

Thème : Impact du paillage agroforestier à base de *Piliostigma reticulatum* (D.C.) Hochst sur les fonctions et services des sols en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso

Problématique

La dégradation des terres qui se traduit par une perte de leur productivité met en péril le moyen de subsistance de plus d'un milliard de personnes dans le monde (FEM-FIDA, 2002). Au niveau de l'équilibre environnemental mondial, cette dégradation est associée à une augmentation des gaz à effet de serre par la perte de la matière organique et de l'azote des sols (Ouattara *et al.*, 2006; Bationo *et al.*, 2007).

Particulièrement, l'Afrique sub-saharienne présente l'un des taux de dégradation des sols les plus élevés (Thiombiano and Tourino-Soto, 2007) avec un impact négatif considérable sur la sécurité alimentaire et la lutte contre la pauvreté. Plus de la moitié de la population est touchée par les processus de dégradation dont les issues urgentes d'autosuffisance alimentaire et de bien être nécessitent des investissements considérables (Bationo *et al.*, 2006). Les pertes de productivité dues à la dégradation des terres sont estimées de 0,5 à 1% par an (Scherr, 1999). En plus, le Burkina Faso en tant que pays sahélien est exposé à une forte variabilité climatique et à une forte croissance démographique qui accentuent les pressions sur les terres agricoles.

On estime qu'environ 11% des terres du pays sont considérés comme très dégradés et 34% comme moyennement dégradés (Sawadogo *et al.*, 2006). A ce propos, Stoorvogel et Smaling (1990) ont estimé les déficits annuels en éléments nutritifs à 12 kg.ha⁻¹ pour le potassium (K), 14 kg.ha⁻¹ pour l'azote (N) et 4 kg.ha⁻¹ pour le phosphore (P). Cette perte de la fertilité et de la productivité des terres ne permet pas un développement agricole durable et freine considérablement l'atteinte des objectifs liés à la sécurité alimentaire et la lutte contre la pauvreté (ODD2 des Nations Unies).

Dans ce contexte environnemental très cruciale, les pratiques écologiques s'avèrent indispensables pour stimuler l'utilisation efficace des processus naturels, améliorer le cycle des nutriments et accroître la diversité biologique des agrosystèmes y compris celle de la biodiversité des sols et de l'agroforesterie (Wezel *et al.* 2009). Les pratiques agroécologiques comprennent les technologies agroforestières et agropastorales qui peuvent bâtir des systèmes agricoles résilients. Les potentialités des arbustes sempervirents en association avec les cultures (*Guiera senegalensis*, *Piliostigma reticulata*) pour soutenir le fonctionnement du sol ont fait l'objet de plusieurs recherches dans les agrosystèmes sahéliens (Dossa *et al.*, 2013 ; Diedhiou *et al.*, 2013; Bright, 2017). Des études récentes ont

montré que l'association des cultures avec l'arbuste *Piliostigma reticulatum* présente des effets significatifs sur les rendements en améliorant la diversité microbienne (Diakhaté *et al.*, 2016) et les cycles biogéochimiques (Bright *et al.*, 2017).

Cependant, face à la compétition récurrente sur les résidus des cultures pour le fourrage et les usages domestiques dans les systèmes agricoles (Gilles *et al.*, 2009), la biomasse des arbustes agroforestiers au lieu d'être brûlés et exportés lors des friches, pourraient être utilisés comme paillages agroforestiers. L'intérêt de tels pratiques est d'améliorer la structure du sol, le statut organique du sols et les cycles biogéochimiques des nutriments. Cependant, les conditions affectant la dynamique du carbone organique dans le sol suite à des amendements organiques sont méritent d'être finement élucidées. Selon Palm *et al.* (2001), la décomposition des substrats organiques et la libération des nutriments sont contrôlées par l'environnement physico-chimique, leur composition biochimique (qualité du substrat) et les communautés de décomposeurs. La biomasse des plantes est reconnue comme des substrats complexes de carbone organique et leur décomposition dépendent aussi bien de leur composition chimiques que de la stœchiométrie initiale en carbone et azote (Finn *et al.*, 2015). Par ailleurs, les processus de décomposition sont multiples et complexes mais peuvent être décrits en termes d'effets d'amorce ou «priming» positifs, neutres (Liu *et al.*, 2017) dépendant de la disponibilité de l'azote (Li *et al.*, 2018). En plus, de nombreuses études ont souligné l'immobilisation de l'azote lors de la décomposition des substrats organiques ligneux due à leur faible teneur en azote (Otrysko and Page, 2001, Palm *et al.*, 2001, Bayala *et al.*, 2005). Parallèlement, des matériaux organiques ligneux sont connus pour stimuler l'activité termitique qui présente des effets significatifs sur les processus de décomposition et d'immobilisation des nutriments (Bayala *et al.*, 2005).

