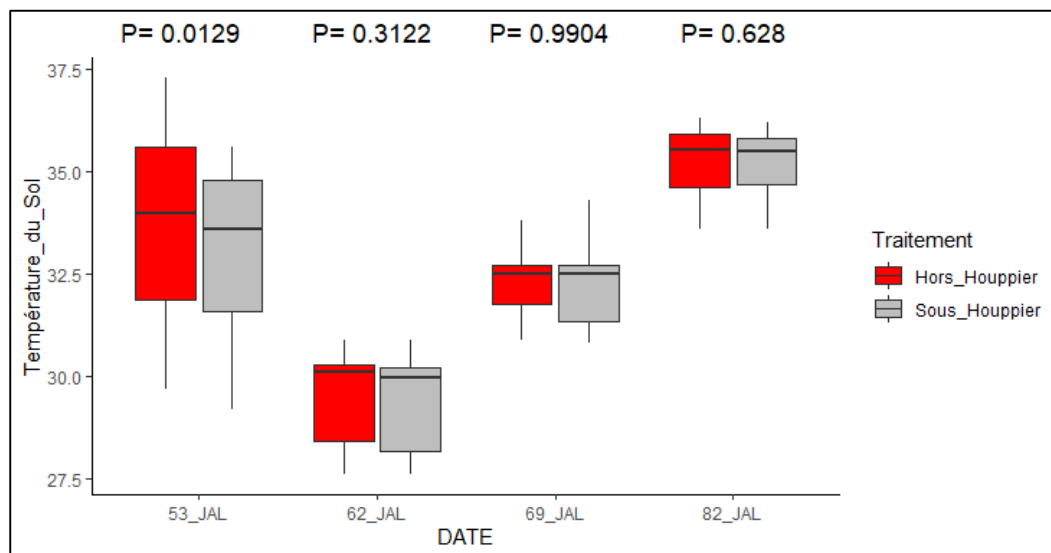
La disponibilité en eau du sol a été mesurée entre le 13 septembre et le 21 octobre 2019 lors de l'expérimentation (53<sup>e</sup> JAL, 57<sup>e</sup> JAL, 69<sup>e</sup> JAL et 72<sup>e</sup> JAL) à 20 cm de profondeur. Les teneurs en eau observées ont été significativement ( $p < 0.05$ ) plus élevées sous houppier sur l'ensemble des quatre mesures (Figure 16) comparativement au témoin hors houppier.



**Figure 16** : Teneur en eau du sol (%) à différentes dates (53 JAL, 57 JAL, 69 JAL et 72 JAL).  
JAL : jours après levée

##### 3.1.3. Température du sol

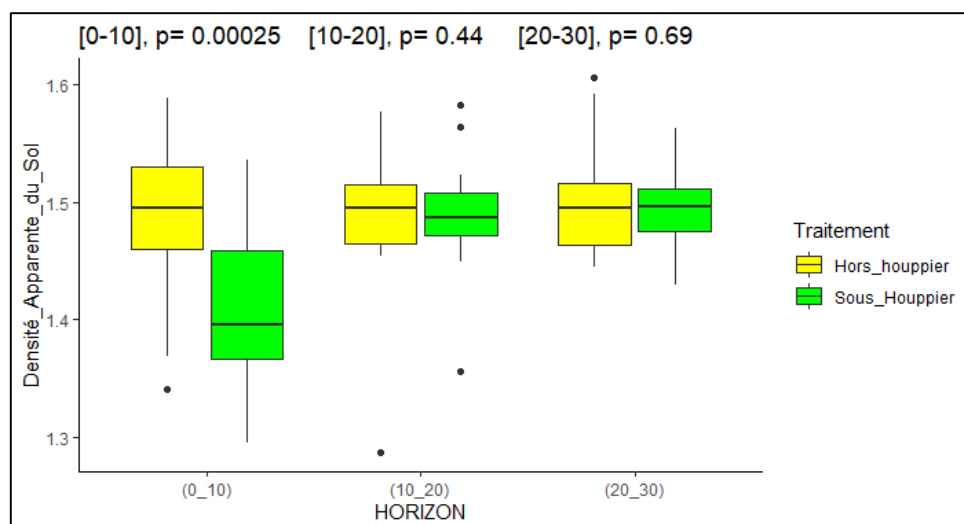
La température du sol a été mesurée entre le 13 septembre 2019 et le 21 octobre 2019 lors de l'expérimentation (53 JAL, 57 JAL, 69 JAL et 72 JAL). L'analyse montre que la température est significativement plus élevée hors houppier à la date 53 JAL (Figure 17). Pour les autres dates (57 JAL, 69 JAL et 72 JAL) il n'y pas eu de différence significative entre les deux situations (sous houppier et hors houppier), toutefois les valeurs restent plus élevées dans les placettes hors houppier pouvant atteindre 36°C.



**Figure 17 :** Température du sol (°C) à différentes dates (53 JAL, 57 JAL, 69 JAL et 72 JAL)

### 3.1.3. Densité apparente du sol

En vue d'étudier la porosité des sols dans le dispositif expérimental, des mesures de la densité apparente ont été effectuées (480 échantillons) sur trois horizons. Au niveau de l'horizon 0-10 cm la densité est significativement supérieure au niveau du traitement hors houppier ( $P=0.00025$ ). Sur les horizons inférieurs (10-20 et 20-30 cm), il n'y a pas eu de différence significative entre deux traitements (Figure 18).

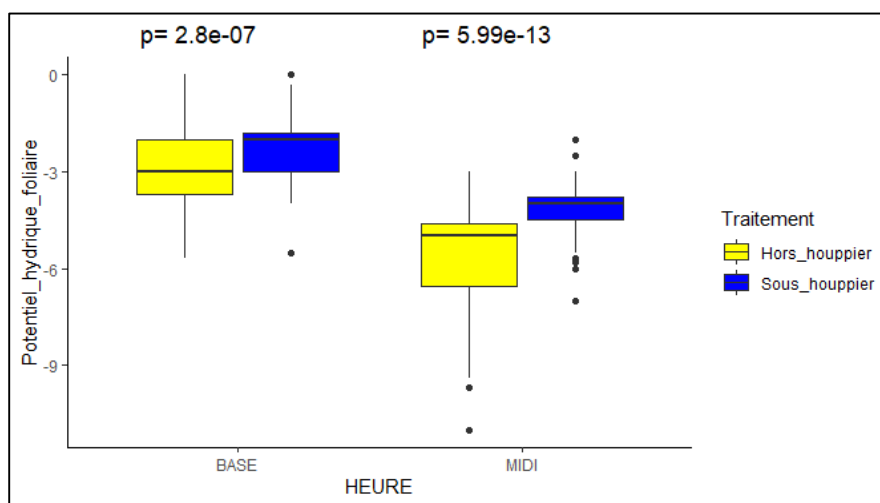


**Figure 18 :** Variation de la Densité du sol (g/cm³) à trois horizons (0-10, 10-20 et 20-30 cm)

### 3.2. Effets de la proximité de l'arbre sur la croissance du mil

#### 3.2.1. Potentiel hydrique foliaire du mil

Des mesures de potentiel hydrique foliaire ont été effectuées sur l'ensemble des placettes du dispositif à trois reprises. Les données du passage 1 (potentiel de base et potentiel à midi) sont reportées sur la Figure 19 ci-dessous. Le potentiel hydrique foliaire de base du mil est significativement inférieur hors houppier que sous houppier (Figure 19). Cette même situation a été observée sur les mesures effectuées à 12h avec une différence très significativement supérieure sous houppier.

