

Stockage de la matière organique du sol sous les principales espèces d'arbustes dans une savane humide (Lamto, Côte d'Ivoire)

L. N. Konan^(1*), G. R. Yapo⁽¹⁾, A. W. Koné⁽¹⁾, D. J. A. N'Guessan⁽¹⁾ et A. Yao-Kouamé⁽²⁾

- 1) Unité de Recherche Gestion Durable des Sols (UR-GDS), UFR Sciences de la Nature, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire.
- 2) Département de Pédologie et Agriculture Durable, UFR Sciences de la Terre et des Ressources Minières (STRM), Université Felix Houphouët-Boigny Abidjan-Cocody, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire.

* Auteur correspondant : nguessanlouiskonan@yahoo.fr

RÉSUMÉ

L'agroforesterie à base d'espèces d'arbustes natives pourrait être une option à considérer pour l'amélioration des rendements des cultures dans les zones de savanes d'Afrique. Cependant, l'impact de ces arbustes, dominés par un nombre limité d'espèces en savane guinéenne, sur la matière organique du sol a été peu étudié. Cette étude avait pour objectif de comparer l'influence de trois espèces d'arbustes natives et dominantes de la savane guinéenne au centre de la Côte d'Ivoire que sont *Crossopteryx febrifuga* (Rubiaceae), *Piliostigma thonningii* (Fabaceae) et *Terminalia schimperiana* (Combretaceae) sur le stockage du carbone et d'azote dans le sol. Les apports annuels de litières ainsi que ceux de carbone, d'azote et de phosphore à travers ces litières ont été quantifiés. Les stocks de carbone organique (SCOS) et d'azote total (SNTS) ainsi que le pH du sol (profondeur 0-20 cm) ont été évalués sous canopée (SC) et hors canopée (HC), le différentiel entre ces deux positions traduisant l'impact de l'arbuste. Les variations interspécifiques des paramètres ci-dessus cités ont également été examinées ainsi que leurs liens avec les caractéristiques des litières. Les résultats montrent que les quantités annuelles de litières ne varient pas significativement entre les espèces (185 à 200 g m⁻²). La teneur en N et le rapport N/P des litières étaient significativement plus élevés chez *C. febrifuga* que chez

Comment citer cet article :

Konan L. N., Yapo G. R., Koné A. W., N'Guessan D. J. A., et Yao-Kouamé A., 2021 - Stockage de la matière organique du sol sous les principales espèces d'arbustes dans une savane humide (Lamto, Côte d'Ivoire) - Étude et Gestion des Sols, 28, 207-218

Comment télécharger cet article :

<http://www.afes.fr/publications/revue-etude-et-gestion-des-sols/volume-28-numero-1/>

Comment consulter/télécharger tous les articles de la revue EGS :

<https://www.afes.fr/publications/revue-etude-et-gestion-des-sols/>

les deux autres espèces alors que les teneurs en C et P et le rapport C/N n'ont pas varié significativement entre les espèces. Le pH du sol a augmenté significativement d'environ 0,5 unité sous toutes les espèces, en réponse à l'accumulation de cations apportés par les litières de feuilles. Les gains de SCOS sous les arbustes (l'aire hors canopée prise comme référence) s'élevaient à 3,51 Mg ha⁻¹ pour *C. febrifuga*, contre 1,0 Mg ha⁻¹ pour *P. thonningii* et 0,72 Mg ha⁻¹ pour *T. schimperiana* sans être significatifs, probablement à cause du passage annuel des feux et du transfert accru des litières par les termites dans cette savane. L'espèce de légumineuse *P. thonningii* est la seule sous laquelle une augmentation significative d'environ 0,11 Mg ha⁻¹ du SNTS a été observée, probablement due à la contribution des résidus de nodules racinaires. Quoique le SCOS sous *C. febrifuga* fût de 10 à 11 % plus élevé que sous les deux autres espèces d'arbustes, la différence entre espèces n'est pas apparue significative. Les gains enregistrés par rapport à ceux hors canopée indiquent que les espèces *C. febrifuga* et *P. thonningii* ont respectivement un meilleur potentiel d'augmentation des stocks de carbone et d'azote.

Mots-clés

Savane humide, production de litière, stockage de carbone, *Crossopteryx febrifuga*, *Piliostigma thonningii*, *Terminalia schimperiana*.

SUMMARY

SOIL ORGANIC MATTER STORAGE AS INFLUENCED BY THE MAIN SHRUBS IN A WET SAVANNA (LAMTO, CÔTE D'IVOIRE)

Agroforestry systems based on native shrubs could be a promising way of improving crop yields in West African savannas. However, studies on the impact of these shrubs on soil organic matter are rare. This study examines the influence of the dominant shrub species on soil carbon and nitrogen storage in a wet savanna of Côte d'Ivoire. These shrubs were *Crossopteryx febrifuga* (Rubiaceae), *Piliostigma thonningii* (Fabaceae) and *Terminalia schimperiana* (Combretaceae). Annual litterfalls and associated carbon, nitrogen and phosphorus inputs were assessed. The stocks of soil organic carbon (SOCS) and total nitrogen (TSNS) were also measured in addition to soil pH under canopy (SC) and outside canopy (HC), the impact of the shrub being assessed by subtraction. Interspecies variations and explanatory litter variables were also explored. The results showed that annual leaf litterfall mass (185 to 200 g m⁻²) did not vary significantly across species. Litter N content and N/P ratio were significantly higher for *C. febrifuga* than for the other two shrub species. Litter C and P contents and C/N ratio did not show any significant variation between species. Soil pH was significantly higher (+ 0.5 unit) under all shrub species compared to values outside canopies, probably due to cation supply through leaf litterfall. The SOCS under *C. febrifuga*, *P. thonningii* and *T. schimperiana* canopies were 3.51, 1.0 and 0.72 Mg ha⁻¹ higher than outside canopies, respectively. However, these gains were not significant, probably due to litter burning by annual fires and active litter consumption by termites. Significant increase in TSNS was recorded only under the legume *P. thonningii* (110 kg ha⁻¹), which might be due to the contribution of dead root nodules. No significant difference in the C and N stocks was observed between species although the SOCS under *C. febrifuga* was by 10 to 11 % higher than the stocks under the other two shrub species. Based on the SOCS and TSNS gains relative to outside canopy, *C. febrifuga* and *P. thonningii* were deemed to hold the best potential for improving SOC and total soil N, respectively.

Key-words

Wet savanna, litterfall, soil organic carbon storage, *Crossopteryx febrifuga*, *Piliostigma thonningii*, *Terminalia schimperiana*.

RESUMEN

ALMACENAMIENTO DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO BAJO LAS PRINCIPALES ESPECIES DE ARBUSTOS EN UNA SABANA HÚMEDA (LAMTO, COSTA DE MARFIL)

La agrosilvicultura basada en especies de arbustos autóctonos podría ser una opción a considerar para mejorar el rendimiento de los cultivos en las zonas de sabana de África. Sin embargo, el impacto de estos arbustos, dominados por un número limitado de especies en sabana guineana, sobre la materia orgánica del suelo ha sido poco estudiado. El objetivo de este estudio era comparar la influencia de tres especies de arbustos nativos y dominantes de la sabana guineana en el centro de Costa de Marfil que son *Crossopteryx febrifuga* (Rubiaceae), *Piliostigma thonningii* (Fabaceae) et *Terminalia schimperiana* (Combretaceae) sobre el almacenamiento de carbono y de nitrógeno en el suelo en una zona de sabana húmeda en el centro de Costa de Marfil. Se cuantificaron los aportes anuales de hojarasca, carbono y nitrógeno a través de estas hojarasca. Se evaluaron las reservas de carbono orgánico (SCOS) y de nitrógeno total (SNTS) así como el pH del suelo (profundidad 0-20 cm) bajo dosel forestal (SC) y fuera del dosel forestal (HC), el diferencial entre estos dos puntos refleja el impacto del arbusto. También se examinaron las variaciones interespecíficas de los parámetros mencionados y su relación con las características de las hojarasca. Los resultados muestran que las cantidades anuales de hojarasca no varían significativamente entre las especies (185 a 200 g m⁻²). El

contenido de N y la relación N/P de la hojarasca eran significativamente más altos en *C. febrifuga* que en las otras dos especies, mientras que los niveles de C y P y la relación C/N no variaron significativamente entre las especies. El pH del suelo ha aumentado significativamente en aproximadamente 0,5 unidades bajo todas las especies, en respuesta a la acumulación de cationes por la hojarasca de hojas. Las ganancias de SCOS bajo los arbustos relativos al área fuera del dosel ascendieron a 3,51 Mg.ha⁻¹ para *C. febrifuga*, contra 1,0 Mg.ha⁻¹ para *P. thonningii* y 0,72 Mg.ha⁻¹ para *T. schimperiana* sin ser significativas, probablemente debido al paso anual de los fuegos y la transferencia a otra parte creciente de las hojarascas por las termitas en esta sabana. La especie de leguminosa *P. thonningii* es la única en la que se ha observado un aumento significativo de aproximadamente 0,11 Mg ha⁻¹ del SNTS, probablemente debido a la contribución de los residuos de nódulos radiculares. Aunque la SCOS bajo *C. febrifuga* fue un 10-11% más alta que bajo las otras dos especies de arbustos, la diferencia entre especies no fue significativa. Las ganancias obtenidas en comparación con la zona fuera del dosel indican que las especies *C. febrifuga* y *P. thonningii* tienen relativamente el mejor potencial de mejora de las reservas de carbono y de nitrógeno, respectivamente.

