

Les jachères à base de *Chromolaena odorata* (Asteraceae) et de légumineuses ont-elles les mêmes potentialités agronomiques?

E. F. Edoukou, A. W. Koné et J. E. Tondoh

UFR des Sciences de la Nature / Centre de Recherche en Ecologie, Université Nangui Abrogoua, 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

*: Auteur correspondant: konearmand@yahoo.fr; armand.kone@ird.fr

RÉSUMÉ

Les jachères naturelles à *Chromolaena odorata* ont un effet améliorant sur la fertilité du sol et sont bien intégrées dans les systèmes de production agricole à faibles intrants en Afrique de l'Ouest et du Centre. Dans le contexte du raccourcissement de la durée des jachères en Côte d'Ivoire, la question de l'opportunité de remplacer *C. odorata* par les légumineuses est posée depuis longtemps. La présente étude a pour objectif de contribuer à répondre à cette question en comparant, en milieu paysan, les paramètres de fertilité du sol de parcelles à *C. odorata* et à légumineuses âgées de deux ans. Deux systèmes, *C. odorata* vs. *Lablab purpureus* (Système 1) et *C. odorata* vs. *Cajanus cajan* (Système 2) ont été étudiés. Chaque système était répété sur trois sites distincts, les deux types de parcelles étant contiguës et les mesures effectuées concomitamment. Les paramètres examinés sont les teneurs du sol en carbone organique, en azote total et en phosphore disponible, le pH, la densité apparente du sol, l'humidité du sol, l'abondance et la diversité des vers de terre. En général, au bout de deux années, les paramètres de fertilité sous les légumineuses n'ont pas montré de différences significatives par rapport à ceux sous *C. odorata*, à l'exception de la disponibilité du phosphore qui s'est améliorée sous les légumineuses dans les deux systèmes et de la biomasse des vers de terre épigés, dans le Système 2. La question de l'opportunité de remplacer la jachère naturelle à *C. odorata* par les jachères à légumineuses au centre de la Côte d'Ivoire apparaît donc fondée si l'on s'en tient à une durée de deux années comme objectif. La qualité des litières de *C. odorata* pourrait expliquer en partie ces résultats qui demandent toutefois confirmation à travers une étude sur une durée plus longue (3 à 5 ans) menée sur un plus grand nombre de sites et prenant en compte d'autres paramètres comme la CEC et la texture du sol.

Mots clés

Fertilité du sol, *Chromolaena odorata*, légumineuse, réduction de la durée des jachères, agriculture à faible intrants, savane guinéenne.

SUMMARY**ARE CHROMOLAENA ODORATA (ASTERACEAE)- AND LEGUME-BASED FALLOWS COMPARABLE IN TERMS OF AGRONOMIC POTENTIALS?**

Chromolaena odorata fallows are well integrated in low input farming systems in West and Central Africa but they are limited by the long time needed to sufficiently restore soil fertility. This study was undertaken in the forest-savannah transition zone of Côte d'Ivoire in order to see whether it's worth replacing them by legume-based fallows in the framework of fallow length shortening. Trials took place in farmer field conditions at six distinct sites, involving two comparison systems: *C. odorata* vs. *Lablab purpureus* (System 1) and *C. odorata* vs. *Cajanus cajan* (System 2). Each of the systems was established at three distinct sites where *C. odorata* and the legume plots were laid side by side and measurements were conducted concurrently. Soil chemical (pH, organic C, Total N, available P) physical (bulk density, moisture) and biological (earthworm density, biomass and diversity) parameters were investigated. After two years, the investigated soil parameters did not show any significant difference between *C. odorata* and the legumes regardless the system, except for available P which was increased under legumes in the two systems and the biomass of earthworms from the detritivore feeding group which was increased under *C. cajan* (System 2) only. Litter quantity and quality probably accounted for these results. If the targeted fallow length in the region is two years, then it is apparent that it's not worth growing legume (which occasions supplementary time labour) as an alternative to *C. odorata* fallow. However, further studies involving more sites and conducted over a longer period are needed to confirm these findings.

Key-words

Soil fertility, *Chromolaena odorata*, legumes, fallow length shortening, low-input agriculture, guinean savannah.

RESUMEN**¿TIENEN LOS BARBECHOS CON BASE DE CHROMOLAENA ODORATA (ASTERACEAE) Y DE LEGUMINOSAS LAS MISMAS POTENCIALIDADES AGRONÓMICAS?**