C'est dans cette optique que cette étude se propose d'appréhender l'influence des amendements ligneux à base de *Piliostigma reticulatum* enrichis avec de l'azote sous différentes sources peuvent contribuer à améliorer les fonctions et services des sols.

L'objectif général de l'étude est de déterminer l'impact du paillage agroforestier à base de *Piliostigma reticulatum* enrichis ou non sur les fonctions et services des sols en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso. Elle a pour objectifs spécifiques de (i) déterminer les effets de la pratique sur le développement des structures biogéniques de la macrofaune, sur la densité apparente et sur l'humidité du sol ; (ii) déterminer les effets des substrats ligneux enrichis sur la dynamique des macronutriments du sol (azote, phosphore et potassium); (iii) déterminer les effets de ces substrats ligneux enrichis sur l'activité des microorganismes et

le développement du réseau trophique du sol ; (iv) déterminer la formule d'enrichissement des substrats ligneux la plus efficace pour la production du sorgho.

Questionnement scientifique

La question de recherche qui soutient cette étude est de déterminer comment le paillage agroforestier à base de *Piliostigma reticulatum* enrichis ou non avec différentes sources d'azote pourrait améliorer les fonctions et services des sols? Pour répondre à cette question, les hypothèses suivantes ont été posées :

(i) le paillage agroforestier à base de BRF de *Piliostigma reticulatum*, stimule l'activité de la macrofaune du sol puis améliore la structure et l'humidité du sol ; (ii) le paillage agroforestier à base de BRF de *Piliostigma reticulatum* entraîne une immobilisation d'azote qui limite les processus de décomposition de la matière organique (C/N élevé, réduction de l'activité microbienne) ; (iii) l'enrichissement avec les différentes sources d'azote (fumure organique, culture associée avec le niébé, urée,) améliore la limitation de l'azote et la disponibilité des macronutriments (N, P et K) dans les systèmes agricoles ; (iv) Cette pratique contribue à stimuler l'activité des microorganismes et à améliorer le réseau trophique du sol .

Méthodologie

Dispositif expérimental et implémentation des essais

Le site expérimental est localisé dans la zone soudano-sahélienne du Burkina (site de Gampèla), située à environ 25 km à l'Est de Ouagadougou entre les parallèles 12°24,613' et 12°25,413' de latitude Nord et les méridiens 1°20,464 et 1°21,652 de longitude Ouest (Badini, 1985). Sur ce site, le dispositif expérimental (mis en place depuis 2013) est en blocs de Fisher, aléatoires et complètement randomisés. Ces blocs (au nombre de 4) sont disposés perpendiculairement à la pente. Il respecte les 3 principes schématiques de Fisher (réplication, randomisation et contrôle locale) qui permettent la diminution des erreurs et les estimations non biaisées de la variabilité résiduelle et de l'influence des traitements (Dagnelie, 2008). Ce dispositif fait intervenir un seul facteur (traitement) et l'analyse des données pour mettre en évidence l'effet des traitements sera basée sur les méthodes d'analyses de variance. Chaque bloc comporte 8 parcelles élémentaires de forme carrée organisées avec huit (8) traitements dont quatre avec des paillages à base de bois et rameaux fragmentés constitués de 60 % de feuilles et 40% de rameaux (BRF) couvrant partiellement la surface des parcelles et quatre sans paillage BRF. Ces traitements sont enrichis ou non

par différentes sources d'azote (fumure organique, urée ou par une association de culture avec une légumineuse, le niébé qui est une légumineuse fixant l'azote). L'utilisation des différentes sources azotées servent respectivement à résoudre la limitation et l'immobilisation de l'azote (Beauchemin, 1990 ; Otrysko et Page, 2001, Ba *et al*, 2014). Le nombre de répétition pour chaque traitement est de 4 (est égale au nombre de blocs). Les parcelles sont au nombre de 32 et de dimension 5m X 5m. Toutes les 32 parcelles sont séparées par une allée de 1m et cultivées en sorgho avec les traitements suivants :

- i) TA : *Témoin absolu*
- ii) F : *Fumier de parc (6t biomasse sèche ha⁻¹ et par an)*
- iii) N : *Urée (50kg.ha⁻¹)*
- iv) CA : *Cultures associées (sorgho, niébé)*
- v) BRF seul (2.3 t.ha⁻¹ biomasse sèche et par an)
- vi) BRF+fumier
- vii) BRF+urée
- viii) BRF+cultures associées (sorgho-niébé)

La collecte des échantillons des sols

Cinq (5) échantillons élémentaires de sol ont été prélevés à la tarière ($\varnothing = 3\text{cm}$) avant semis dans chaque parcelle dans la couche 0-10 cm de façon quinconçiale. Ces échantillons ont été mélangés de façon homogène pour constituer un seul échantillon composite. Une aliquote de cet échantillon est conservée à l'état frais pour les analyses biologiques et l'autre partie séché à l'air ambiant pour les analyses physique et chimiques.