Palabras clave

Sabanas húmedas, producción de hojarasca, almacenamiento de carbono, *Crossopteryx febrifuga*, *Piliostigma thonningii*, *Terminalia schimperiana*.

INTRODUCTION

Le carbone est au cœur des débats internationaux en raison de ses liens avec le changement climatique, la biodiversité, la fertilité des sols et la sécurité alimentaire (Soussana *et al.*, 2019). L'agriculture, avec les changements d'usage de sols associés, est l'un des secteurs d'activité contribuant le plus aux émissions de gaz à effet de serre (GES), avec environ 21 % des émissions mondiales en 2010 (Tubiello *et al.*, 2015). Par exemple, la conversion des écosystèmes naturels en agro-écosystèmes peut entraîner des pertes importantes de carbone organique du sol (COS), allant de 20 à 50 % du stock d'origine dans la couche arable (van Straaten *et al.*, 2015 ; Veldkamp *et al.*, 2020). Toutefois, une bonne gestion de la matière organique du sol (MOS) dans ces agroécosystèmes peut permettre de diminuer ces pertes, voire d'inverser la tendance (Veldkamp *et al.*, 2020). Dans ce cadre, le maintien de l'arbre dans les agroécosystèmes, surtout en zone tropicale, est reconnu comme une option appropriée (Diallo *et al.*, 2019 ; Bayala *et al.*, 2020). Toutefois, la connaissance des impacts respectifs des différentes espèces peuplant une zone agroécologique donnée sur le statut organique et nutritionnel du sol pourrait constituer une plus-value en aidant à faire des choix ou recommandations spécifiques aux cultures.

Dans la zone de contact forêt-savane de Côte d'Ivoire communément appelée le « V Baoulé », les paysans sont confrontés au faible niveau de fertilité des sols, comme dans la plupart des zones de savanes humides d'Afrique de l'Ouest (Oorts *et al.*, 2003 ; Koné *et al.*, 2020). Cette faible fertilité est aggravée par la pratique du brûlis après défrichage lors de la mise en culture des parcelles (N'Dri *et al.*, 2019). Par ailleurs, les savanes dans cette région sont annuellement soumises aux feux, lesquels causent la perte d'une part importante de la production de litière (N'Dri *et al.*, 2018), limitant ainsi l'accumulation de la matière organique du sol (MOS). Le défi est donc d'arriver

à maintenir ou améliorer le stock de MOS dans ces sols de sorte à cultiver une même parcelle sur une période plus longue que celle de deux ou trois années actuellement observée. La valorisation des ressources naturelles disponibles localement comme les arbustes, à travers l'agroforesterie, pourrait s'avérer comme une voie appropriée dans cette optique (Bayala *et al.*, 2020). Toutefois, il serait nécessaire de connaître en amont leur influence sur la MOS pour soutenir leur promotion auprès des agriculteurs. En effet, les arbres et les arbustes dans les champs offrent divers avantages. Leurs racines participent notamment à l'aération et à la fixation du sol (Switzer et Nelson, 1972). À travers une plus grande production de litières, les arbres améliorent le cycle du carbone et des nutriments, augmentent et stabilisent les différentes fractions de la MOS (Hoosbeek *et al.*, 2016) et améliorent la fertilité du sol (Chambers, 2001). Les litières, en outre, entretiennent la vie des organismes du sol (Diallo *et al.*, 2008) qui en retour favorisent leur fragmentation, leur décomposition et leur incorporation au sol (Genot *et al.*, 2009). Cependant, certains organismes tels que les termites peuvent consommer des quantités importantes de litières (Rouland-Lefèvre, 1994) ou les déplacer loin de la zone où elles avaient été produites, limitant l'accumulation de la MOS dans le sol sous-jacent (Félix *et al.*, 2018). Le stock de carbone du sol est donc influencé par les apports de litières mais aussi par leur qualité, déterminée par des paramètres clés tels que la teneur en N et les rapports C/N et N/P (Zhou *et al.*, 2019 ; Yao *et al.*, 2021).

Les savanes humides et sèches d'Afrique de l'Ouest et du Centre partagent plusieurs espèces d'arbustes dont *Crossopteryx febrifuga* (Afzel. ex G. Don) Benth. (Rubiaceae), *Terminalia schimperiana* Planch. ex Benth. (Combretaceae), *Piliostigma thonningii* (Schum.) Milne-Redh. (Fabaceae), *Borrassus aethiopicum* Mart. (Araceae), *Vitex doniana* Sweet. (Verbenaceae), *Gardenia ternifolia* Schumach. & Thonn. (Rubiaceae) *Lannea kerstingii* (Enql.) K. Krause (Anacardiaceae),

Annona senegalensis Pers. (Annonaceae), *Ficus sur* Forssk. (Moraceae), *Bridelia ferruginea* Willd. (Euphorbiaceae), *Cussonia barteri* Seem. (Araliaceae). Elles sont bien connues localement pour les divers services qu'elles rendent aux populations : bois de chauffe, tuteurage des plantes cultivées à lianes ou à tiges volubiles tels que l'igname, utilisation médicinale, etc. (Orwa et al., 2009). Cependant, pour éviter la compétition pour la lumière avec les cultures (ex. l'igname, plante héliophile), ces arbustes sont pour la plupart coupés et brûlés lors de la mise en culture de nouvelles parcelles ou des jachères. Cette suppression des arbustes a pour inconvénients (i) la perte accélérée de la MOS au cours de la phase culturale et (ii) la réduction du potentiel de restauration du sol au cours de la phase de jachère subséquente. Certes, plusieurs études ont examiné l'influence des arbustes sur les statuts organique et minéral des sols en zone sahélienne (Lufafa et al., 2008; Dossa et al. 2010; Diallo et al., 2019; Bayala et al., 2020) mais à ce jour et à notre connaissance, aucune étude de ce genre n'a eu lieu dans les zones de savanes humides d'Afrique de l'Ouest. L'objectif de la présente étude est donc de comparer l'influence de trois espèces d'arbustes natives et dominantes que sont *Crossopteryx febrifuga*, *Piliostigma thonningii* et *Terminalia schimperiana* sur le stockage

de carbone et d'azote dans le sol dans la savane humide au centre de la Côte d'Ivoire. Ces arbustes ont été choisis selon leur taille et leur représentativité dans cette zone.

