

BURKINA FASO

Unité-Progrès-Justice

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET DE L'INNOVATION (MESRSI)

UNIVERSITE NAZI BONI (UNB)

INSTITUT DU DEVELOPPEMENT RURAL (IDR)



MEMOIRE DE FIN DE CYCLE

En vue de l'obtention du

DIPLOME D'INGENIEUR DU DEVELOPPEMENT RURAL

OPTION : AGRONOMIE

Thème :

Analyse des effets conjugués de la réhabilitation physique et biologique du sol sur la productivité du sorgho : Cas du zaï combiné à des densités variées de *Piliostigma reticulatum*.

Présenté par : AMADOU Issifou

Maître de stage : Monsieur Jean-Marie DOUZET

Directeur de mémoire : Pr Nacro Hassan BISMARCK

Co-directeur de mémoire: Dr Mamadou TRAORE

Table des matières

DEDICACE.....	III
REMERCIEMENTS.....	IV
SIGLES ET ABREVIATIONS	V
LISTE DES TABLEAUX	VI
LISTE DES PHOTOS.....	VI
LISTE DES FIGURES.....	VI
RESUME.....	VII
ABSTRACT	VIII
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	4
1.1. DESCRIPTION DE <i>P. RETICULATUM</i> (D.C.) HOSCHT	5
1.1.1. Description botanique	5
1.1.2. Ecologie	6
1.1.2.1. Aire de répartition	6
1.1.2.2. Conditions édapho-climatiques	6
1.2. EFFET DE <i>P. RETICULATUM</i> SUR LE SOL ET LES RENDEMENTS DES CULTURES.....	7
1.2.1. Effet sur le sol	7
1.2.2. Effet sur les cultures et les rendements	8
1.3. LE ZAÏ.....	8
1.3.1. Fonctionnement du zaï	9
1.3.2. Effet du zaï sur le sol	9
1.4. Les principes de l'agroécologie	10
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES	12
2.1. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE	13
2.1.1. Milieu physique	13
2.1.1.1. Situation géographique.....	13
2.1.1.2. Climat et pluviosité	14
2.1.1.3. Contexte pédologique.....	14
2.1.2. Végétation	15
2.2. CONDUITE DES TRAVAUX.....	15
2.2.1. Mise en place et suivi des tests	15
2.2.1.1. Dispositif expérimental	15
2.2.1.2. Description des placettes de sondage	17
2.2.1.3. Les équipements du site expérimental.....	17
2.2.1.4. Historique du dispositif	18
2.2.2. Recépage et épandage de biomasse de <i>P. reticulatum</i>	18
2.2.3. Paillage.....	19

2.2.4. Préparation du sol.....	19
2.2.5. Semis	19
2.2.6. Fertilisation et entretiens	20
2.2.7. Collecte de données agronomiques	21
2.2.7.1. Prélèvement du matériel végétal et du sol	21
2.2.7.2. Suivi des stades de développement	21
2.2.7.3. Mesure de l'indice de la surface foliaire (LAI)	21
2.2.7.4. Mesure de la croissance des plants.	22
2.2.7.5. Comptage du nombre total de feuilles	22
2.2.7.6. Mesure des composantes du rendement	23
2.2.7.7. Rendement grains du sorgho	23
2.2.7.8. Rendement paille du sorgho	23
2.2.8. Analyse statistique des données	23
2.2.9. Analyses de laboratoire	24
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION	25
3.1. RESULTATS	26
3.1.1. Suivi des stades de développement.....	26
3.1.1.1. Effet des traitements sur le taux de poquets présentant des plants levés.	26
3.1.1.2. Effet des traitements sur le taux d'épiaison.....	27
3.1.2. Variation des paramètres agronomiques du sorgho.....	27
3.1.2.1. Effet des traitements sur la croissance en hauteur du sorgho.....	27
3.1.2.2. Effet des traitements sur le nombre de feuilles	29
3.1.2.3. Effet des traitements sur l'Indice de surface foliaire (LAI)	29
3.1.3. Effet des traitements sur les composantes du rendement.....	30
3.1.4. Estimation des rendements.....	32
3.1.4.1. Effet des traitements sur le rendement grains	32
3.1.4.2. Effet des traitements sur le rendement en paille.....	33
3.1.5. Effet des traitements sur la variabilité du carbone organique, de l'azote et du rapport C/N dans les feuilles du sorgho	34
3.1.6. Effet des traitements sur la production en biomasse du <i>P. reticulatum</i>	35
3.1.7. Effet des traitements sur le rendement du sorgho des cinq dernières années (2012 à 2016).....	36
3.2. DISCUSSION	38
CONCLUSION.....	42
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	43
ANNEXES.....	I

DEDICACE

Au nom d'ALLAH le tout miséricordieux, le très miséricordieux.

Par lui (ALLAH) qui gouverne en maître incontesté et incontestable par sa loi, Je dédie ce
mémoire :

A ma mère **LANKOANDE G. Alimatou**

A mon père **SANA B. Amadou**

A mon frère **LANKOANDE Y. Florent**

A ma tante **SANA Salimata**

Pour avoir été les artisans de ce que je suis aujourd'hui !

REMERCIEMENTS

L'aboutissement de ce mémoire est le fruit de la contribution de nombreuses personnes ressources. Nous sommes conscients que certaines mériteraient d'être citées dans cette page ; qu'elles veuillent bien pardonner ces éventuelles omissions. Nos sincères remerciements vont :

- à Monsieur **Jean-Marie DOUZET**, Chercheur au CIRAD et notre maître de stage. Son encadrement exemplaire, sa disponibilité et son goût du travail bien fait nous ont toujours motivé à aller de l'avant. Sa contribution fut une pierre solide à l'élaboration de ce travail ;
- au Professeur **Nacro Hassan BISMARCK**, Enseignant-chercheur à l'IDR, notre directeur de mémoire ;
- au **Docteur Mamadou TRAORE**, Enseignant-chercheur à l'IDR et notre Co-directeur de mémoire, pour les conseils reçus et l'appui à l'élaboration du présent document ;
- **Au Docteur Rabah LAHMAR**, chercheur du CIRAD, qui initia et mit en place le site expérimental Crops-News à Kamboinsé, de qui nous avons eu de sages conseils et des encouragements ;
- à mon papa, **Aboubacar BARRO** et sa femme tant **Fanta BERTE** pour m'avoir accueilli, conseillé et encouragé durant tous ces années ;
- monsieur **Alexandre OUEDRAOGO**, technicien agricole du dispositif expérimental Crops-News à Kamboinsé ;
- à mon frère et ami **Fousseni HEMA** pour ses encouragements et ses aides multiples.
- à ma grande sœur **LANKOANDE Tounwensida Elisabeth** pour ses conseils et ses encouragements ;
- à mon frère **Abdoul Akim WANDAOGO** Etudiant en M2, Méthodes statistiques et économétriques de l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar ;
- à tous les enseignants de l'IDR pour leur disponibilité, leur encadrement technique et scientifique ;

Que Dieu tout puissant vous récompense tous à la hauteur de vos attentes.

SIGLES ET ABREVIATIONS

- ABACO** : Agroecology Based Aggradation Conservation Agriculture
- BUNASOLS** : Bureau National des Sols
- CIRAD** : Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
- CEC** : Capacité d’Echange Cationique
- DMS** : Degrés, Minutes, Secondes (en référence aux coordonnées géographiques)
- Ha** : Hectare
- IRD** : Institut de Recherche pour le Développement
- IDR** : Institut du Développement Rural
- INERA** : Institut National d’Environnement et de la Recherche Agricole, Ouagadougou /Burkina Faso
- JAS** : Jour Apres Semis
- LAI** : Leaf Area Index
- LTE** : Long Term Experimentation
- MECV** : Ministère de l’Environnement et du Cadre de Vie
- MOS** : Matière Organique du Sol
- PVC** : Polyvinylchloride ou Polychlorure de vinyle
- P.** : *Piliostigma*
- PG** : Poids 1000 grain
- SD** : Semis Direct
- SAS** : Semaine Apres Semis
- Z** : Zaï
- 2iE** : Institut International d’Ingénierie de l’Eau et de l’Environnement

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Fertilisation du dispositif expérimental de 2012 à 2015	18
Tableau 2: Répartition de la biomasse dans les différentes parcelles après la récolte 2016. ...	20
Tableau 3: Variation des composantes du rendement.....	31
Tableau 4: Variabilité du carbone, de l'azote et du rapport C/N dans les feuilles du sorgho..	34

LISTE DES PHOTOS

Photo 1: L'arbuste <i>P. reticulatum</i>	6
Photo 2 (a et b) : zaï avant et après semis	10
Photo 3: Le LAI-2200 (LI-COR, Inc., Lincoln, Nebraska 68504, USA).....	22

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Localisation de la zone d'étude.....	13
Figure 2: Variation de la pluviométrie annuelle enregistrée à la station INERA de Kamboinsé entre 2001 et 2012 et sur le site expérimental Crop-News de Kamboinsé de 2013 à 2016.	14
Figure 3: Représentation schématique du dispositif expérimental.....	16
Figure 4: Arrangement de <i>P. reticulatum</i> dans les parcelles selon les densités.	17
Figure 5: Pourcentage de poquets ayant enregistré des plants levés.	26
Figure 6: le nombre moyen en jours atteint par les taux d'épiaison 50% et 95%.....	27
Figure 7: Stade de développement et croissance en hauteur du sorgho par traitement.	28
Figure 8: Evolution du nombre de feuilles	29
Figure 9 : Evolution dans le temps (compté en semaines après semis) de la croissance de LAI selon les traitements.	30
Figure 10 : Production en grains du sorgho selon les traitements.....	32
Figure 11 : Production moyenne de pailles des différents traitements.....	33
Figure 12 : Evolution de la quantité de biomasse de <i>P. reticulatum</i> par traitement.	35
Figure 13 : Evolution des rendements en grains (a) et paille(b) de 2012 à 2016.....	36
Figure 14 : Moyenne de production en grain de 2012 à 2016 selon les traitements.	37
Figure 15 : Moyenne de production en paille de 2012 à 2016 selon les traitements.	37

RESUME

Dans tous le Sahel, l'insécurité alimentaire reste une menace persistante. Quelques études ont montré que *P. reticulatum*, un arbuste local présent dans le plateau central du Burkina Faso, et dominant dans les parcs du Sénégal au Soudan, peut positivement impacter les rendements des cultures. Cependant, il n'y a pas d'expériences qui montrent l'effet de différentes densités de cette espèce sur la productivité des cultures associées. Aussi des questions se posent sur la densité d'arbustes qui génère le rendement optimum que ce soit en en zaï ou en semis direct. Pour cette raison, une étude était lancée en 2012 dans le cadre du projet ABACO pour déterminer les impacts de ces arbustes à différentes densités, sur la productivité des cultures aussi bien en zaï qu'en semis direct. Les travaux ont été réalisés sur un dispositif constitué de 4 blocs de Fischer complètement randomisés. Quatre niveaux de densité de *P. reticulatum* étaient testés (0 ; 500 ; 1000 ; 2000 arbustes/ha). Les principaux résultats issus de l'étude montrent que sur les parcelles en zaï (Z), les traitements Z+500, induisent une augmentation des rendements grains et pailles par rapport à Z+0 de 12,12% et 15,72% respectivement. Cela s'est traduit également par une amélioration du nombre de plants/ha de 4,94% et du nombre d'épis /ha de 5,58%. Par contre, ceux associant *P. reticulatum* à de fortes densités (1000 et 2000 arbustes/ha) réduisent presque tous les paramètres de productivité du sorgho d'environ 10%. L'étude montre en revanche qu'en semis direct, les fortes densités d'arbustes (2000 arbustes/ha), permettent d'accroître presque tous les paramètres de productivités du sorgho par rapport à la faible densité (SD+500) : 27,18% pour les rendements grains et 109,20% pour rendements pailles ; 3,47% pour le nombre de plants/ha et 36,51% pour le nombre d'épis /ha. Comme application des résultats, les systèmes de cultures associant sorgho et *P. reticulatum* aux densités 500 arbustes/ha en zaï et 2000 arbustes/ha en semis direct, pourraient être recommandés pour l'intensification des cultures dans le plateau central du Burkina Faso.

MOT CLES: *P. reticulatum*, zaï, Semis direct, Burkina Faso

ABSTRACT

In all the Sahel, food insecurity remains a persistent threat. Some studies have shown that *P. reticulatum*, a local shrub present in the central plateau of Burkina Faso and dominant from Senegal to Sudan, can positively influence crop yields. However, there are no experiments showing the effect of different densities of this species on the productivity of associated crops. Therefore, questions arise on the density of shrubs that generates the optimum yield whether in zaï or no-till. A study was therefore initiated from 2012 in the ABACO project to determine the impacts of these shrubs at different densities on crop productivity in both zaï and direct sowing. The work was carried out on a device consisting of four completely randomized Fischer blocks. Four levels of *P. reticulatum* density were tested (0, 500, 1000, 2000 shrubs / ha). The main results from the study show that Z + 500, induce an increase in yields of grains and straw with respect to Z + 0 of 12.12% and 15.72% respectively. This also resulted in an improvement in the number of plants / ha of 4.94% and the number of ears / ha of 5.58%. On the other hand, those combining *P. reticulatum* with high densities (1000 and 2000 shrubs / ha) reduce almost all the productivity parameters of sorghum by about 10%. The study shows that, in direct sowing, high shrub densities (2000 shrubs / ha) make it possible to increase almost all sorghum productivity parameters relative to low density (SD + 500): 27.18% for grain yields and 109.20% for straw yields; 3.47% for the number of plants / ha and 36.51% for the number of ears / ha. As a result, sorghum and *P. reticulatum* combined crop systems with 500 shrubs / ha in zaï and 2000 shrubs / ha in direct seedling could be recommended for intensification of crops in the central plateau of Burkina Faso.

KEY WORDS: *P. reticulatum*, zaï, no-till, Burkina Faso

INTRODUCTION GENERALE

Depuis les années 1970, les ressources naturelles qui constituent le capital de base pour la production de tous les pays de l’Afrique de l’Ouest, subissent une intense dégradation suite à des facteurs d’ordres physique, agro-climatique et/ou anthropique (FAO, 1990). En effet, les sécheresses récurrentes, la pratique d’une agriculture extensive et l’accroissement démographique, qui a entraîné une surexploitation des terres en sont les raisons fondamentales (Kawtar *et al.*, 2004).

Selon la FAO, entre les années 1990 et 1995, l’Afrique a été caractérisée par un taux annuel de déforestation de l’ordre de 0,7%, soit plus du double de la moyenne mondiale (FAO, 2003). Gomgnimbou *et al.* 2010 notaient que plus de 65% des terres agricoles africaines étaient dégradées suite aux activités humaines. Cependant, si la question de la dégradation et de la perte de la fertilité des sols est ressentie presque partout en Afrique, il ressort de beaucoup d’études qu’elle est plus accentuée dans les pays sahéliens comme le Burkina Faso (Ganaba, 2008). Baumer (1987) rapporte par exemple qu’au Burkina Faso, plus de la moitié des terres sont pauvres en matière organique, 85% sont très pauvres en phosphore et 61% en azote. Il note également que la perte quantitative de sol due à l’érosion hydrique et éolienne peut atteindre 1000 à 2000 t/ha/an.

Le défi est celui d’intensifier des agricultures essentiellement pluviales bénéficiant de peu d’intrants (Lahmar *et al.*, 2011). Dans la majorité des sols des zones arides et semi-arides tropicales, la fertilité tient essentiellement à la matière organique du sol (MOS) ; la texture du sol est souvent dominée par les sables et les minéraux argileux ont une faible réactivité. La MOS joue un rôle crucial dans la rétention, le stockage et la disponibilité de l’eau et des éléments nutritifs pour les cultures (Bationo *et al.*, 2007). Or, dans les pays sahéliens, la MOS est particulièrement sensible aux changements d’utilisation des terres et à la gestion du sol. En général, la MOS décroît dans les sols cultivés ; très rapidement pendant les premières années de mise en culture (Pieri, 1989 ; Kintché *et al.* 2010). Pour Lal (2008), la baisse continue de la MOS dans les sols cultivés est le principal moteur des processus de dégradation des sols et par suite de la pauvreté, la faim et la malnutrition. Le climat est propice à la dégradation de la MOS, la production de biomasse est faible et les systèmes de culture et de production actuels ne favorisent pas le retour de ressources organiques au sol. Alors le maintien de la MOS dans les sols tropicaux continuellement cultivés est un réel défi pour la recherche.

Pour diverses raisons (Bindraban *et al.*, 2008 ; Barry *et al.*, 2008), les approches et expériences tentées pendant les décades précédentes comme la conservation de l'eau et du sol (zaï, demi-lune, cordons pierreux, etc.), l'agroforesterie, la gestion intégrée de la fertilité du sol, etc. n'ont pas abouti aux évolutions recherchées. Actuellement, l'agriculture de conservation, déjà proposée pour l'Afrique dans les années 1980 (Lal 1989), regagne de l'intérêt. Sa faisabilité et son potentiel dans les conditions des petites agricultures subsahariennes sont discutés au regard des résultats des expériences précédentes (Baudron *et al.*, 2009 ; Giller *et al.*, 2011). D'autres approches émergentes (Garrity *et al.*, 2010 ; Lahmar *et al.*, 2011) privilégient le savoir, les pratiques et les ressources locaux dans la conception de systèmes de culture et de production innovants, mieux adaptés aux petites agricultures sans intrants et dont la rentabilité et la durabilité tiennent compte des processus écologiques.