Mesures de terrain:

-Densité apparente et humidité du sol

La densité apparente a été déterminée par cinq mesures répétitives aléatoires au niveau de chaque parcelle à l'aide des cylindres (100 cm³). Le suivi de l'humidité du sol a été réalisé journalièrement par trois mesures répétitives aléatoires au niveau de chaque parcelle pendant le premier mois d'application des traitements à l'aide d'une sonde SM 150T (Delta-T Devices, www.delta-t.co.uk)

-Activité de la macrofaune

Elle a été déterminée par le comptage des structures biogéniques de la macrofaune du sol (vers, termites et fourmis) selon la méthode décrite par Lepage (1972). Cette méthode donne uniquement des indices relatifs d'abondance, comparables pour une même espèce. A partir

de 5 jours après l'épandage du BRF, dix mesures répétitives aléatoires ont été effectuées sur chaque parcelle à l'aide d'un cadre de 1m x 1m, quadrillé de carrés de 10 cm de côté. Cette activité s'étend sur 21 jours à raison d'une mesure tous les 3 jours.

- *Evaluation de la nodulation du niébé, des biomasses (aérienne et racinaire) du niébé et du sorgho au stade floraison du niébé*

Cinq (05) plantes de niébé (cas des cultures associées) ont été prélevées pour chaque traitement en début de floraison 45 jours après semis du niébé. Les prélèvements ont été effectués au sein du poquet n°2 des lignes de poquets 2, 3, 4, 5 et 6, et les paramètres évalués ont été le nombre de nodules (NN), les poids des biomasses nodulaires (BN), aériennes (BA) et racinaires (BR) par plante.

-Taux de levée

Il a été déterminé 15 jours après la levée des plants dans les poquets . Cette opération consiste à faire le rapport des poquets possédant des plants sur le nombre total des poquets contenus dans la parcelle élémentaire.

- hauteur et diamètre des plants de sorgho et de niébé

La technique consiste à mesurer la hauteur des plants et le diamètre des tiges du sorgho et du niébé, respectivement à l'aide d'un bâton gradué et d'un pied à coulisse numérique. Les mesures ont porté sur les mêmes plants pour toutes les observations jusqu'à la récolte

-rendements des cultures

Les paramètres évalués ont été les suivants :

Pour le sorgho : les rendements moyens à l'hectare *des grains, la biomasse aérienne, puis les quantités de nutriments (N et P) exportés* par les grains et par les pailles au stade maturité ;

le niébé : les rendements moyens à l'hectare *des grains et des fanes, les quantités de nutriments (N et P) exportés* par les grains et par les fanes au stade maturité.

Analyses de laboratoires

Il s'agit essentiellement d'analyses physiques, chimiques et biologiques des échantillons de sols.

La granulométrie (5 fractions) a été évaluée selon la méthode internationale à la pipette de Robinson.

Le pH (KCl et H₂O) a été déterminé à l'aide d'un pH-mètre électronique selon la méthode AFNOR (1981). La détermination du carbone organique a été faite selon la méthode Walkley and Black (1934) et celle de l'azote total selon la méthode Kjeldhal reprise par Novozansky *et al.*, (1983). Le dosage du phosphore assimilable effectué selon la méthode de Bray I (Bray et Kurtz, 1945).

Les analyses biologiques porteront sur la biomasse microbienne déterminée par fumigation-extraction (Amato et Ladd, 1988), puis sur la respiration microbienne basale et induite par addition de substrats divers pour rendre compte du profil catabolique et de la diversité microbienne en utilisant la méthode MicroResp (Campbell *et al.*, 2003). Nous évaluerons également les activités enzymatiques par les méthodes glucosidases et déshydrogénases (Deng and Popova, 2011).

Principaux résultats obtenus

✓ Impact du paillage à base de BRF de *Piliostigma reticulatum* sur l'évolution de la texture et la rétention en eau du sol

Après 5 années d'expérimentation, la texture du sol reste faiblement influencée par le paillage à base de BRF de *Piliostigma reticulatum*, bien que la proportion en limon fin ait augmenté de 1% (Figure 1).