Los barbechos naturales con *Chromolaena odorata* tienen un efecto de mejora sobre la fertilidad del suelo y están bien integrados en los sistemas de producción agrícola con pocos insumos en África del Oeste y del Centro. En el contexto de la reducción de la duración del barbecho en Costa de Marfil, la pregunta de la oportunidad de cambiar *C. odorata* por las leguminosas se plantea desde mucho tiempo. Este estudio tiene como objetivo contribuir a responder a esta pregunta comparando en medio paisano los parámetros de fertilidad del suelo de parcelas con *C. odorata* y con leguminosas de dos años de edad. Se estudiaron dos sistemas *C. odorata* vs. *Lablab purpureus* (Sistema 1) et *C. odorata* vs. *Cajanus cajan* (Sistema 2). Cada sistema se repitió en tres lugares distintos, los dos tipos de parcelas están contiguas y las medidas realizadas de manera concomitante. Los parámetros examinados están los contenidos en carbono orgánico, en nitrógeno total y en fosforo disponible, el pH, la densidad aparente, la humedad del suelo, la abundancia y la diversidad de lombrices. En general, después de dos años, los parámetros de fertilidad bajo leguminosas no mostraron diferencias significativas en comparación a los bajo *C. odorata*, con excepción de la disponibilidad en fosforo que se mejoró bajo leguminosas en los dos sistemas y de la biomasa de lombrices epigeos, en el sistema 2. La pregunta de la oportunidad de substituir el barbecho natural a *C. odorata* por barbechos a leguminosas en el centro de la Costa de Marfil aparece entonces fundada si el objetivo está una duración de dos años. La calidad de las literas de *C. odorata* podría explicar en parte estos resultados que necesitan confirmación a través de un estudio sobre una duración más larga (3 a 5 años) con un numero más grande de lugares.

Palabras clave

Fertilidad del suelo, *Chromolaena odorata*, leguminosas, reducción de la duración de los barbechos, agricultura con pequeños insumos, sabana guineana.

La zone de contact forêt-savane au centre de la Côte d'Ivoire est caractérisée par une faible valeur agronomique des sols (Riou, 1974, Koné *et al.*, 2012a). Dans cette région, les paysans préfèrent les forêts pour l'établissement de leurs champs mais avec la raréfaction de ces dernières, les brousses à *Chromolaena odorata* qui sont des formations secondaires issues de la mise en culture des forêts et des savanes (boisées) et devenues une composante principale du paysage sont les plus cultivées. Certains paysans ne disposant pas suffisamment de terres sont obligés d'interrompre la jachère après seulement deux années, avec pour conséquence des rendements faibles, notamment avec la culture d'igname, l'aliment de base dans la région. Cette culture est exigeante en éléments nutritifs, notamment N et K (Diby *et al.*, 2009) et intervient en tête d'assolement. Une durée de jachère naturelle d'au moins 4-5 ans donne des rendements satisfaisants mais apparaît trop longue dans un contexte où le besoin en terres arables est en train de dépasser l'offre. Considérant les capacités des légumineuses herbacées et arbustives à améliorer en un temps plus court la fertilité des sols dégradés et des sols pauvres des savanes, leur utilisation a été préconisée comme alternative dans la région (Koné, 2009), comme elle l'a été dans bien des contrées tropicales (Kolawole *et al.*, 2003; Okpara *et al.*, 2005). Toutefois, la jachère à base de légumineuses ne pourrait prospérer que si elle est plus performante en matière d'amélioration du sol et plus rentable que la jachère à *C. odorata*.

Originnaire d'Amérique latine, *Chromolaena odorata* (L) King and Robinson (Asteraceae) a été introduite en Afrique, précisément au Nigeria vers 1937, pour ensuite se répandre en Afrique de l'Ouest et du Centre (Obatolu et Agboola, 1993). C'est une espèce pérenne à fort pouvoir de dispersion et qui colonise rapidement les espaces perturbés en formant des couverts denses de 1,5 à 2,0m de hauteur (Roder *et al.*, 1995). Ces brousses sont aujourd'hui bien intégrées dans les systèmes de production agricole à faibles intrants en Afrique de l'ouest et du Centre (Slaats, 1995; Koutika *et al.*, 2004, Bouadi, 2009). Au centre de la Côte d'Ivoire, 80 % des paysans cultivent ces brousses (Bouadi, 2009). Obatolu et Agboola (1993) au Nigeria ont rapporté que l'espèce augmente rapidement la teneur du sol en matière organique. Quansah *et al.* (2001) au Ghana et Koutika *et al.* (2004) au Cameroun ont trouvé que l'impact de *C. odorata* sur la matière organique était comparable à celui de la légumineuse *Pueraria phaseoloides*. Récemment, dans une étude comparative de l'état de fertilité des sols dans différents faciès de végétation cultivés au centre de la Côte d'Ivoire, Koné *et al.* (2012a) ont trouvé que l'invasion des terres par *C. odorata* conduisait à une amélioration significative de la disponibilité des éléments nutritifs et de l'activité biologique du sol. La teneur du sol en phosphore assimilable et les activités enzymatiques (phosphatase) étaient 2 à 3 fois supérieures à celles sous savanes arbustives et herbeuses.