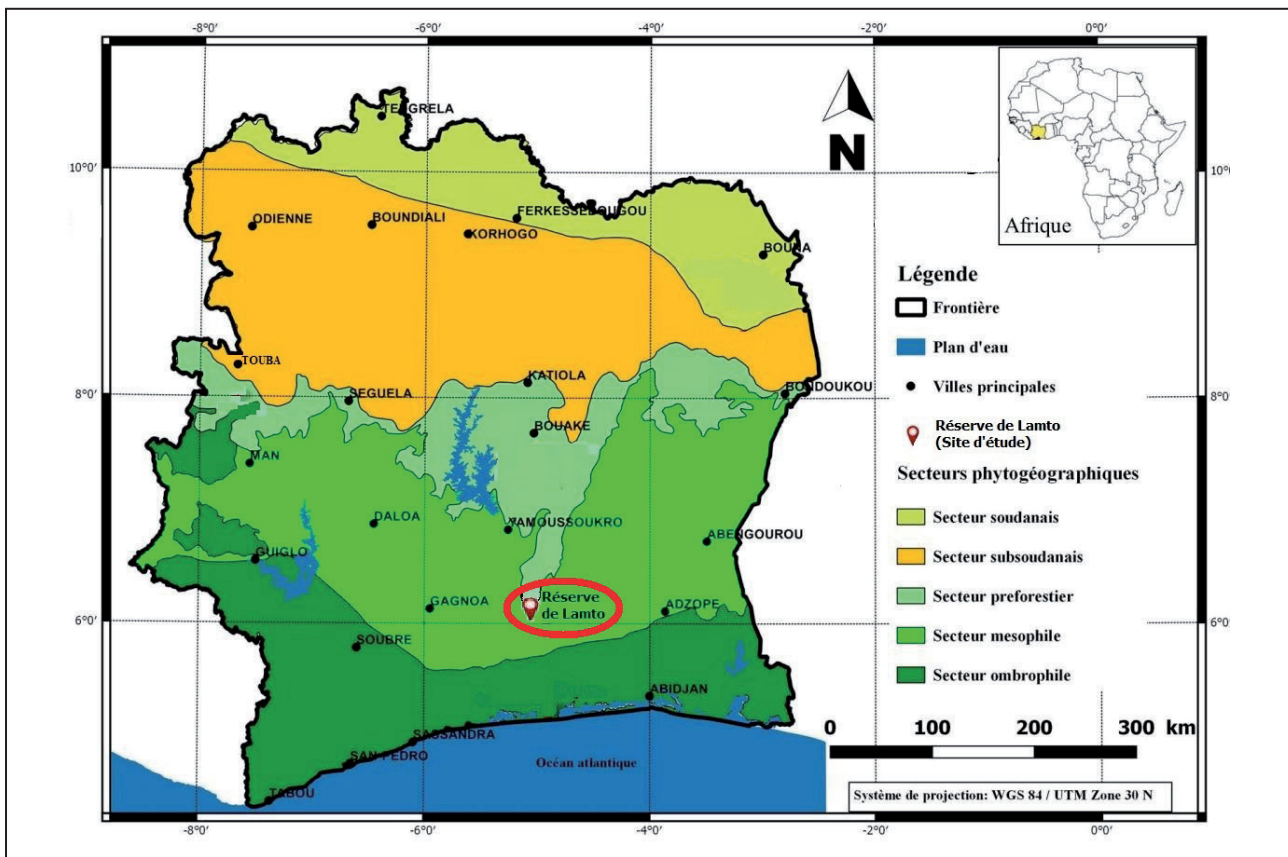
MATÉRIEL ET MÉTHODES

Milieu d'étude

L'étude s'est déroulée dans le Centre de la Côte d'Ivoire, précisément à la pointe du « V Baoulé », dans la réserve de Lamto (2617 ha) située entre 6°13 - 6°15 N et 4°06 - 5°03 O, à 160 km d'Abidjan sur l'autoroute du Nord, dans le département de Taabo, région administrative de l'Agneby-Tiassa (Figure 1).

Le climat est de type tropical humide et se situe entre le régime équatorial à quatre saisons (deux sèches et deux pluvieuses) et le régime tropical à deux saisons (une sèche et une pluvieuse). Les précipitations totales annuelles sont en moyenne de 1200 mm. Les températures sont élevées et relativement constantes tout au long de l'année, avec une moyenne mensuelle de 28,6°C (Tiémoko et al., 2020). La végétation est une

Figure 1 : Carte de la situation géographique du milieu d'étude.
Figure 1 : Location of the study area.



mosaïque de forêt et de savane. La savane représente 80 % du couvert végétal et est caractérisée par une association de graminées (Andropogoneae, Poaceae), de palmier rônier (*Borassus aethiopum* Mart.) et d'arbustes tels que (par ordre d'abondance) *P. thonningii* (22,6 %), *Bridelia ferruginea* (18,8 %), *Annona senegalensis* (18,6 %), *C. febrifuga* (18,4 %) et *T. schimperiana* (6,62 %) (Soro *et al.*, 2018). La savane, sur l'essentiel de sa superficie, est annuellement soumise aux feux de façon volontaire par les gestionnaires de la réserve pour prévenir le boisement et maintenir ainsi « l'écosystème savane ». Elle est également sujette aux feux accidentels provoqués par les populations riveraines lors des activités champêtres ou de chasse. La période des feux s'étend de décembre à mars (N'Dri *et al.*, 2018). Les sols sont majoritairement des Ferralsols moyennement désaturés reposant sur du matériel d'origine granitique. Les couches supérieures sont généralement de textures sableuses (60 à 80 %), la teneur en COS est en moyenne de 10 g C kg⁻¹ en savane et 20 g C kg⁻¹ en forêt (Koné *et al.*, 2020).

Choix et description des espèces d'arbustes

L'étude a été conduite dans une savane arbustive native. Les arbustes ayant servi à l'étude étaient tous adultes, âgés de dizaines d'années (sans précision). Sur les cinq espèces les plus abondantes indiquées plus haut, *A. senegalensis* et *B. ferruginea* n'ont pas été retenues parce que la première est limitée par sa taille qui dépasse difficilement 2 m quand la seconde a une canopée trop dense et souvent buissonnante. Les espèces retenues furent donc les trois suivantes, avec une description succincte faite par Orwa *et al.* (2009) : *P. thonningii* (4 à 15 m de hauteur, enracinement profond), *C. febrifuga* (2-15 m de haut, avec des branchettes en couronne arrondie et pendantes) et *T. schimperiana* (10-20 m de haut, croissance assez rapide). Ces espèces ont été choisies car elles sont plus adaptées en agroforesterie du fait de leur port élané et de leur feuillage qui laisse passer la lumière solaire, ce qui n'est pas le cas avec les espèces *A. senegalensis* et *B. ferruginea*. En effet, la culture visée est surtout l'igname, une plante héliophile, la culture principale dans la région.

Dispositif expérimental

Le site d'étude était composé de cinq parcelles de 2500 m² distantes les unes des autres d'environ 50 m et incluant chacune un arbuste de chacune des trois espèces étudiées. Il y avait donc au total cinq individus par espèce. Les arbustes étaient distants les uns des autres d'au moins 10 m au sein d'une même parcelle. Les paramètres mesurés sur les litières étaient : la production annuelle de litière (g m⁻²), leurs teneurs en C (g kg⁻¹ de matière sèche - MS), en N (g kg⁻¹ de MS) et P (g kg⁻¹ de MS). Les paramètres calculés sont les apports annuels de C (g m⁻²), N (g m⁻²) et P (g m⁻²), par les litières. Les paramètres mesurés sur les sols étaient les teneurs en C (g kg⁻¹ de sol) et N (g kg⁻¹ de

sol), le pH et la densité apparente (g m⁻³). Les stocks de carbone (Mg ha⁻¹) et d'azote (Mg ha⁻¹) du sol ont ensuite été calculés.

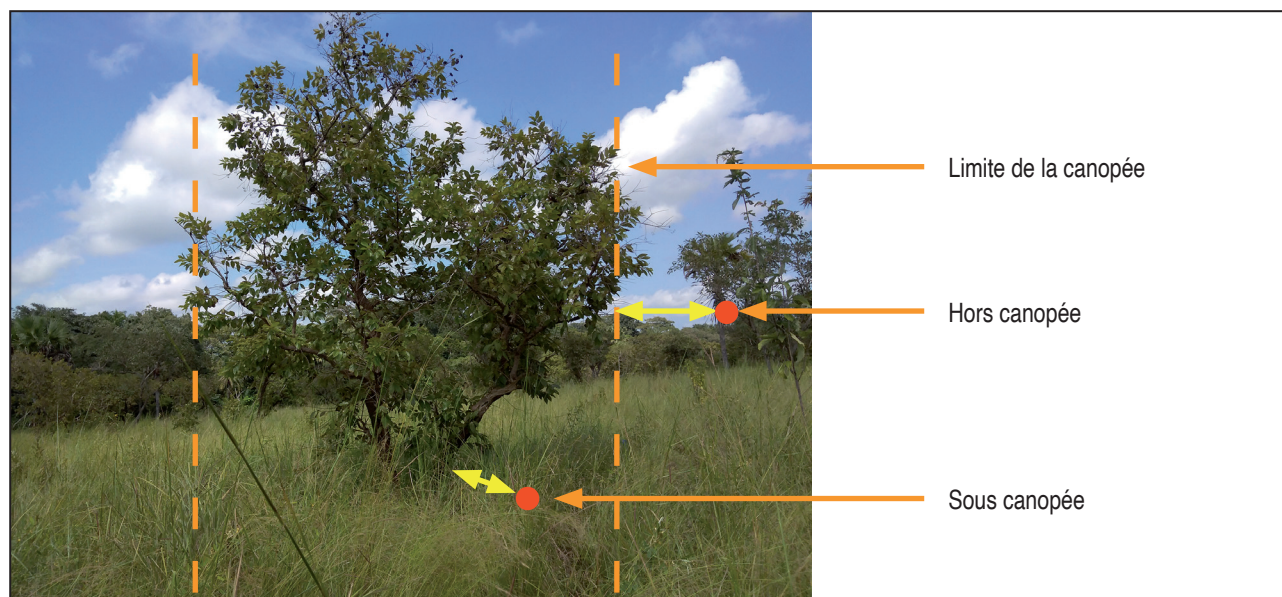
Estimation des productions annuelles de litière et des entrées annuelles de C, N et P associées