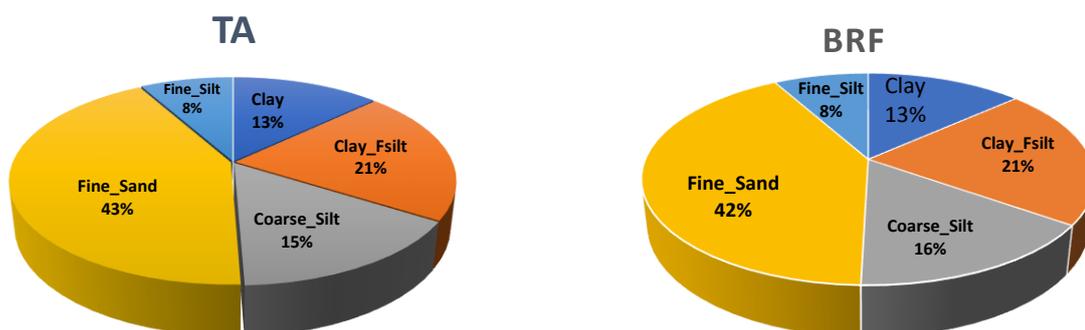


Figure 1 : Fractions granulométriques du sol en fonction des traitements

L'humidité de surface du sol s'est montrée variable suivant les différents traitements et en fonction des évènements pluvieux, bien qu'elle reste généralement élevée sous BRF par rapport au témoin. En période de rareté de pluies, les parcelles amendées au BRF favorisent la rétention en eau du sol comparativement aux parcelles sans apport (Figure 2).

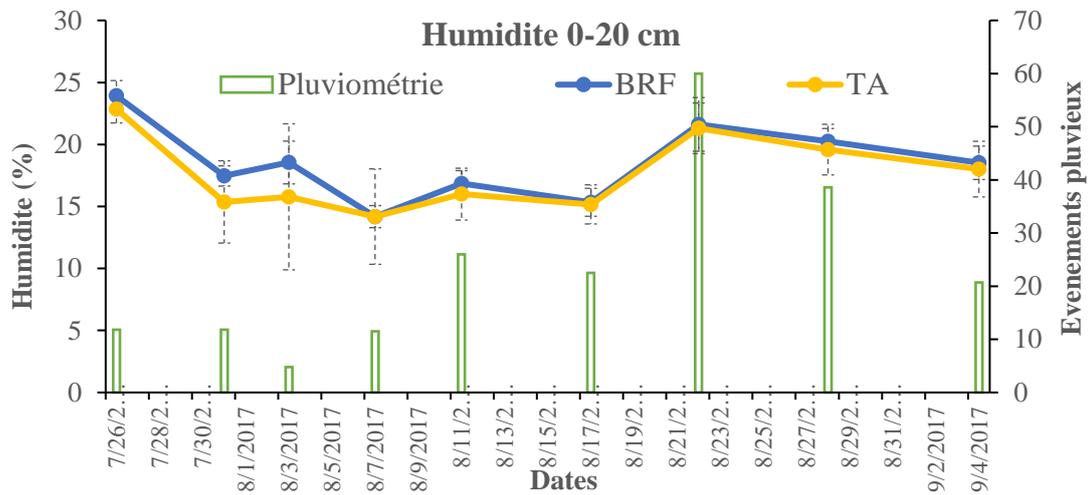


Figure 2 : Evolution de l'humidité de surface du sol en fonction du temps

Pour ce qui est du profil hydrique du sol, l'impact des amendements à base de BRF a été plus perceptible entre 80cm et 100cm de profondeur. La variation intra-traitement de l'humidité du sol suivant les évènements pluvieux reste faible. Cependant, le paillage à base de BRF a contribué à augmenter nettement la rétention en profondeur de l'eau du sol en comparaison au témoin (figure 3).

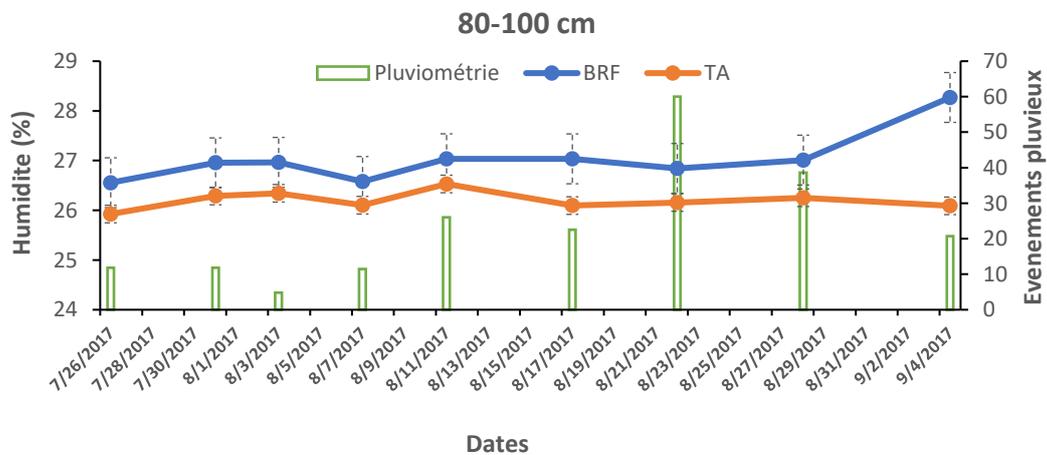


Figure 3 : Evolution de l'humidité de profondeur du sol en fonction du temps

✓ **Impact du paillage à base de BRF de *Piliostigma reticulatum* sur l'activité de la macrofaune (vers de terre, termites et fourmis)**