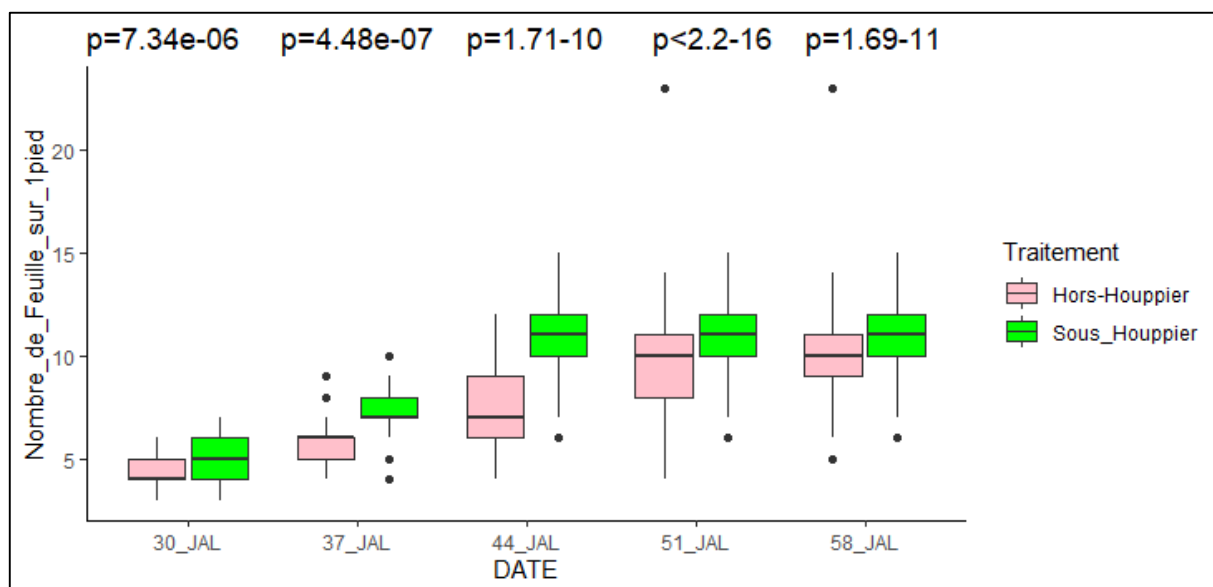


**Figure 19 :** Potentiel hydrique foliaire du mil (bar) (Passage 1)

#### 3.2.2. Stades de développement du mil

##### ✓ Feuillage

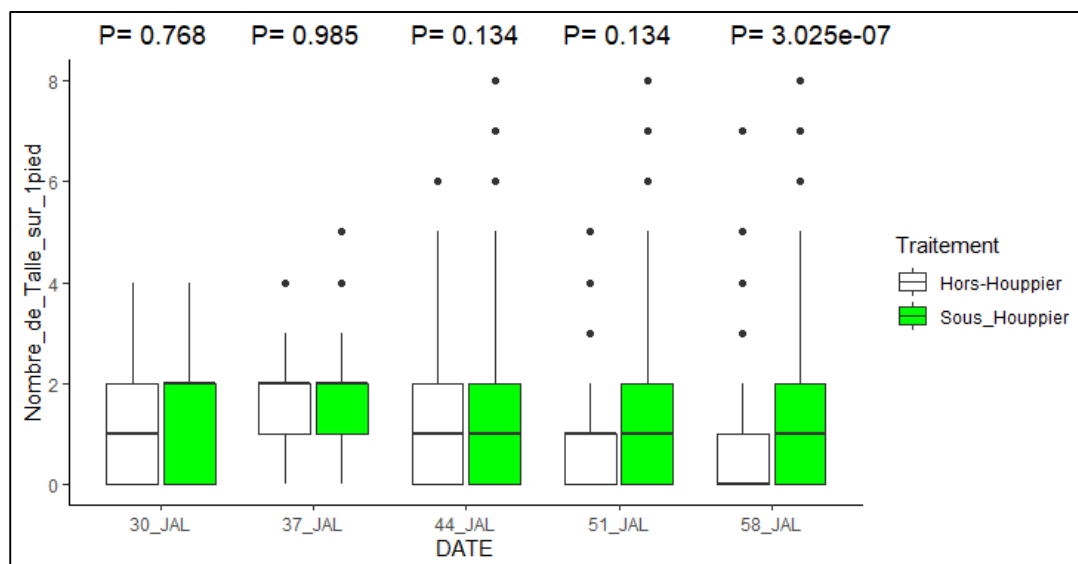
La figure 19 représente l'évolution du développement du mil à différentes dates. On a mesuré ici le nombre de feuilles porté par le brin maitre une fois par semaine pendant 5 semaines. Sur l'ensemble des cinq dates observés, le nombre de feuilles sur un pied est significativement plus élevé sous houppier ( $P < 0.05$ ). Au 30<sup>e</sup> JAL, le nombre moyen de feuilles de mil sous houppier est de 5, une semaine après (37<sup>e</sup> JAL) on passe à 7 feuilles par pied et à partir du 44<sup>e</sup> JAL le développement reste constant avec une moyenne de 11 feuilles par pied. Hors houppier, l'évolution du nombre de feuilles reste faible au début, c'est à partir seulement du 51<sup>e</sup> JAL qu'on voit une nette augmentation avec une moyenne de 10 feuilles par pied (Figure 20).



**Figure 20 :** Mesure du nombre de feuille moyen sur un pied de mil à différents stades (30 JAL, 37 JAL, 44 JAL, 51 JAL et 58 JAL)

✓ Tallage

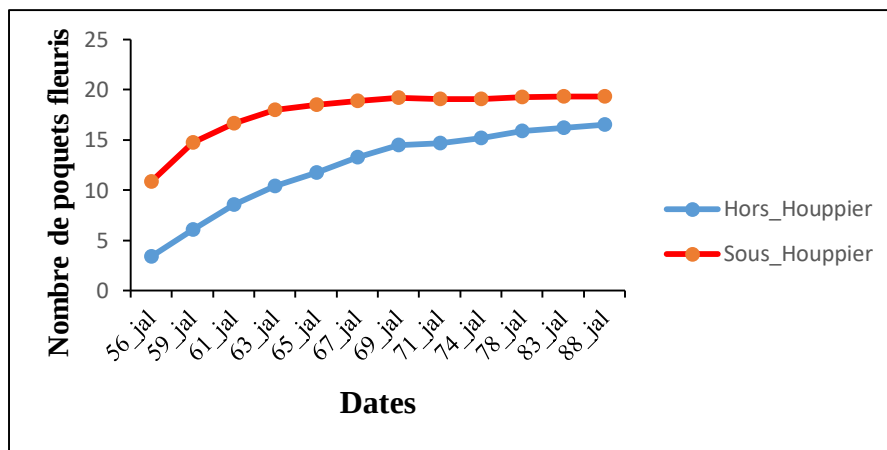
La figure 21 ci-dessous rend compte du nombre de talles portés par le brin principal à plusieurs dates pour chaque traitement. Le nombre de talle sur un pied reste très faible, il est identique au niveau des deux traitements. Une seule différence significative a été notée au 58<sup>e</sup> JAL avec un tallage supérieur sous houppier (Figure 21).



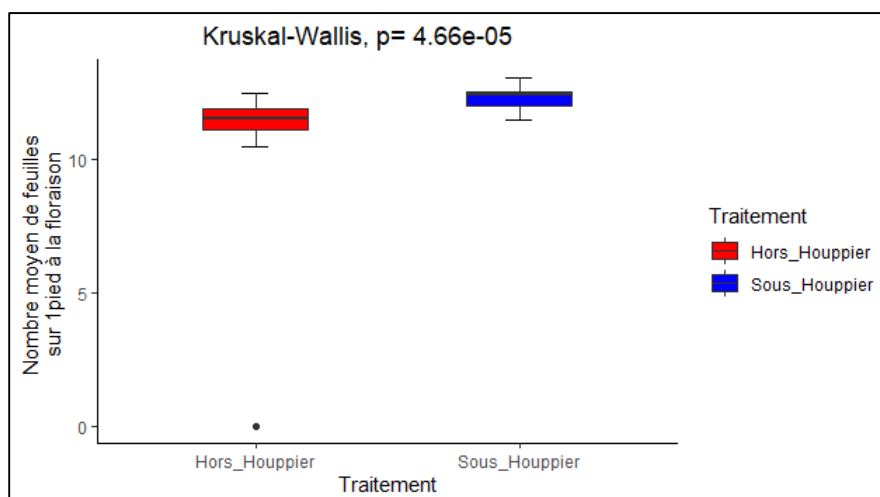
**Figure 21 :** Mesure du nombre moyen de talles sur un pied de mil à différents stades (30 JAL, 37 JAL, 44 JAL, 51 JAL et 58 JAL)

## ✓ Floraison

La floraison a été suivie tous les deux jours entre le 12 septembre et le 14 octobre 2019 sur tous les poquets de la placette. La floraison est atteinte lorsque 50% des poquets ont au moins un pied qui a fleuri (Figure 22). Le nombre de feuilles à la floraison est présenté sur la figure 23 ci-dessous. L'analyse montre que la vitesse de progression de la floraison est plus rapide au niveau des placettes sous couvert. On note qu'à partir de 69<sup>e</sup> JAL la floraison sous le couvert du *Faidherbia* a atteint déjà le maximum et devient constant. Par contre, hors houppier, la floraison est moins rapide et le maximum est atteint à partir de 88<sup>e</sup> JAL. Le nombre de feuilles par pied à 50% de floraison est significativement plus élevé sous houppier avec une moyenne de 13 feuilles/pied.



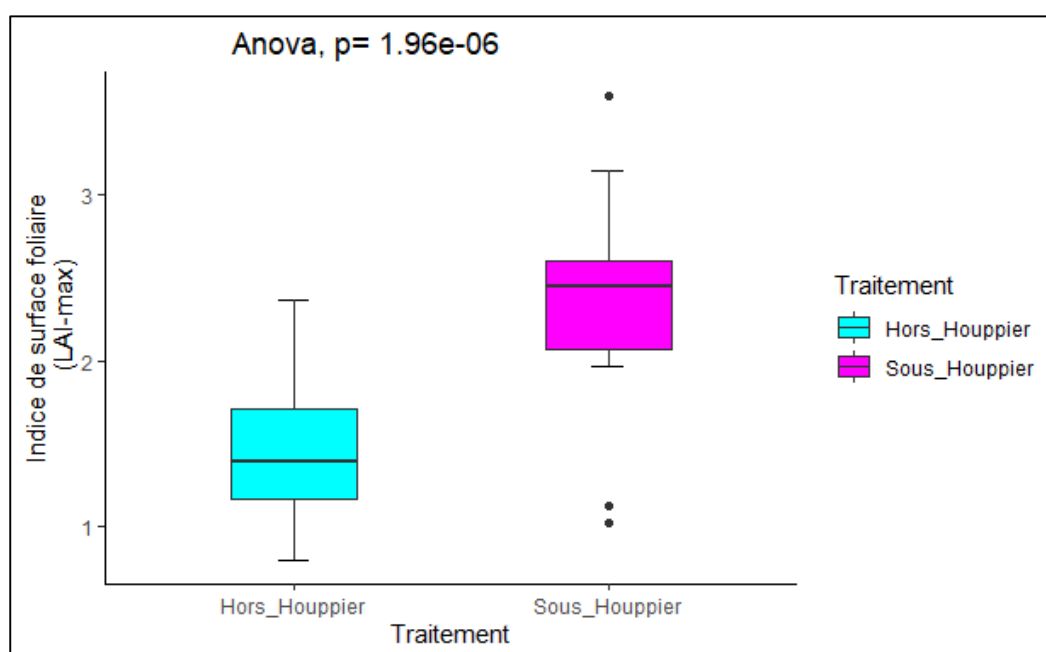
**Figure 22 :** Evolution du nombre poquets fleuris par placette en fonction du temps



**Figure 23 :** Nombre moyen de feuilles adultes sur un pied à la floraison

### 3.2.3. Indice de surface foliaire (LAI<sub>max</sub>) du mil

Les données de l'indice de surface foliaire mesurée à la période de floraison sont reportées dans la figure 24 ci-dessus. On observe que l'indice de surface foliaire est significativement plus élevé au niveau du traitement sous houppier avec une moyenne de 2,5 contre 1,4 en dehors du houppier.