En zones semi-arides et arides tropicales, il s'agit avant tout d'inverser les processus actuels de dégradation des terres en aggradation (Lahmar *et al.*, 2011 ; Tittonell *et al.*, 2012), y compris par un investissement initial lourd en travail du sol comme le zaï, par exemple. Le zaï permet de lever rapidement la contrainte hydrique du sol et favorise le retour de la biodiversité (Roose *et al.*, 1993). En encourageant par la suite la propagation de certaines espèces de la flore locale et en exploitant au mieux leurs services, on pourra élever la productivité primaire à des niveaux permettant l'installation de systèmes de culture sur mulch qui entretiennent la fertilité des sols et améliorent la production agricole à moindre coût. Ces considérations ont été développées par Lahmar *et al.* (2011) et Tittonell *et al.* (2012).

Au Burkina Faso, le plateau central est marqué par une forte concentration de population (MEDEV/ DGEP, 2005) et une forte dégradation des ressources naturelles. Le sorgho (*Sorghum bicolor* L. Moench.), est la spéculature la plus cultivée par les populations (MEDEV/ DGEP, 2005). Les associations *P. reticulatum* et sorgho sont couramment rencontrées, or le rôle de cette espèce sur les caractéristiques chimiques et structurales du sol et sur la production du sorgho a été peu investigué comparativement aux espèces comme *Faidherbia albida*, *Parkia biglobosa* *Vitellaria paradoxa*. Traoré, Thiombiano (2007). Cette espèce pourrait jouer un rôle important dans l'amélioration de la production de sorgho.

L'étude a pour objectif global d'identifier les modes d'intensification possibles de la production agricole à travers l'introduction de *P. reticulatum* dans le système de production des paysans.

De façon spécifique il s'agit (i) d'identifier les différentes densités d'arbustes qui permettent d'améliorer les rendements de la culture de sorgho, (ii) de déterminer l'effet de la combinaison des différentes densités d'arbustes et de gestions du sol (zaï et semis direct), sur les productions du sorgho, et enfin (iii) d'identifier des systèmes de cultures durables et productifs associant sorgho et *P. reticulatum*.

Le présent document est organisé en trois chapitres. Le premier chapitre est consacré à une étude bibliographique. Quant au deuxième chapitre, il porte sur la présentation du matériel et des méthodes de travail utilisés. Enfin, le troisième expose et discute les résultats obtenus.

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. Description de *P. reticulatum* (d.c.) hoscht

1.1.1. Description botanique

Systematique

Selon la systématique, *P. reticulatum* appartient à :

Embranchement :	Spermaphytes
Sous-embranchement :	Angiosperme
Classe :	Dicotylédones
Sous-classe :	Rosidaeae
Ordre :	Rosales
Famille :	Caesalpiniaceae
Sous famille :	Caesalpinioideae
Genre :	<i>Piliostigma</i>
Espèce :	<i>reticulatum (D.C.) Höchst</i>

Le genre *P. (Hochstetter)* tient son nom du grec « pilios » qui signifie chapeau et de « stigma » qui signifie stigmaté. C'est un genre paléotropical renfermant trois espèces dont deux africaines ; il s'agit de *P. thonningii* (Schumacher) Milne-Redhead des savanes soudano-zambéziennes et *P. reticulatum* (De Candolle) Hochstetter des savanes sahélo soudaniennes. La troisième espèce très présente en Inde et en Indochine, *P. malabaricum* (Roxb.) Benth., se rencontre dans les formations boisées de pluviosité atteignant 3000 mm/an. Le genre regroupe des arbres et arbustes caractérisés par des feuilles simples bilobées. Les fleurs sont des grappes ou panicules de taille moyenne à petite. Les gousses sont indéhiscentes. *P. reticulatum* diffère de *P. thonningii* dont elle est proche par l'absence de pubescence ferrugineuse (qui donne aux feuilles une coloration rougeâtre) et par la présence de moins de nervures sur les feuilles (Toutain, 1980 ; Geerling, 1982).



Photo 1: L'arbuste *P. reticulatum*

Source : AMADOU (2017)

1.1.2. Ecologie

1.1.2.1. Aire de répartition

P. reticulatum est une espèce commune, localement abondante et grégaire (Arbonnier 2009). C'est une espèce caractéristique des parties septentrionales plus sèches de la région soudanienne avec la majorité largement répandue en Afrique. Elle s'étend de l'ouest du Sénégal jusqu'en Afrique Centrale, monte en Afrique Orientale jusqu'à 2000 m d'altitude et est commune dans la vallée du Sénégal (Hutchinson, *et al.*, 1954). Elle est sahélienne et sahélo-soudanienne (Toutain, 1980 ; Geerling, 1982 et Weigel, 1994).

1.1.2.2. Conditions édapho-climatiques

P. reticulatum est une espèce principale envahissante des jachères (Soumana, 1999, Donfack *et al.* 1999). Elle colonise divers sols : sables, latérites, argiles. Cependant, elle est volontiers au bord des mares, des cours d'eau temporaires, sur des stations périodiquement inondées ou sur des sables humides (Maydell, 1983). Elle affectionne les sols lourds et mal drainés mais aussi les sols latéritiques et sableux (Arbonnier, 2000).

P. reticulatum est une plante qui pousse aussi bien sur les lithosols (Dubois *et al.*, 1996) que sur sols ferrugineux (Donfack *et al.* 1999). Elle se trouve également dans les forêts pauvres et pousse bien sur sols agricoles bons comme dégradés, les sols latéritiques et les sols de marigot. Elle est aussi présente dans les bas-fonds (Weigel, 1994).

1.2. Effet de *P. reticulatum* sur le sol et les rendements des cultures

1.2.1. Effet sur le sol

L'espèce affecte la fertilité du sol dans son voisinage immédiat. Dans les sols ferrugineux sableux du sud-ouest du Niger, Wezel *et al.* (2000) ont réalisé des analyses à des intervalles réguliers de 50 cm sous *P. reticulatum* et *Guiera senegalensis*. Les résultats montrent un accroissement centripète des concentrations de C, N, et P, démarrant à 250 cm du centre de la canopée. Des transects microtopographiques montrent une élévation du sol de 11 à 20 cm au pied des arbustes. Ils expliquent la microstructure par les phénomènes d'érosion-dépôt et l'appellent « îlot de fertilité ». L'extension de l'analyse à une centaine d'arbustes des deux espèces a confirmé l'enrichissement en C, N, P et K du sol sous la canopée comparativement au sol hors de la canopée. L'enrichissement est plus important sous *P. reticulatum* que sous *G. senegalensis*. Ils observent également que sous la canopée de *G. senegalensis* Ca^{2+} est réduit, H^+ et Al^{3+} sont élevés et corrélativement le pH est abaissé, alors que sous la canopée de *P. reticulatum*, Ca^{2+} et le pH ne sont pas modifiés et la CEC effective est augmentée. Dans les sols ferrugineux sableux du Sénégal, Dossa *et al.* (2009) confirment la forte concentration de C, N et P dans les sols sous la canopée comparativement à ceux hors de la canopée, mais ici les plus fortes concentrations sont obtenues sous *G. senegalensis*. L'activité enzymatique est plus forte sous *P. reticulatum* qu'en dehors du houppier. Une forte activité des termites sous houppier de *P. reticulatum* a été notée par Yélémou *et al.* (2007a) en zone nord-soudanienne du Burkina Faso. Cette activité biologique va entraîner une remontée des éléments fins des couches inférieures vers la surface du sol, ce qui explique la forte présence d'argile sous les houppiers (Traoré *et al.*, 2007).

1.2.2. Effet sur les cultures et les rendements

Loupe (1991) note que la productivité des cultures est toujours élevée à l'endroit des arbustes de *P. reticulatum* et *G. senegalensis* recépés. Partant de l'observation que les agriculteurs sèment le mil à une densité toujours plus élevée à l'endroit des arbustes, Wezel (2000) étudie l'effet du recépage/non-recépage sur la production, biomasse et grain, du mil sur un sol sableux du Niger. L'impact des arbustes sur la production du mil est significatif, les résultats montrent un accroissement centripète des rendements, grain et biomasse ; les valeurs les plus élevées sont obtenues à 120 cm du centre de l'arbuste. Au-delà d'un rayon de 200 cm, aucun effet de l'arbuste sur le rendement n'est observé. Le recépage total conduit à des rendements plus élevés que le recépage partiel ou l'absence de recépage. Les données obtenues par Dossa (2007) sur des sols sableux du bassin arachidier du Sénégal montrent également l'effet positif des deux espèces d'arbustes sur les rendements de l'arachide et du mil. Ces améliorations de rendements s'expliquent par la concentration des ressources minérales sous la canopée, mais également par la facilitation de l'alimentation hydrique que les deux espèces d'arbuste peuvent procurer à la culture associée du fait qu'elles réalisent la redistribution hydraulique (Kizito *et al.*, 2006, 2007). Cependant, dans certaines situations ou à certaines périodes de l'année une compétition pour l'eau peut se produire entre l'arbuste et la culture associée (Gaze *et al.*, 1998). Il s'agit là d'un aspect qui mérite plus d'investigation à l'avenir pour aider dans la recherche du meilleur compromis entre la population d'arbustes et les services recherchés pour la culture associée.

1.3. Le zaï

Les termes « **zaï** » au Burkina Faso, « **tassa** » au Niger et « **Towalen** » au Mali désignent une même technique, d'origine paysanne, qui consiste à creuser des cuvettes destinées à piéger et concentrer l'eau de ruissellement et les ressources transportées par l'eau et le vent pour faire croître une céréale dans des environnements arides et semi-arides, sur des sols dégradés (Roose *et al.*, 1993).

1.3.1. Fonctionnement du zaï

Le fonctionnement du système, tel que décrit par Roose *et al.* (1993), repose sur la médiation des termites attirés par les ressources organiques piégées au fond de la cuvette ou apportées par l'agriculteur. Les pores et cavités créés par l'activité des termites le long du profil du sol et la cuvette fonctionnent comme un entonnoir favorisant l'infiltration de l'eau de ruissellement et la création de poches d'humidité en profondeur (Roose *et al.*, 1993). L'effet positif de l'activité des termites sur les propriétés hydrophysiques des sols tropicaux encroûtés est amplement établi (Mando, 1997 ; Mando *et al.*, 1999). L'activité des termites est stimulée par les ressources organiques de moindre qualité (Ouedraogo *et al.*, 2004). Le rendement grain de mil obtenu par Bouzou Moussa et Dan Lamso (2004) dans un traitement (zaï + pailles de mil) est 1,5 fois plus élevé que celui obtenu par le seul traitement zaï ; le zaï amendé avec un mélange de fumier et de la paille (zaï amélioré) permet de multiplier ce rendement par un facteur 2 comparativement au zaï seul. Sur des sols sableux (84 à 92% de sables) du Niger où l'activité des termites est élevée, Fatondji (2002) et Fatondji *et al.* (2006) mettent en évidence des pertes d'eau par drainage sous le zaï. Cependant, cette médiation faunique est absente dans les sols vertiques où l'activité des termites est fortement réduite par le vertisme (gonflement et retrait) (Fatondji *et al.*, 2009). Fatondji (2002) observe que les rendements de mil peuvent chuter à cause de l'excès d'eau favorisé par le zaï sur un sol comportant des argiles gonflantes (25% argile, 69% de sables). Cet aspect est également relevé par Bouzou Moussa (2004).

1.3.2. Effet du zaï sur le sol

Le zaï améliore le stockage de l'eau par le sol et accroît sa disponibilité pour la plante (Fatondji, 2002) mais, sur les sols sableux, de faible capacité de rétention, la majorité de cette eau peut être perdue par drainage profond. 75% de l'eau apportée par irrigation à un sol sableux (92% sables) de la station Icrisat de Sadoré (Niamey, Niger) a été drainée dans les parcelles amendées avec 1 kg/ha de résidus de cultures (Fatondji, 2002). L'auteur suggère que dans de telles conditions, l'amendement du zaï avec des ressources organiques de bonne qualité peut favoriser un développement rapide et profond du système racinaire qui peut limiter les pertes d'eau et des nutriments associés.



Photo 2: zaï avant (a) et après (b) semis.

Source : AMADOU(2017)

1.4. Les principes de l'agroécologie

L'agro-écologie peut globalement être définie comme un ensemble cohérent permettant de concevoir des systèmes de production agricole qui s'appuient sur les fonctionnalités offertes par les écosystèmes, de réduire les pressions sur l'environnement et de préserver les ressources naturelles.

D'après Malézieux (2013), l'hypothèse principale sur laquelle repose l'agro-écologie est qu'il est possible d'augmenter les productions agricoles en quantité et en qualité, d'assurer une meilleure maîtrise des populations de ravageurs et de diminuer la dépendance vis-à-vis des intrants, en accroissant la diversité biologique dans les agroécosystèmes et en optimisant les interactions biologiques au sein de ces derniers. Ainsi, les deux piliers de ce qui est aussi appelé « l'intensification écologique » sont l'accroissement de la biodiversité et le renforcement des régulations biologiques.

Les principes agroécologiques consistent alors à :

- Réduire l'utilisation d'intrants artificiels, nuisibles à l'environnement, chers ou rares pour accroître l'usage d'intrants locaux naturels, renforcer les interactions biologiques et promouvoir des processus et des services écologiques (PNUE, 2005).
- Minimiser les quantités de substances toxiques ou polluantes libérées dans la nature (Gliessman, 2007).
- Gérer les éléments nutritifs plus efficacement, en recyclant la biomasse et en ajoutant régulièrement des résidus agricoles, du fumier d'origine animale et des composts, pour accroître l'accumulation de matières organiques dans les sols, mais aussi pour équilibrer et optimiser le cycle nutritif des cultures (Pretty, Noble, 2006).

- Augmenter la couverture par exemple avec du fumier et des engrais verts, tout en réduisant l'importance du désherbage, si possible à zéro, pour minimiser l'érosion des sols, la perte d'eau/d'humidité et de substances nutritionnelles. Ces pratiques, combinées à la récolte d'eau, visent à utiliser l'eau de façon plus efficace (PNUE. 2005).
- Promouvoir une activité biologique des sols pour en maintenir et accroître la fertilité (Gliessman, 2007).
- Maintenir une grande diversité d'espèces et génétique dans l'espace et le temps, ainsi qu'une structure d'écosystème agricole complexe, pour offrir une gamme de services écologiques importants, augmenter la résistance et la résilience de l'écosystème agricole aux changements, (PNUE, 2005).

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

2.1. Présentation de la zone d'étude

2.1.1. Milieu physique

2.1.1.1. Situation géographique

Notre zone d'étude se situe sur le Plateau Central du Burkina Faso, dans la province de Kadiogo. Les études ont été effectuées à Kamboinsé, village situé à une vingtaine de kilomètres de la ville de Ouagadougou, sur la route nationale 22 (N22) (Figure 1).

Les essais expérimentaux menés au cours de notre stage ont été réalisés exclusivement sur le site expérimental dénommé « site expérimental Crop-News de Kamboinsé », situé sur les concessions du Campus 2iE de Kamboinsé. Ce site a été installé en 2012 dans le cadre du projet ABACO, pour servir dans ses recherches d'amélioration de l'agriculture par de nouvelles pratiques agricoles innovantes. Les coordonnées géographiques sont : longitude 12°28'00,53" N et latitude 1°32'55,61" O en DMS (degrés, minutes, secondes), à une altitude de 295 m.

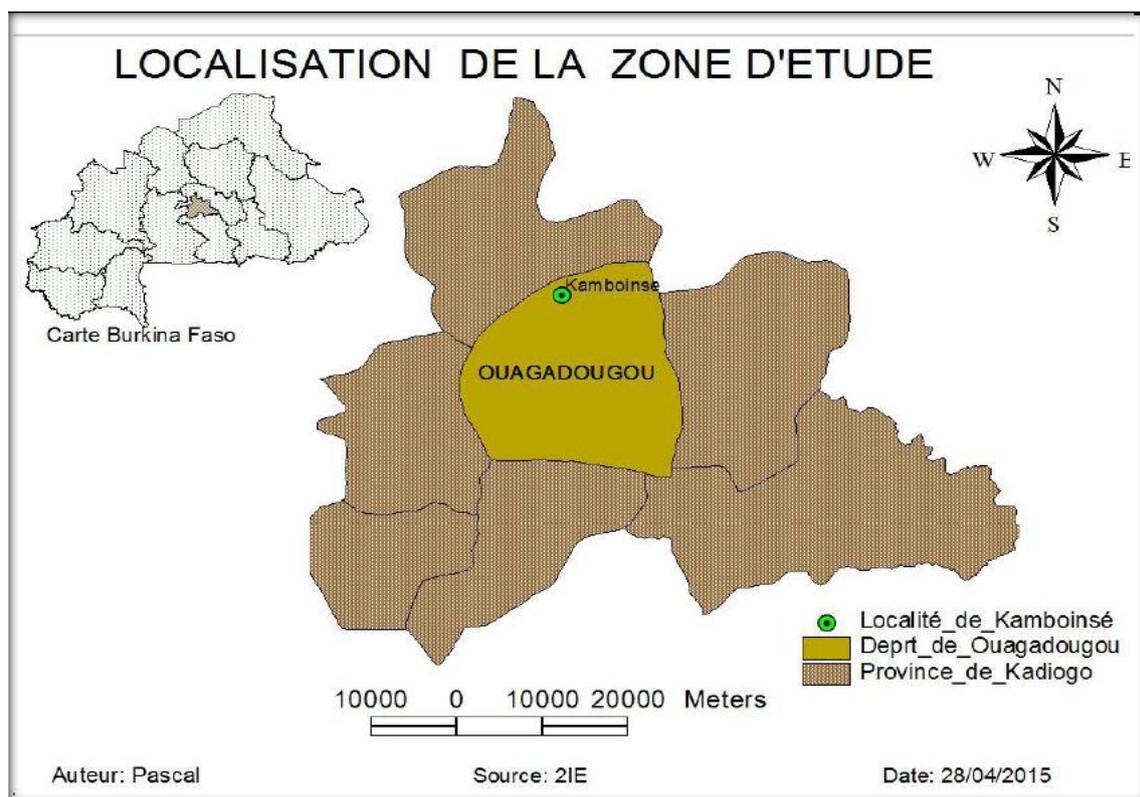


Figure 1: Localisation de la zone d'étude.