De façon générale, l'activité de la macrofaune a été plus marquée sous apport de BRF par rapport au témoin, bien que l'activité des vers de terre sous BRF n'a pas été significativement différente de celle observée sous le témoin (Figure 4). En outre, c'est l'activité des termites qui a été la plus importante suite aux apports de BRF, comparativement à celles des vers de terre et des fourmis.

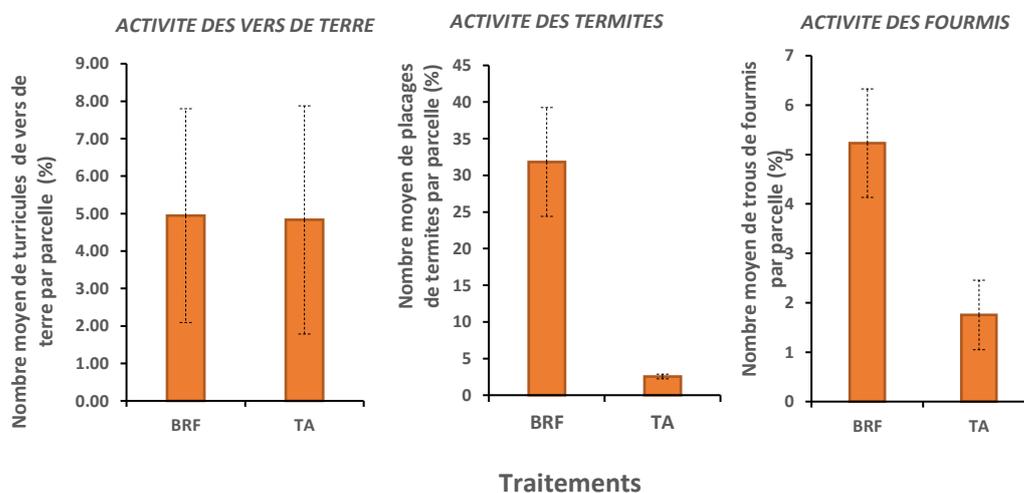


Figure 4: Nombre moyen de structures biogéniques des macrofaunes par parcelle élémentaire et en fonction des traitements

✓ **Impact du paillage à base de BRF de *Piliostigma reticulatum* enrichis ou non en azote sur le statut des macronutriments du sol**

Les sols prélevés sur la couche 0-10 cm avant semis de la cinquième année d'expérimentation, ont montré des caractéristiques chimiques variables suivant les traitements (Tableau I). Hormis le phosphore total, les autres éléments chimiques présentent des quantités généralement plus élevées sous parcelles amendées comparativement au témoin. Ainsi, pour le carbone total, les quantités varient de 3,06 (AT) à 4,33 (BRF_F) C.g.kg⁻¹ de sol. L'azote total varie entre 0,3 (AT, CA) et 0,39 (F) N.g.kg⁻¹ de sol. Quant au

phosphore assimilable, ses valeurs fluctuent entre 2,48 (AT) et 4,67 (F) $P_{av}.mg.kg^{-1}$ de sol. Le phosphore total des sols présente des valeurs assez variables suivant l'ensemble des traitements avec la plus faible valeur enregistrée sous traitement N (673 $P_{total}.mg.kg^{-1}$ de sol) et la plus élevée sous traitement F (982 $P_{total}.mg.kg^{-1}$ de sol). Le rapport C/N des sols a augmenté avec l'application des traitements ; il oscille entre 10,34 (AT) et 14,28 (BRF). C'est surtout le traitement à base de BRF couplé au fumier qui a positivement impacté la disponibilité des macronutriments, notamment l'azote et le phosphore assimilable.