L'intégration des jachères améliorées à base de légumineuses dans les systèmes agricoles a été largement promue

comme l'une des technologies appropriées pour l'amélioration à court terme de la fertilité du sol et des rendements des cultures dans les zones de savanes d'Afrique de l'Ouest (Fofana *et al.*, 2005; Okpara *et al.*, 2005; Bilgo *et al.*, 2007). Leur capacité à fixer l'azote atmosphérique et à produire une forte biomasse en un temps relativement court et des litières de bonne qualité explique leurs effets sur la fertilité du sol. Malgré ces avantages, l'adoption des légumineuses par les paysans demeure limitée à cause du travail supplémentaire que leur mise en place occasionne. Aussi, la question de l'opportunité de remplacer *C. odorata* par les légumineuses dans les jachères s'est-elle posée dans le milieu de la recherche agronomique en Côte d'Ivoire (Ballé, *communication personnelle*) depuis un certain temps. Pour une meilleure appréciation de cette question, une étude comparative intégrant aussi bien les paramètres physiques, chimiques que biologiques du sol semble la plus indiquée. Malheureusement, les études antérieures relatives à cette question n'ont pas considéré l'approche holistique de la qualité du sol, la composante biologique manquant malgré sa contribution majeure dans le fonctionnement du sol. Les organismes du sol influencent la disponibilité des éléments nutritifs pour les plantes (Lavelle, 1997), la production primaire, la séquestration du carbone, la régulation de la structure du sol et l'infiltration de l'eau dans le sol (Scheu, 2003; Lavelle *et al.*, 2006). Ainsi, leur rôle gagne plus d'importance dans les sols pauvres. Parmi les organismes décomposeurs du sol, les vers de terre sont les plus importants (Edwards et Bohlen, 1996). Ils régulent également l'activité et la structure des communautés microbiennes (Tao *et al.*, 2009).

Dans cette étude sont comparés l'impact des brousses à *C. odorata* et celui des jachères à légumineuse herbacée, *Lablab purpureus* et arbustive, *Cajanus cajan*, âgées de deux ans, sur les paramètres physiques et chimiques du sol et sur les communautés de vers de terre. Elle permettra, dans une certaine mesure, de juger de l'opportunité de remplacer *C. odorata* par les légumineuses dans les jachères dans l'optique du raccourcissement de leur durée à 2 ou 3 ans, pour une meilleure gestion de la fertilité des terres aux niveaux régional et sous-régional.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Zone d'étude

L'étude s'est déroulée aux alentours du village d'Ahérou-2 (6°10-6°15 N et 4°55-5°00 O) dans la zone de contact forêt-savane au Centre de la Côte d'Ivoire. La végétation est une mosaïque de forêts, de savanes (arborée, arbustive et herbeuse) et de brousses à *C. odorata*. Les espèces de graminées les plus représentées sont *Hyparrhenia diplandra*, *Hyparrhenia smithiana*, *Andropogon schirensis*, *Imperata cylindrica* sur sols bien drainés et *Loudetia simplex* sur sols hydromorphes. La strate arbustive est dominée par les espèces telles que *Bridelia ferruginea*, *Cros-*

sopteryx febrifuga, *Cussonia arborea* et *Piliostigma thonningii*, et la strate arborée, par le palmier rônier, *Borassus aethiopum*, espèce caractéristique de la région.

Le régime pluviométrique est du type subéquatorial, avec quatre saisons: (i) une grande saison des pluies de mars à juillet, (ii) une petite saison sèche en août, (iii) une petite saison des pluies de septembre à novembre et (iv) une grande saison sèche, de décembre à février. Les précipitations moyennes annuelles oscillent autour de 1200 mm. La température est généralement élevée et se stabilise autour de 27 °C.

Les sols sont majoritairement des Ferralsols (Classification FAO) moyennement désaturés (Riou, 1974) reposant sur du matériel d'origine granitique. Les couches supérieures sont généralement de texture sableuse (60 à 80 %). Les argiles sont constituées d'illites et de kaolinites faiblement cristallisées, avec une faible capacité d'adsorption.

Dispositif d'étude et description des parcelles

Cette étude a été menée en milieu paysan, de juin 2009 à juin 2011, sur six sites expérimentaux de dimensions 42 m x 31 m distribués dans le domaine cultivé autour du village d'Ahémou-2 (préfecture de Taabo). Ces sites ont tous été délimités dans des parcelles nouvellement mises en jachère (environ 1 an), dominées par *C. odorata* et reposant sur un même type de sol: couleur jaune, texture sablo-argileuse à argilo-sableuse et contenant, de texture sablo-argileuse à argilo-sableuse et contenant environ 15 % d'argiles dans l'horizon de surface (Koné *et al.*, 2012a). Ceci permettait de considérer les sites comme des répétitions. Avant la mise en jachère, ces sites avaient été cultivés pendant trois années selon la succession traditionnelle suivante (Koné *et al.*, 2012b): en année 1, l'igname (*Dioscorea spp*) associée au plantain (*Musa sp*), en année 2, le plantain associé aux plantes maraîchères et, en année 3, le plantain associé au manioc (*Manihot esculenta*). Trois sites ont été utilisés pour la comparaison entre *C. odorata* et *C. cajan* (Système 1) et trois autres pour la comparaison entre *C. odorata* et *L. purpureus* (Système 2). Chacun des sites était subdivisé en deux parcelles 20 m x 15 m couvertes, l'une, par la jachère naturelle à *C. odorata* et l'autre, par la jachère à légumineuses pendant deux années. Au début des expérimentations, la couverture végétale préexistante dominée par *C. odorata* a été fauchée sur les deux parcelles et les résidus organiques laissés en décomposition à la surface du sol. Les graines de légumineuses ont été semées pendant la saison pluvieuse (juin 2009) à un écartement de 0,5 x 0,5 m.