2.1.1.2. Climat et pluviosité

Le climat est de type soudano-sahélien, caractérisé par une alternance de deux saisons. Une courte saison de pluie allant de mai à septembre et une longue saison sèche allant d'octobre à avril. Le fait que le pays soit à la lisière du Sahara le prédispose à une forte variabilité diurne (MECV, 2007). Sur une série des données pluviométriques pour la période allant de 2001 à 2016, la plus faible pluviosité a été observée en 2013 et est de 626,2 mm de pluie, tandis que la plus forte valeur se situe en 2015 avec 993 mm de pluie. La pluviosité moyenne annuelle calculée est de 808,56 mm (Figure 2).

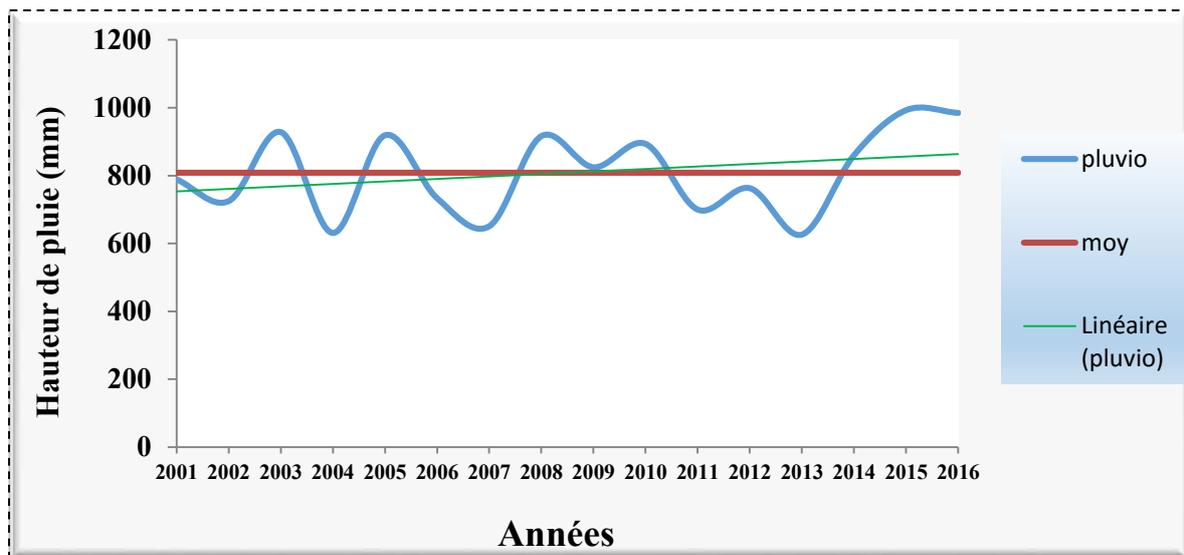


Figure 2: Variation de la pluviométrie annuelle enregistrée à la station INERA de Kamboinsé entre 2001 et 2012 et sur le site expérimental Crop-News de Kamboinsé de 2013 à 2016.

2.1.1.3. Contexte pédologique

D'après INERA (1995), les sols de la zone de Kamboinsé sont classés comme des sols ferrugineux tropicaux lessivés reposant sur du matériau sableux ; des sols hydromorphes peu humifères à pseudogley hérité en association avec les lithosols sur cuirasse ferrugineuse. Ils peuvent être recouverts par endroits d'une couche sableuse d'épaisseur variable de 0 à 40 cm.

Selon Boulet, (1982), ces sols présentent une texture à dominance sablo-argileuse en surface et argileuse en profondeur. La profondeur de la zone d'enracinement est très variable et peut être limitée par l'horizon induré.

2.1.2. Végétation

Kamboinsé est une localité située dans la zone périurbaine au nord de Ouagadougou, dans le secteur phytogéographique soudanien septentrional (Zerbo, 1995). Typique aux zones rurales, le couvert végétal quant à lui est dominé par une savane arborée ou arbustive parsemée de quelques grands arbres tels que le Karité (*Vitellaria paradoxa*), le Néré (*Parkia biglobosa*), le Baobab (*Adansonia digitata*), le Neem (*Azadirachta indica*) et le Kapokier (*Bombax constatum*). Les arbustes sont dominés par le *P. reticulatum* et une strate herbacée assez dense (*Schizachyrium exile*, *Andropogon gayanus*) dans les zones de jachère ou non défrichées. La litière est souvent absente du fait de la minéralisation de la matière organique due au régime climatique de type tropical, mais aussi à cause des fréquents feux de brousse et des méthodes traditionnelles de culture sur brûlis. Le barrage présent dans le village de Kamboinsé est bordé de savane boisée (INERA, 2014).

2.2. Conduite des travaux

2.2.1. Mise en place et suivi des tests

2.2.1.1. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental était constitué de 4 blocs de Fischer complètement randomisés comportant 6 traitements avec 4 répétitions, correspondant au total à 24 parcelles élémentaires de 272 m² (13,6 m x 20 m) chacune. Les allées entre les blocs et les parcelles consécutives sont respectivement de 10 m et 4 m. A l'intérieur de chaque bloc, les parcelles élémentaires correspondant aux différents traitements étaient distribuées de façon aléatoire. Les traitements étaient constitués de la combinaison des densités de *P. reticulatum* et du type de travail de sol. Les six traitements en comparaison étaient :

- **Z+0** : zaï sans *P. reticulatum*
- **Z+500** : zaï avec 500 plants de *P. reticulatum*/ha
- **Z+1000** : zaï avec 1000 plants de *P. reticulatum*/ha
- **Z+2000** : zaï avec 2000 plants de *P. reticulatum*/ha
- **SD+500** : semis direct avec 500 plants de *P. reticulatum*/ha
- **SD+2000** : semis direct avec 2000 plants de *P. reticulatum*/ha

La figure 3 donne la configuration des différents traitements de l'essai.

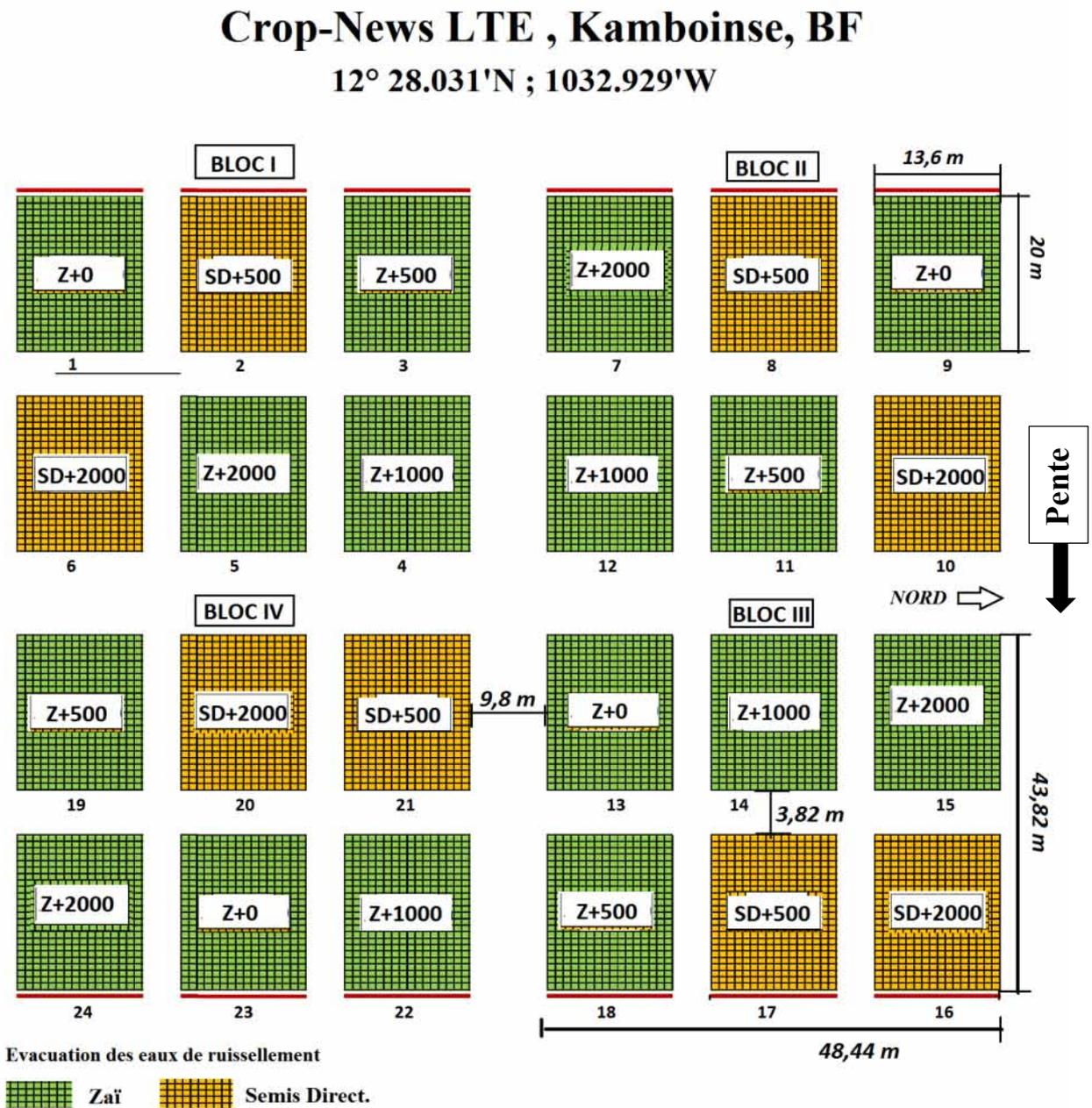


Figure 3: Représentation schématique du dispositif expérimental

Arrangement des arbustes

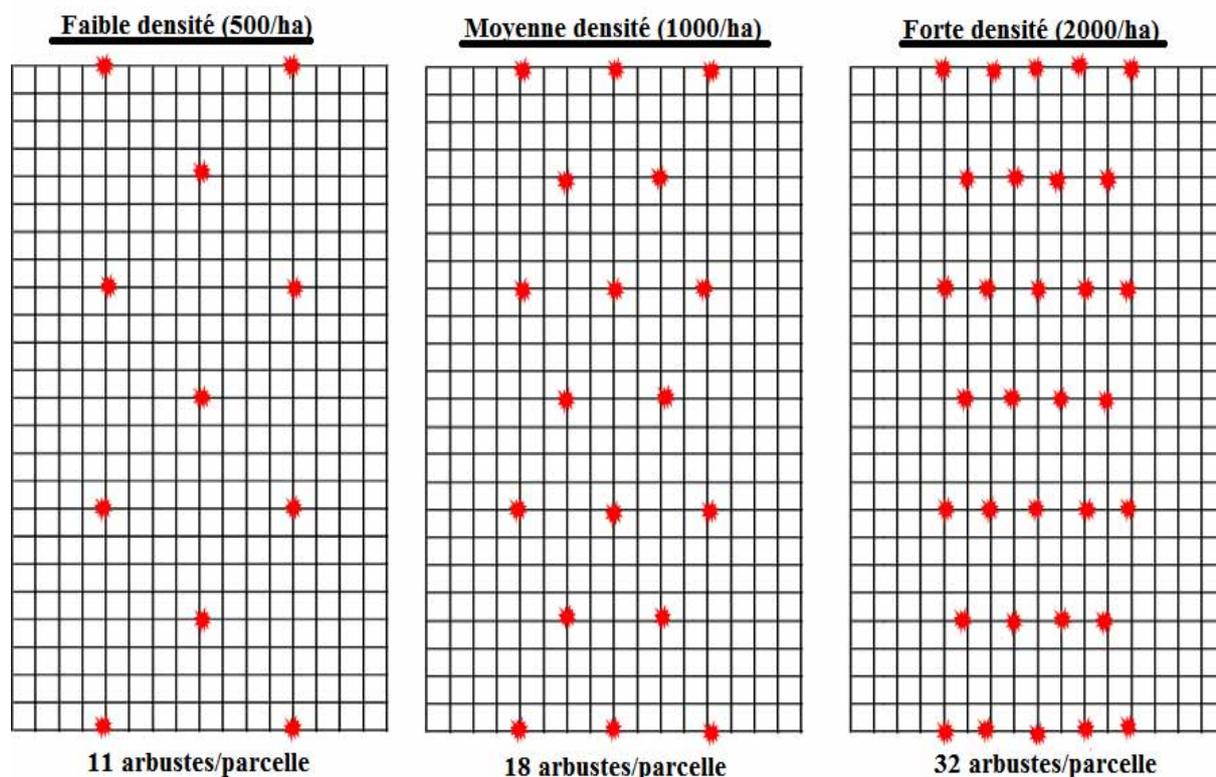


Figure 4: Arrangement de *P. reticulatum* dans les parcelles selon les densités.

2.2.1.2. Description des placettes de sondage

Les paramètres relatifs à la biomasse ont été mesurés dans deux placettes de sondage par parcelle. Chaque placette avait une surface de 11,52 m² (4.8 m x 2.4 m). Elles étaient matérialisées par des poquets de sorgho étiquetés par parcelle, et leur emplacement a été choisi de façon aléatoire dans chaque parcelle (ANNEXE 2).

2.2.1.3. Les équipements du site expérimental

Le site expérimental a été équipé de dispositifs permettant la mesure de la pluviométrie, la température, l'humidité de l'air, et l'humidité du sol. Pour la mesure de l'humidité du sol, 58 tubes accès de la sonde à neutrons étaient placés et pour la mesure de la charge de pression de l'eau du sol, 21 tensiomètres ont été installés (ANNEXE 5).

2.2.1.4. Historique du dispositif

Depuis 2012, le zaï manuel est le seul travail du sol effectué sur 17 parcelles dans le dispositif ; et sur le reste des parcelles on n'observe que le semis direct. Les parcelles sont sous culture continue de sorgho (**variété kapelga**). Pour ce qui est de la fertilisation, il est à noter qu'il n'y a eu aucun épandage d'engrais minéral ni d'application d'urée sur les cultures depuis 2013. Cependant le dispositif a bénéficié à sa mise en place en 2012 et 2013 d'une certaine quantité d'engrais complexe et d'urée (tableaux 1).

Tableau 1: Fertilisation du dispositif expérimental de 2012 à 2015.

Doses d'engrais (kg/ha)	ANNEES			
	2012	2013	2014	2015
NPK	100	50	0	0
Urée	50	25	0	0

La plantation des pieds de *P. reticulatum* selon les différentes densités a eu lieu à l'implantation de l'essai en 2012.

2.2.2. Recépage et épandage de biomasse de *P. reticulatum*.

Pour le premier recépage, effectué avant la saison des pluies, un arbuste de *P. reticulatum* a été marqué par parcelle avec un ruban jaune (arbuste de référence). Pour chaque parcelle élémentaire, le recépage a été effectué arbuste par arbuste et la biomasse fraîche a été déterminée par pesée, après avoir relevé les informations dans la fiche (ANNEXE 6). Les arbustes ont ensuite été broyés et les résidus ont été épandus sur les parcelles en quantités correspondantes à la moyenne produite par densité, chaque parcelle d'une densité donnée recevant la même quantité. Pour les arbustes de référence, les informations relevées étaient plus complètes (ANNEXE 6).

Le deuxième recépage a également concerné toutes les branches de la plante. Les branches élaguées ont par la suite été pesées à l'état frais et disposées sur la parcelle dans laquelle le recépage avait été effectué. L'épandage des rameaux feuillés a été fait de façon

homogène de façon à couvrir toute la parcelle concernée. Un échantillon avait été récupéré pour séchage et détermination du taux d'humidité.

2.2.3. Paillage

Toutes les parcelles ont bénéficié d'une couverture permanente du sol constituée de tiges de sorgho laissées sur place après la récolte et du reste des panicules après battage. De plus, depuis 2015, les parcelles avec *P.* reçoivent les tiges feuillées issues des recépages. Au vu de la forte production de biomasse en tiges de sorgho dans certaines parcelles par rapport à d'autres, une répartition est effectuée chaque année. Cette répartition a consisté en un prélèvement d'une certaine quantité de paille sur des parcelles qui en disposent plus, vers des parcelles qui en disposent moins. Ceci, afin d'avoir la même quantité de pailles de sorgho sur toutes les parcelles (Tableau 2).