Tableau I: Caractéristiques chimiques du sol en fonction des traitements

| Traitements | Variables | | | | |
|-------------|------------|------------|---------------------------|------------------------------|-------------|
| | C.g.kg.1. | N.g.kg.1. | P _{av} .mg.kg.1. | P _{total} .mg.kg.1. | C/N |
| | mean± sd | mean ± sd | mean± sd | mean± sd | mean± sd |
| AT | 3,06± 0,22 | 0,3± 0,03 | 2,48± 0,65 | 826± 185,2 | 10,34± 0,76 |
| BRF | 4,21± 1,10 | 0,31± 0,03 | 3,40± 0,60 | 709± 91,4 | 14,28± 5,36 |
| BRF_CA | 4,03± 0,85 | 0,33± 0,07 | 2,72± 0,52 | 837± 73,0 | 12,28± 0,19 |
| BRF_F | 4,33± 0,39 | 0,37± 0,02 | 4,20± 1,25 | 782± 150,0 | 11,92± 1,15 |
| BRF_N | 4,04± 0,72 | 0,34± 0,06 | 3,27± 0,94 | 782± 161,5 | 12,10± 1,14 |
| CA | 3,26± 0,29 | 0,30± 0,02 | 2,37± 0,31 | 691± 139,3 | 11,08± 0,48 |
| F | 4,09± 0,48 | 0,39± 0,03 | 4,67± 1,33 | 982± 93,7 | 10,50± 0,57 |
| N | 3,59± 0,61 | 0,34± 0,03 | 2,91± 0,35 | 673± 69,4 | 10,73± 1,45 |

✓ **Impact du paillage à base de BRF de *Piliostigma reticulatum* enrichis en azote sur les paramètres agro-morphologiques du sorgho et du niébé**

- *taux de levée du niébé et du sorgho*

L'utilisation du BRF à base de *Piliostigma reticulatum* enrichis avec différentes sources d'azote, n'a pas impacté significativement le taux de levée du niébé et du sorgho en comparaison aux parcelles témoins (Figure 5).

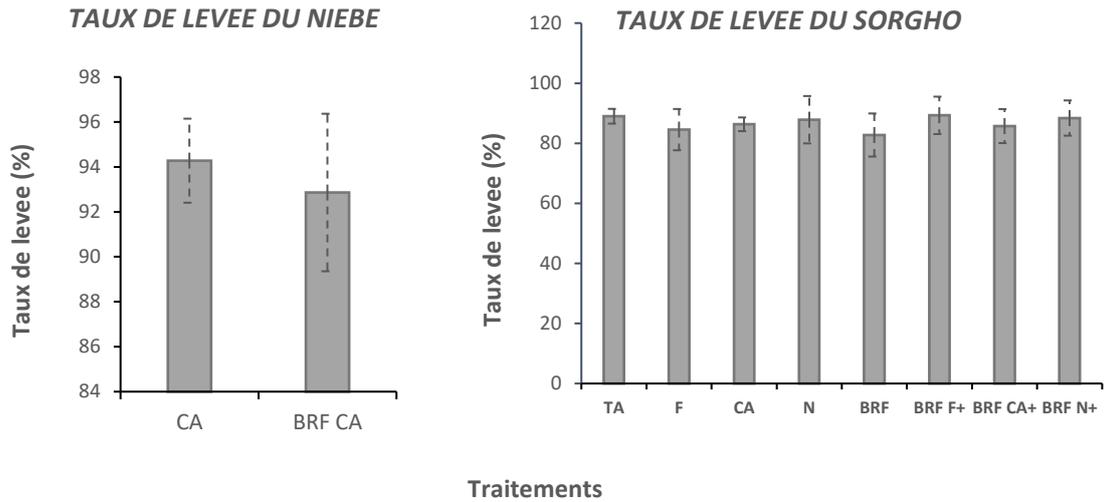


Figure 5: Taux de levée du niébé et du sorgho en fonction des traitements

- *croissance des plants de sorgho et de niébé*

La croissance du niébé et du sorgho a été significativement remarquable sous apport de BRF enrichis en azote en comparaison au BRF seul (cas du sorgho) et au témoin sans apport (cas du niébé et du sorgho). C'est surtout le BRF enrichi au fumier qui a le plus impacté la croissance des plantes de sorgho par rapport à l'ensemble des traitements (Figure 6).