Les modifications induites par les légumineuses par rapport à *C. odorata* ont été évaluées en adoptant l'approche « synchrone » qui consiste en un échantillonnage simultané sur les deux parcelles adjacentes à un temps donné (deux ans dans le cas de la présente étude) et à comparer les paramètres du sol. Les caractéristiques du sol traité (légumineuse) sont considérées comme initialement semblables à celles sous le témoin (*C. odorata*) et

les changements observés au bout d'une période donnée (deux ans), dus au traitement (Bernoux *et al.*, 2006). Même si ce postulat n'est pas toujours vérifié, la taille relativement petite des sites dans cette étude nous permet de le considérer. Ce type d'échantillonnage a déjà été utilisé en région tropicale pour étudier l'influence de plantes invasives ou introduites sur le sol (Koutika *et al.*, 2004; Dinesh *et al.*, 2004; Osunkoya et Perrett, 2011).

Biomasse végétale et analyses chimiques

Deux années après la mise en place des parcelles, la biomasse végétale a été échantillonnée à l'aide d'un quadrat d'1 m² en trois points distincts sur chaque parcelle. Les litières ont été séparées du matériel végétal frais; ces fractions ont ensuite été séchées à l'étuve à 60 °C jusqu'à masse constante.

Les analyses chimiques ont été effectuées sur des échantillons composites de litière de feuilles, obtenus en mixant les trois échantillons. Les teneurs en carbone et en azote ont été déterminées par combustion sèche de 4 mg de poudre de feuille au CHN_autoanalyzer (EA1112 Thermo Finnigan Series, France). La teneur en phosphore (P) a été déterminée 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). Les bases échangeables ont été extraites à l'acétate d'ammonium tamponné (1N; pH=7; rapport litière/solution de 1/20; g:ml) et dosées au spectrophotomètre d'absorption atomique (VARIAN SPECTRAA 220 SF model) (Anderson et Ingram, 1993).

Echantillonnage et analyses chimiques du sol

Les échantillons de sol ont été prélevés en juin 2011, à l'aide d'une tarière dans la strate 0-10 cm, en cinq points distincts sur chaque parcelle. Pour une parcelle donnée, les cinq échantillons ont été mélangés pour obtenir un échantillon composite qui a ensuite été séché à l'air ambiant pendant une semaine avant d'être soumis aux analyses chimiques.

La teneur en carbone organique a été déterminée par la méthode Anne modifiée (Nelson et Sommers, 1982). L'azote total a été extrait selon la méthode de Nelson et Sommers (1980) puis dosé à travers un Technicon autoanalyzer (Technicon Industrial Systems, 1977). Le phosphore assimilable a été extrait selon la méthode Bray-1 (Olsen and Sommers 1982) et dosée à travers un Technicon Autoanalyzer (Technicon Industrial Systems, 1977). Les bases échangeables (Ca, Mg, K) ont été extraites à l'acétate d'ammonium et dosées par absorption atomique (Thomas, 1982). Le pH eau a été déterminé à l'aide d'un pH-mètre à électrodes sur une suspension sol/eau dans un rapport 1/2,5. La densité apparente et l'humidité du sol ont été déterminées sur des carottes de terre prélevées avec un cylindre (diamètre: 5 cm, hauteur: 10 cm) puis séchées à l'étuve à 105 °C pendant 48 heures.

Echantillonnage et identification des vers de terre

Les vers de terre ont été prélevés au même moment que les échantillons de sol, vers la fin de la grande saison des pluies (fin juin 2011) selon la méthode TSBF (Anderson et Ingram, 1993). Dans chaque parcelle, cinq monolithes de terre de dimensions 25 cm x 25 cm x 30 cm ont été prélevés puis les vers de terre en ont été extraits et conservés dans du formaldéhyde à 4%. Les individus ont été identifiés jusqu'au niveau spécifique, mais lorsque cela s'est avéré impossible, ils ont été classés par morphotypes. Ils ont ensuite été comptés et pesés afin de déterminer leur abondance. La diversité (richesse spécifique et indice de Shannon-Weaver) a été estimée. Enfin, ils ont été classés selon leur catégorie écologique (épigé, endogé, anécique) et leur régime trophique (détritivateur, géophage poly-, méso- et oligohumique).

Traitement des données et analyse statistique

La diversité des vers de terre pour chaque traitement ou type de jachères a été étudiée à travers la richesse spécifique (nombre moyen d'espèces (S), nombre cumulé d'espèces) et l'indice de diversité de Shannon-Weaver (H') (Pielou, 1966).

Pour tous les paramètres de sol étudiés, la comparaison des moyennes entre parcelles de légumineuses et de *C. odorata* a été faite à l'aide du test de Wilcoxon qui s'applique aux échantillons appariés, au seuil de $\alpha = 5\%$. Ce test a été réalisé à l'aide du logiciel Statistica 6.0. (STATISTICA, Tulsa).