Sous chacun des arbustes, deux quadrats de récolte de litière de 1 m² ont été placés à 1,5 m de part et d'autre du tronc. La direction du vent n'a pas été prise en compte car sa vitesse est en général faible (0,6 m s⁻¹) dans la région (Le Roux, 1995), ce qui ne pouvait déplacer les litières de feuilles de façon significative. La litière a été récoltée mensuellement, séchée à l'étuve à 60 °C pendant quatre jours puis pesée. Sur le stock de litières récoltées pendant les mois de grande production (septembre à décembre), une aliquote de 20 g a été prélevée pour chaque arbuste pour la détermination des teneurs en C, N et P. Les entrées annuelles correspondantes ont été obtenues en multipliant la masse sèche totale annuelle de litière tombée par les teneurs des litières en ces éléments.

Echantillonnage du sol

Le prélèvement des échantillons de sol a été fait pendant la petite saison des pluies en septembre sur deux cercles concentriques autour du tronc des arbustes, selon la méthode utilisée par Dossa *et al.* (2010) : le premier était situé sous la canopée (SC), à 1,5 m du tronc, et le second, à 3 m au-delà de la limite de la canopée (hors canopée ou HC) (Figure 2).

Sur chacun des cercles, les échantillons de sol ont été prélevés dans la strate 0-20 cm en quatre points bien repartis autour du tronc de l'arbuste, à l'aide d'une tarière. Ces échantillons ont ensuite été rigoureusement mélangés pour obtenir un échantillon composite par arbuste individuel, soit un total de cinq échantillons de sol par espèce d'arbuste. Ces échantillons composites ont ensuite été séchés à l'ombre pendant 7 jours à la température ambiante, pesés puis tamisés avec un tamis de 2 mm. Le refus, représentant les éléments grossiers (diamètre > 2 mm), a été pesé et la proportion correspondante a été calculée en divisant sa masse par celle de l'échantillon composite. Cette proportion a été ultérieurement intégrée au calcul des stocks de C et N du sol. La fraction fine de sol (diamètre < 2 mm) a été conservée dans des sachets en plastique pour la détermination du pH et des teneurs en C et en N. La densité apparente a été déterminée à l'aide de la méthode du cylindre (Anderson et Ingram, 1993). Des carottes de terres ont été prélevées aux mêmes endroits que précédemment à l'aide d'un cylindre (diamètre = 4 cm, hauteur = 10 cm) puis séchées à l'étuve à 105 °C pendant 48 h. La densité apparente (g cm⁻³) a été obtenue en faisant le rapport de la masse de terre séchée sur le volume du cylindre.

Figure 2 : Dispositif d'échantillonnage de sol.**Figure 2 :** Soil sampling points around a shrub.

Analyse chimique du sol et des litières

Les teneurs de C total (équivalant à celle du COS dans la zone d'étude) et de N total dans le sol ainsi que dans les litières ont été déterminées par combustion sèche avec un analyseur CHN (EA1112 Thermo Finnigan Series, France). Les teneurs en P de ces échantillons ont été mesurées après extraction par attaque nitro-perchlorique, suivie de lecture au colorimètre de la solution colorée au bleu de molybdène à 660 nm (Murphy et Riley, 1962). Le pH du sol a été déterminé en utilisant une électrode en verre dans un rapport sol/eau de 1/2,5.

Traitement des données et analyses statistiques

Les stocks de COS et de N total ont été calculés selon les formules suivantes (Osei *et al.*, 2016) :

$$\text{Stock de COS (Mg ha}^{-1}\text{)} = \text{COS (g kg}^{-1}\text{)} \times \text{Da (g cm}^{-3}\text{)} \times (1 - \text{EG}) \times \text{Profondeur (dm)}$$

$$\text{Stock de N (Mg ha}^{-1}\text{)} = \text{N (g kg}^{-1}\text{)} \times \text{Da (g cm}^{-3}\text{)} \times (1 - \text{EG}) \times \text{Profondeur (dm)}$$

où Da est la densité apparente du sol, EG est la fraction d'éléments grossiers.

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel STATISTICA 7.1. Le test d'égalité des variances a été réalisé à l'aide du test de Levene. Lorsque les variances étaient homogènes, le test t de Student a été utilisé pour vérifier l'existence ou non de différences significatives entre les

deux positions d'échantillonnage (Sous canopée *versus* Hors canopée) autour de chaque arbuste, et l'ANOVA à un facteur pour comparer les valeurs sous les trois espèces d'arbustes entre elles (Sous canopée). Lorsque la condition d'homogénéité des variances n'était pas satisfaite, les tests non-paramétriques de Mann-Whitney et de Kruskal-Wallis ont été utilisés pour comparer deux et trois moyennes, respectivement, pour les paramètres concernés. Des tests de régression simple ont été réalisés afin d'établir d'éventuels liens entre les paramètres des litières et les stocks de carbone et d'azote total correspondants dans le sol. Le modèle de régression était le suivant :

$$Y = \beta X + \alpha$$

où Y représente le stock de COS ou de N total du sol (exprimé en Mg ha⁻¹), X, un paramètre de litière donné, β , le coefficient de régression et α , la constante. Le seuil de significativité a été fixé à 5 % pour tous les tests.

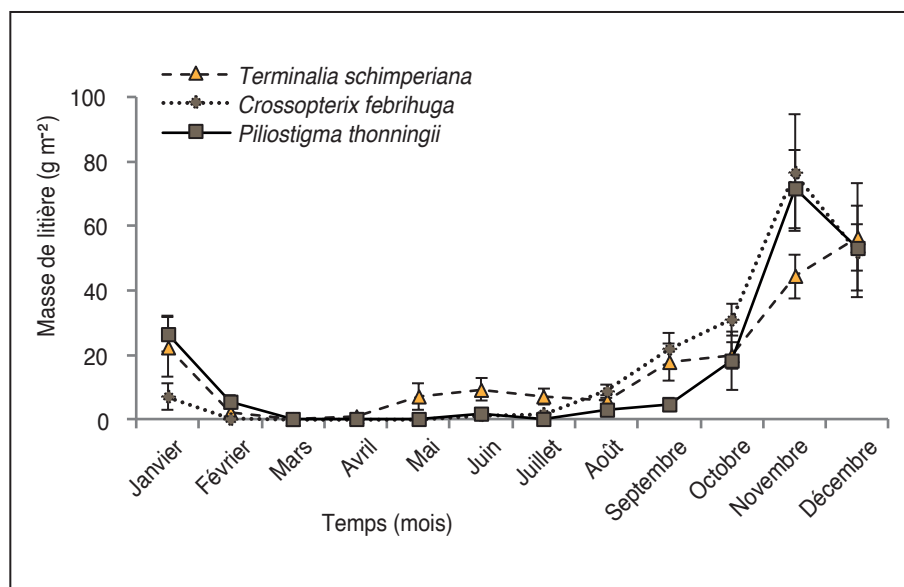
RÉSULTATS

Dynamiques des chutes et apports annuels de litières

Pour toutes les espèces étudiées, la production de litières au cours de l'année a suivi des dynamiques relativement similaires (Figure 3). Elle se déroule en deux phases en général : une phase de faibles chutes, de février à septembre et une phase de chutes accrues, d'octobre à janvier. Les pics des chutes de

Figure 3 : Évolution de la chute de litières des trois espèces d'arbustes au cours de l'année.

Figure 3 : Leaf litterfall dynamics across the shrub species over the year.



litières ($\approx 60 - 80 \text{ g MS m}^{-2}$) ont été observés durant le mois de novembre pour *P. thonningii* et *C. febrifuga* et décembre pour *T. schimperiana*.

Les quantités annuelles de litières produites étaient proches les unes des autres, avec $184,6 \pm 26,2 \text{ g m}^{-2}$, $194,02 \pm 38,7 \text{ g m}^{-2}$ et $200,3 \pm 34,6 \text{ g m}^{-2}$ respectivement sous *P. thonningii*, *T. schimperiana* et *C. febrifuga* (Figure 4). Les différences n'étaient pas significatives.