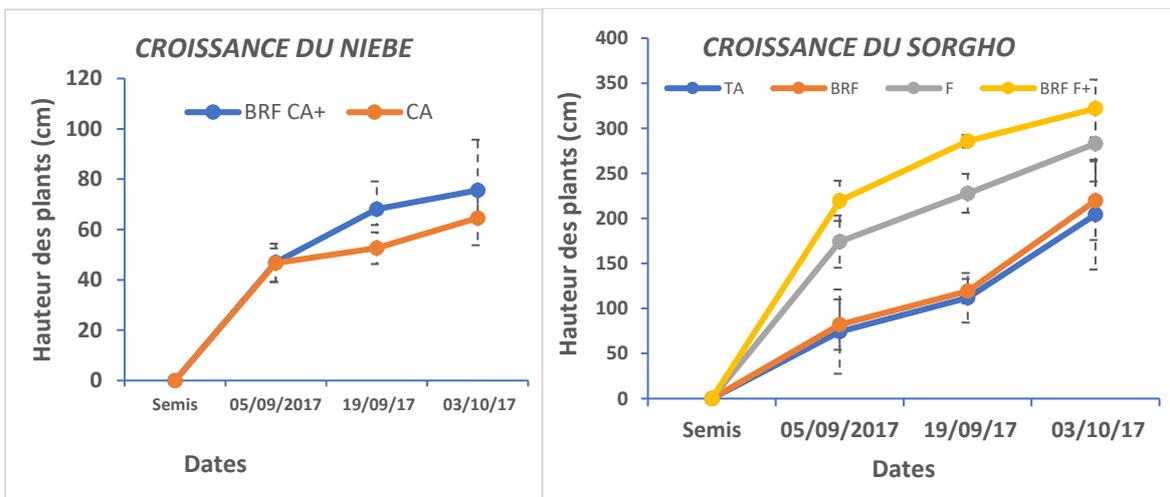


Figure 6: Croissance des plantes du niébé et du sorgho en fonction des traitements

- *nodulation et performances agronomiques du niébé au stade floraison*

Les apports de BRF de *Piliostigma reticulatum* couplés à la plante fixatrice du niébé, a montré des effets positifs sur la capacité de nodulation et le développement des biomasses racinaires et aériennes du niébé au stade floraison (figure 7). Ainsi, le nombre moyen de nodules produits par plant de niébé sous traitement BRF a augmenté de +126% comparativement au témoin. Les biomasses racinaires et aériennes ont présenté des augmentations respectives de +63% et +87% par rapport au témoin.

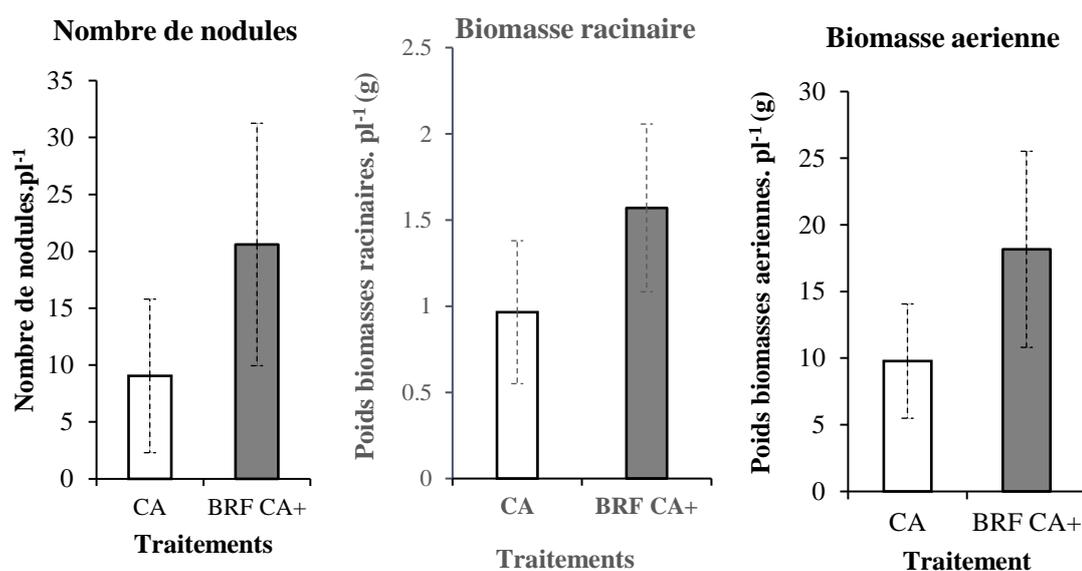


Figure 7: Nombre de nodule, biomasse racinaire et aérienne par plant de niébé en fonction des traitements

- *rendements des cultures de niébé et de sorgho*

+ Cas du niébé

De façon générale, les rendements en fanes et en grains du niébé ont été positivement influencés sous BRF+culture associée comparativement à la culture associée simple. Les augmentations en fanes ont été de +0,14 t.ha⁻¹, contre de +0,12 t.ha⁻¹ pour les grains. Ces augmentations ont permis des gains respectifs de 31% et de 32% (Figure 8).

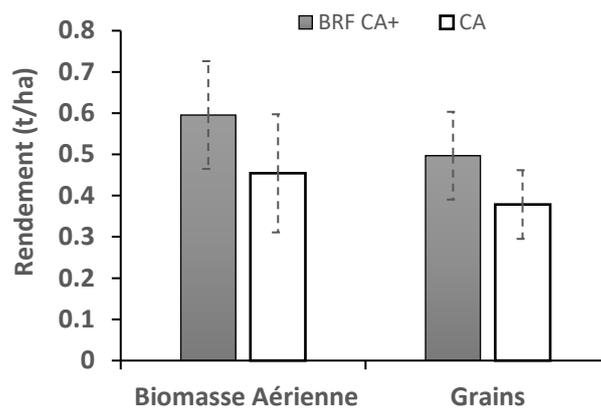


Figure 8: Rendement en fanes (biomasse aérienne) et en grains du niébé en fonction des traitements