RÉSULTATS

Biomasse et qualité des litières

Dans le système 1, la quantité des litières est significativement plus élevée sous la légumineuse que sous *C. odorata*, avec une teneur en C plus faible (tableau 1). Les litières de *L. purpureus* sont plus riches en Ca^{2+} et en K^+ mais moins riches en P et en Mg^{2+} que celles de *C. odorata*. Les autres paramètres ne montrent pas de différences significatives. Dans le système 2, la quantité de litière est également plus élevée sous la légumineuse que sous *C. odorata*, mais les litières de *C. odorata* sont plus riches en Ca^{2+} et en Mg^{2+} . Leur ratio C/P est significativement plus faible que celui des litières de *C. cajan*. Les autres paramètres ne montrent pas de différences significatives.

Caractéristiques du sol

Seule la teneur du sol en P assimilable montre une différence significative ($p = 0.04$) entre parcelles de légumineuses et de *C.*

odorata, dans les deux systèmes (tableau 2). Le pH et les teneurs en C organique et N total ont connu une augmentation non significative sous les légumineuses. De même, la densité apparente du sol n'a pas changé. L'humidité du sol a tendance à être plus élevée sous *C. odorata*.

Vers de terre

Composition spécifique et catégories écologiques de la communauté des vers de terre

Dans l'ensemble, 14 espèces et morphotypes de vers de terre ont été récoltés dans les différentes parcelles. Ces espèces sont regroupées en deux familles, celle des Acanthodrilidae et celle des Eudrilidae (tableau 3).

Diversité des vers de terre

Le nombre moyen d'espèces et le nombre cumulé d'espèces de vers de terre sous les légumineuses sont semblables à ceux sous *C. odorata* dans les deux systèmes (tableau 4). Il en est de même de l'indice de Shannon-Weaver malgré une valeur légèrement plus élevée sous *C. odorata*, notamment dans le système 2.

Abondance des vers de terre

Les densités et les biomasses totales de vers de terre enregistrées sous les légumineuses ne montrent pas de différences significatives avec celles sous les témoins respectifs à *C. odorata*, malgré une tendance à la supériorité sous les premières (figure 1a et figure 1b).

En considérant les groupes écologiques, dans le système 1, aucune différence significative n'est apparue entre *L. purpureus* et *C. odorata* au niveau des densités comme au niveau de la biomasse (figure 2a et 2b). Dans le système 2, une différence entre *C. cajan* et *C. odorata* n'est apparue qu'au niveau de la biomasse des détritivateurs ($p = 0.03$) avec une valeur plus élevée dans la parcelle de légumineuse (figure 3a et figure 3b).

DISCUSSION

Cette étude comparative a porté sur des parcelles âgées de deux ans, la durée visée par les études de raccourcissement de la durée des jachères dans la zone de contact forêt-savane de Côte d'Ivoire. Dans ce laps de temps, un faible nombre de paramètres de fertilité du sol étudiés ont été améliorés par les jachères à légumineuses relativement aux brousses à *C. odorata*: ce sont la biomasse des vers de terre, notamment les détritivateurs, dans le système 2 (*C. cajan* vs. *C. odorata*) et la disponibilité du phosphore dans le sol.

L'augmentation de la biomasse des vers de terre épigés (détritivateurs) sous *C. cajan* par rapport à *C. odorata* (Système 2) pourrait être due à la présence à la surface du sol d'une quantité

Tableau 1 - Biomasse et caractéristiques chimiques des litières dans les différentes parcelles après deux années d'expérience (moyenne \pm ES, n=3). *différence significative au seuil $\alpha = 0,05$.

Table 1 - Leaf litter biomass and quality parameters (mean \pm SE, n=3). * Significant difference at the $\alpha = 0.05$ level.

Paramètres des litières	Système 1			Système 2		
	<i>L. purpureus</i>	<i>C. odorata</i>	<i>p</i>	<i>C. cajan</i>	<i>C. odorata</i>	<i>p</i>
Biomasse (kg ha ⁻¹)	816,5 \pm 94	219,6 \pm 54,3	*	2179,5 \pm 227,2	247,9 \pm 73,5	*
C (g kg ⁻¹)	416,5 \pm 5,6	438,3 \pm 7,7	*	454,5 \pm 6,2	434,2 \pm 10	ns
N (g kg ⁻¹)	21,2 \pm 2,1	17,6 \pm 0,8	ns	17,8 \pm 0,7	18,4 \pm 0,3	ns
P (g kg ⁻¹)	1,1 \pm 0,1	1,6 \pm 0,1	*	0,8 \pm 0,1	1,2 \pm 0,1	ns
Ca (g kg ⁻¹)	28,7 \pm 2,7	23,0 \pm 0,4	*	17,6 \pm 1,5	21,0 \pm 1,0	*
Mg (g kg ⁻¹)	3,8 \pm 0,1	7,9 \pm 1,1	*	3,5 \pm 0,6	6,8 \pm 0,4	*
K (g kg ⁻¹)	9,6 \pm 1,6	3,3 \pm 0,7	*	3,7 \pm 0,3	4,1 \pm 1,0	ns
C/N	20,2 \pm 1,7	25,0 \pm 1,1	ns	25,8 \pm 1,4	23,7 \pm 0,9	ns
C/P	393,5 \pm 25,4	281,1 \pm 52,1	ns	591,9 \pm 94	354,4 \pm 23,3	*

Tableau 2 - Caractéristiques chimiques et physiques du sol deux années après la mise en place des parcelles (moyenne \pm ES, n=3). *différence significative au seuil $\alpha = 0,05$.