2.2.4. Préparation du sol

Deux modes de gestion du sol ont été utilisés. Il s'agit du zaï et du semis direct. Le zaï a été appliqué sur les 4 traitements suivants : Z+0, Z+500 ; Z+1000 et Z+2000. Quant au semis direct, il a concerné les traitements SD+500 et SD+2000. Les trous de zaï sont disposés en quinconces, avec un diamètre d'environ 40 cm sur une profondeur d'environ 15 cm. Les écartements sont de 0,80 m entre les poquets et entre les lignes. Le nombre de poquets de zaï par parcelle élémentaire a été de 413 (25 lignes *16 ou 17 poquets). Ceci revient à une densité de 15 184 poquets par hectare.

2.2.5. Semis

Le semis du sorgho a été effectué directement dans les parcelles sans zaï. Dans les parcelles avec zaï, les graines sont semées dans les trous de zaï. Le semis a été réalisé en lignes à 0,80 m entre les lignes et entre les poquets de la même ligne, et a nécessité l'utilisation des pioches pour sa réalisation.

Tableau 2: Répartition de la biomasse dans les différentes parcelles (P) après la récolte 2016.

Parcelles à forte proportion de paille	Quantité prélevée (kg)	Parcelles bénéficiaires	Quantité reçu (kg)
P3	30	P2	10
		P8	10
		P12	10
P4	12	P18	12
P5	10	P20	10
P7	5	P1	5
P9	20	P14	12
		P17	8
		P15	10
P10	30	P16	10
		P19	10
		P13	10
P11	10	P21	15
P26	26	P15	5
		P18	3
		P16	3

2.2.6. Fertilisation et entretiens

Aucune fertilisation n'a été appliquée. Pour ce qui est de la conduite des travaux, le premier sarclage a eu lieu du 17^{ème} au 19^{ème} Jours Apres semis (JAS), suivi du démariage ne laissant que deux (02) à trois (03) plants par poquets qui a été fait entre le 26^{ème} et le 27^{ème} JAS. Le 2^{ème} sarclage a été réalisé le 46^{ème} JAS. Ces deux sarclages ont été faits à l'aide de la daba.

2.2.7. Collecte de données agronomiques

Les paramètres agronomiques mesurés sont :

- l'indice de la surface foliaire (LAI) ;
- la hauteur du sorgho et le nombre total de feuilles durant la croissance ;
- les composantes du rendement ;
- le rendement grain et le rendement paille du sorgho.

De plus, un prélèvement de feuilles et de sol a été effectué au moment de la floraison du sorgho.

2.2.7.1. Prélèvement du matériel végétal et du sol

Cette étape a consisté en un prélèvement de feuilles et de sol dans deux poquets différents au niveau des lignes qui encadrent les placettes de rendement pour des analyses chimiques. Pour chaque poquet, deux feuilles ont été prélevées à l'aide d'un outil neutre (céramique) ; le prélèvement a consisté à la coupe complète à la limite de la gaine de la dernière feuille ou à défaut l'avant dernière. Ensuite elles ont été lavées à l'eau distillée, séchées au papier absorbant, enroulées et mises dans un sac en papier. Les sacs ont été mis à sécher à l'étuve à 65 degrés pendant 72 heures. A chaque poquet échantillonné des prélèvements de sol ont été effectués sur deux profondeurs : 0-10 cm et 10-20 cm. Après tamisage un échantillon composite (des 4 échantillons) a été effectué pour chacune des 2 profondeurs, donc deux échantillons par parcelle élémentaire.

Ainsi pour le dispositif Crop-News, 25 échantillons de feuilles et 50 échantillons de sol : 25 (0-10 cm) et 25 (10-20 cm), ont été obtenus ; soit au total 75 échantillons.

2.2.7.2. Suivi des stades de développement

Pour suivre le stade de développement des plants, une fiche d'observation phénologiques a été utilisée. Dans cette fiche, nous avons noté les dates auxquels les différents stades phénologiques du sorgho ont atteints les taux 50% et 95% pour chaque parcelle (ANNEXE 1).

2.2.7.3. Mesure de l'indice de la surface foliaire (LAI)

Le LAI est une grandeur sans dimension, qui exprime la surface foliaire d'un arbre, d'un peuplement, d'un écosystème ou d'un biome par unité de surface de sol.

L'appareil de mesure qui a été utilisé est Le LAI-2200 (LI-COR, Inc., Lincoln, Nebraska 68504, USA) qui permet le calcul automatique du LAI et d'autres structures du couvert assignées à la mesure du rayonnement (Photo 3).



Photo 3: Le LAI-2200 (LI-COR, Inc., Lincoln, Nebraska 68504, USA)

Les mesures ont été faites dans chaque parcelle. Elles ont concerné seize (16) poquets de sorgho étiquetés, soit les 5^{èmes}, 6^{ème}, 7^{ème} et 8^{ème} poquets des lignes 9, 11, 13 et 15 de chaque parcelle (ANNEXE 3). Pour une parcelle donnée, 4 séries de mesures ont été faites, correspondant aux 4 lignes ; pour chaque série de mesures, une mesure au-dessus du couvert (Above=A) a été faite dans l'allée, puis 4 mesures en dessous du couvert (Below =B) à l'intérieur de la parcelle. Nous avons donc pour une parcelle 4 mesures Above et 16 mesures Below.

2.2.7.4. Mesure de la croissance des plants.

La croissance des plants a été mesurée à l'aide d'une règle graduée, du collet jusqu'à la pointe de la dernière feuille. Les mesures ont été réalisées à une fréquence hebdomadaire. Elles ont concerné les seize (16) poquets de sorgho étiqueté pour les mesures de LAI (ANNEXE 3).

2.2.7.5. Comptage du nombre total de feuilles

En même temps que les mesures de hauteurs, les feuilles des mêmes plants ont été comptées du collet du sorgho jusqu'à la dernière feuille visible.

2.2.7.6. Mesure des composantes du rendement

Pour les composantes du rendement, les paramètres suivants ont été comptés ou mesurés : le nombre de plants/hectare (NP/ha) ; le nombre d'épis à l'hectare (NE/ha) ; le nombre de grains par épi (NG/épi) et le poids de 1000 grain (PG). Elles ont été déterminées après analyse des fiches de récoltes (ANNEXE 2).

2.2.7.7. Rendement grains du sorgho

C'est l'estimation en kilogramme par hectare de la quantité de sorgho grain produite par traitement. Pour ce faire, la récolte du grain a été faite poquet par poquet, selon la fiche de récolte (ANNEXE 2) : pour un poquet, le nombre de tiges (NT), le nombre de panicules (NP), les plants morts (M) ont été comptés. Ensuite, les panicules du poquet sont pesées ensemble (PFP) puis regroupées dans un sac de récolte. A la fin de la récolte d'une parcelle, un échantillon de 6 panicules a été pris au hasard et mis dans un sac en coton numéroté puis pesé en frais. Cet échantillon a été ensuite mis à l'étuve durant 72h à 65°C pour séchage et pesée en sec.

2.2.7.8. Rendement paille du sorgho

Les tiges de chaque poquet ont été pliées au fur et à mesure de la récolte, sauf les tiges des deux placettes biomasse marquées sur les fiches de récolte (ANNEXE 2). Les tiges de ces placettes ont été coupées, comptées et pesées par ligne, ainsi que les feuilles tombées par terre dans chaque placette. Un échantillon d'une tige a été pris au hasard par placette et pesée. Les deux tiges ont été ensuite coupées et mises dans un sac en coton numéroté pour séchage à l'étuve durant 72h à 65°C. Après le séchage, ces échantillons ont ensuite été pesés en sec.

2.2.8. Analyse statistique des données

Le tableur EXCEL et le logiciel GENSTAT DISCOVERY EDITION 4 ont été utilisés respectivement pour la compilation et le traitement des données.

2.2.9. Analyses de laboratoire

Les analyses de feuilles ont porté sur le carbone, l'azote total et le rapport C/N au laboratoire des sols et gestion de l'eau, de l'Université Catholique de Louvain en Belgique. Quant aux échantillons de sol prélevés, ils ont été envoyés au laboratoire IESOL de Dakar (Sénégal) pour analyse.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Résultats

3.1.1. Suivi des stades de développement

3.1.1.1. Effet des traitements sur le taux de poquets présentant des plants levés.

La figure 5 présente le pourcentage de poquets ayant enregistré des plants levés par hectare selon les traitements. Le pourcentage de poquets levés n'a pas présenté de différence significative ($p=0,879$) entre les différents traitements. Le taux de poquets levés a fluctué entre 89,5% et 93%. Les traitements Z+1000 et Z+500, présentent les taux de levée les plus importants avec respectivement 93% et 92,75%. Les traitements en semis direct (SD) présentent les plus faibles taux de levée (89,5%) par rapport aux traitements en zaï. Quelle que soit la densité d'arbuste, le SD+500 et le SD+2000 ont enregistré les mêmes taux de levés en semis direct (89,5%).

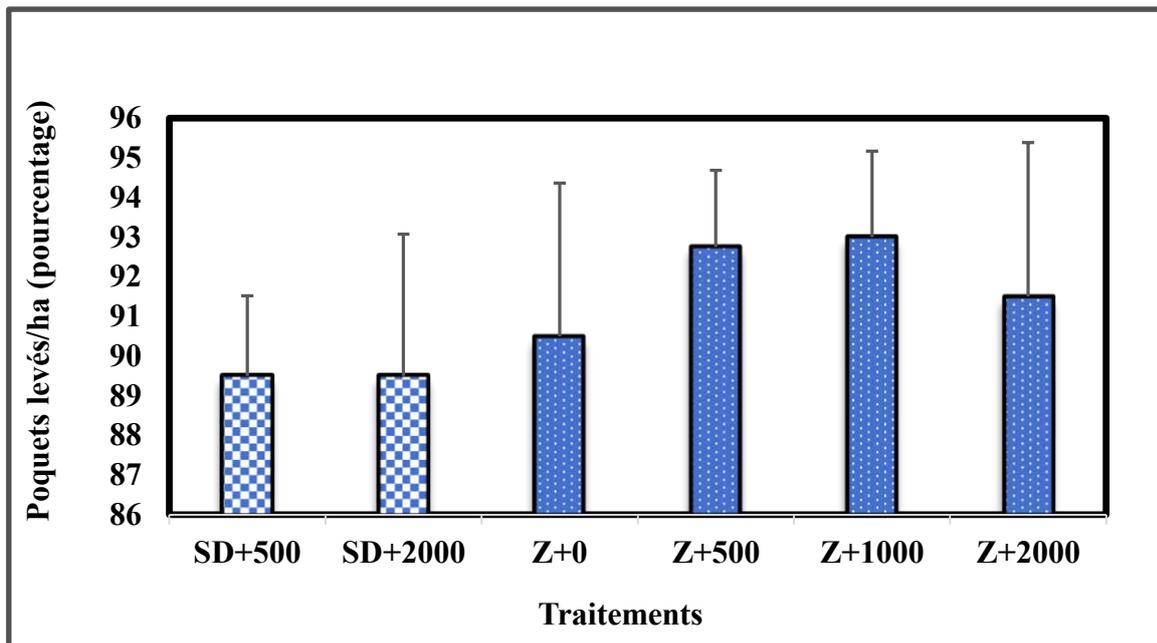


Figure 5: Pourcentage de poquets ayant enregistré des plants levés.

3.1.1.2. Effet des traitements sur le taux d'épiaison.

La figure 6, montre le nombre moyen de jours pour atteindre les taux d'épiaison 50% et 95% selon les traitements.

Toutes les parcelles ont atteint le taux d'épiaison 50% entre le 83^{ème} et le 85^{ème} jour après semis (JAS), soit sur trois (3) jours. Le taux 95% est atteint entre le 86^{ème} et le 87^{ème} JAS, soit sur deux (2) jours. Les parcelles de Z+1000 ont été les premières à présenter des épis et à atteindre les 50% du taux d'épiaison à la 83^{ème} JAS. L'évolution du taux d'épiaison a été lente sur les parcelles de Z+500 et SD+500, elles ont été les dernières à atteindre les taux de 50% et 95%. Le nombre moyen de jours qui s'est écoulé entre les taux de 50% et 95% est de trois (3) jours.

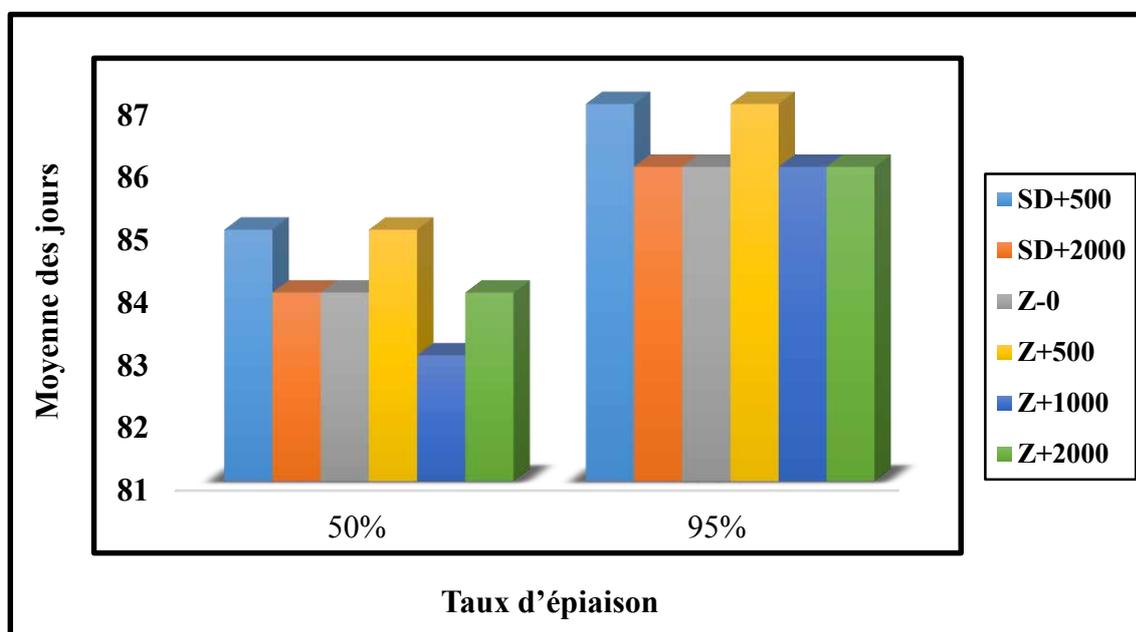


Figure 6: le nombre moyen de jours pour atteindre les taux d'épiaison 50% et 95%

3.1.2. Variation des paramètres agronomiques du sorgho.

3.1.2.1. Effet des traitements sur la croissance en hauteur du sorgho.

- de la 9^{ème} Semaine Après Semis (SAS) jusqu'à la 17^{ème} SAS trois phases distinctes se différencient dans le cycle de développement du sorgho à des vitesses différentes dans les traitements :
- la 1^{ère} phase va de la 9^{ème} SAS à la 10^{ème} SAS pendant laquelle les plantes ont une croissance assez lente. Au cours de cette phase, la vitesse moyenne de croissance en

hauteur est de 4 cm/jour ; 3,59 cm/jour ; 3,03 cm/jour ; 2,93 cm/jour ; 2,92 cm/jour et de 2,72 cm/jour respectivement pour les plants des traitements Z+0, Z+500, SD+2000, Z+1000, Z+2000 et SD+500.

- la 2^{ème} phase va de la 10^{ème} SAS à la 13^{ème} SAS. Pendant cette phase, la croissance des plantes est accélérée. Pour cette 2^{ème} phase, les plants ont une vitesse de croissance de 6 cm/jour pour le Z+0, 5 cm/jour pour les Z+500, Z+1000 et Z+2000. Cette croissance accélérée se traduit par un développement végétatif intense et une élongation maximale. Cette phase se termine avec la floraison.
- la troisième phase commence à partir de la 13^{ème} SAS jusqu'à la récolte. Durant cette phase, les plantes ne croissent presque plus (0,56 à 1,52 cm/jour) et ont tendance à se courber sous le poids des grains qui se remplissent. (Figure 7)

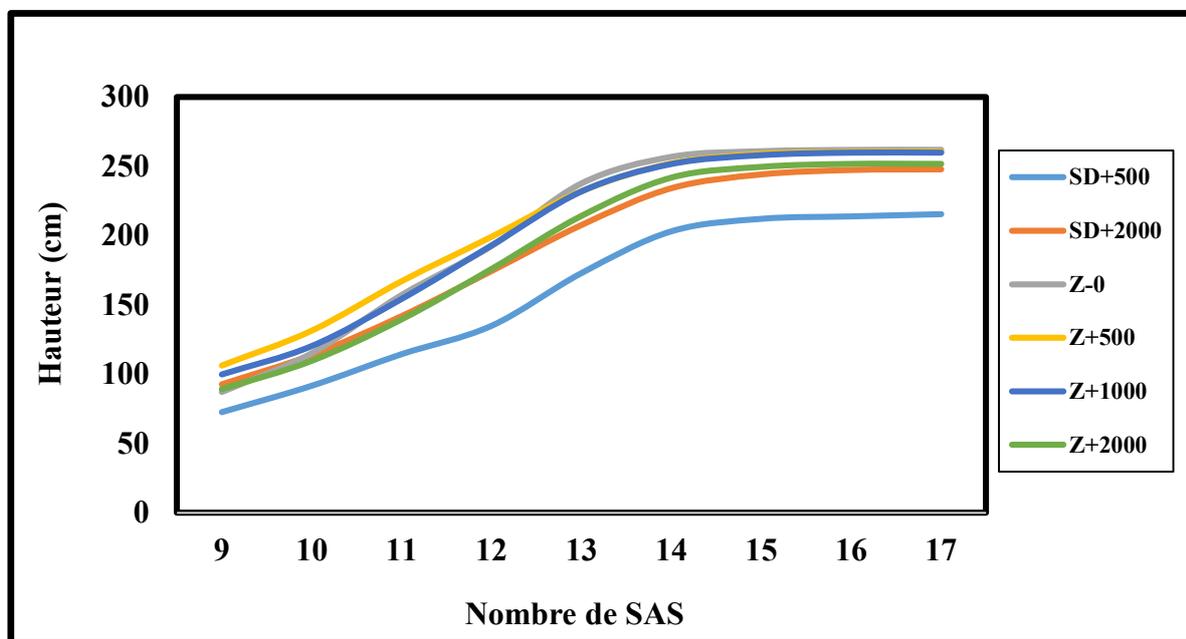


Figure 7: Stade de développement et croissance en hauteur du sorgho par traitement.