**Figure 24** : Indice de surface foliaire du mil à la floraison

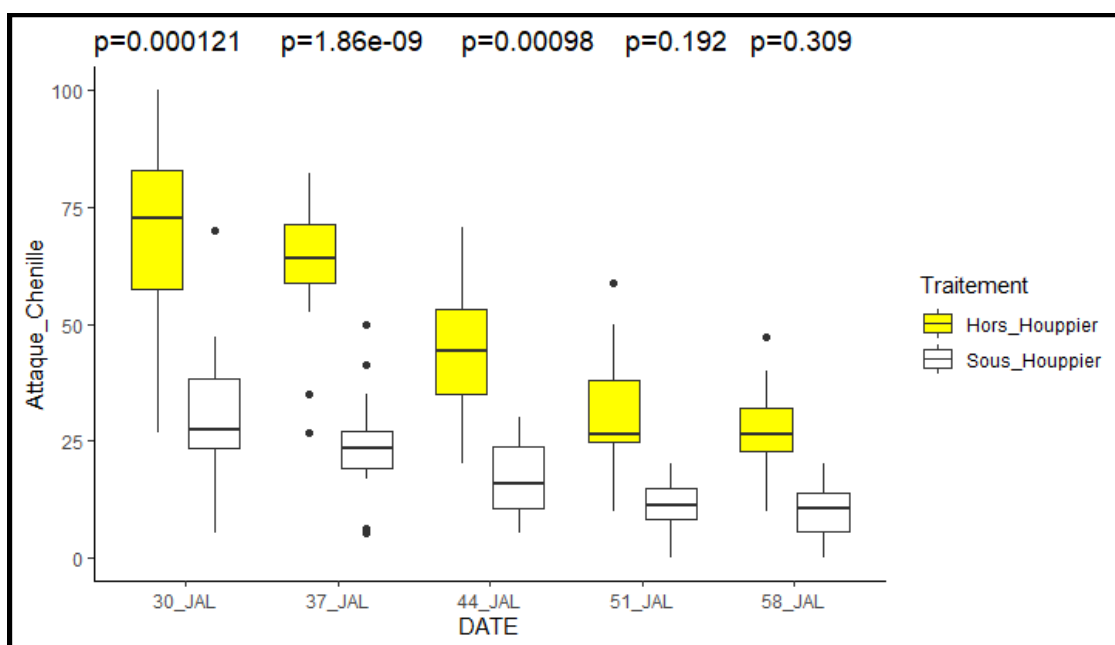
### 3.3. Effets de la proximité de l'arbre sur les bioagresseurs

Le taux d'attaque des bioagresseurs a été évalué au cours du développement du cycle du mil mais aussi des observations ont été faites sur les épis lors de la récolte. Les données sur le taux d'attaque des chenilles du stade1 (30<sup>e</sup>JAL) au stade5 (58<sup>e</sup>JAL) sont reportées sur la Figure 25. Les résultats sur l'attaque du striga et des maladies à savoir la mineuse, le charbon et le mildiou sont respectivement reportés sur les Figures 26 et 27 ci-dessous.

L'attaque par les chenilles est nettement plus élevée hors houppier sur l'ensemble des cinq dates observées, avec une différence très significative. Au début du développement du mil (30<sup>e</sup>JAL), le pourcentage d'attaque a été très sévère au niveau des placettes témoins avec une moyenne de 70% par contre 28% seulement en sous houppier. Avec l'avancée du

développement du mil, on note une diminution du pourcentage d'attaque de la chenille au niveau des deux traitements (Figure 25).

L'analyse de la figure 26 montre que la sévérité de l'attaque par le striga est significativement plus élevée hors houppier. Comme pour les chenilles et le striga, l'attaque de la mineuse a été plus important au niveau des traitements hors houppier avec une différence significative ( $P_v = 0,0018$ ) et des pourcentages qui varie entre 10 et 65%. L'attaque par le charbon a été faible dans les deux traitements avec un pourcentage maximal de 15%. La différence entre traitement n'est pas significative. L'analyse de la figure 27 montre que l'attaque du mildiou est plus élevée en situation sous houppier que hors houppier sans différence significative ( $p=0,1398$ ).

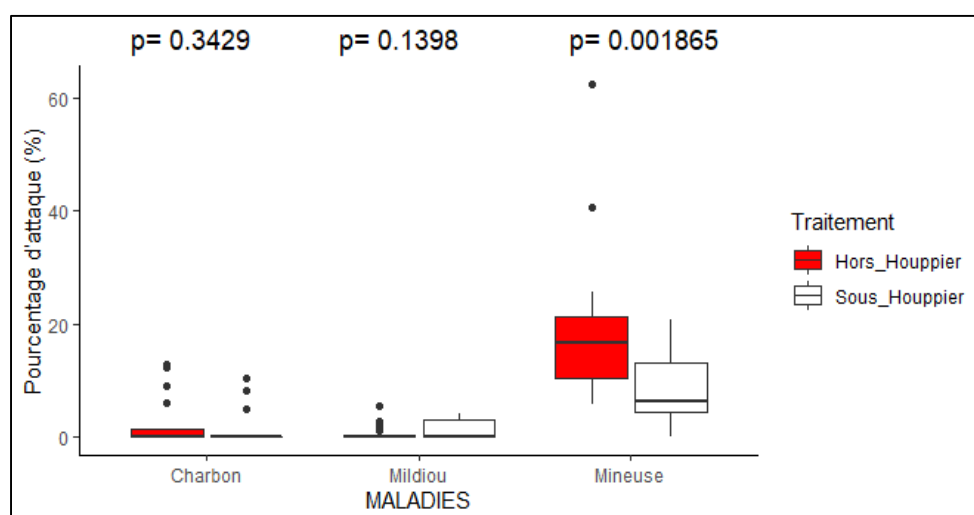


**Figure 25 :** Taux d'infection des chenilles sur les poquets du mil du stade1 au stade 5





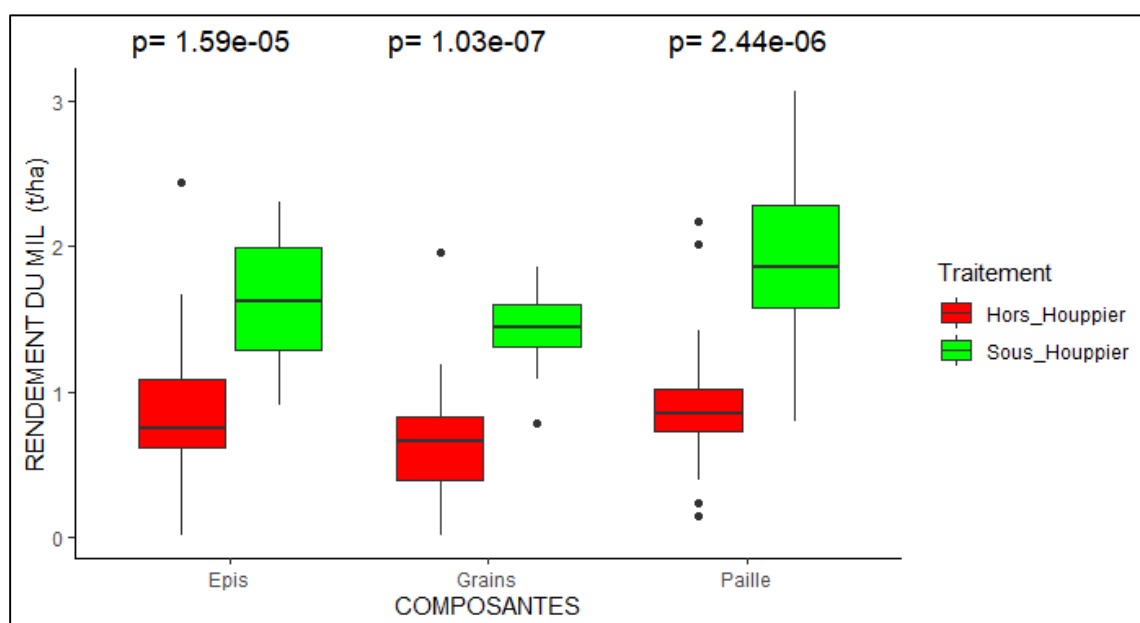
**Figure 26 :** Pourcentage d'attaque du Striga sur les poquets du mil