Table 2 - Main soil characteristics two years after of experiment set up (mean \pm SE, n=3). *Significant difference at the $\alpha = 0.05$ level.

Paramètres du sol	Système 1			Système 2		
	<i>L. purpureus</i>	<i>C. odorata</i>	<i>p</i>	<i>C. cajan</i>	<i>C. odorata</i>	<i>p</i>
pH _{eau}	7,6 \pm 0,2	7,1 \pm 0,2	ns	7,2 \pm 0,5	7,3 \pm 0,5	ns
C total (g kg ⁻¹)	26,9 \pm 3,5	22,7 \pm 1,7	ns	21,3 \pm 1,2	18,6 \pm 3,1	ns
N total (g kg ⁻¹)	2,7 \pm 0,4	2,3 \pm 0,2	ns	2,1 \pm 0,2	1,8 \pm 0,2	ns
C/N	10,2 \pm 0,3	10,1 \pm 0,1	ns	10,4 \pm 0,1	10,4 \pm 0,4	ns
P disponible (mg kg ⁻¹)	15,3 \pm 2,0	11,7 \pm 1,5	*	15,7 \pm 3,6	10,7 \pm 2,6	*
Densité apparente (g.cm ⁻³)	1,4 \pm 0,9	1,2 \pm 0,8	ns	1,4 \pm 0,9	1,4 \pm 0,1	ns
Taux Humidité (%)	16,1 \pm 3,1	15,3 \pm 4,4	ns	15,3 \pm 2,3	12,6 \pm 1,2	ns

de litière plus importante (González et Zou, 1999; Norgrove *et al.*, 2009, Koné *et al.*, 2012b, 2012c). En effet, les individus de cette catégorie écologique, de par leur caractéristique trophique, sont fortement tributaires des résidus organiques. Cependant, dans le système 1, malgré la quantité de litières plus élevée et moins riche en carbone sous *L. purpureus*, la densité des vers de terre (globale et par catégorie écologique) n'a pas montré de différence significative avec *C. odorata*. Cela pourrait être attribué, en partie, à la teneur plus élevée en calcium des litières de *L. purpureus* par rapport à celles de *C. odorata*, cet élément comptant dans la rigidité des litières de feuilles. La présence conjuguée d'une quantité de litière et d'une abondance de vers de terre plus importantes sous les légumineuses a des implications sur le fonctionnement du sol: l'intensification du processus d'améliora-

tion de la fertilité à travers une activité de décomposition et une accumulation plus accrues de la matière organique dans le sol, une activité microbienne plus accrue, une amélioration de la disponibilité des éléments nutritifs, une amélioration des paramètres physiques du sol, une meilleure assimilation des nutriments par les cultures, etc. (Blanchart *et al.*, 1997; Fonte *et al.*, 2009; Le Bayon et Milleret, 2009). Le début d'augmentation des teneurs du sol en C et N sous les légumineuses par rapport à *C. odorata* dans les deux systèmes est probablement une conséquence de cette intensification. Cette tendance laisse entrevoir, pour des jachères d'une durée supérieure à deux ans, un impact plus marqué des légumineuses sur la fertilité du sol.

Alors que les litières de feuilles de *C. odorata* sont plus riches en P, la disponibilité de cet élément dans le sol est meil-

Familles	Espèces	Catégories écologiques	Système 1		p	Système 2		p
			<i>L. purpureus</i>	<i>C. odorata</i>		<i>C. cajan</i>	<i>C. odorata</i>	
Acanthodrilidae	<i>Dichogaster leroyi</i> Omodeo, 1958	Epigé détritivore	26,7 ± 11,6	30,7 ± 15,0	ns	16,0 ± 8,3	4,0 ± 2,3	ns
	<i>Dichogaster Baeri</i> Sciacchitano, 1952	Epigé détritivore	22,7 ± 11,6	12,0 ± 6,9	ns	1,3 ± 1,3	8,0 ± 4,6	ns
	<i>Dichogaster saliens</i> Beddard, 1893	Epigé détritivore	6,7 ± 4,8	12,0 ± 4,0	ns	20,0 ± 10,1	9,3 ± 2,7	ns
	<i>Dichogaster papillosa</i> Omodeo, 1958	Epigé détritivore	12,0 ± 4,0	8,0 ± 2,3	ns	4,0 ± 0,0	5,3 ± 1,3	ns
	<i>Dichogaster notabilis</i> Omodeo, 1958	Epigé détritivore	17,3 ± 11,4	6,7 ± 4,8	ns	2,7 ± 1,3	—	ns
	<i>Dichogaster ehrhardti</i> Michaelson, 1898	Epigé détritivore	8,0 ± 4,0	2,7 ± 1,3	ns	—	1,3 ± 1,3	ns
	<i>Dichogaster</i> sp.	Epigé détritivore	—	9,3 ± 9,3	ns	—	—	—
	<i>Millsonia omodeoi</i> Sims, 1986	Endogé mésohumique	24,0 ± 10,1	21,3 ± 1,3	ns	32,0 ± 4,6	29,3 ± 4,8	ns
	<i>Millsonia schlegeli</i> Horst, 1884	Endogé mésohumique	5,3 ± 2,7	8,0 ± 8,0	ns	5,3 ± 5,3	12,0 ± 6,9	ns
	<i>Millsonia ghanensis</i> Sims, 1965	Endogé oligohumique	—	—	—	—	1,3 ± 1,3	ns
	<i>Dichogaster terrae-nigrae</i> Omodeo & Vaillaud, 1967	Endogé oligohumique	1,3 ± 1,3	2,7 ± 1,3	ns	1,3 ± 1,3	—	ns
	<i>Agastrodrilus opisthogynus</i> Omodeo & Vaillaud, 1967	Endogé oligohumique	—	1,3 ± 1,3	ns	—	—	—
Eudrilidae	<i>Stuhlmannia zielae</i> Omodeo, 1963	Endogé polyhumique	274,7 ± 67,8	221,3 ± 80,7	ns	172,0 ± 36,7	101,3 ± 74,2	ns
	<i>Stuhlmannia palustris</i> Omodeo & Vaillaud, 1967	Endogé polyhumique	53,3 ± 3,5	49,3 ± 17,3	ns	14,7 ± 14,7	—	ns
	Total		452,0 ± 54,4	385,3 ± 66,2	ns	269,3 ± 59,4	171,8 ± 78,4	ns