La croissance globale des plants du sorgho ne présente pas de différence significative en fonction des densités ($P=0,348$) et du type de travail de sol ($P=0,436$). L'effet de l'interaction entre le travail de sol et les différentes densités ne présente pas non plus de différence significative ($P=0,770$). On note néanmoins que les traitements avec zaï présentent les hauteurs moyennes les plus élevées. Les accroissements moyens les plus importants se rencontrent au niveau des parcelles Z+500, et Z+0, respectivement entre le 9^{ème} et 12^{ème} SAS et entre le 13^{ème} et 17^{ème} SAS. La hauteur maximale est observée en Z+0 arbustes (262 cm).

Pour les traitements en zaï, l'effet des densités sur la moyenne des hauteurs n'est pas perceptible. Par contre en semis direct, le SD+2000 montrent des accroissements plus importants que SD+500 tout au long de la période de mesure (figure 7).

3.1.2.2. Effet des traitements sur le nombre de feuilles

La figure 8 montre l'évolution du nombre de feuilles des plants de sorgho. Au début des observations, à la 9^{ème} SAS, le nombre moyen de feuilles des plants pour tous les traitements était compris entre 5 feuilles et 7 feuilles. D'une semaine à l'autre, le nombre de feuilles augmente plus rapidement sur les parcelles Z+0, Z+500, et Z+1000, qui sont suivies par les parcelles Z+2000, SD+2000, et SD+500 (9 feuilles). A partir de la 13^{ème} SAS, les nombres de feuilles sont restés constants jusqu'à la fin des comptages.

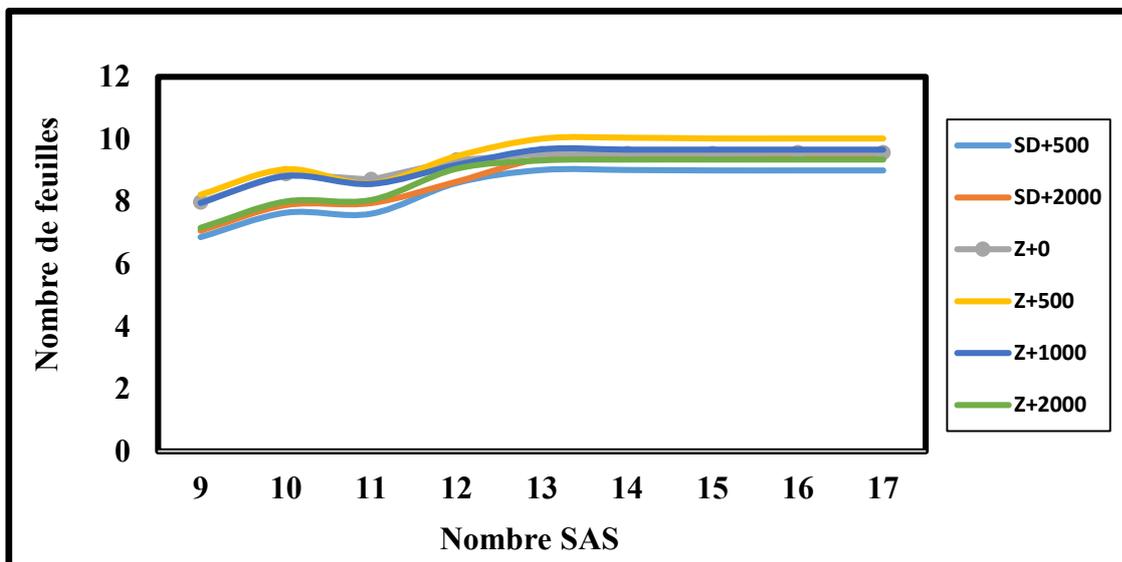


Figure 8: Evolution du nombre de feuilles

3.1.2.3. Effet des traitements sur l'Indice de surface foliaire (LAI)

Les traitements n'ont pas impacté significativement le LAI ($P=0,619$). Les valeurs de LAI ont été plus élevées au niveau du Z+0 et Z+500 entre le 9^{ème} et 13^{ème} SAS. La croissance du LAI était retardée sous les traitements SD+2000 et Z+2000 ; mais ce retard est rapidement compensé par une croissance rapide à partir du 13^{ème} SAS. Cette croissance accélérée du LAI conduit en fin de course à des valeurs de LAI largement supérieures sous le SD+2000 comparé au Z+2000, comparé aux quatre autres traitements. Hormis le SD+2000 et Z+2000, qui ont donné les meilleures valeurs de LAI, les quatre autres traitements ont atteint leur LAI maximum

plus tôt à la 15^{ème} SAS. Au-delà de cette période, les valeurs du LAI ont tendance à baisser. Pour les traitements en semis direct, le SD+2000 a eu des valeurs de LAI supérieures au SD+500 durant toute la période de mesure. Ces valeurs ont été significatives à la 15^{ème} SAS ($P=0,024$). Pour un même type de travail de sol, l'effet des densités a été remarquable en semis direct. Le SD+2000 a enregistré les meilleures LAI par rapport au SD+500 durant toute la période de mesure. Par contre, en zaï, l'effet des densités n'a été perceptible qu'à partir du 13^{ème} SAS (Figure 9).

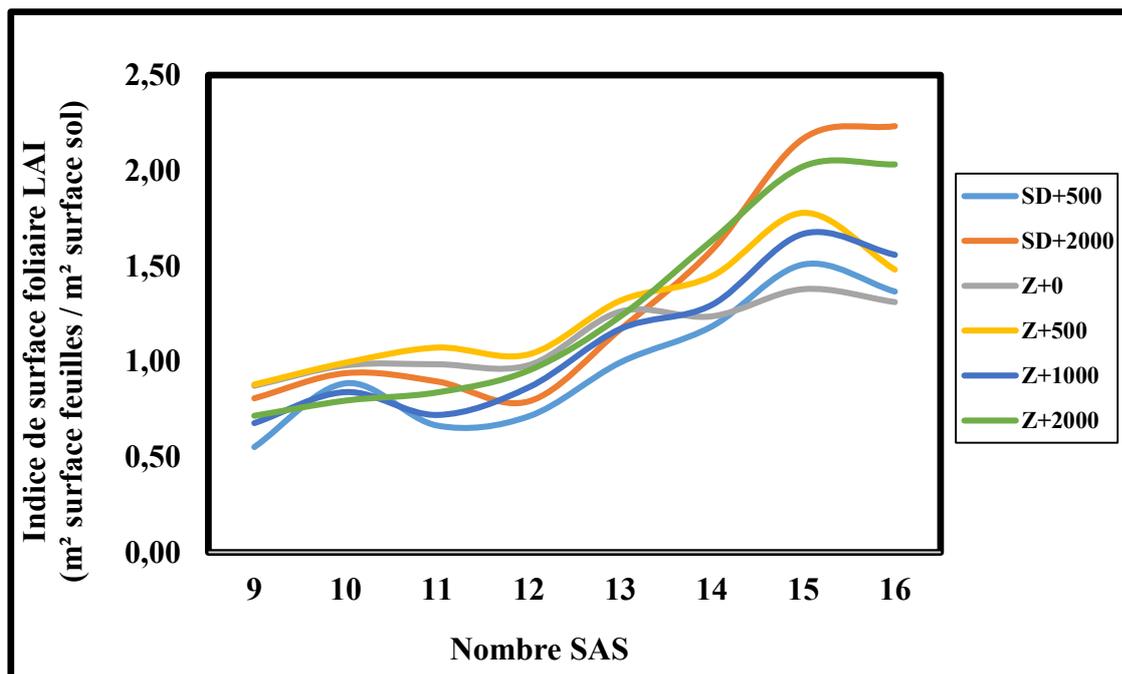


Figure 9 : Evolution dans le temps (compté en semaines après semis) de la croissance de LAI selon les traitements.

3.1.3. Effet des traitements sur les composantes du rendement

Les traitements n'ont pas eu un effet significatif sur les composantes du rendement du sorgho (Tableau 3).

Le SD+2000 et Z+500 sont les traitements qui ont le plus impacté les composantes du rendement. Ces deux traitements se sont distingués des quatre autres traitements, à travers leurs meilleures expressions en nombre de plants et nombre de panicules. Les nombres les plus importants de plants et de panicules se rencontrent au niveau des SD+2000 suivis des Z+500. Au niveau des parcelles en semis direct (SD), le SD+2000 a permis d'améliorer le nombre de

plants de 1351 plants/ha, par rapport au SD+500, soit une hausse de 3,47%. Pour les traitements en zaï, le Z+500 augmente le nombre de plants de 1847 plants/ha par rapport au Z+0 soit 4,94%. Par contre, le Z+1000 et le Z+2000 entraînent une réduction du nombre de plants de 3428 et 1774 plants/ha par rapport au Z+0, soit 9,18% et 4,75% respectivement.

Après la phase d'épiaison, le nombre d'épis dénombrés sur le SD+2000 est amélioré de 15772 panicules/ha (36,51%) de plus que le SD+500. Les parcelles en Zai+500 arbustes accroissent le nombre de panicule/ha de 2822 par rapport au Z+0, soit 5,58%. Par contre le Z+1000 et le Z+2000 le réduisent en moyenne de 2316 et 3098 panicules par hectare, soit 4,58% et 6,13% respectivement. L'effet des densités a été remarquable en semis direct (SD). Le passage de 500 à 2000 arbustes, a augmenté aussi bien le nombre de plants que le nombre de panicules. En zaï (Z) la densité 500 arbustes est celle qui permet le plus grand nombre de plants et de panicules. Au de-là de cette densité (500 arbustes), on observe une régression du nombre de plants et de panicules.

Pour le nombre de grains par panicule et le poids 1000 grains, la tendance change pour les parcelles en semis direct, le SD+500 enregistre cette fois les meilleures moyennes par rapport à SD+2000. En zaï, le changement ne s'observe qu'au niveau du nombre de grains par épi, à ce niveau, le Z+2000 se démarque par sa moyenne (683 grains/épi).

Tableau 3: Variation des composantes du rendement.

Traitements	Nombre de plants/ha	Nombre d'épis total/ha	Nombre de grains/épi	Poids de 1000 grains (g)
SD+500	38906 ±11701	43199 ±4601	528 ±182	23,80 ±2
SD+2000	40257 ±4652	58971 ±17975	472 ±85	23,55±3
Z+0	37353 ±5509	50570 ±6804	652 ±227	23,04±0
Z+500	39200 ±4890	53392 ±15193	646 ±186	23,65±2
Z+1000	33925 ±1913	48254 ±8994	657 ±112	22,78 ±1
Z+2000	35579 ±4281	47472 ±11964	683 ±168	22,20 ±2
Probabilités	0,508	0,284	0,124	0,493
Signification	NS	NS	NS	NS

NS : Non Significative

3.1.4. Estimation des rendements

3.1.4.1. Effet des traitements sur le rendement grains

Le rendement en grains du sorgho n'a pas varié significativement en fonction des densités ($P=0,925$) et du type de travail de sol ($P=0,164$). L'effet de l'interaction entre travail de sol et densités ne montre pas non plus d'effet significatif sur le rendement ($P=0,262$). Le rendement en grains varie entre 887,68 kg/ha dans les traitements Z+500 arbustes et 530,62 kg/ha dans les SD+500 arbustes. Les rendements les plus importants en termes de moyenne se rencontrent au niveau des Z+500 arbustes qui sont en moyenne 1,7 fois plus élevés que les SD+500 arbustes. Les traitements en zaï, de façon générale, ont augmenté les rendements en grains par rapport au semis direct (Figure 10). Pour un même type de travail de sol, les traitements en zaï avec 1000 et 2000 arbustes (Z+1000 ; Z+2000) réduisent légèrement les rendements en grains par rapport au traitement zaï sans arbustes (Z+0) de 7,70% et 9,47% ; alors que le Z+500 l'augmente légèrement de 12,12%. Tout semble indiquer qu'en zaï, plus la densité augmente au-delà de la densité 500 arbustes, plus les rendements sont faibles. En semis direct, le traitement semis direct+2000 arbustes (SD+2000), entraîne un accroissement du rendement de 27,18% par rapport au traitement SD+500 arbustes. Ainsi plus la densité des arbustes augmentent sur les parcelles en semis direct, plus le rendement semble amélioré. Pour un même niveau de densité le Z+500 a augmenté le rendement de 16,72% par rapport au SD+500.

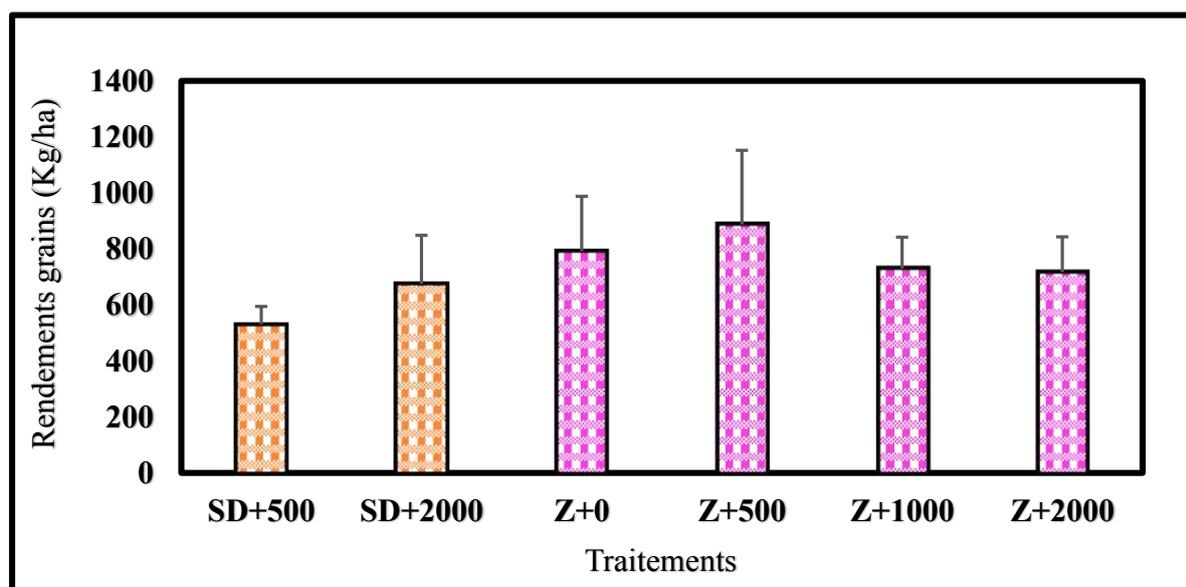


Figure 10 : Production en grains du sorgho selon les traitements

3.1.4.2. Effet des traitements sur le rendement en paille

La production de la biomasse aérienne des plants de sorgho ne présente pas de variation significative en fonction des densités ($P=0,840$). Le type de travail de sol ne présente pas d'influence significative sur la biomasse aérienne des plants ($P=0,447$). De même, l'interaction entre le travail de sol et les densités n'a aucun effet significatif sur la biomasse aérienne des plants ($P = 0,221$). Les productions les plus importantes de paille se rencontrent au niveau des parcelles en semis direct traitées à 2000 arbustes (2387,10 kg/ha) suivies de celles en zaï, traitées à 500 arbustes (2318,50 kg/ha). La quantité de biomasse aérienne produite au niveau des parcelles en semis direct+500 arbustes (SD+500) est 1,5 à 2 fois plus réduite par rapport au cinq autres traitements (Figure 11). Pour un même type de travail de sol, le passage de 500 à 2000 arbustes/ha améliore la production de biomasse sur les parcelles en semis direct de 109,20%. Pour les parcelles en zaï, les densités 500 arbustes permettent d'améliorer la production de biomasse de 15.72% par rapport au Z+0. Au-delà de cette densité, le rendement est réduit de 5,69% pour les traitements en zaï avec 1000 arbustes (Z+1000). Quelle que soit la densité, la moyenne des traitements par type de travail de sol montre que le zaï améliore le rendement de 17,86% par rapport au semis direct.