**Figure 27 :** Pourcentage d'attaque des maladies (Mineuse, Mildiou et Charbon) sur le mil

### 3.4. Effets de la proximité de l'arbre sur les composantes du rendement du mil

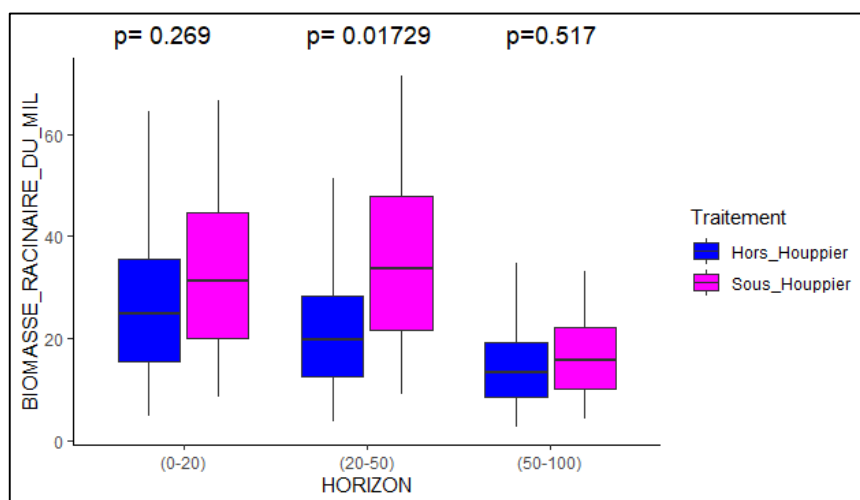
Les résultats présentés ici portent sur le rendement en épis, en grains et paille, c'est à dire au poids sec de chaque élément ramené à l'unité de surface cultivée (Figure 28). Pour les rendements en épis et grains nous observons un accroissement très net de la production sous le houppier avec une différence significative. Les placettes sous houppier ont un rendement en grains 2 fois supérieurs aux placettes hors houppier avec une moyenne de 1,4 tonnes/hectare contre 0,7 tonnes/ha hors houppier. Le rendement moyen en épis a été de 1,6 tonnes/ha sous le houppier contre 0,8 tonnes/ha en dehors du houppier. L'étude des différentes composantes du rendement nous montre aussi que le *Faidherbia* a une influence sur la production de paille. Les valeurs constatées sont significativement différentes, avec une production moyenne de 1,9 tonnes/ha sous houppier contre 0,9 tonnes/ha hors houppier.



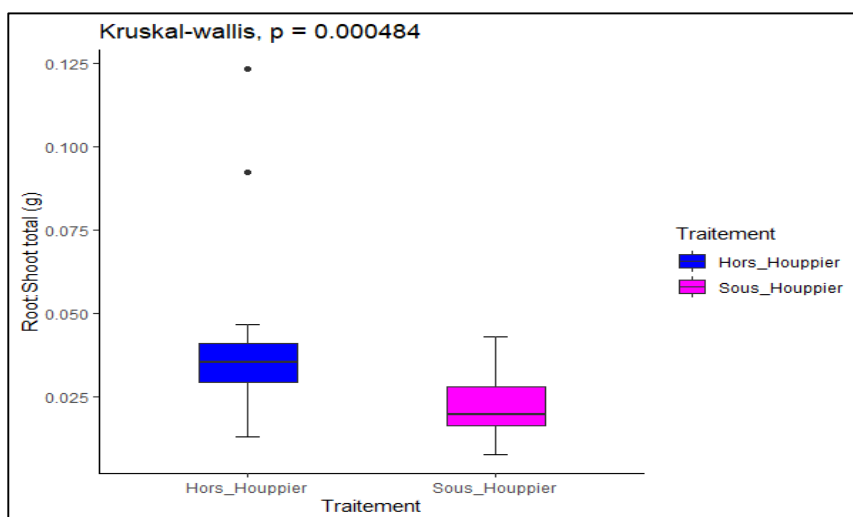
**Figure 28 :** Rendement en Epis, Grains et Paille du mil (t/ha) par traitement

### 3.5. Effets de la proximité de l'arbre sur l'enracinement du mil

Les mesures de la biomasse racinaire du mil effectuées après la récolte ont montré qu'il n'y pas de différence significative entre les deux traitements au niveau des horizons 0-20cm et 50-100cm même si les valeurs restent plus élevées sous houpplier. Dans l'horizon 20-50cm, la biomasse racinaire est significativement plus élevée sous houpplier (Figure 29). Le rapport entre la biomasse racinaire et la biomasse aérienne (Root:Shoot ratio) a été significativement plus élevé au niveau du traitement hors houpplier (Figure 30) indiquant qu'il y a une plus grande proportion de biomasse investie dans les racines chez le mil hors houpplier.



**Figure 29 :** Evaluation de la biomasse racinaire du mil (kg/ha) à différents horizons (0-20, 20-50 et 50-100 cm)



**Figure 30 :** Rapport de la biomasse racinaire totale sur la biomasse aérienne totale du mil (g)

## 4. DISCUSSION

### ❖ Effets de la proximité de l'arbre sur les paramètres du sol

#### ▪ L'humidité et température du sol

Les teneurs en eau observées ont été significativement plus élevées sous houppier. L'évaporation de l'eau à partir de la surface du sol, la consommation en eau des cultures et des arbres et la redistribution des eaux de pluie dans le sol sont des processus physiques primaires qui seraient à l'origine des variations de l'eau stockée dans le sol (Zomboudré *et al.*, 2005). La teneur en eau du sol plus élevée sous houppier pourrait être attribuée à une évaporation moins élevée sous le couvert de l'arbre à cause de l'ombrage du *Faidherbia*. Cela peut être utile au développement du mil au moment où les pluies se font rares et que la culture commence à souffrir de la sécheresse. Ces résultats corroborent avec ceux de Rhoades (1997) qui avait constaté qu'au cours d'une saison culturale, que l'humidité du sol au voisinage de la zone racinaire des cultures était de 4 à 53 % plus élevée sous *Faidherbia* qu'en zone découverte. La température du sol a été légèrement moins élevée sous l'arbre. Cette légère diminution des températures sous le couvert du *Faidherbia* peut être favorable au développement du mil.

#### ▪ Densité apparente du sol

La densité apparente du sol traduit globalement l'état de compaction du matériau et inversement proportionnelle à la porosité totale. Lorsqu'elle est élevée, le sol ne contient pas de pores nécessaires à la croissance des racines, les capacités de rétention en eau sont réduites et la circulation des fluides ralentie (drainage et échange gazeux)(Alongo & Kombele) (Alongo & Kombele). Les résultats ont montré que la densité apparente du sol a été plus élevée hors houppier dans l'horizon 0-10cm, mais il n'y pas eu de différence significative entre les deux traitements au niveau des horizons inférieurs (10-20 et 20-30 cm). Cette hausse de la densité apparente du sol en dehors du couvert du *Faidherbia* signifie que les pores sont réduits à cet endroit et que les particules sont fortement compactées. Il en résulte des difficultés de circulation de l'eau et de l'air (et donc une mauvaise aération du sol), un ralentissement des processus d'infiltration et de drainage, ainsi que des difficultés de

croissance des racines et d'émergence des semis (Mermound, 2010). Les valeurs moins élevées de densités apparentes enregistrées sous le houppier de l'arbre peuvent être expliquées par le fait que le sol est moins compacté à cet endroit dû à une aération par les racines du *Faidherbia* mais aussi à une forte activité microbienne sous l'arbre.

#### ❖ Effets de la proximité de l'arbre sur la croissance du mil

##### ▪ Potentiel hydrique foliaire de la plante

Le potentiel hydrique foliaire est le meilleur paramètre qui rend compte de la relation eau-plante en condition de stress (Rao *et al.*, 2008). Le potentiel hydrique foliaire de base est significativement supérieur sous houppier, cette même situation a été observée sur les mesures effectuées à 12h. Le maintien d'un potentiel hydrique foliaire élevé chez la plante indique une stratégie d'évitement (Monneveux et This, 1997) qui semble liée, d'une part, à une optimisation de l'absorption de l'eau par les racines et, d'autre part, à un ensemble complexe de caractères morphologiques racinaires (profondeur, masse et volume, ramifications). De ce fait, nous pouvons dire qu'une plante qui évite la déshydratation est une plante qui conserve un potentiel hydrique élevé lorsqu'elle est soumise à un déficit hydrique. La chute du potentiel hydrique foliaire du mil, consécutive à l'application du stress hydrique, a été attribuée par certains auteurs (Golombek & Al-Ramamneh, 2002) aux diminutions des potentiels osmotiques et de turgescence.

##### ▪ Développement du mil

Le développement aérien du mil a été significativement plus rapide sous houppier. Le nombre de feuilles de mil par pied est plus élevé sous le couvert de l'arbre que loin de l'arbre. Le retard de développement constaté au niveau des placettes hors houppier peut s'expliquer par un manque d'azote. Le nombre de talles par pied est resté faible identique au niveau des deux traitements sur les quatre dates de mesures (30 JAL, 37 JAL, 44 JAL et 51 JAL). Une différence significative a été observée vers la fin du stade végétatif en faveur de la situation sous houppier (58<sup>e</sup> JAL). La production de talles plus élevée dans les placettes sous couvert du *Faidherbia* est d'une grande importance car cela peut influencer positivement le nombre d'épis récoltables. L'amélioration de la croissance du mil sous le houppier de *Faidherbia*

serait en partie due à sa phénologie inversée. En effet, selon Rhoades (1997), les branches défeuillées du *Faidherbia* pendant l'hivernage contribuent à améliorer la fertilité des sols par le recyclage de la litière et la disponibilité en eau en réduisant le déficit de pression de vapeur de l'air et l'évaporation du sol. Les remontées en surface par capillarité des eaux souterraines (Bonell, 1993) pourrait éventuellement améliorer l'humidité du sol sous les houppiers au cours des années sèches et favoriser ainsi la croissance des cultures.