+ Cas du sorgho

Les rendements en pailles et en grains du sorgho ont présenté une hétérogénéité suivant les traitements, bien que les rendements obtenus sous BRF enrichis ou non restent généralement supérieurs à ceux obtenus sous les témoins respectifs (Figure 9). Les traitements BRF, BRF CA+, BRF N+ et BRF F+ ont permis une augmentation des rendements en biomasse de sorgho respectivement de +1,65 ; +0,75 ; +0,56 et +1,64 t.ha⁻¹ par rapport à leur témoin respectif (TA, CA, N et F). Cela correspond à des gains respectifs de 258% , 102%, 29% et 33%. Pour ce qui est des rendements en grains de sorgho, ces augmentations pour les traitements respectifs ont été de +0,05 ; +0,03; +0,03 et +2 t.ha⁻¹ ; les gains respectifs correspondant à ces augmentations sont donc de 103%, 88%, 73% et 2656%. En outre, l'efficacité du BRF a été également variable suivant les modalités d'enrichissement en N. Cependant, c'est le traitement BRF couplé au fumier (BRF F+) qui a plus impacté les rendements en paille et en grains du sorgho.

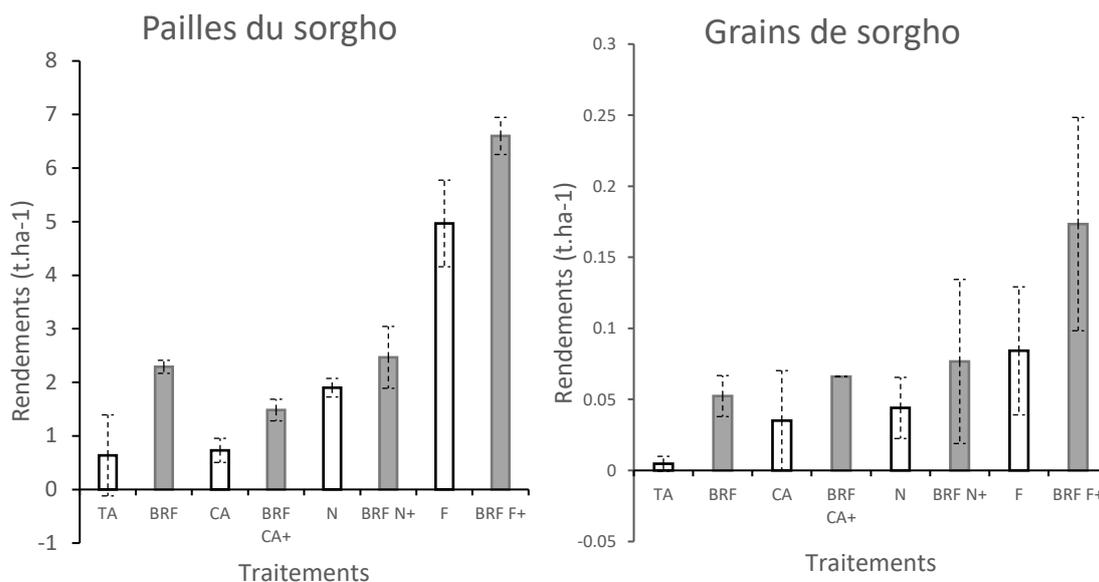


Figure 9: Rendement en pailles et en grains du sorgho en fonction des traitements

CONCLUSION

L'objectif général de ce travail était d'étudier l'impact du paillage agroforestier à base de *Piliostigma reticulatum* enrichis ou non en azote sur les fonctions et services des sols. L'étude a permis de montrer que l'apport de substrat ligneux améliore significativement la rétention en eau du sol en surface et en profondeur par rapport aux parcelles sans apport. Mais qu'en revanche, la texture du sol est restée presque inchangée au bout de cinq années d'expérimentation. L'activité de la macrofaune et surtout celle des termites et des fourmis s'est significativement améliorée suite à l'application du BRF. Si aucune différence significative n'a été observée entre les traitements concernant le taux de levée, il ressort de cette étude que le BRF à base de *Piliostigma reticulatum* contribue à favoriser la disponibilité des macronutriments (N et P) et à améliorer les performances agronomiques du niébé et du sorgho. Et ce, d'autant plus qu'on y ajoute un complément azoté. Ces résultats montrent donc l'impact positif du paillage ligneux enrichi en azote sur l'amélioration des effets d'immobilisation des nutriments et les rendements des cultures. Aussi, ressort-il que le BRF à base de *Piliostigma reticulatum* couplé au fumier est la formule d'enrichissement des substrats ligneux la plus efficace pour une meilleure production du sorgho en zone soudano-sahélienne du Burkina Faso.