Pour un même niveau de densité, les rendements en pailles ont été influencés de la même façon que les rendements en grains. Le Z+500 augmente le rendement de 103,24% par rapport au SD+500. Par contre à la densité 2000 arbustes, le Z+2000 a réduit le rendement en paille de 11,90% par rapport au SD+2000.

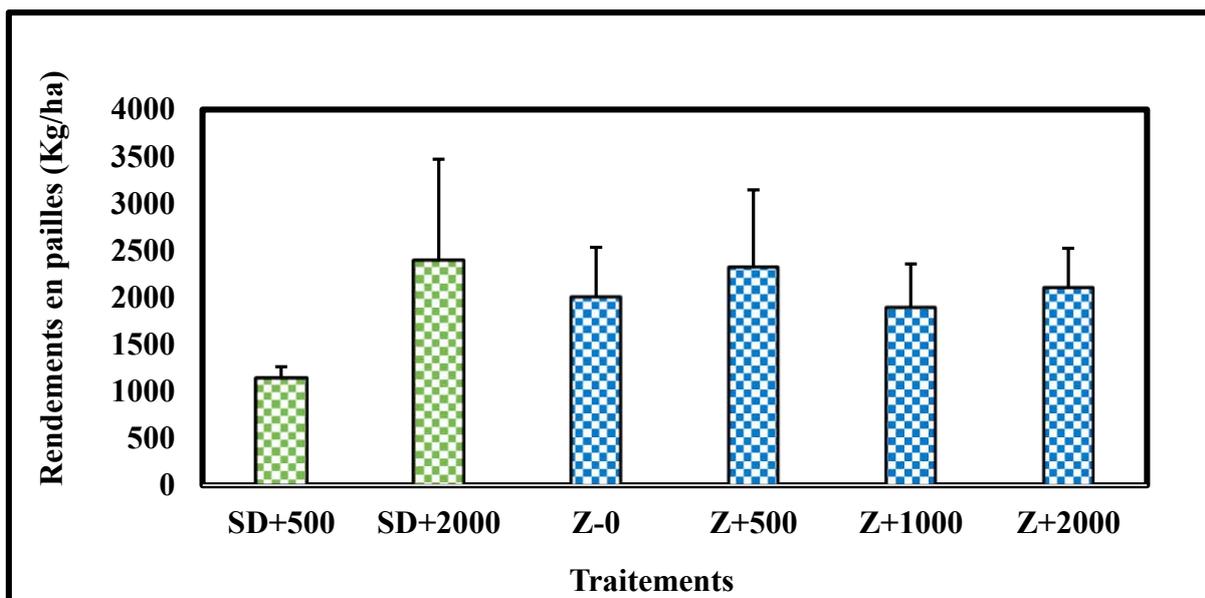


Figure 11 : Production moyenne de pailles des différents traitements

3.1.5. Effet des traitements sur la variabilité du carbone organique, de l'azote et du rapport C/N dans les feuilles du sorgho

De l'analyse statistique, les traitements n'ont pas un effet significatif sur les pourcentages moyens du carbone organique ($p=0,752$), et de l'azote total ($p=0,519$). Les meilleurs teneurs en carbone organique et en azote sont rencontrées sous les traitements Z+0 arbustes et le SD+2000 arbustes. Sous les traitements en semis direct, le statut du carbone organique et de l'azote est amélioré de 0,30% et 0,05% avec l'augmentation de la densité de 500 à 2000 arbustes. Sous les parcelles en zaï l'augmentation de la densité d'arbustes réduit progressivement le taux carbone organique et d'azote respectivement de 0,23% et 0,59% par rapport au Z+0 (Tableau4).

Le rapport C/N ne présente pas de différences significatives ($P=0.387$) entre les traitements. On peut néanmoins préciser que le SD+500 et Z+500 se sont distingués parmi les six traitements, avec des taux qui sont respectivement de 18,84% et 18,13%. Pour un même type de travail de sol, le rapport C/N, a baissé de 2,24% avec la densité sous les traitements en semis direct. Par contre en zaï, le rapport C/N est amélioré de 0,76% à 1,82% avec la présence des arbustes par rapport à Z+0 arbustes.

Tableau 4: Variabilité du carbone, de l'azote et du rapport C/N dans les feuilles du sorgho.

Traitements	N total (%)	C total (%)	C/N total (%)
SD+500	2,38 ±0.1	44,82 ±0,8	18,84 ±0,9
SD+2000	2,68 ±0,2	44,87 ±0,3	16,81 ±1,0
Z+0	2,78 ±0,2	45,21 ±0,5	16,31 ±1,1
Z+500	2,48 ±0,1	44,82 ±0,3	18,13 ±1,1
Z+1000	2,62 ±0,3	44,42 ±1,5	17,06 ±1,4
Z+2000	2,62 ±0.5	44,62 ±1,4	17,44 ±2,9
Probabilités	0,789	0,268	0,251
Signification	NS	NS	NS

NS : Non Significative

Il aurait été intéressant de mettre ces teneurs en relation avec les analyses de sols correspondantes. Toutefois, ces analyses ne sont pas encore disponibles, et ces résultats ne seront pas discutés.

3.1.6. Effet des traitements sur la production en biomasse du *P. reticulatum*

La figure 12 présente les moyennes des quantités en biomasse de *P. reticulatum* par traitement. De l'analyse de variance, il découle que les moyennes des cinq traitements sont statistiquement équivalentes pour le premier recépage ($p=0,548$) et le deuxième recépage ($p=0,802$). Il convient néanmoins de noter que les traitements Z+1000, Z+2000 et SD+2000 ont enregistré les meilleures moyennes en biomasse au niveau des deux recépages.

A la densité 500 arbustes, les parcelles en zaï et en semis direct ont enregistré presque les mêmes quantités de biomasse au deuxième recépage. Par contre au premier recépage la quantité de biomasse était améliorée de 368,23 kg/ha en semis direct par rapport au zaï. Quel que soit le traitement, la quantité de biomasse obtenue au premier recépage (mai 2016) a été supérieure à celle du second recépage (août 2016).

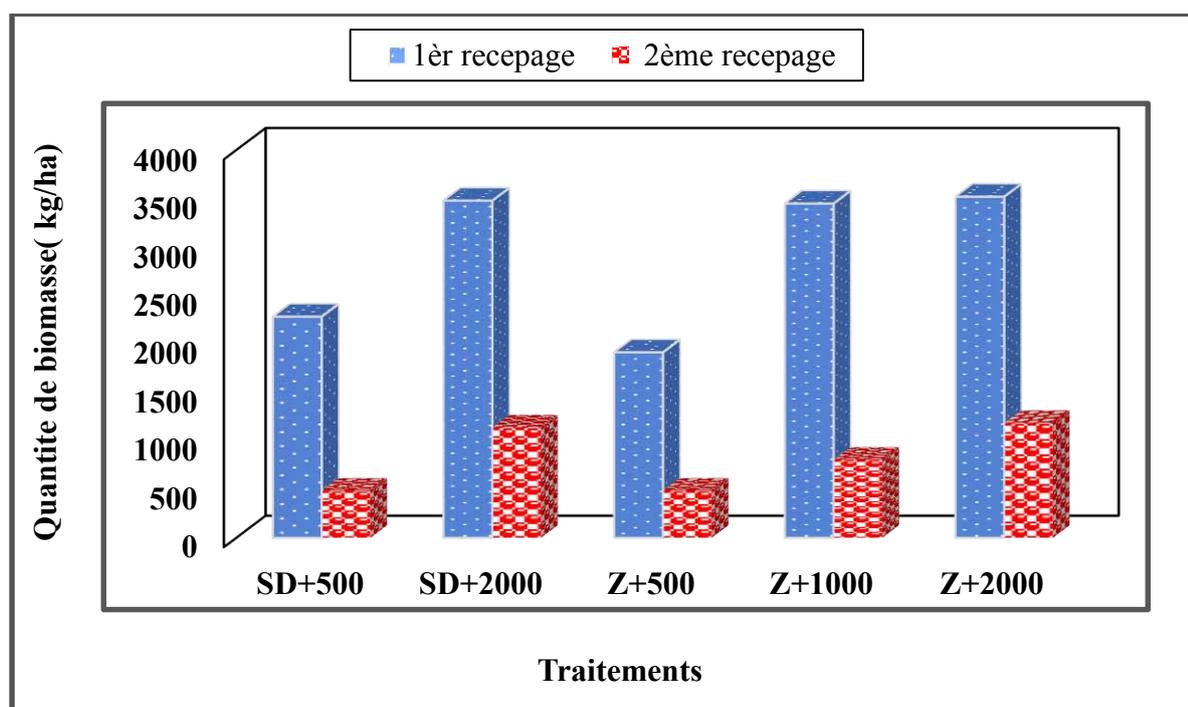


Figure 12 : Evolution de la quantité de biomasse de *P. reticulatum* par traitement.

3.1.7. Effet des traitements sur le rendement du sorgho des cinq dernières années (2012 à 2016).

Les rendements grains et pailles ont fortement varié en fonction des années (figure 13). Les meilleurs rendements grains du sorgho ont été obtenus en 2012 avec une moyenne, tout traitement confondu de 1505,06 kg /ha. Ces rendements n'ont cessé de baisser d'année en année jusqu'en 2016 avec une moyenne de 722,28 kg /ha, soit une baisse de 52%. Contrairement aux rendements en grains, les meilleurs rendements en pailles ont été obtenus en 2014 avec une moyenne, tout traitement confondu de 4108,8 kg /ha. Une baisse des rendements en pailles est observée de 2012 à 2013 et de 2014 à 2016.

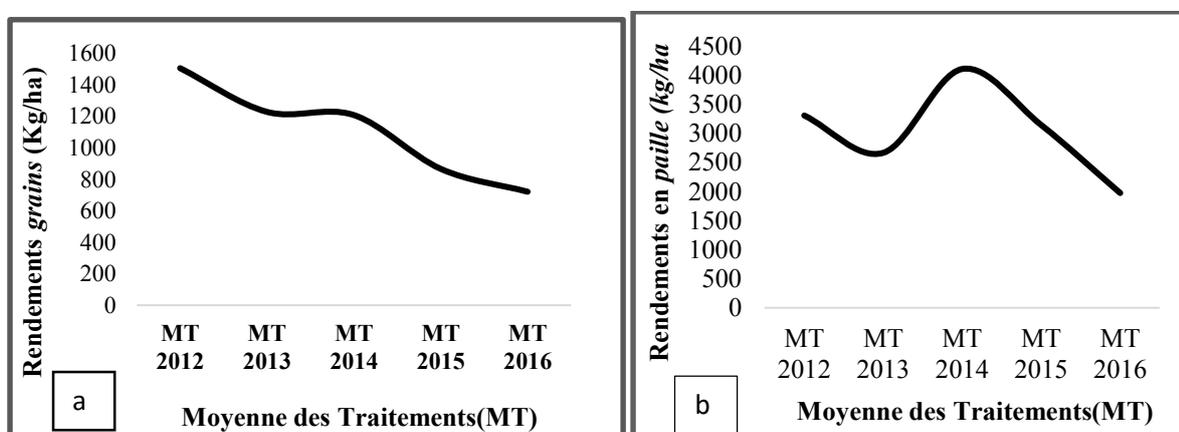


Figure 13 : Evolution des rendements en grains (a) et paille(b) de 2012 à 2016.

L'analyse des figures 14 et 15 montre que, dans le cas des parcelles en zaï, les rendements grain moyens toute année confondue sont légèrement supérieurs dans les traitements Z+500 par rapport à Z+0. Cette augmentation due au Z+500 n'est pas perceptible au niveau des rendements en pailles. Les traitements Z+1000 et Z+2000 ont des rendements grain et pailles légèrement inférieurs au Z+0 arbustes. Cette baisse est plus accentuée au niveau des rendements en pailles. Concernant les traitements en semis direct, le passage de la densité 500 arbustes (SD+500) à 2000 arbustes (SD+2000) a amélioré les rendements en grain et paille toute année confondue de 27, 11% et 47% respectivement. Pour un même niveau de densité, le Z+500 apparaît plus efficace que SD+500 à travers son accroissement du rendement grain et paille toute année confondue de 32,5% et 34,84% respectivement. Pour la même densité de 2000 arbustes, les rendements grain et paille sont inférieurs pour le zaï par rapport au semis direct.

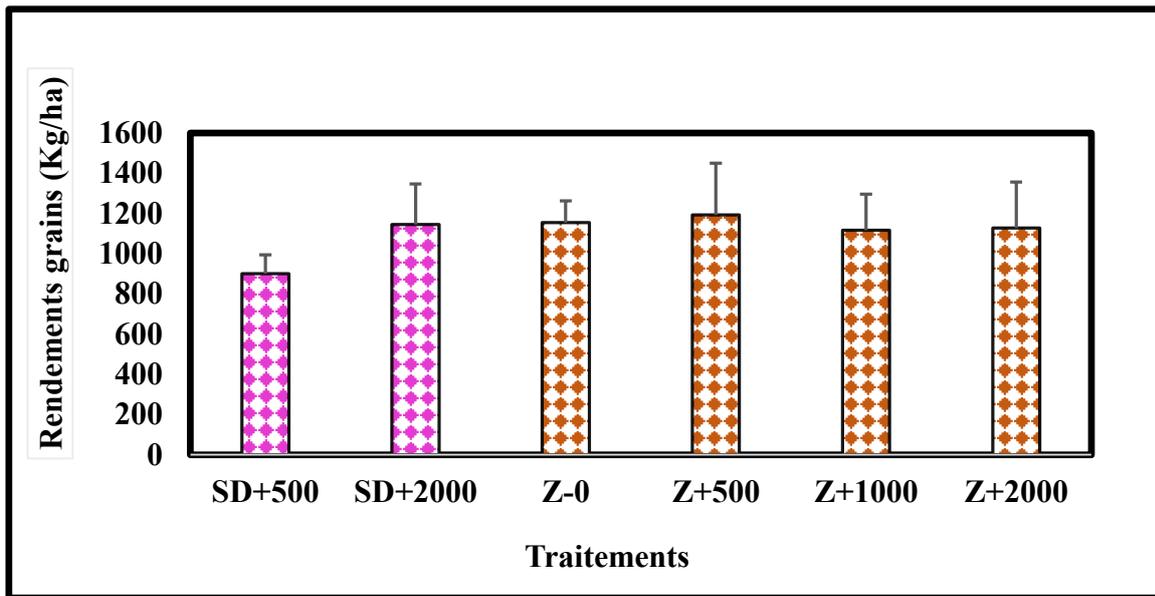


Figure 14 : Moyenne de production en grain de 2012 à 2016 selon les traitements.

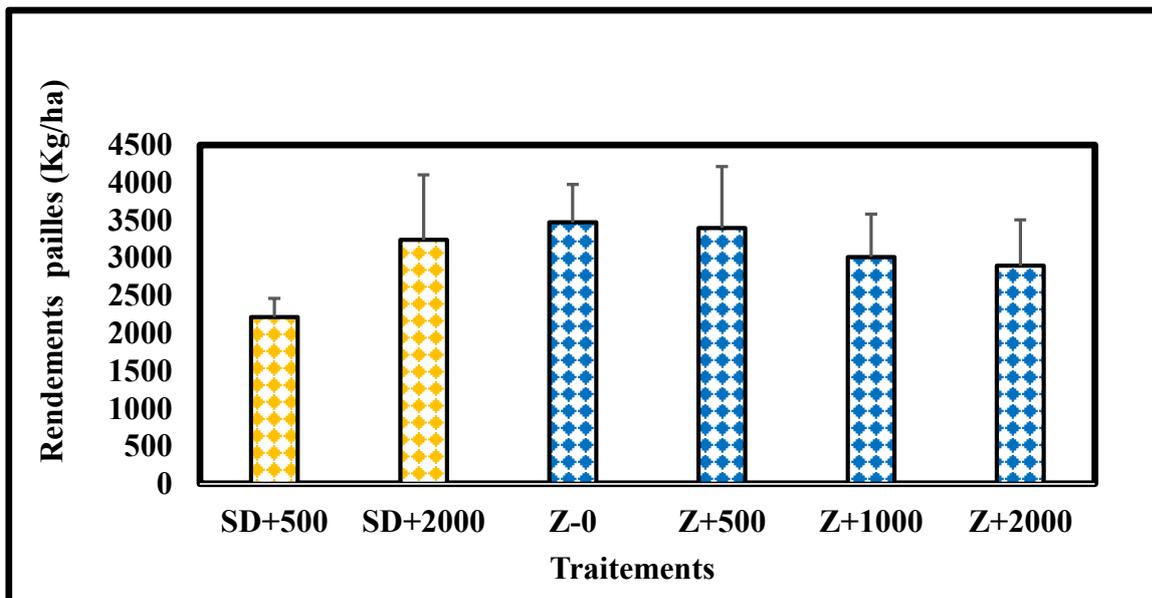


Figure 15 : Moyenne de production en paille de 2012 à 2016 selon les traitements.

3.2. Discussion

L'hétérogénéité du terrain (précédents brousse ou champs cultivés, anciennes pistes ou termitières, etc.) expliquerait le fait que les différences entre traitements n'apparaissent généralement pas encore comme statistiquement significatives. Toutefois, pour la plupart des paramètres étudiés, quelques tendances et différences dans les moyennes arithmétiques ont été constaté.