Tableau 3 - Liste des espèces et morphotypes de vers de terre récoltés et densités (individus m⁻²) dans les différentes parcelles.

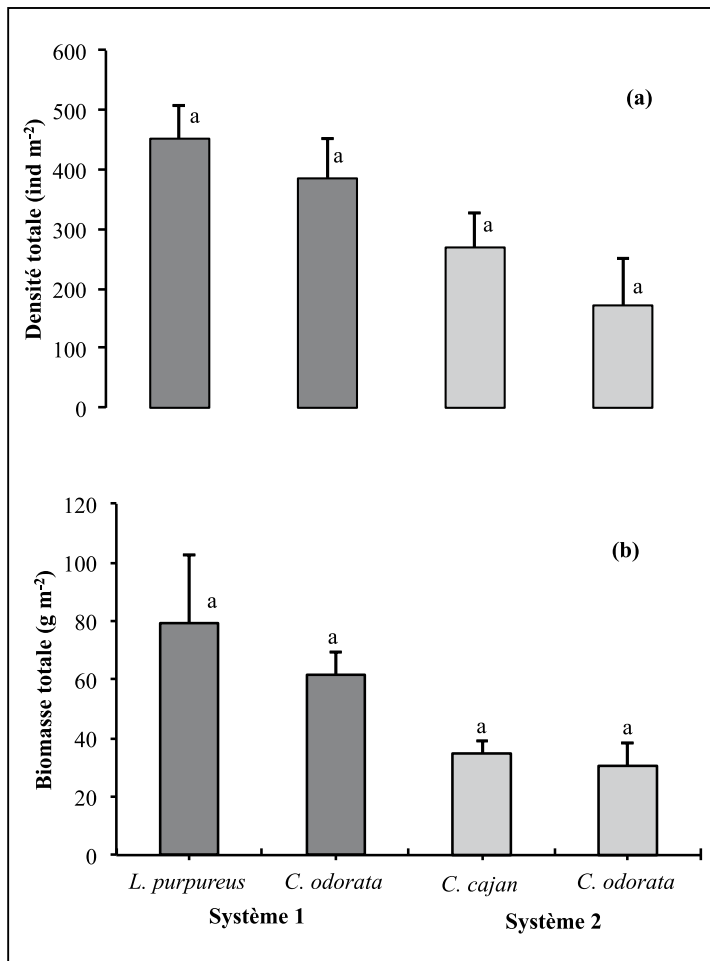
Table 3 - List of earthworm species and morphospecies and their density (individuals m⁻²) in the different plots.

Tableau 4 - Paramètres de diversité des vers de terre (moyenne \pm ES, n=3).**Table 4** - Earthworm diversity parameters (mean \pm SE, n=3).

Paramètres de diversité	Système 1		p	Système 2		p
	<i>L. purpureus</i>	<i>C. odorata</i>		<i>C. cajan</i>	<i>C. odorata</i>	
Indice de Shannon-Weaver	2,0 \pm 0,5	2,1 \pm 0,4	ns	1,6 \pm 0,2	1,9 \pm 0,3	ns
Nombre moyen d'espèces	5,4 \pm 0,9	5,5 \pm 0,4	ns	2,9 \pm 0,5	3,3 \pm 0,4	ns
Nombre cumulé d'espèces	9,3 \pm 1,2	9,7 \pm 0,3	ns	6,7 \pm 0,9	6,3 \pm 1,5	ns

Figure 1 - Abondance totale des vers de terre (moyenne \pm SE, n=3). Dans un même système, les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil $\alpha=5\%$.

Figure 1 - Total earthworm abundance on plots (mean \pm SE, n=3). For the same system, means with the same letter are not significantly different at the 5% level.