Caractéristiques chimiques des litières et entrées annuelles de C, N et P

La teneur en N et le rapport N/P des litières de *C. febrifuga* étaient significativement plus élevés que ceux des deux autres espèces (Tableau 1). Les teneurs en C et P et le rapport C/N n'ont pas présenté de variation significative.

Les entrées annuelles de carbone et d'azote à travers les litières n'ont présenté aucune variation significative entre les espèces d'arbustes. Par contre, les entrées de P étaient significativement plus élevées chez *T. schimperiana* par rapport à *C. febrifuga*, celles enregistrées chez *P. thonningii* étant intermédiaires des deux sans leur être significativement différentes.

Influence des espèces d'arbustes sur les paramètres du sol

Sous *C. febrifuga*, le pH a significativement augmenté relativement à l'aire hors canopée avec une différence d'environ 0,5 unité (Tableau 2). Les teneurs en azote total et en carbone organique et le rapport C/N n'ont montré aucune différence significative entre les positions sous et hors canopée. De même,

les stocks de COS et de N total du sol n'ont pas significativement varié entre les deux positions même si un gain de $+3,5 \text{ Mg}$ de COS ha^{-1} a été observé sous la canopée de *C. febrifuga*. La densité apparente n'a non plus montré de différence significative entre les positions sous et hors canopées.

Au niveau de *P. thonningii*, le stock d'azote total du sol et le pH étaient significativement plus élevés sous la canopée qu'en dehors. Le SCOS, la densité apparente, les teneurs du sol en N total et en COS et le rapport C/N n'ont pas montré de variation significative entre les deux zones d'échantillonnage.

Sous *T. schimperiana*, le pH a montré une variation significative, la valeur étant plus élevée sous la canopée que hors de la canopée. Le SCOS, le SNTS, les teneurs du sol en carbone et en azote et le rapport C/N n'ont montré aucune variation significative. En général, les paramètres de sol étudiés n'ont pas varié significativement entre les espèces d'arbustes (Tableau 3) même si le stock de COS sous *C. febrifuga* dépassait de $3,15 \text{ Mg ha}^{-1}$ et $3,41 \text{ Mg ha}^{-1}$ ceux sous *P. thonningii* et *T. schimperiana*, respectivement.

Relations entre les stocks de carbone et d'azote du sol et les paramètres des litières

Le SCOS n'a pas été significativement influencé par les paramètres de litière considérés: la quantité annuelle de litière (Figure 5a), les entrées annuelles de carbone (Figure 5b) et d'azote (Figure 5c), les rapports C/N (Figure 5d) et N/P (Figure 5f) des litières de feuilles.

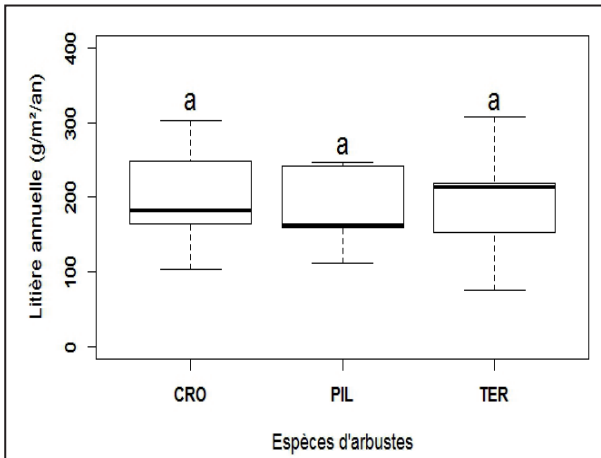
Le SNTS, par contre, a été significativement influencé par le rapport N/P des litières (Figure 5j) mais pas par les autres paramètres des litières (Figure 5f, 5g, 5h et 5i).

Figure 4 : Quantité annuelle de litières produites par espèce

Les lignes horizontales épaisses indiquent la médiane ; les limites inférieures et supérieures des rectangles correspondent aux premier et troisième quartiles, respectivement. Les barres verticales en pointillé incluent toutes les valeurs. Les lettres identiques indiquent qu'il n'y a pas de différences significatives entre les traitements au seuil de 5 %.

CRO = *Crossopteryx febrifuga*; PIL = *Piliostigma thonningii*;
TER = *Terminalia schimperiana*

Figure 4: Annual leaf litterfall yields across shrub species
Horizontal bold lines indicate the median; lower and upper "hinges" correspond to the 25th and 75th percentiles. Vertical dotted bars include all values. Similar letters indicate non-significant difference between ecosystems at the 0.05 level.

**DISCUSSION**

Bien que des travaux ont rapporté des cas de production de litières importante en saison pluvieuse (Bernhard-Reversat, 1993; Goma-Tchimbakala *et al.*, 2005), la production de litières à Lamto était presque nulle pendant cette saison alors que les pics de production se situaient en début de période sèche (novembre et décembre). Ce résultat à Lamto peut s'expliquer par la physiologie des espèces (Gnahoua *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2014) réagissant au stress hydrique qui s'installait à cette période, comme observé dans d'autres zones tropicales humides (Songwe *et al.*, 1988; Morellato, 1992; Ola-Adams et Egunjobi, 1992). Les quantités annuelles de litières obtenues dans cette étude (185 à 200 g m⁻²) sont sensiblement supérieures à celles rapportées par Simioni *et al.* (2003) dans la même savane (Lamto), comprises entre 90 et 180 g m⁻² an⁻¹. Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que ces auteurs ont pris en compte toutes les espèces d'arbustes dont certaines ont probablement une envergure et une production de litières inférieures à celles des espèces considérées dans la présente étude.

L'un des résultats marquants de cette étude est l'augmentation du pH (ou la réduction de l'acidité) du sol par les trois espèces par rapport à la savane ouverte (HC), les sols passant d'acides (5,9 à 6 hors canopée) à légèrement acides (6,3 à 6,5) sous les canopées. Cela pourrait s'expliquer par l'apport au sol de quantités de cations basiques (de 2,3 à 4 g m⁻² pour Ca²⁺ et environ 1 g m⁻² pour Mg²⁺, annuellement) à travers les litières, tel que rapporté par Konan *et al.* (2021) sur le même dispositif. Le pH du sol idéal pour la croissance des plantes cultivées est proche de la neutralité, c'est-à-dire compris entre 6,5 et 7,5. L'activité biologique du sol, la disponibilité des éléments nutritifs et la croissance des racines sont également

Tableau 1 : Caractéristiques chimiques des litières des différentes espèces d'arbustes et apports annuels de C, N et P associés (moyenne ± erreur standard).

Table 1: Leaf litter chemical characteristics and annual elemental inputs (mean ± standard error).

Caractéristiques des litières	Espèce d'arbustes			Anova	
	<i>Crossopteryx febrifuga</i>	<i>Piliostigma thonningii</i>	<i>Terminalia schimperiana</i>	F	p
C (g kg ⁻¹)	458,45 ± 12,29 ^a	447,09 ± 7,83 ^a	411,35 ± 16,91 ^a	3,64	0,06
N (g kg ⁻¹)	8,59 ± 0,38 ^b	7,29 ± 0,72 ^a	6,67 ± 0,47 ^a	9,49	< 0,01
P (g kg ⁻¹)	1,39 ± 0,10 ^a	1,61 ± 0,08 ^a	1,49 ± 0,06 ^a	1,85	0,2
C/N	53,98 ± 3,65 ^a	63,03 ± 4,33 ^a	62,45 ± 4,21 ^a	1,55	0,25
N/P	6,25 ± 0,28 ^b	4,49 ± 0,25 ^a	4,49 ± 0,31 ^a	13,04	< 0,01
Quantité de C (g m ⁻²)	92,42 ± 16,91 ^a	82,12 ± 11,12 ^a	82,12 ± 18,16 ^a	0,14	0,87
Quantité de N (g m ⁻²)	1,68 ± 0,25 ^a	1,29 ± 0,14 ^a	1,32 ± 0,31 ^a	0,81	0,47
Quantité de P (g m ⁻²)	0,27 ± 0,04 ^a	0,29 ± 0,04 ^{ab}	0,3 ± 0,07 ^b	8,82	< 0,01

Sur une même ligne, les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de α de 0,05.

In a given row, mean values assigned with the same letter are not significantly different at the $\alpha = 0,05$ level.

Tableau 2 : Caractéristiques du sol sous la canopée et hors de la canopée des espèces d'arbustes (moyenne \pm erreur standard).
Table 2: Soil attributes under and outside the canopies of the shrubs (mean \pm standard error).