Pour le taux de poquets présentant des plants levés, les résultats montrent que les deux traitements en semis direct (SD+500 et SD+2000) ont donné les mêmes taux de levés. Le niveau de densité des arbustes n'a donc influencé la germination des graines. Ceci s'expliquerait par le fait que la germination des grains n'exige pas de conditions exceptionnellement particulières ; le facteur limitant pour cette phase étant principalement l'humidité du sol (Yaméogo, 2013).

Pour un même niveau de densité de *P. reticulatum*, les traitements en zaï, présentent des taux de levée supérieurs à ceux obtenus en semis direct (SD). Ce qui traduirait l'importance du zaï dans le processus de la germination des grains par rapport au semis direct.

Pendant la phase de la croissance, l'on s'aperçoit que pour un même type de travail de sol, les plants se développent mieux dans les parcelles Z+500 pour les traitements en zaï et SD+2000 pour les traitements en semis direct. On y observe les meilleures croissances en hauteur des plants et les plus grands nombres de feuilles. Ces résultats seraient la traduction du rôle de l'arbuste *P. reticulatum* sur le développement des plants. Comme le constatait Yameogo (2004), l'effet améliorateur de l'arbuste sur l'humidité du sol se traduit par un développement supérieur des cultures. Un développement qui, selon nos résultats, n'est remarquable, qu'à de fortes densités en semis direct (2000 arbustes) et aux faibles densités en zaï (500 arbustes).

Les traitements à forte densité d'arbustes (quel que soit le travail du sol) accéléreraient la formation des épis ; ce qui pourrait expliquer que les taux d'épiaison 50% soient observés plus tôt sous ces traitements.

Les données de l'Indice de surface foliaire (LAI), quel que soit le type de travail de sol, révèlent une augmentation du LAI avec la densité à partir de la 13^{ème} SAS. Des résultats similaires ont été signalés par Pageau *et al.*,(2006) selon lesquels, l'augmentation de la densité de peuplement a permis d'accroître la surface de photosynthèse du pois mais a réduit le rendement en grains chez le cultivar de pois. Ces résultats sont cependant contraires au résultat de nos mesures entre la 9^{ème} et 13^{ème} SAS. A ce niveau, la croissance du LAI était retardée sous les traitements à forte densité (SD+2000 et Z+2000). Ce qui serait dû à la non prise en compte

des arbustes lors de nos mesures en cette période. Le fait de la prise en compte dans la mesure des arbustes à partir de la 13^{ème} SAS, couplé à la forte régénération des arbustes à la suite du deuxième recepage, expliquerait la croissance de LAI observée à partir de cet instant.

Les données sur les composantes du rendement et les rendements grain et pailles montrent une variation de l'ensemble des paramètres étudiés en fonction du type de travail de sol et du niveau de densité des arbustes.

Pour les traitements en zaï (Z), la densité 500 arbustes (Z+500) a augmenté les rendements grains et pailles, le nombre de plants, le nombre de panicules, et le poids de 1000 grains, tandis que les traitements Z+1000 et Z+2000 les ont réduites de façon non significative. Cette réduction constatée à forte densité d'arbustes, pourrait s'expliquer par l'effet dépressif d'un taux d'humidité très élevé, provoqué par l'action combinée du zaï et des arbustes à forte densité. En effet le zaï améliore le stockage de l'eau par le sol et accroît sa disponibilité pour la plante Fatondji, (2002). Mais Roose *et al.* (1993) considèrent que le zaï n'est pas approprié aux zones recevant moins de 300 mm, ni à celles recevant plus de 800 mm de pluies. Au vu de notre pluviométrie qui était d'environ 1000 mm, on assistait à un engorgement temporaire des poquets de zaï. Cet engorgement aurait conduit à un taux d'humidité très élevé. Ce taux d'humidité couplé à celui qui aurait été créé par *P. reticulatum* à la densité 1000 et 2000 arbustes, entraînerait un manque d'oxygène dans le sol. Ce qui réduirait l'activité respiratoire des racines et par conséquent l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs. Ce qui aurait en partie pour conséquence la diminution des rendements.

Par ailleurs, Boffa (2000) a noté que la réduction du rendement des cultures associées aux ligneux à fortes densités serait surtout liée à la faiblesse de l'intensité lumineuse. En outre, le degré élevé de transpiration sous houppier de *P. reticulatum* surtout à de fortes densités, couplées à l'effet négatif du houppier, qui pourrait être l'ombre (Kho ,2000), contribuerait aussi à la diminution des rendements observés à 1000 et 2000 arbustes sous le zaï. L'effet de compétition, surtout pour l'espace, les nutriments, la lumière ne peut être ignorée. Comme le rapporte Foidl (2001), l'augmentation de la densité de plantation n'affecte pas individuellement les plants dès lors que l'on se situe en dessous du seuil de compétition. Cependant, quand la densité de plantation est élevée et que la compétition apparaît, le rendement par plant baisse.

Pour les traitements en semis direct, l'augmentation de la densité à 2000 arbustes (SD+2000) a permis d'accroître les rendements grains et pailles, le nombre de plants, le nombre de panicules, et le poids de 1000 grains par rapport au SD+500. Cette tendance d'évolution du

rendement concorde avec celle obtenue par Dossa (2007) sur des sols sableux du bassin arachidier du Sénégal qui montre l'effet positif de *P. reticulatum* sur les rendements de l'arachide et du mil. Louppe (1991) note que la productivité des cultures est toujours plus élevée à l'endroit des arbustes de *P. reticulatum* et *G. senegalensis* recépés. Par ailleurs, Bazié *et al.*, (2012) ; Bayala *et al.*, (2015) ont signalé que la concurrence entre les espèces boisées et les cultures au Sahel, limite l'avantage de certains systèmes d'agroforesterie. Cependant, cette concurrence semble ne pas s'exercer en semis direct, avec *P. reticulatum* à la forte densité (2000 arbustes). Des observations similaires ont été signalées par les travaux de Dossa (2013) au Sénégal, qui ont montré qu'une plus grande densité des arbustes correspondait à un plus grand rendement en millet et arachide de 2011 à 2015 et également de 2004 à 2007. Ces résultats seraient la traduction du rôle incontesté de l'arbuste *P. reticulatum* sur l'amélioration du rendement des cultures en semis direct. Une amélioration qui s'expliquerait par la concentration des ressources minérales sous la canopée, mais également par la facilitation de l'alimentation hydrique que l'arbuste peut procurer à la culture associée du fait qu'elle réalise la redistribution hydraulique (Kizito *et al.*, 2006, 2007).

Au vu de ces résultats et comparativement à ceux obtenu avec les traitements en zaï, deux questions importantes nécessitent d'être posées : a) pourquoi *P. reticulatum* ne rivalise pas avec le sorgho en semis direct ; b) pourquoi les rendements n'ont pas été affectés négativement jusqu'à 2000 arbustes comme ceux observés en zaï. Pour la première question, Bright (2017) suggère plusieurs mécanismes pour le manque de concurrence : 1) *P. reticulatum* améliore la qualité des sols et la disponibilité des éléments nutritifs qui pourrait compenser ou surmonter toute concurrence entre les arbustes et les cultures ; 2) la différence dans l'utilisation spatiale de l'eau entre *P. reticulatum* et les cultures. Ainsi, Kizito *et al.* (2007), par des études du bilan hydrique, ont montré que le millet utilise l'eau à la surface alors que les arbustes prélèvent l'eau plus profondément pendant la saison des pluies ; 3) le fort besoin en eau des arbustes pour la croissance se fait sentir à un moment (fin de saison de pluie) où les besoins en eau des cultures diminuent.

Pour la seconde question, les résultats de cette étude nous amènent à suggérer que le taux d'humidité aurait été maîtrisé en semis direct, ce qui favoriserait l'activité respiratoire des racines et par conséquent l'augmentation de l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs.

La comparaison des deux types de travail de sol (zaï et semi direct), au même niveau de densité (500 arbustes), montre que, sur presque tous les paramètres de productivités du sorgho, le zaï apparaît plus efficace que le semis direct. Cette efficacité due au zaï, est atténuée à 2000

arbustes/ha où les meilleures expressions sont observées sur les parcelles en semis direct. En effet, lorsque la densité est plus réduite, l'effet positif du fonctionnement du système zaï, tel que décrit par Roose *et al.* (1993) se fait sentir sur les rendements. Mais à de fortes densités d'environ 2000 arbustes/ha, l'association en semis direct semble être la meilleure.

En ce qui concerne les recépages, les quantités de biomasse de *P. reticulatum* obtenues au premier recepage étaient supérieures à celles obtenues au deuxième recépage. Ce résultat serait dû à l'intervalle de temps qui s'est écoulé, entre les deux recepages. En effet le second recépage a lieu deux mois après le premier recepage ; tandis que le premier recepage, s'est effectué après un an de développement de l'arbuste. Un temps qui serait largement suffisant pour un bon développement foliaire de l'arbuste.

CONCLUSION

Il ressort de notre étude que sur les parcelles en zaï (Z), les traitements Z+500, associant *P. reticulatum* à faible densité (500 arbustes), améliorent le développement du sorgho et les composantes du rendement par rapport à Z+0. Cela s'est traduit également par une augmentation des rendements grain et paille. Par contre ceux associant *P. reticulatum* à de fortes densités (1000 et 2000 arbustes/ha) réduisent presque tous les paramètres de productivités du sorgho. Ainsi l'étude montre que la combinaison du zaï et des arbustes peut s'avérer une approche intéressante pour la restauration de la fertilité du sol et l'accroissement de la productivité primaire des terres. Cette combinaison passe par une identification des densités arbustives optimales, qui selon notre étude est d'environ 500 arbustes/ha. L'étude montre en revanche, que les fortes densités d'arbustes (2000 arbustes/ha) en semis direct, permettent d'accroître presque tous les paramètres de productivités du sorgho par rapport à la faible densité. Ces résultats démontrent que la combinaison des arbustes à forte densité en semis direct, peut-être une voie d'intensification de la production agricole dans le plateau central du Burkina Faso.

Les systèmes de cultures associant sorgho et *P. reticulatum* à la densité 500 arbustes/ha en zaï et 2000 arbustes/ha en semis direct pourraient être recommandés pour l'intensification des cultures dans le plateau central du Burkina Faso. Toutefois, ces résultats demandent à être confirmés dans le temps.

A la suite de ce travail, d'autres recherches méritent d'être menées pour mieux comprendre les modes d'intensification possibles de la production agricole à travers l'introduction de *P. reticulatum* dans le système de production des paysans. Ces recherches pourront à court, moyen et long termes s'orienter sur :

- les densités arbustives optimales pour une amélioration de rendement supplémentaire en semis direct.
- évaluation de l'arrière effet de ces différents traitements sur les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques du sol ;
- la poursuite de la même étude dans d'autres zones climatiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Arbonnier, O., 2009.** Arbres, arbustes et lianes des zones sèches d'Afrique de l'Ouest, 3ème édition revue et augmentée. MNHN-QUAE, FRANCE, 576 p.
- Barry B., Olaleye A. O., Zougmore R. et Fatondji D., 2008** - Rainwater harvesting technologies in the Sahelian zone of West Africa and the potential for outscaling. IWMI Working paper 126, 32 p.
- Bationo A., Kihara J., Vanlauwe B., Waswa B., Kimetu J., 2007** - Soil organic carbon dynamics, functions and management in west African agro-ecosystems. *Agricultural Systems*, 94: 13-25.
- Baudron F., Corbeels M., Monicat F., Giller K.E., 2009** - Cotton expansion and biodiversity loss in African savannahs, opportunities and challenges for conservation agriculture : a review paper based on two case studies. *Biodivers Conserv.*, 18 : 2625 – 2644.
- Baumer M., 1987.** Agroforesterie et Désertification. ICRAF, CTA, Pays-Bas, 260 p.
- Bazié, H.R., Bayala, J., Zombré, G., Sanou, J., Ilstedt, U., 2012.** Separating competition related factors limiting crop performance in an agroforestry parkland system in Burkina Faso. *Agroforest. Syst.* 84: 377–388.
- Bindraban, P.-S., Löffler, H. et Rabbinge, R. 2008** - How to close the ever widening gap of Africa's agriculture. *Int. J. Technology and Globalization.* 4: 276-295.
- Boffa J.M., Taonda S.J.B., Dickey J.B. & Knudson D.M., 2000,** Field-scale influence of karité (*Vitellaria paradoxa*) on sorghum production in the Sudan zone of Burkina Faso. *Agroforestry Syst*, 49 : 153-175
- Boulet R. (1976).** Notice et carte des ressources en sol de la Haute-Volta en 5 coupures au 1/500 000. ORSTOM, Paris.
- Bouzou-Moussa I., Dan Lamso N., 2004** - Le « tassa » : une technique de conservation des eaux et des sols bien adaptée aux conditions physiques et socio-économiques des glacis des régions semi-arides (Niger). *Revue de géographie alpine*, 92 : 61-70.
- Bright M.B.H. Bright et al., 2017** /*Agriculture, Ecosystems and Environment* 242: 9-22.

- Donfack P., Amougou A. et Kuoch H.M., 1999.** Fonctionnement écologique des jachères courtes au Cameroun Septentrional : Influence du feu sur la reconstitution de la fertilité des sols et de la végétation. Ln FLORET C. et PONTANIER R. La jachère en Afrique tropicale : Rôles, Aménagements, Alternatives. *Vol. 1 Actes de Séminaire International, Dakar, 13-16 avril 1999. John Libbey Eurotext, CORAF-IRD. Paris 2000.* pp.369-377.
- Dossa E.L., Kouma M., Diedhiou I., Sene M., Kizito F., Badiane A.N., Samba S.A.N., Dick R.P. 2009** - Carbon, Nitrogen and phosphorus mineralization potential of semi-arid Sahelian soils amended with native shrub residues. *Geoderma*, 148 : 251-260.
- Duboiss A. et Aboubakar M., 1996.** Importance et rôle des jachères et des friches dans le système agricole Gizigas de Gazad (Nord Cameroun) page. In Raccourcissement du temps de jachère, biodiversité et développement durable en Afrique Centrale (Cameroun) et en Afrique de l'Ouest (Sénégal, Mali). Rapport scientifique 1996. pp. 7-13.
- FAO, 1990.** Aménagement et exploitation des forêts pour le ravitaillement de Ouagadougou en bois de feu, Burkina Faso : Conclusion et recommandation du projet : PNUD/FAO/BKF/85/011, rapport terminal. 89 p.
- FAO, 2003.** Gestion de la fertilité des sols pour la sécurité alimentaire en Afrique subsaharienne. Rome 2003. 21 p.
- Fatondji D., 2002** - Organic amendment decomposition, nutrient release and nutrient uptake by millet (*Pennisetum glaucoma* L. R. Br.) in a traditional land rehabilitation technique (zaï) in the Sahel. PhD thesis, University of Bonn, Germany. 140p.
- Foidl N, Harinder Ps, Markar et Klaus Becker, 2001.** The potential of *Moringa oleifera* for agricultural and Industrial uses. In: The Miracle Tree Edited by Lowell J. Fuglie, Dakar, Senegal. 45-76.
- Ganaba S., 2008.** Caractérisation, utilisations, tests de restauration et gestion de la végétation ligneuse au Sahel, Burkina Faso. Thèse de doctorat d'état, Biologie et écologie végétales, Université Cheick Anta Diop (Sénégal), 287 p.

- Garrity, D.P., Akinnifesi, F.K., Ajayi, O.C., Weldesemayat, S.G., Mowo, J.G., Kalinganire, A., Larwanou, M., Bayala, J., 2010** -Evergreen agriculture : a robust approach to sustainable food Security in Africa. *Food Secure.*, 2 : 197–214.
- Gaze S.R., Brouwer J., Simmonds L.P., et Bromley J., 1998** - Dry season water use patterns under *G. senegalensis* L. shrubs in a tropical savanna. *Journal of Arid Environments.*, 40 : 53-67.
- Geerling C., 1982.** Guide de terrain des ligneux sahéliens et soudano- guinéens. Université Agronomique. Wageningen, Pays Bas. 340 p.
- Giller, K.E., Corbeels, M., Dercon, G., Jenrich, M., Nyamangara, J., Triomphe, B., Affholder, F., Scopel, E., Tittonell, P., 2011** - A research agenda to explore the role of conservation agriculture in African smallholder farming systems. *Field Crop Res.*, 124 : 468–472.
- Gliessman, S. 2007.** Agro-ecology: the ecology of sustainable food systems. Boca Raton, Floride, Etats-Unis, CRC Press.
- Gomgnimbou P. K. A., Savadogo W. P., Nianogo J. A., Millogo-Rasolodimby J., 2010.** Pratiques agricoles et perceptions paysannes des impacts environnementaux de la cotonculture dans la province de la KOMPIENGA (Burkina Faso). *Sciences & Nature*, 7(2): 165 – 175.
- Hutchinson, J., M. Dalziel, S.M. Hepper., 1954.** Flora of West Tropical Africa: all territoire in West Africa south of latitude 18°N. and to the West of Lake Chad and Fernando. London, Crown agents for oversea governments and administration. Milbank, London. 2e éd., 3 volume 828 p., 544 p., 574 p.
- INERA (2014),** Institut d'Etudes et de Recherches Agricoles-Rapport d'activités. INERA Kamboinsé éd. Ouagadougou-Burkina Faso : Ministère des Enseignements Secondaire, Supérieur et de la Recherche Scientifique.57p
- INERA. (1995).** Etude des zones d'implantation des stations agricoles. Ouagadougou : INERA.231p
- Kawtar F. B., Mohammed I., Sanae F. B., Abdellatif T., 2004.** Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation : impact du phénomène au Maroc. *Sécheresse*, 15: 307-20.