- Indice de surface foliaire (LAI<sub>max</sub>)

La production de la matière sèche par les plantes résulte de l'interception par les feuilles du rayonnement solaire actif pour la photosynthèse. Une grande partie de la transpiration et la collecte du carbone par les plantes sont assurées par les feuilles (Zomboudré, 2009).

L'indice de surface foliaire a été significativement plus élevé sous houppier. Le fort taux de recouvrement foliaire, au niveau de ces densités élevées entraîne une fermeture rapide de leur couvert ; ce qui augmente leur LAI (Ayaz *et al.*, 2004). Ces résultats corroborent ceux de Wilson *et al.* (1998) qui avaient trouvés que les plantes de lumière qui reçoivent le passage de l'ombre au cours de leur croissance ont tendance à augmenter les dimensions de certains de leurs organes telles que les tiges et les feuilles afin de capter le maximum des ressources, nécessaires pour la production. Par contre ces résultats ne concordent pas avec ceux de Zomboudré (2009) qui avait trouvé que le *Faidherbia* n'a aucune influence sur le LAI max de la culture du maïs associé.

#### ❖ Effets de la proximité de l'arbre sur l'infestation de bioagresseurs

Les attaques de chenilles sur les feuilles de mil et la mineuse sur les épis ont été moins importantes sous houppier, de même que le striga a été considérablement réduit par la présence de l'arbre. Par contre les dégâts du charbon et du mildiou n'ont pas été réduit par la présence de l'arbre. La régression de l'attaque des chenilles au cours du développement du mil peut être expliquée par le fait que la pluie qui tombe lave les poquets et en même temps les chenilles sont enlevées. Le pourcentage d'attaque du striga élevé au niveau des placettes témoins peut s'expliquer par un degré d'infection du sol en semences de ces plantes parasites.

Les bioagresseurs sont plus ou moins sensibles aux variations du microclimat, en fonction de leurs caractéristiques de développement et de dispersion (Schroth *et al.*, 2000).

Une augmentation de l'intensité de l'ombrage diminue la température moyenne et augmente l'humidité relative moyenne de la parcelle (Avelino *et al.*, 2011). Ces modifications du microclimat peuvent affecter la dynamique des populations de bioagresseurs, leur incidence et leur action sur la culture. L'ombrage stimule de multiples mécanismes écologiques, en interaction avec le climat, dont les effets peuvent être antagonistes (négatifs, mais aussi positifs) sur les dynamiques des bioagresseurs (Ratnadass *et al.*, 2012).

#### ❖ Effets de la proximité de l'arbre sur le rendement et composantes

L'étude des différentes composantes du rendement nous montre que *Faidherbia albida* a une influence significative sur les rendements en grains, épis et paille. Les valeurs constatées sont significativement plus élevées sous houppier. Les facteurs qui concourent à cette amélioration sont entre autre la meilleure fertilité des sols et la teneur en eau. En effet, selon Rhoades (1997), les branches défeuillées du *Faidherbia* pendant l'hivernage contribuent à améliorer la fertilité des sols par le recyclage de la litière et la disponibilité en eau en réduisant le déficit de pression de vapeur de l'air et l'évaporation du sol. La remontée en surface par capillarité des eaux souterraines (Bonell, 1993) pourrait éventuellement améliorer l'humidité du sol sous les houppiers au cours des années sèches et favoriser ainsi la croissance des cultures. Ces résultats corroborent ceux obtenus par Louppe *et al.* (1996) qui avaient trouvé une augmentation globale moyenne de 3% de la production de grains de mil dans une étude réalisée à Sob. Des résultats similaires ont été rapportés sur le mil par Bayala *et al.*, (2003) et sur le maïs par Chamshama *et al.*, 1998).

#### ❖ Effets de la proximité de l'arbre sur l'enracinement du mil

Les observations de terrain ont permis de constater que le mil cultivé sous le houppier de *Faidherbia albida* présente une biomasse racinaire significativement plus élevée dans l'horizon 20-50cm seulement. Cette différence existe mais de manière moins accentuée (non significative) au niveau des horizons 0-20 et 50-100 cm. Par contre, le rapport entre la biomasse racinaire et la biomasse aérienne (Root:Shoot ratio) du mil a été significativement

moins élevé sous le houppier indiquant un investissement de biomasse plus important dans les parties aériennes du mil sous houppier.

La plus forte production de biomasse racinaire sous l'arbre peut être expliquée par le fait que les plants de mil sont beaucoup plus développés (2 fois plus de biomasse en feuille, en grain, en tiges...) sous houppier que hors houppier. En revanche, le Root:Shoot ratio plus faible sous houppier atteste d'un shift dans l'allocation préférentielle des assimilats vers l'appareil aérien au détriment du système racinaire développé dans un milieu moins carencé en eau et nutriments que dans la situation hors houppier. Le bon développement du mil associé à *Faidherbia albida* serait dû à une redistribution d'une partie de l'eau du sol à cette culture par les racines du *Faidherbia albida* à laquelle il faut ajouter un effet positif de l'ombrage des rameaux défeuillés sur la réduction de l'évapotranspiration ainsi qu'une meilleure disponibilité en azote et en phosphore comme l'ont démontré des travaux antérieurs (Lamso *et al.*, 2015).



## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'agroforesterie peut être considérée de nos jours comme une agriculture durable à faible apport externe pour les pays en développement qui n'ont pas toujours la possibilité d'importer les intrants nécessaires pour améliorer les récoltes. Il ressort de ce travail que l'association du *Faidherbia albida* avec le mil a un effet positif considérable sur les caractéristiques du sol autour des arbres et les composantes du rendement du mil. Les teneurs en eau observées ont été significativement plus élevées sous le houppier. Cette disponibilité en eau plus accrue sous le houppier pourrait être attribuée à une évaporation moins élevée sous le couvert de l'arbre à cause de l'ombrage diffus de l'acacia (rameaux défeuillés en hivernage pendant la culture du mil). Cet excès d'humidité sous l'arbre a favorisé positivement la croissance et la productivité du mil qui sont restées moins bonnes loin du houppier de *Faidherbia*. La température du sol a été pratiquement identique dans les deux traitements, même si les valeurs les plus élevées ont été notées en dehors de l'arbre. Le potentiel hydrique foliaire a été significativement plus élevé sous houppier indiquant une meilleure tolérance au stress hydrique. La densité apparente du sol est plus élevée hors houppier au niveau de l'horizon 0-10cm, par contre il n'y a pas eu de différence significative entre les deux traitements au niveau des horizons 10-20 et 20-30 cm. La faible densité apparente sous le houppier permet une bonne circulation de l'eau et de l'air avec une meilleure porosité du sol. L'analyse des résultats nous a montré aussi que le développement du mil a été plus rapide sous houppier. Le nombre de feuilles sur un pied est significativement plus élevé sous houppier sur les cinq dates observées. Le nombre de talles sur un pied est resté très faible et est identique au niveau des deux traitements. La progression de la floraison a été plus rapide au niveau des placettes sous couvert, et le nombre moyen de feuilles de mil sur un pied au stade 50% floraison est de 13 sous houppier contre 11 feuilles hors houppier. L'indice de surface foliaire a été significativement plus élevé au sous houppier ce qui peut être expliqué par l'important développement du mil sous l'arbre. Une différence significative de la biomasse racinaire a été observée au niveau de l'horizon 20-50 cm sous houppier. Au niveau des horizons 0-20 et 50-100 cm, il n'y a pas eu de différences significatives entre les deux traitements mais les valeurs étaient plus élevées également sous houppier. Malgré une plus forte production de racines sous houppier, c'est dans la situation loin du houppier que le mil investit significativement plus de biomasse dans les racines, au détriment des parties aériennes. Les observations sur les bioagresseurs ont montrées que

l'attaque des chenilles sur les feuilles de mil au stade végétatif étaient moins importantes au niveau des placettes situées proches des arbres que loin des arbres. De même les dégâts de la mineuse étaient moins importantes sous le houppier, les dégâts du mildiou et du charbon n'ont pas été réduits par la proximité de l'arbre. L'attaque du striga a été nettement plus élevée hors houppier. Quant au rendement en grains, un accroissement très net de la production sous le houppier avec une moyenne de 1,4 tonnes/ha contre 0,7 tonnes/ha en hors houppier. L'étude des différentes composantes du rendement a montré aussi que le *F.albida* a une influence positive sur la production en épis et paille. A cause de sa phénologie inversée, le *F.albida* apporte beaucoup d'éléments fertilisants en fin de saison sèche, période propice à l'incorporation de la litière dans le sol au moment des travaux agricoles et l'arrivée des pluies. Cette litière, qui s'enrichit souvent avec les excréments du bétail attiré par l'ombre et le fourrage, confère aux sols situés à proximité de *F.albida*, des attributs permettant aux cultures de se développer et de produire autant, que sur les sols dépourvus d'arbres et bénéficiant d'une fertilisation exclusivement minérale.