Paramètres du sol	<i>Crossopteryx febrifuga</i>			<i>Piliostigma thonningii</i>			<i>Terminalia schimperiana</i>		
	SC	HC	Test t, p	SC	HC	Test t, p	SC	HC	Test t, p
C (g kg ⁻¹)	10,04 \pm 0,53	8,79 \pm 0,55	0,15	8,84 \pm 0,40	8,67 \pm 0,16	0,68	8,83 \pm 0,57	8,75 \pm 0,37	0,91
N (g kg ⁻¹)	0,64 \pm 0,04	0,58 \pm 0,03	0,24	0,61 \pm 0,02	0,58 \pm 0,01	0,35	0,52 \pm 0,05	0,57 \pm 0,01	0,36
SCOS (Mg ha ⁻¹)	34,49 \pm 1,36	30,99 \pm 1,80	0,16	31,35 \pm 0,91	30,35 \pm 0,16	0,31	31,09 \pm 2,07	30,37 \pm 0,91	0,75
SNTS (Mg ha ⁻¹)	2,21 \pm 0,09	2,05 \pm 0,10	0,28	2,15 \pm 0,04	2,04 \pm 0,02	< 0,05	1,83 \pm 0,05	2,01 \pm 0,17	0,35
C/N	15,66 \pm 0,45	15,08 \pm 0,39	0,35	14,59 \pm 0,33	14,86 \pm 0,19	0,5	17,34 \pm 1,27	15,13 \pm 0,34	0,13
pH	6,29 \pm 0,12	5,91 \pm 0,07	0,02	6,44 \pm 0,05	5,87 \pm 0,07	0,01	6,54 \pm 0,11	6,00 \pm 0,13	< 0,01
Da (g cm ⁻³)	1,73 \pm 0,02	1,78 \pm 0,03	0,18	1,79 \pm 0,03	1,78 \pm 0,03	0,84	1,77 \pm 0,04	1,78 \pm 0,03	0,83

SC : Sous canopée ; HC : Hors canopée

SCOS = stock de carbone organique du sol, SNTS = stock d'azote total du sol,
 Da = Densité apparente

SC : Under canopy ; HC : Outside canopy

SCOS = Soil organic carbon stock, SNTS = Total soil nitrogen stock,
 Da = Soil bulk density

Tableau 3 : Caractéristiques du sol sous les différentes espèces d'arbustes (moyenne \pm erreur standard).
Table 3: Soil characteristics under the studied shrubs (mean \pm standard error).

Paramètres du sol	Espèces d'arbustes			Anova	
	<i>Crossopteryx febrifuga</i>	<i>Piliostigma thonningii</i>	<i>Terminalia schimperiana</i>	F	p
C (g kg ⁻¹)	10,04 \pm 0,53 ^a	8,84 \pm 0,40 ^a	8,83 \pm 0,57 ^a	1,99	0,18
N (g kg ⁻¹)	0,64 \pm 0,04 ^a	0,61 \pm 0,02 ^a	0,52 \pm 0,05 ^a	2,47	0,13
SCOS (Mg ha ⁻¹)	34,49 \pm 1,36 ^a	31,35 \pm 0,91 ^a	31,09 \pm 2,07 ^a	1,54	0,25
SNTS (Mg ha ⁻¹)	2,21 \pm 0,09 ^a	2,15 \pm 0,04 ^a	1,83 \pm 0,05 ^a	2,78	0,25
C/N	15,66 \pm 0,45 ^a	14,59 \pm 0,33 ^a	17,34 \pm 1,27 ^a	2,66	0,26
pH	6,29 \pm 0,12 ^a	6,44 \pm 0,05 ^a	6,54 \pm 0,11 ^a	1,71	0,22
Da (g cm ⁻³)	1,73 \pm 0,02 ^a	1,79 \pm 0,03 ^a	1,77 \pm 0,04 ^a	0,98	0,41

Sur une même ligne, les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de α de 0,05.

SCOS = stock de carbone organique du sol, SNTS = stock d'azote total du sol,
 Da = Densité apparente

In a given row, mean values assigned with the same letter are not significantly different at the $\alpha = 0,05$ level.

SCOS = Soil organic carbon stock, SNTS = Total soil nitrogen stock,

optimales dans cette plage de valeurs de pH (Thomas, 2010). La présente étude montre donc que les espèces d'arbustes étudiées créent des conditions propices au bon fonctionnement du sol, ce qui augure un meilleur rendement agricole dans l'aire d'influence des arbustes lorsque cette savane sera mise en culture et les arbustes, élagués (pour éviter la compétition pour la lumière).

Bien que l'impact des arbustes étudiés sur le stock de carbone organique ne se soit pas avéré statistiquement significatif dans les conditions de cette étude, un gain de 3,5 Mg ha⁻¹ a été enregistré sous *C. febrifuga* par rapport à l'aire hors canopée, ce qui est susceptible d'impacter significativement les rendements des cultures (Felix *et al.*, 2018). Ce gain en carbone du sol relativement plus élevé sous *C. febrifuga* par rapport aux autres espèces d'arbustes pourrait s'expliquer

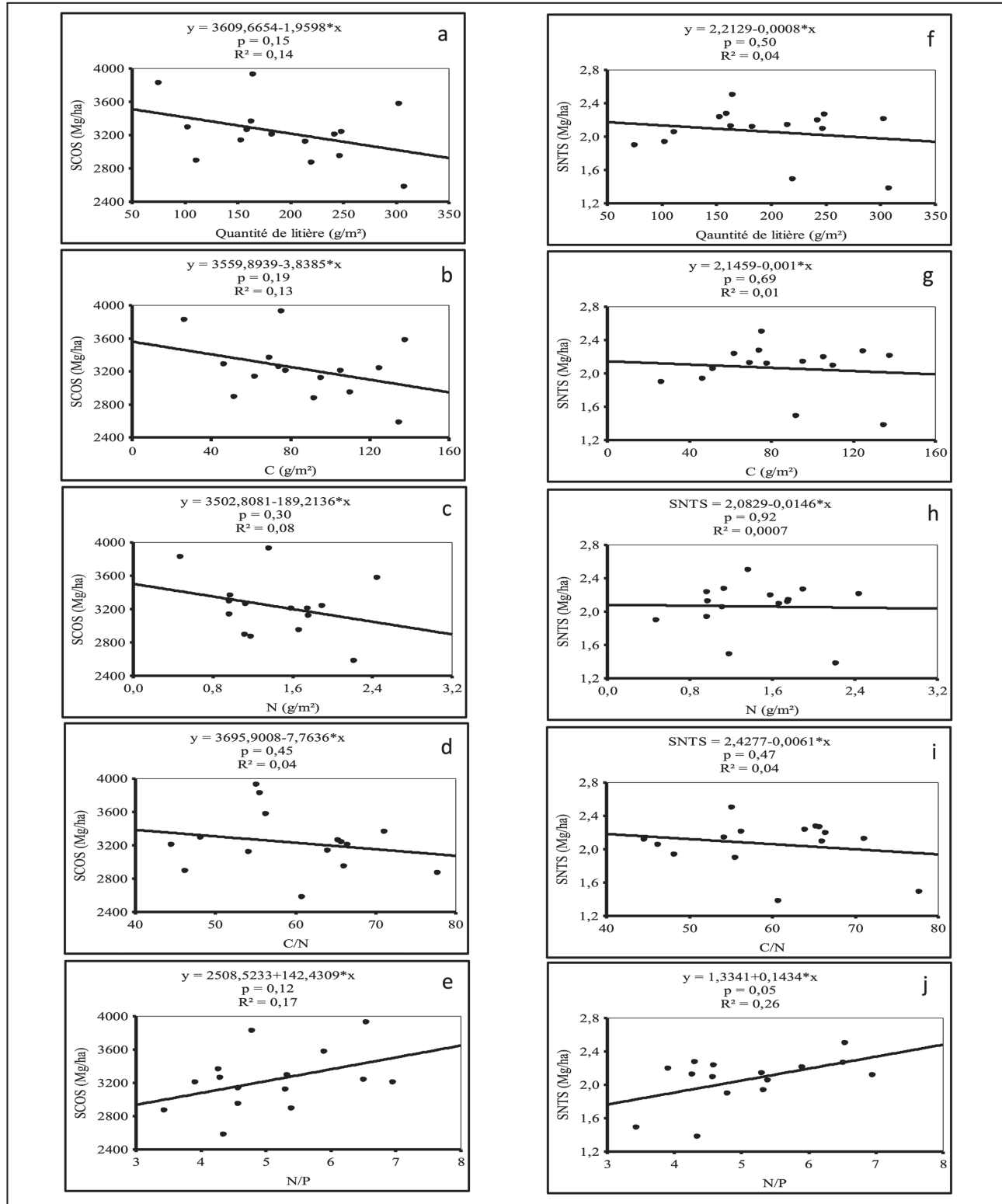
dans une certaine mesure par le rapport N/P et la teneur en N de ses litières, plus élevés que ceux des autres litières. En effet, ces paramètres comptent parmi les principaux favorisant la dégradation des résidus végétaux par les micro- et macro-organismes du sol, et donc, l'accumulation du carbone dans le sol. La teneur en carbone des litières de *C. febrifuga*, relativement plus élevée que celle des autres espèces, est une probable explication supplémentaire (Cotrufo *et al.*, 2015). A la différence du stock de carbone organique, le stock d'azote total du sol a augmenté sous une espèce, *P. thonningii*, par rapport à l'aire hors canopée. Une raison probable serait que *P. thonningii* étant une légumineuse fixatrice d'azote, ses racines portent des nodules qui, lorsqu'elles meurent, enrichissent le stock d'azote du sol, de même que les racines fines mortes (De Taphin *et al.*, 1991 ; Saputra *et al.*, 2020).