- Kho R.M., 2000**, On crop production and the balance of available resources. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 80, 71-100.
- Kintche, K., Guibert, H., Sogbedji, J.M., Leveque, J., Tiftonell, P., 2010** - Carbon losses and primary productivity decline in Savannah soils under cotton–cereal rotations in semi-arid Togo. *Plant Soil*, 336 : 469–484.
- Kizito F., Sene M., Draglia M., Lafufa A., Diedhiou I., Dossa E., Cuenca R., Dick R.P., 2007** - Soil water balance of annual crop-native shrub systems in Senegal’s Peannut Basin: the missing link. *Agric. Water manage.*, 90: 137-148
- Lahmar, R., Bationo, B.A., Dan Lamso, N., Guéro, Y., Tiftonell, P., 2011-** Tailoring conservation agriculture technologies to West Africa semi-arid zones: building on traditional local practices for soil restoration. *Field Crop Res.*, doi: 10.1016/j.fcr.2011.09.013.
- Lal, R., 1989** - Conservation tillage for sustainable agriculture: tropics versus temperate environments. *Adv. Agron.*, 42: 85–197.
- Louppe D., 1991** - *G. senegalensis*: espèce agroforestière? Micro-jachère dérobée de saison sèche et approvisionnement énergétique d’un village du centre nord du Bassin Arachidier sénégalais. *Revue Bois et Forêts des tropiques*, 228 : 41-47.
- Malezieux E., Gary C., 2013.** From Artificialization to the Ecologization of Cropping Systems. In : Étienne Hainzelin (ed.), *Cultivating Biodiversity to Transform Agriculture*, Springer Netherlands, p. 45-90 http://dx.doi.org/10.1007/978-94-007-7984-6_3
- Mando A., Miedema R., 1997** - Termite-induced change in soil structure after mulching degraded (crusted) soil in Sahel. *Applied Soil Ecology*, 6 : 241-249.
- Maydell H. J. Von., 1983.** Arbres et arbustes du sahel. Leurs caractéristiques et leurs utilisations. *Gtz.* 532 p.
- Medev/ Dgep, 2005**, Situation économique et financière du Burkina Faso en 2004 et tendances pour 2005-2008.152p
- Pageau D, Lajeunesse J, 2006.** Influence de la densité de semis sur la productivité du pois sec cultivé sous un climat frais. *Canadian Journal of Plant Science.* 41-48.

- Pieri, C., 1989** - Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. *Montpellier, Ministère de coopération et du Développement et CIRAD*. 444 p.
- PNUE, 2005**. Agroecology and the search for a truly sustainable agriculture. Mexico DF, Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). 45 p
- Pretty, J., Noble, A., 2006**. Resource-conserving agriculture increases yields in developing countries, *Environmental Science and Technology*, 40 (4): 1114–1119
- Roose, E., Kabore, V. et Guenat C. 1993** - Le zaï. Fonctionnement, limites et améliorations d'une pratique traditionnelle africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano-sahélienne (Burkina Faso). *Cah. Ors tom, Sér. Pédol.*, XXVII : 159-173.
- Soumana I., 1999**. Indicateurs biologiques paysans de fertilité au Niger, 42:121-125
- Tittonell P., Scopel E., Andrieu N., Posthumus H., Mapfumo P., Corbeels M., Van Halsema G.E., Lahmar R., Lugandu S., Rakotoarisoa J., Mtambanengwe F., Pound B., Chikowo R., Naudin K., Triomphe B., Mkomwa S., 2012** - Agroecology-based aggradation-conservation agriculture (ABACO) : Targeting innovations to combat soil degradation and food in Security in semi-arid Africa. *Field Crops Res.*, doi: 10.1016/j.fcr.2011.12.011
- Toutain B., 1980**. Le rôle des ligneux pour l'élevage dans les régions soudaniennes de l'Afrique de l'Ouest. In LE HOUEROU H. N. éd. Les fourrages ligneux en Afrique, état actuel des connaissances. Addis abeba, ethiopie, 8-12 avril. *Cipea. pp.* 105-110.
- Traoré S., Thiombiano L., Millogo J.R. & Guinko S., 2007**, Carbon and nitrogen enhancement in Cambisols and Vertisols by Acacia spp. In eastern Burkina Faso: Relation to soil respiration and microbial biomass. *Appl. Soil Ecol.*, 35, 660-669.
- Weigel J., 1994**. Agroforesterie pratique à l'usage des agents de terrain en Afrique tropicale sèche. Techniques rurales en Afrique. Ministère de la coopération. 211p
- Wezel A., 2000** - Scattered shrubs in pearl millet fields in semiarid Niger : Effect on millet production. *Agroforestry Systems*, 48 : 219-228.

- Yaméogo J. T., Hien M., Lykke A. M., Somé A. N., Thiombiano A., 2011.** Effet des techniques de conservation des eaux et des sols, zaï forestier et cordons pierreux, sur la réhabilitation de la végétation herbacée à l'Ouest du Burkina Faso. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 5(1) ; 56-71.
- Yameogo J.G., Bayala J., Somé L., Ouédraogo S.J. & Guinko S., 2004,** Production de Zea mays var FBC6 dans un parc à Borassus flabellifer (L.) à Siniéna au Burkina Faso. *Etud. Rech. Sahéliennes*, 11: 15-24. 14: 359-371.
- Yaméogo J. T., 2012.** Réhabilitation d'écosystème forestier dégradé en zone soudanienne du Burkina Faso : impacts des dispositifs CES/DRS. 102p
- Yélémou B., Bationo B-A. Yaméogo G., Millogo-Rasolodimby J., 2007 -** Gestion traditionnelle et usages de *P. reticulatum* sur le Plateau central du Burkina Faso. *Bois et Forêts des tropiques*, 291 : 55-66.
- Zerbo, L.** «Caractérisation des sols des stations de recherches agricoles de l'INERA. » *Ouagadougou, 1995.*21p

ANNEXES

ANNEXE 1 : Fiche des observations phénologiques.

Parcelles	semis	levée		début montaison		gonflement panicule		épiaison		floraison		début remplissage grain		maturité grain	
		50%	95%	50%	95%	50%	95%	50%	95%	50%	95%	50%	95%	50%	95%
1															
2															
3															
4															
.....															
....															
24															

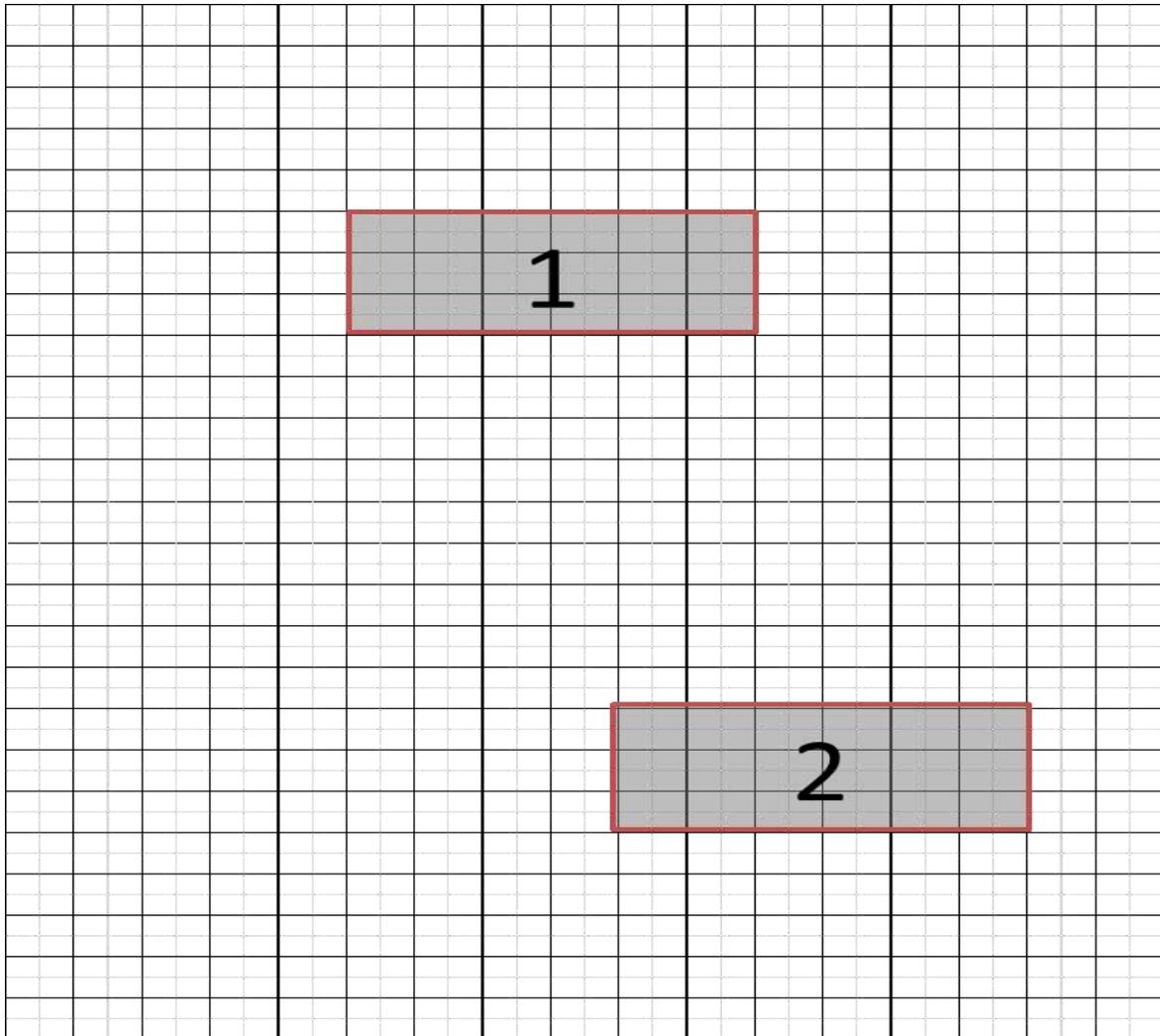
ANNEXE 2: Fiche de récolte (exemple de la parcelle n° 3)

			1	2	3	4	16	17	TOTAL
Date 04/11/2016	L1	NT								
		NP								
		PFP								
	L2	NT								
		NP								
		PFP								
	L3	NT								
		NP								
		PFP								
	L4	NT								
		NP								
		PFP								
L5	NT									
	NP									
	PFP									
L6	NT									
	NP									
	PFP									
L7	NT									
	NP									
	PFP									
L8	NT									
	NP									
	PFP									
L9	NT									
	NP									
	PFP									
L10	NT									
	NP									
	PFP									
L11	NT									
	NP									
	PFP									
L12	NT									
	NP									
	PFP									
L13	NT									
	NP									
	PFP									

■ *P. reticulatum*
■ Poquet contenant des tiges jeunes et des tiges
 ■ poq av jeunes tiges ou pan vertes
 ■ poquet contenant des tiges ramifiées

Biomasse tiges BI-3

Localisation des deux placettes échantillonnées de la parcelle 3

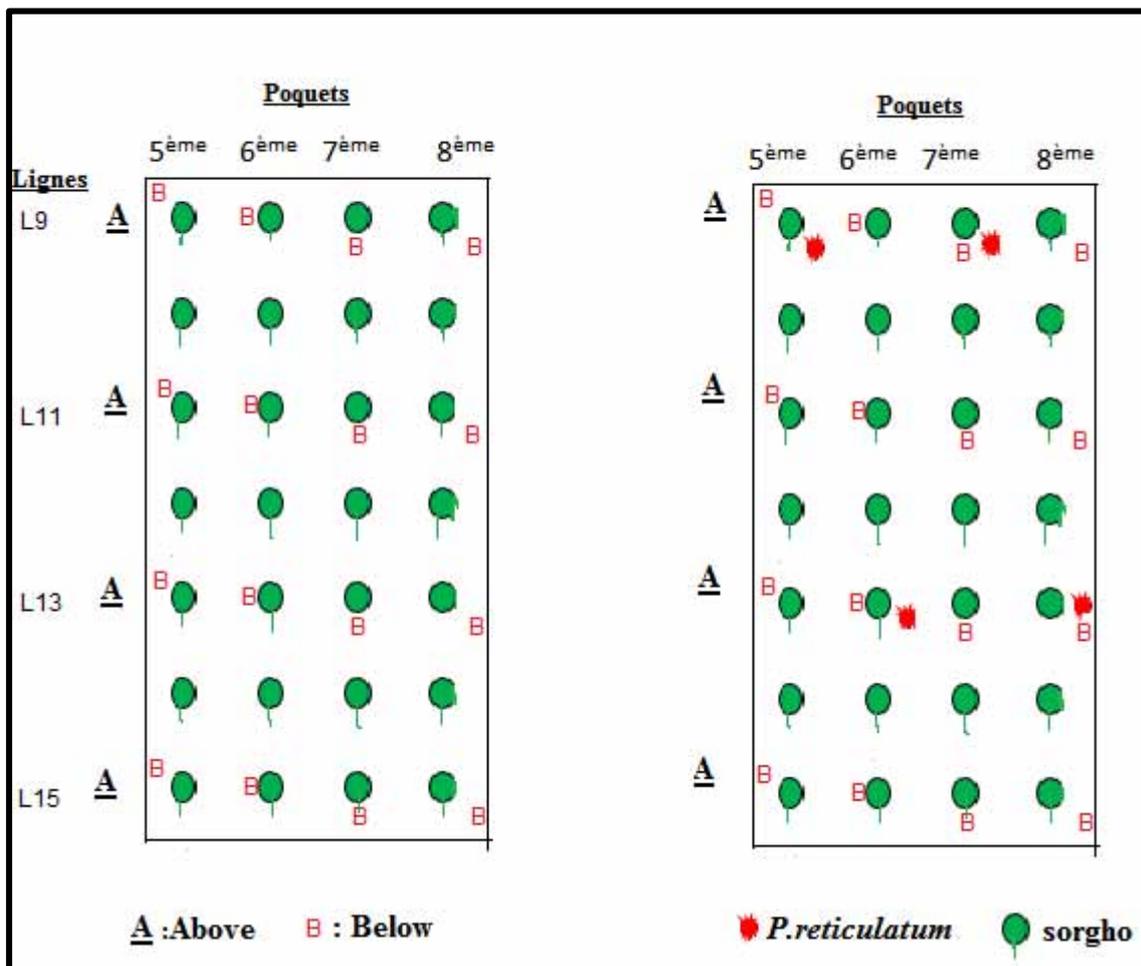


Placette		Nbre de tiges	Poids frais en grammes				
			tiges	feuilles au sol	Biomasse de la placette (t+f)	Echantillon tige placette (1)	Echantillon tiges parcelle (1+2)
1	Ln						
	Ln+1						
	Ln+2						
	Total				0		
2	Ln						
	Ln+1						
	Ln+2						
	Total				0		
TOTAL							
Remarques :							

HUMIDITE PANICULES ET TIGES

Echantillon panicules		Humidité		Echantillon tiges		Humidité	
Nombre							
Poids frais (gr)							
Poids sec (gr) après 72 h étuve à 65°C	dont						
			grain				%
			glumes				%
			rafles				

ANNEXE 3 : Plan des mesures du LAI et de la hauteur des plants.



ANNEXE 4 : Dates des opérations culturales durant la saison agricole.

Opérations	Dates
Trouaison des poquets de zai	19 mars au 30 avril
Semis	25 au 27 juin
réssemis	4 au 5 juillet
1^{er} recépage	24 au 27 mai
2^{ème} recépage	17 au 20 aout
Démariage et repiquage	21 juillet
1^{er} sarclage	12 au 18 juillet
2^{ème} sarclage	21 aout
3^{ème} sarclage	9 septembre
Observations phénologiques	01/09 au 23/10
Mesure de la croissance des plants	Chaque semaine (du 27/08 au 01/10)
Mesure de l'indice de la surface foliaire (LAI)	Chaque semaine (du 26 /08 au 16/09)
Prélèvement matériel végétal et sol	15 septembre
Récolte	3 au 14 novembre

ANNEXE 5: Equipements et materiel utilisés



ANNEXE 6: Fiche de remplissage premier recépage

Fiche de remplissage premier recépage		
1	Numéro de parcelle	
2	Numéro de l'arbuste	
3	Date	
4	L'état sanitaire, et les remarques	
5	Type d'espèce (<i>reticulatum</i> ou <i>thonningii</i>)	
6	Hauteur, le grand diamètre	
7	Petit diamètre de la couronne (cm)	
8	Nombre de tiges principales	

Fiche de remplissage arbustes de référence

Date/...../2017				L'état sanitaire, et les remarques			
Numéro de parcelle							
Numéro de l'arbuste							
Type d'espèce (<i>reticulatum</i> ou <i>thonningii</i>)							
Hauteur, le grand diamètre							
Petit diamètre de la couronne (cm)							
Nombre de tiges total							
Tige	Diamètre basal (cm)	Nombre de ramifications	Poids total tiges et feuilles (g) ;	poids feuilles et pétioles	Poids rameaux diamètre \leq 1 cm	Poids rameaux diamètre entre 1 et 2 cm ;	Poids rameaux diamètre $>$ 2 cm.
1							
2							
3							
4							
5							
6							
.....							
.....							

_____ (|) _____