Les résultats obtenus dans cette étude confirment nos hypothèses et les données de travaux antérieurs, et montrent que l'association entre mil et *F.albida* présente de réels avantages agronomiques. L'agriculture peut être intensifiée autour des arbres à conditions de trouver dans ce milieu un microclimat favorable. La pratique de l'agroforesterie mérite d'être encouragée dans la zone d'étude du fait de la forte densité de ces parcs. Cependant il faut noter que Leroux et al. (2020) dans des travaux récents, ont montré qu'au-delà d'une certaine densité d'arbres, les effets du *F.albida* étaient atténués.

Toutefois, pour assurer une gestion plus efficace du *F.albida* dans les agrosystèmes et permettre une meilleure utilisation de l'eau dans les interfaces arbres cultures, l'approfondissement de la connaissance du comportement de cette espèce à travers les thématiques suivantes est nécessaire :

- ✓ Quantification la contribution de la litière qui tombe sous le houppier de l'arbre.
- ✓ L'influence du *Faidherbia* sur la stabilité structurale des sols.
- ✓ la stimulation de la régénération naturelle ou artificielle des parcs par les populations locales

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alexandre D.-Y., Ouédraogo S. (1993) – Variations de la morphologie racinaire de *Faidherbia albida* en relation avec le sol et effets agronomiques de l'arbre. *Faidherbia albida dans les Zones Tropicales Semi-arides d'Afrique de l'Ouest*, **502**, 107–110.
- Alongo S., Kombele F. Evolution de la densité apparente et du rapport c/n du sol sous les variétés exotiques et locale de manioc dans les conditions naturelles de kisangani (R.D.CONGO). *Annalesdel 'Institut Facultaires des sciences agronomiques de Yangambi*, 197-214.
- Ayaz S., McKenzie B.A., McNeil D.L., Hill G.D. (2004) – Light interception and utilization of four grain legumes sown at different plant populations and depths. *Journal of agricultural science*, **142**, 297–308.
- Badiane O., Delgado C. (1995) – A 2020 vision for food, agriculture and the environment. *Sub-Saharan Africa. Food, Agriculture and the Environment Division. IFPRI, Washington*, 1–58.
- Bayala J., Mando A., Ouedraogo S., Teklehaimanot Z. (2003) – Managing *Parkia biglobosa* and *Vitellaria paradoxa* prunings for crop production and improved soil properties in the Sub-Sudanian zone of Burkina Faso. *Arid Land Research and Management*, **17**, 283–296.
- Blondel D. (1971) – Contribution à la connaissance de la dynamique de l'azote minéral en sol sableux (Dior) au Sénégal. *L'Agronomie Tropicale. Série 3, Agronomie Générale. Etudes Scientifiques*, 26 (12) : 1303-1333.
- Bonell M. (1993) – Progress in the understanding of runoff generation dynamics in forests. *Journal of Hydrology*, **150**, 217–275.
- Bonfils P., Faure J. (1956) – Les sols de la région de Thiès. *Bambey, Bull. Agron.*, **16**, 5–92.
- Chamshama S., Mugasha A., Kløvstad A., Haverlaen O., Maliondo S. (1998) – Growth and yield of maize alley cropped with *Leucaena leucocephala* and *Faidherbia albida* in Morogoro, Tanzania. *Agroforestry systems*, **40**, 215–225.
- Charreau C., Nicou R. (1971) – amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche ouest-africaine et ses incidences agronomiques (d'après les travaux des chercheurs de l'IRAT en Afrique de l'Ouest). *Agronomie Tropicale Paris*.

- Charreau C., Vidal P. (1965) – Influence de l'Acacia albida Del. sur le sol, nutrition minérale et rendements des mils Pennisetum au Senegal. *L'Agronomie Tropicale. Série 3, Agronomie Générale. Etudes Scientifiques*, **20 (6-7)** : 600-626.
- Cisse A.M. (1986) – Dynamique de la strate herbacée des pâturages de la zone sud-sahélienne. *Land bouwhoge school Wageningen. Promotor(en): C.T. de Wit; H. Breman. - Wageningen : Cisse* - 211.
- Dancette C. (1978) – Water requirements and adaptations to the rainy season of millet in Senegal. *International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics*, 106-127.
- Dancette C. (1979) – Agroclimatologie appliquée à l'économie de l'eau, en zone soudano-sahélienne. *L'agronomie tropicale*, **34**, 331–355.
- Dancette C., Hamon G., Vachaud G. (1979) – Etude comparée de la dynamique de l'eau en sol sableux nu et cultivé: modalité d'alimentation hydrique du mil et de l'arachide en conditions pluviales déficitaires, au Sénégal. *Atomic Energy Review*, **17 (1)** : 213-234.
- Depommier D. (1996) – Structure, dynamique et fonctionnement des parcs à Faidherbia albida (Del.) A. Chev. Caractérisation et incidence des facteurs biophysiques et anthropiques sur l'aménagement et le devenir des parcs de Dossi et de Watinoma, Burkina Faso. *Thèse de doctorat*, <https://www.theses.fr/1996PA066538>.
- Dieng A. (2003) – Impacts des politiques agricoles sur l'offre céréalière au Sénégal, de 1960 à 2003: Evaluation à partir d'un modèle d'analyse statistique par zones agro-écologiques. <https://www.semanticscholar.org/paper/Impacts-des-politiques-agricoles-sur-l%E2%80%99offre-au-de-Dieng/e6f96971c10a89bbfd71bf1ca7c270d664d73a6c?p2df>.
- Diouf D., Campa C., Dreyfus B. (1998) – Assimilation de l'azote chez Acacia albida Del. *Mafmdou Qirsye*, 221.
- Eldin O. (1990) – Croissance et développement du mil (Pennisetum typhoides) sous deux conditions de fumure minérale: rapport de stage. *Institut Supérieur Technique d'Outre-Mer*, 53.
- Fagg C., Barnes R. (1990) – African Acacias: Study and acquisition of the genetic resources. *Final report, ODA Research Scheme R*, 4348.
- Faostat F. (2018) – Agriculture organization corporate statistical database. *Accessed on*, 25–12.

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2015) – *FAO statistical pocketbook 2015: world food and agriculture*.
- Golombek S., Al-Ramamneh E. (2002) – Drought tolerance mechanisms of pearl millet. Challenges to organic farming and sustainable land use in the tropics and subtropics Proceedings. *University of Kassel, Institute of Crop Science, Germany*, 9–11.
- Hamadou M., Idrissa S., Mahamadou C., Oumarou S., Valentin K. (2017) – Potentialités fourragères du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br): Revue de littérature. *Journal of Animal & Plant Sciences*, **34**, 5424–5447.
- Jung G. (1970) – Variations saisonnières des caractéristiques microbiologiques d'un sol ferrugineux tropical peu lessivé (Dior), soumis ou non à l'influence d'*Acacia albida* (Del). *Acta Oecologica. Oecologia Plantarum*, **5**, 113–136.
- Anonyme (2016) – L'agriculture en Afrique subsaharienne : Perspectives et enjeux de la décennie à venir, pp. 63–104. OECD.
- Lamso N.D., Guero Y., Dan-Badjo A.T., Lamar R., Bationo B.A., Djamen P., Tidjani A.D., Maman N.A., Karimou A.J.M. (2015) – Effet des touffes de *Hyphaene thebaica* (Mart) sur la production du mil dans la région de Maradi (Niger). *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, **9**, 2477–2487.
- Lericollais A. (1969) – Un terroir Serer du Sine (Sénégal). *ORSTOM, Dakar (janvier 1969, multigr.)*.
- Leroux L., Falconnier G.N., Diouf A.A., Ndao B., Gbodjo J., Tall L., Balde A., Clermont-Dauphin C., Bégué A., Affholder F. (2020) – Using remote sensing to assess the effect of trees on millet yield in complex parklands of Central Senegal. *Agricultural Systems*, **184**, 102918.
- Loupe D., N'Dour B., Samba A. (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. [https://agritrop.cirad.fr/391622/1/document\\_391622.pdf](https://agritrop.cirad.fr/391622/1/document_391622.pdf), **18**, 3–15.
- Maiti R., Bidinger F.R. (1981) – Growth and development of the pearl millet plant. *ICRISAT, India, Research Bulletin No.6*, 14 p.
- Mbaye D.F. (1993) – Contraintes phytosanitaires du mil dans le sahel: Etat des connaissances et perspectives. *ISWCNRA de Bambey ; Sénégal*, 14.