Figure 5 : Régression simple entre les stocks de carbone et d'azote du sol et les paramètres des litières.

CRO= *Crossopteryx febrifuga*; PIL= *Piliostigma thonningii*; TER= *Terminalia schimperiana*.

Figure 5 : Relationship between soil carbon and nitrogen stocks and the litter parameters.

SCOS = stock de carbone organique du sol, SNTS = stock d'azote total du sol.



Les régressions n'ont pas montré d'influence significative des quantités annuelles de litières de feuilles tombées, ni des entrées annuelles de C et N à travers les litières sur le SCOS et le SNTS. Cela pourrait être dû au fait qu'une grande partie des litières qui tombent chaque année soient consommées par les feux de brousse auxquels la savane étudiée est soumise chaque année, entre décembre et février (Soro *et al.*, 2021). Ceci constitue un « manque à gagner » pour les stocks de C et de N du sol qui sont ordinairement alimentés par les litières après décomposition. En effet, dans le cadre de la politique de maintien de l'écosystème de savane dans la réserve de Lamto, la savane est expressément brûlée annuellement comme évoqué ci-dessus. Cette étude a montré que les pics de la production de litières sont atteints dans les mois de novembre et décembre, juste avant le passage des feux. Le feu survient au moment où environ 50 à 80 % des quantités annuelles de litières sont produites par les arbustes. C'est aussi une période où l'activité des décomposeurs est ralentie (saison sèche) de telle sorte que la litière produite n'a pas suffisamment de temps pour se décomposer et intégrer le sol pour consolider les stocks de carbone et d'azote. Par ailleurs, dans la savane de Lamto, les termites, qui jouent un rôle significatif dans la dynamique des litières, peuvent en consommer jusqu'à 6 à 7 t ha⁻¹ an⁻¹, soit 50 % du matériel végétal tombé au sol (Rouland-Lefèvre, 1994). Les *Macrotermitinae* aussi appelés « termites champignonnistes », plus abondants dans ces zones, sont même capables de recycler près de 95 % de la production annuelle de litière (Collins, 1981). En outre, les termites convoient les litières dans leurs habitats (nids ou buttes) ou ailleurs, ce qui gêne le transfert direct des résidus végétaux vers le sol sous les arbustes d'origine. Ce détournement des résidus a également été rapporté par Felix *et al.* (2018) en zone sahélienne au Burkina Faso après amendement du sol avec des fragments de bois raméaux. Ceci pourrait davantage expliquer le gain de carbone du sol plus faible sous l'espèce *T. schimperiana* dans la mesure où ses litières de feuilles sont d'une densité (12.6 g cm⁻²) plus faible que celle par exemple de *P. thonningii* (14.4 g cm⁻²) selon Konan *et al.* (2021).

CONCLUSION

Il ressort de cette étude que les productions annuelles de litières ne varient pas significativement entre les espèces d'arbustes étudiées. La qualité des litières, à travers leur teneur en N et leurs rapports C/N et N/P, n'est pas meilleure chez la légumineuse *P. thonningii* mais plutôt chez *C. febrifuga*. Sous toutes les trois espèces, le sol est passé du statut acide à légèrement acide. L'augmentation relative du stock de carbone organique du sol sous les arbustes par rapport à l'aire hors de la canopée était trois fois plus élevée avec *C. febrifuga* qu'avec les deux autres espèces. Celle du stock d'azote est apparue significative avec l'espèce *P. thonningii*. Les espèces *C. febrifuga*

et *P. thonningii* semblent donc présenter, respectivement, le meilleur potentiel d'amélioration des stocks de carbone et d'azote dans la savane de Lamto.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été partiellement soutenue par l'organisation WARA (West African Research Association) à travers une bourse attribuée à Louis N. Konan en 2015.

BIBLIOGRAPHIE

- Anderson J.M., Ingram J.S.I., 1993 - Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods. CAB International, 221 p.
- Bayala J., Sanou J., Bazié H.R., Coe R., Kalinganire A. et Sinclair F.L., 2020 - Regenerated trees in farmers' fields increase soil carbon across the Sahel. *Agroforestry Systems*, 94, pp. 401-415
- Bernhard-Reversat F., 1993 - Dynamics of litter and organic matter at the soil-litter interface in fast-growing tree-plantation on sandy ferallitic soils (Congo). *Acta Oecologica*, 14, pp. 179-195
- Chambers J., 2001 - Pinus monophylla establishment in expanding Pinus juniperus woodland: environmental conditions, facilitation and interacting factors. *Journal of Vegetation Science*, 12, pp. 27-40
- Collins N. M., 1981 - The role of termites in the decomposition of wood and leaf litter in southern guinea savanna of Nigeria. *Oecologia*, 51, pp. 389-399
- Cotrufo M. F., Soong J.L., Horton A.J., Campbell E.E., Haddix M.L., Wall D.H., Parton W.J., 2015 - Formation of soil organic matter via biochemical and physical pathways of litter mass loss. *Nature Geoscience*, 8, pp. 776-779
- De Tafin G., Zakra N., Pomier M., Braconnier S., Weaver R.W., 1991 - Recherche d'un système cultural stabilisé associant le cocotier à des arbres fixateurs d'azote. *Oléagineux*, 46, pp. 489-500
- Diallo M.B., Akponikpè P.B.I., Fatondji D., Abasse T., Agbossou E.K., 2019 - Long-term differential effects of tree species on soil nutrients and fertility improvement in agroforestry parklands of the Sahelian Niger. *Forests, Trees and Livelihoods*, 28, pp. 1-13
- Diallo M.D., Chotte J.L., Guissé A., Sall S.N., 2008 - Influence de la litière foliaire de cinq espèces végétales tropicales sur la croissance du mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) et du maïs (*Zea mays* L.). *Sécheresse*, 19, pp. 207-210
- Diby N.L., Hgaza V.K., Tie B.T., Assa A., Carsky R., Girardin O., Frossard E., 2009 - Productivity of yams (*Dioscorea* spp) as affected by soil fertility. *J. Animal Plant Sciences*, 5, pp. 494-506
- Dossa E.L., Diedhiou S., Compton J.E., Assigbetse K.B., Dick R.P., 2010 - Spatial patterns of P fractions and chemical properties in soils of two native shrub communities in Senegal. *Plant and Soil*, 327, pp. 185-198.
- Felix G.F., Clermont-Dauphin C., Hien E., Groot J.C.J., Penche A., Barthès B.G., Manlay R.J., Tittonell P., Cournac L., 2018 - Ramial wood amendments (*Ptilostigma reticulatum*) mitigate degradation of tropical soils but do not replenish nutrient exports. *Land Degradation and Development*, 29, pp. 2694-2706
- Genot V., Colinet G., Brahy V., Bock L., 2009 - L'état de fertilité des terres agricoles et forestières en région wallonne. *Biotechnologie, agronomie, société et environnement*, 13, pp. 121-138
- Gnahoua G.M., Oliver R., Nguessan K.A., Balle P., 2013 - Production et retombées minérales des litières chez des légumineuses arborées, utilisées en amélioration de jachères en zone forestière de Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 72, pp. 5800-5809