- Monneveux P., This D. (1997) – La génétique face au problème de la tolérance des plantes cultivées à la sécheresse: espoirs et difficultés. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, **8**, 29–37.
- Ndoye M., Gahukar R. (1989) – Les insectes ravageurs du mil à chandelles dans le Sahel. *African Journal of Plant Protection*, **4**, 1–43.
- Ndoye I., Gueye M., Danso S., Dreyfus B. (1995) – Nitrogen fixation in *Faidherbia albida*, *Acacia raddiana*, *Acacia senegal* and *Acacia seyal* estimated using the 15 N isotope dilution technique. *Plant and Soil*, **172**, 175–180.
- Nicou R. (1974) – Contribution à l'étude et à l'amélioration de la porosité des sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche. Conséquences agronomiques. <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCAL7538013206>.
- Ouedraogo J.-S. (1994) – Dynamique et fonctionnement des parcs agroforestiers traditionnels du plateau central burkinabè influence des facteurs biophysiques et anthropiques sur la composante arborée. *Thèse de doctorat*, Paris 6.
- Pélissier P. (1980) – L'arbre en Afrique tropicale. *Cahiers ORSTOM. Serie Sciences Humaines*, **17**.
- Pieri C. (1977) – MINERALOGIE ET PROPRIETES DE SURFACE DE DEUX SOLS SABLEUX DU SENEGAL. *Agronomie Tropicale, Irat-Cnra, Bambey-Isra, Sénégal*, 339–351.
- Ratnadass A., Fernandes P., Avelino J., Habib R. (2012) – Plant species diversity for sustainable management of crop pests and diseases in agroecosystems: a review. *Agronomy for sustainable development*, **32**, 273–303.
- Rhoades C.C. (1996) – Single-tree influences on soil properties in agroforestry: lessons from natural forest and savanna ecosystems. *Agroforestry Systems*, **35**, 71–94.
- Roupsard O. (1997) – Ecophysiologie et diversité génétique de *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev.(syn. *Acacia albida* Del.), un arbre à usages multiples d'Afrique semi-aride. Fonctionnement hydrique et efficience d'utilisation de l'eau d'arbres adultes en parc agroforestier et de juvéniles en conditions semi-contrôlées. Tome 1: Partie synthèse. *Tome 1: Partie synthèse. 1997. Thèse de doctorat. Université Henri Poincaré-Nancy I.*, 78.
- Roupsard O., Joly H.I., Dreyer E. (1998) – Variability of initial growth, water-use efficiency and carbon isotope discrimination in seedlings of *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev., a multipurpose tree of semi-arid Africa. *EDP Sciences*, 329–348.

- 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.
- Toukara A., Clermont-Dauphin C., Affholder F., Ndiaye S., Masse D., Cournac L. (2020) – Inorganic fertilizer use efficiency of millet crop increased with organic fertilizer application in rainfed agriculture on smallholdings in central Senegal. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **294**, 106878.
- Zomboudré G. (2009) – Caractérisation biophysique et incidence des parcs à *Vitellaria paradoxa* Gaertn. et *Faidherbia albida* (Del.) A. Chev. Sur les facteurs pédoclimatiques et la productivité du maïs (*Zea mays* L.) dans la zone ouest du Burkina Faso. *Thèse de doctorat*, **155**, 45-89.
- Zomboudré G., Zombré G., Guinko S., Macauley H.R. (2005) – Réponse physiologique et productivité des cultures dans un système agroforestier traditionnel: cas du maïs (*Zea mays* L.) associé au karité (*Vitellaria paradoxa* Gaertn.) dans la zone est du Burkina Faso. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 9 (1) : 75-85 56.

# ANNEXES

## Annexes 1: Donnés dendrométrique brute

| N°_Parcelle | N°_Arbre | Cirf_1m30 | HT   | HC   | RMH_(m) | D.M.A.C | D.A.R | Or_HP     | Sexe | Elagage |
|-------------|----------|-----------|------|------|---------|---------|-------|-----------|------|---------|
| P1          | A1       | 221       | 13,2 | 10,8 | 7,7     | 30,82   | 15,4  | Sud       | M    | Faible  |
| P1          | A2       | 335       | 17   | 12,6 | 10,53   | 31,99   | 42,6  | Sud       | M    | Moyen   |
| P1          | A3       | 148       | 9,8  | 7,8  | 5,77    | 32,56   | 37,97 | Ouest     | M    | Faible  |
| P1          | A4       | 284       | 14,8 | 11,2 | 8,81    | 29,9    | 15,78 | Sud       | F    | Faible  |
| P1          | A5       | 279       | 14   | 10,6 | 9,37    | 42,95   | 48,92 | Sud-Ouest | M    | Moyen   |
| P1          | A6       | 375       | 13,8 | 10,4 | 10,56   | 24,35   | 43,73 | Sud       | M    | Moyen   |
| P1          | A7       | 267       | 12,8 | 9,2  | 7,73    | 39,35   | 21,7  | Sud       | M    | Faible  |
| P1          | A8       | 373       | 12,4 | 8,6  | 10,8    | 39,18   | 7,5   | Ouest     | M    | Moyen   |
| P1          | A9       | 270       | 14   | 10,2 | 8,58    | 29,96   | 39,76 | Sud       | M    | Faible  |
| P1          | A10      | 318       | 17,2 | 12,2 | 9,74    | 31,08   | 34,42 | Sud       | F    | Faible  |
| P1          | A11      | 250       | 14,2 | 10,8 | 6,83    | 25,1    | 20,3  | Sud       | M    | Faible  |
| P1          | A12      | 190       | 12,8 | 9,8  | 5,59    | 26,74   | 21,3  | Sud-Est   | M    | Faible  |
| P1          | A13      | 337       | 16,2 | 10,4 | 9,85    | 29,49   | 28,2  | Sud-Ouest | M    | Fort    |
| P1          | A14      | 244       | 16,6 | 11,8 | 6,82    | 41,7    | 20,45 | Sud       | M    | Moyen   |
| P2          | A15      | 266       | 12,6 | 8,8  | 7,97    | 28,81   | 37,4  | Sud       | M    | Fort    |
| P2          | A16      | 414       | 13,4 | 7,6  | 7,75    | 27      | 21,13 | Ouest     | M    | Moyen   |
| P2          | A17      | 133       | 10   | 7,8  | 4,47    | 24,98   | 23,15 | Sud       | M    | Faible  |
| P2          | A18      | 289       | 13,5 | 9,2  | 5,67    | 30,49   | 20,5  | Sud       | F    | Fort    |
| P2          | A19      | 380       | 15,6 | 11,7 | 7,82    | 26,09   | 18,76 | Sud       | F    | Moyen   |
| P2          | A20      | 270       | 12   | 2,8  | 8,08    | 31,55   | 37,92 | Sud       | F    | Faible  |

**Cirf\_1m30:** Circonférence à 1m 30 (cm)  
**HT :** Hauteur total de l'arbre (m)  
**HC :** Hauteur du cime de l'arbre (m)  
**RMH :** Rayon moyen du houppier (m)  
**D.M.A.C :** Distance moyen par rapport l'arbre cible (m)  
**D.A.R :** Distance à l'arbre de référence (m)  
**Or\_HP :** Orientation du houppier



## Annexes 2: Données sur les composantes du rendement du mil

| N°_Parcelle | N°_Arbre | Traitement | Nb_Ep | PFT_Ep | Rd_Ep | Bm_G    | Rd_G | Bm_P | Rd_P |
|-------------|----------|------------|-------|--------|-------|---------|------|------|------|
| P1          | A1       | SH         | 83    | 2374   | 1,48  | 2144,17 | 1,34 | 2,87 | 1,79 |
| P1          | A1       | HH         | 86    | 1978   | 1,24  | 1906,33 | 1,19 | 3,22 | 2,01 |
| P1          | A2       | SH         | 88    | 2512   | 1,57  | 2962,67 | 1,85 | 4,91 | 3,07 |
| P1          | A2       | HH         | 38    | 412    | 0,26  | 487,67  | 0,30 | 0,83 | 0,52 |
| P1          | A3       | SH         | 71    | 1814   | 1,13  | 1254,33 | 0,78 | 1,28 | 0,80 |
| P1          | A3       | HH         | 69    | 1105   | 0,69  | 1023,50 | 0,64 | 1,41 | 0,88 |
| P1          | A4       | SH         | 96    | 3470   | 2,17  | 2864,00 | 1,79 | 3,85 | 2,40 |
| P1          | A4       | HH         | 97    | 3911   | 2,44  | 3136,33 | 1,96 | 3,47 | 2,17 |
| P1          | A5       | SH         | 92    | 2773   | 1,73  | 2545,33 | 1,59 | 2,94 | 1,84 |
| P1          | A5       | HH         | 43    | 1151   | 0,72  | 666,50  | 0,42 | 1,29 | 0,81 |
| P1          | A6       | SH         | 70    | 2092   | 1,31  | 2146,67 | 1,34 | 3,42 | 2,14 |
| P1          | A6       | HH         | 32    | 333    | 0,21  | 368,00  | 0,23 | 0,62 | 0,39 |
| P1          | A7       | SH         | 82    | 3405   | 2,13  | 2514,67 | 1,57 | 3,44 | 2,15 |
| P1          | A7       | HH         | 86    | 1878   | 1,17  | 1648,33 | 1,03 | 2,27 | 1,42 |
| P1          | A8       | SH         | 92    | 3683   | 2,30  | 2606,67 | 1,63 | 4,29 | 2,68 |
| P1          | A8       | HH         | 58    | 1038   | 0,65  | 1024,67 | 0,64 | 1,55 | 0,97 |
| P1          | A9       | SH         | 83    | 2309   | 1,44  | 2379,33 | 1,49 | 2,64 | 1,65 |
| P1          | A9       | HH         | 66    | 1625   | 1,02  | 1100,00 | 0,69 | 1,24 | 0,78 |
| P1          | A10      | SH         | 65    | 3242   | 2,03  | 2231,67 | 1,39 | 3,82 | 2,39 |
| P1          | A10      | HH         | 36    | 1250   | 0,78  | 708,00  | 0,44 | 1,24 | 0,77 |
| P1          | A11      | SH         | 84    | 2060   | 1,29  | 2380,00 | 1,49 | 3,66 | 2,29 |
| P1          | A11      | HH         | 43    | 844    | 0,53  | 645,00  | 0,40 | 1,33 | 0,83 |
| P1          | A12      | SH         | 70    | 2845   | 1,78  | 2240,00 | 1,40 | 2,63 | 1,65 |
| P1          | A12      | HH         | 61    | 1740   | 1,09  | 1311,50 | 0,82 | 1,56 | 0,97 |
| P1          | A13      | SH         | 76    | 1928   | 1,21  | 2128,00 | 1,33 | 3,17 | 1,98 |
| P1          | A13      | HH         | 55    | 1732   | 1,08  | 1118,33 | 0,70 | 1,85 | 1,15 |
| P1          | A14      | SH         | 85    | 3170   | 1,98  | 2748,33 | 1,72 | 3,65 | 2,28 |
| P1          | A14      | HH         | 66    | 1717   | 1,07  | 1364,00 | 0,85 | 1,37 | 0,86 |
| P2          | A15      | SH         | 89    | 3356   | 2,10  | 2966,67 | 1,85 | 3,02 | 1,89 |
| P2          | A15      | HH         | 8     | 26     | 0,02  | 24,00   | 0,02 | 0,24 | 0,15 |
| P2          | A16      | SH         | 61    | 2834   | 1,77  | 2023,17 | 1,26 | 2,90 | 1,81 |
| P2          | A16      | HH         | 44    | 2670   | 1,67  | 1151,33 | 0,72 | 1,59 | 0,99 |
| P2          | A17      | SH         | 48    | 2068   | 1,29  | 1736,00 | 1,09 | 2,02 | 1,26 |
| P2          | A17      | HH         | 50    | 1067   | 0,67  | 1133,33 | 0,71 | 0,92 | 0,58 |
| P2          | A18      | SH         | 61    | 1451   | 0,91  | 1769,00 | 1,11 | 1,47 | 0,92 |
| P2          | A18      | HH         | 39    | 1165   | 0,73  | 624,00  | 0,39 | 1,37 | 0,86 |
| P2          | A19      | SH         | 67    | 1716   | 1,07  | 2490,17 | 1,56 | 2,19 | 1,37 |
| P2          | A19      | HH         | 73    | 1464   | 0,92  | 1849,33 | 1,16 | 1,75 | 1,10 |
| P2          | A20      | SH         | 73    | 2697   | 1,69  | 1837,17 | 1,15 | 1,84 | 1,15 |
| P2          | A20      | HH         | 8     | 48     | 0,03  | 17,33   | 0,01 | 0,39 | 0,24 |

**Nb\_Ep :** Nombre d'épis totaux sur 16 m<sup>2</sup>  
**PFT\_Ep :** Poids frais total d'épis (g)/16m<sup>2</sup>  
**Rd\_Ep :** Rendement en Epis (t/ha)  
**Bm\_G :** Biomasse en grains/16m<sup>2</sup>\_(g)  
**Rd\_G :** Rendement en grains (t/ha)  
**Bm\_P :** Biomasse en Paille sur 16m<sup>2</sup>(kg)  
**Rd\_P :** Rendement en Paille (t/ha)

### Annexes 3: Données enracinement du mil

| N°<br>Parcelle | N°<br>Arbre | Traitement | Nb_Pq/<br>16m <sup>2</sup> | P.F.T.Pq_<br>(0-10cm) | Bm_rac_<br>(0-20cm) | Bm_rac_<br>(20-50cm) | Bm_rac_<br>(50-100cm) | Bm_rac_<br>(0-50cm) | Bm_rac_<br>(0-100cm) |
|----------------|-------------|------------|----------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|
| P1             | A1          | SH         | 19                         | 463                   | 39,30               | 31,34                | 70,65                 | 21,22               | 91,86                |
| P1             | A1          | HH         | 20                         | 385                   | 16,81               | 13,41                | 30,22                 | 9,08                | 39,30                |
| P1             | A2          | SH         | 21                         | 748                   | 34,75               | 27,71                | 62,46                 | 18,76               | 81,22                |
| P1             | A2          | HH         | 19                         | 172                   | 64,41               | 51,36                | 115,77                | 34,77               | 150,54               |
| P1             | A3          | SH         | 20                         | 188                   | 25,65               | 20,45                | 46,10                 | 13,85               | 59,95                |
| P1             | A3          | HH         | 20                         | 342                   | 12,62               | 10,06                | 22,68                 | 6,81                | 29,49                |
| P1             | A4          | SH         | 19                         | 625                   | 42,91               | 34,21                | 77,12                 | 23,16               | 100,28               |
| P1             | A4          | HH         | 20                         | 622                   | 17,80               | 14,19                | 31,99                 | 9,61                | 41,60                |
| P1             | A5          | SH         | 22                         | 386                   | 24,02               | 19,15                | 43,17                 | 12,97               | 56,14                |
| P1             | A5          | HH         | 17                         | 254                   | 55,31               | 44,11                | 99,42                 | 29,86               | 129,27               |
| P1             | A6          | SH         | 23                         | 613                   | 18,40               | 14,68                | 33,08                 | 9,93                | 43,01                |
| P1             | A6          | HH         | 17                         | 131                   | 35,46               | 28,28                | 63,73                 | 19,14               | 82,88                |
| P1             | A7          | SH         | 17                         | 470                   | 35,96               | 28,67                | 64,63                 | 19,41               | 84,04                |
| P1             | A7          | HH         | 20                         | 419                   | 33,13               | 26,42                | 59,55                 | 17,88               | 77,43                |
| P1             | A8          | SH         | 22                         | 488                   | 9,17                | 7,31                 | 16,47                 | 4,95                | 21,42                |
| P1             | A8          | HH         | 20                         | 182                   | 28,97               | 23,11                | 52,08                 | 15,64               | 67,72                |
| P1             | A9          | SH         | 21                         | 375                   | 12,62               | 10,06                | 22,68                 | 6,81                | 29,49                |
| P1             | A9          | HH         | 19                         | 240                   | 15,72               | 12,54                | 28,26                 | 8,49                | 36,75                |
| P1             | A10         | SH         | 19                         | 965                   | 14,94               | 11,91                | 26,85                 | 8,06                | 34,92                |
| P1             | A10         | HH         | 17                         | 534                   | 4,67                | 3,73                 | 8,40                  | 2,52                | 10,92                |
| P1             | A11         | SH         | 20                         | 744                   | 30,99               | 33,24                | 64,24                 | 15,42               | 79,65                |
| P1             | A11         | HH         | 19                         | 187                   | 51,03               | 54,73                | 105,76                | 25,38               | 131,15               |
| P1             | A12         | SH         | 19                         | 601                   | 11,37               | 12,20                | 23,57                 | 5,66                | 29,22                |
| P1             | A12         | HH         | 19                         | 348                   | 42,49               | 45,58                | 88,07                 | 21,14               | 109,21               |
| P1             | A13         | SH         | 17                         | 868                   | 25,23               | 27,06                | 52,29                 | 12,55               | 64,84                |
| P1             | A1          | HH         | 18                         | 352                   | 41,25               | 44,24                | 85,49                 | 20,52               | 106,01               |
| P1             | A14         | SH         | 21                         | 790                   | 31,69               | 33,99                | 65,68                 | 15,76               | 81,44                |
| P1             | A14         | HH         | 19                         | 326                   | 32,47               | 34,83                | 67,30                 | 16,15               | 83,45                |

|    |     |    |    |     |       |       |        |       |        |
|----|-----|----|----|-----|-------|-------|--------|-------|--------|
| P2 | A15 | SH | 21 | 283 | 24,55 | 26,33 | 50,88  | 12,21 | 63,09  |
| P2 | A15 | HH | 15 | 97  | 66,63 | 71,47 | 138,10 | 33,15 | 171,25 |
| P2 | A16 | SH | 19 | 415 | 50,84 | 54,53 | 105,38 | 25,29 | 130,67 |
| P2 | A16 | HH | 15 | 284 | 40,79 | 43,75 | 84,54  | 20,29 | 104,83 |
| P2 | A17 | SH | 17 | 315 | 59,94 | 64,29 | 124,24 | 29,82 | 154,06 |
| P2 | A17 | HH | 17 | 131 | 54,01 | 57,93 | 111,94 | 26,87 | 138,81 |
| P2 | A18 | SH | 17 | 157 | 18,02 | 19,32 | 37,34  | 8,96  | 46,30  |
| P2 | A18 | HH | 18 | 161 | 27,59 | 29,59 | 57,17  | 13,72 | 70,89  |
| P2 | A19 | SH | 16 | 199 | 20,68 | 22,18 | 42,87  | 10,29 | 53,16  |
| P2 | A19 | HH | 20 | 155 | 9,47  | 10,15 | 19,62  | 4,71  | 24,33  |
| P2 | A20 | SH | 18 | 143 | 12,55 | 13,46 | 26,00  | 6,24  | 32,25  |
| P2 | A20 | HH | 17 | 56  | 8,37  | 8,98  | 17,35  | 4,17  | 21,52  |

**Nb\_Pq/16m<sup>2</sup> :** Nombre de poquets sur 16m<sup>2</sup>

**P.F.T.Pq\_ (0-10cm) :** Poids frais totale poquet à 0-10cm (g) sur 16m<sup>2</sup>

**Bm\_rac :** Biomasse racinaire (kg/ha)

**SH :** Sous houppier

**HH :** Hors houppier