- Goma-Tchimbakala J., Ndoundou-Hockemba M., Kokolo A., Mboussou-Kimbangou A.N.S., 2005 - Variations des apports de litière et d'éléments minéraux dans les plantations de limba (*Terminalia superba*) au Congo. *Tropicultura*, 23, pp. 53-59
- Guo X., Luo Z., Sun O. J., 2021 - Long-term litter type treatments alter soil carbon composition but not microbial carbon utilization in a mixed pine-oak forest. *Biogeochemistry*, 152, pp. 327-343
- Hoosbeek M.R., Remme R.P., Rusch G.M., 2016 - Trees enhance soil carbon sequestration and nutrient cycling in a silvopastoral system in south-western Nicaragua. *Agroforestry Systems*, 92, pp. 263-273
- Konan L.N., N'Guessan D.J.A., Koné A.W., Sall S.N., Hien E., Yao-Kouamé A., 2021 - Qualité et vitesse de décomposition des litières des principaux arbustes natifs de la savane humide au Centre de la Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 33 (2), pp. 191-201
- Koné A.W., Kassin E.K., Ettien J.B.D., Konaté Z., Gnahoua G.M., 2020 - Le carbone des sols des zones de forêts et de savanes en Côte d'Ivoire : Impacts de *Chromolaena odorata* et des légumineuses. In : Chevalier T, Razafimbelo TM, Chapuis-Lardy L, Brossard M (Eds) Carbone des sols en Afrique. Impacts des usages des sols et des pratiques agricoles. FAO/IRD Editions, Rome/Marseille, pp. 191-208.
- Le Roux X., 1995 - Étude et modélisation des échanges d'eau et d'énergie sol-végétation-atmosphère dans une savane humide (Lamto, Côte d'Ivoire) Thèse de Doctorat écologie, Université Paris VI, 121 p.
- Lufata A., Bolte J., Wright D., Khouma M., Diedhiou I., Dick R.P., Kizito F., Dossa E., Noller J.S., 2008 - Regional carbon stocks and dynamics in native woody shrub communities of Senegal's Peanut Basin. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 128(1-2), pp. 1-11
- Morellato P.L., 1992 - Nutrient cycling in two South-east Brazilian forest. I. Litterfall and litter standing crop. *Journal of Tropical Ecology*, 8, pp. 205-215
- Murphy J. et Riley J.P., 1962 - A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytical Chemistry Acta*, 27, pp. 31-36
- N'Dri A.B., Koné A.W., Loukou S.K.K., Barot S., Gignoux J., 2019 - Carbon and nutrient losses through biomass burning, and links with soil fertility and yam (*Dioscorea alata*) production. *Experimental Agriculture*, 55, pp. 738-751
- N'Dri A.B., Soro T.D., Gignoux J., Dosso K., Koné M., N'Dri J.K., Koné N.A., Barot S., 2018 - Season affects fire behavior in annually burned humid savanna of West Africa. *Fire Ecology*, 14, pp. 5
- Ola-Adams B.A., Egunjobi J.K., 1992 - Effects of spacing on litterfall and nutrient contents in stands of *Tectona grandis* Linn. f. and *Terminalia superba* Engler et Diels. *African Journal of Ecology*, 30, pp. 18-32
- Oorts K., Vanluwe B., Merckx R., 2003 - Cation exchange capacity of organic matter in a Ferric Lixisol with different organic matter inputs. *Agriculture Ecosystem and Environment*, 100, pp. 161-171
- Orwa C., Mutua A., Kindt R., Jamnadass R., Anthony S., 2009 - Agroforestry Database: a tree reference and selection guide version 4.0, (<http://www.worldagroforestry.org/sites/treedbs/treedatabases.asp>)
- Osei A.K., Kimaro A.A., Peak D., Gillespie A.W., Van Rees K.C.J., 2017 - Soil carbon stocks in planted woodlots and Ngitili systems in Shinyanga, Tanzania. *Agroforestry Systems*, 92, pp. 251-262
- Pieri C., 1992 - Fertility of soil: a future for farming in the West Africa savannah. Berlin, Springer-Verlag, 348 p.
- Rouland-Lefèvre C., 1994 - Les mécanismes de production de méthane par les termites en forêt tropicale. *Le Courrier de l'environnement de l'INRA*, 23, pp. 57-62
- Saputra D.D., Sari R.R., Hairiah K., Roshetko J.M., Suprayogo D., van Noordwijk M., 2020 - Can cocoa agroforestry restore degraded soil structure following conversion from forest to agricultural use? *Agroforestry Systems*, 94, pp. 2261-2276.
- Simioni G., Gignoux J., Le Roux X., Appé R., Benest D., 2003 - Spatial and temporal variation in leaf area index, specific leaf area, and leaf nitrogen of two co-occurring savanna tree species. *Tree Physiology*, 24(2), pp. 205-216
- Songwe N.C., Fasehum F.W., Okali D.U.U., 1988 - Litterfall and productivity in a tropical rainforest, southern Bakundu Forest Reserve, Cameroon. *Journal of Tropical Ecology*, 4, pp. 25-37
- Soro T.D., Koné M., N'Dri A.B., N'Datchoh E.T., 2021 - Identified main fire hotspots and seasons in Côte d'Ivoire (West Africa) using MODIS fire data. *South African Journal of Sciences*, 117, pp. 1-14
- Soro Y., N'Dri A.B., Bakayoko A., Gignoux J., 2018 - Analyse de la végétation dans un écotone forêt-savane d'Afrique de l'Ouest dans un contexte de boisement des savanes. *Revue de l'Environnement et de la Biodiversité-PASRES*, 3, pp. 54-72
- Soussana J-F., Lutfalla S., Ehrhardt F., Rosenstock T., Lamanna C., Havlík P., Richards M., Wollenberg E., Chotte J-L., Torquebiau E., Ciais P., Smith P., Lal R., 2019 - Matching policy and science: rationale for the '4 per 1000 - soils for food security and climate' Initiative. *Soil Tillage Res*, 188, pp. 3-15
- Switzer G.L., Nelson L.E., 1972 - Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation ecosystems: the first twenty years. *Soil Science Society of America*, 36, pp. 143-147
- Thomas L.J., 2010 - Soil pH and the availability of plant nutrients. International Plant Nutrition Institute (IPNI) 3500 Parkway Lane, Suite 550 Norcross, Georgia 30092-2806 USA. *Plant Nutrition Today*, n°2. www.ipni.net
- Tiémoko D.T., Yoroba F., Diawara A., Kouadio K., Kouassi B.K., Yapo A.L.M., 2020 - Understanding the local carbon fluxes variations and their relationship to climate conditions in a Sub-Humid Savannah-Ecosystem during 2008-2015: Case of Lamto in Cote d'Ivoire. *Atmospheric and Climate Sciences*, 10, pp. 186-205.
- Tubiello F.N., Salvatore M., Ferrara A.F., House J., Federici S., Rossi S., Biancalani R.D., Jacobs H., Flammini A., Proserpi P., Cardenas-Galindo P., Schmidhuber J., Sanz Sanchez M.J., Srivastava N., Smith P., 2015 - The contribution of agriculture, forestry and other Land use activities to global warming, 1990-2012. *Global Change Biology*, 21, pp. 2655-2660
- Van Straaten O., Corre M.D., Wolf K., Tchienkoua M., Cuellar E., Matthews R.B., Veldkamp E., 2015 - Conversion of lowland tropical forests to tree cash crop plantations loses up to one-half of stored soil organic carbon. *PNAS*, 112, pp. 956-960.
- Veldkamp E., Schmidt M., Powers J.S., Corre M.D., 2020 - Deforestation and reforestation impacts on soils in the tropics. *Nature Reviews, Earth & Environment*, 1 (11), pp. 1-16
- Yao M.K., Koné A.W., Otinga A.N., Kassin E.K., Tano Y., 2021 - Carbon and nutrient cycling in tree plantations vs. natural forests: implication for an efficient cocoa agroforestry system in West Africa. *Regional Environmental Change*, 21, pp. 44
- Zhang H., Yuan W., Dong W., Liu S., 2014 - Seasonal patterns of litterfall in forest ecosystem worldwide *Ecological Complexity*, 20, pp. 240-247
- Zhou G., Xu S., Ciais P., Manzoni S., Fang J., Yu G., Tang X., Zhou P., Wang W., Yan J., Wang G., Ma K., Li S., Du S., Han S., Ma Y., Zhang D., Liu J., Liu S., Chu G., Zhang Q., Li Y., Huang W., Ren H., Lu X., Chen X., 2019 - Climate and litter C/N ratio constrain soil organic carbon accumulation. *National Science*, 6, pp. 746-757.