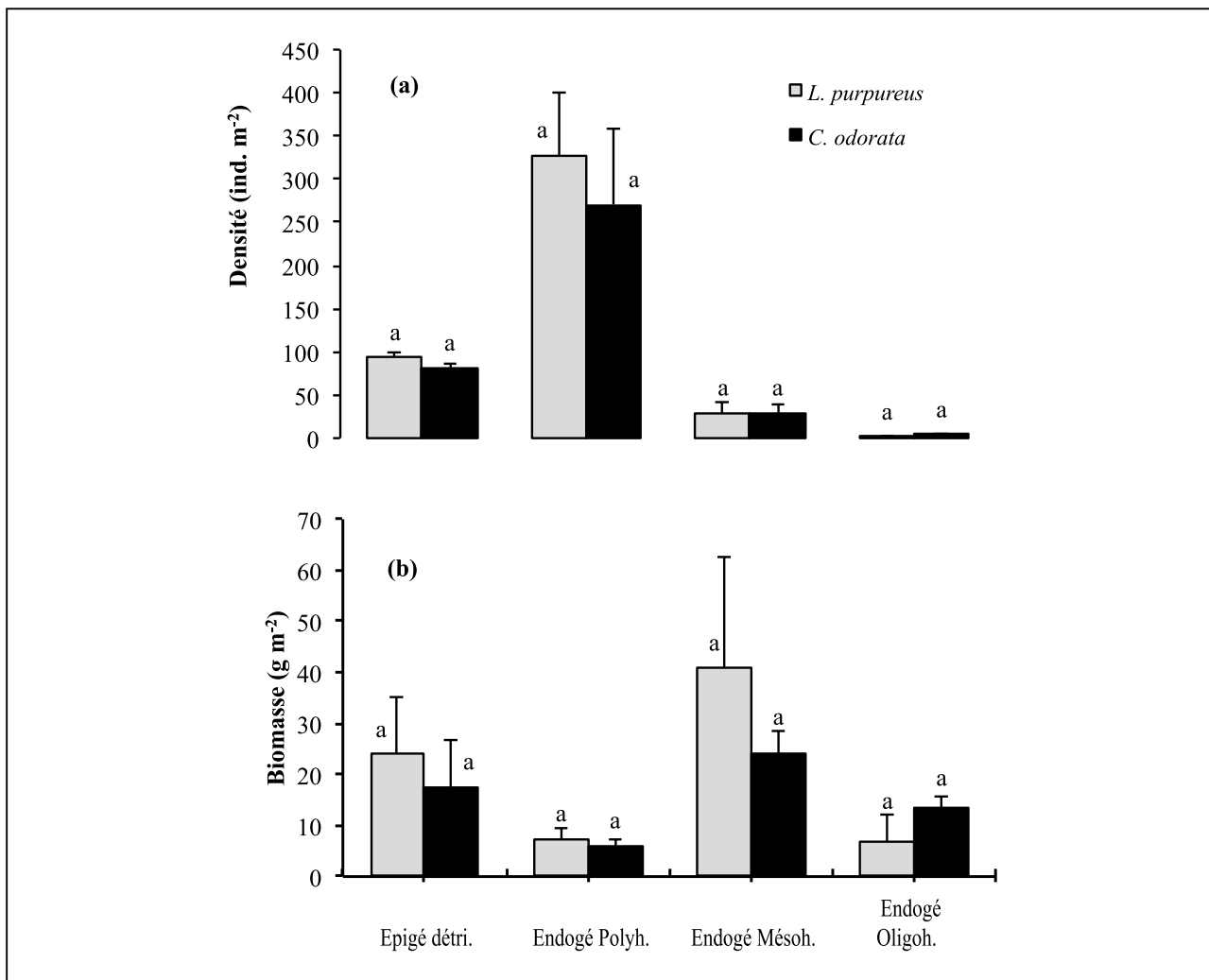


leure sous les légumineuses. Outre la quantité de litières, l'activité de décomposition des litières des vers de terre pourrait expliquer cette tendance, vu que les densités des détritivores et des polyhumiques qui se nourrissent essentiellement de résidus végétaux sont plus élevées sous les légumineuses. La très faible proportion de sol minéral dans les turricules de ces espèces de vers de terre leur confère une faible densité et, par conséquent, une grande friabilité, ce qui facilite la libération du P et des autres éléments nutritifs dans le sol par diffusion ou par fragmentation (Mariani *et al.*, 2007). D'autre part, la conversion des formes de P immobilisées dans le sol en P disponible par les acides organiques exsudés par les racines de légumineuses, comme régulièrement rapporté dans la littérature (Kamh *et al.*, 1999; Ikerra *et al.*, 2006; Kolawole et Tian, 2010), a pu contribuer à cette tendance. La richesse des litières de feuilles de *C. odorata* en P pourrait être le reflet d'un prélèvement plus important de cet élément du sol. Hypothétiquement, cette aptitude est soutenue par le développement racinaire important de cette espèce et une symbiose privilégiée avec les mycorrhizes. En effet, Onguene (2007) rapporte, dans une étude menée dans une forêt au Cameroun, que le taux de colonisation des racines de *C. odorata* par les mycorrhizes (62%) est significativement plus élevé que celui des autres espèces végétales environnantes (14 à 49%).

Si *C. odorata* est désavantagée au niveau de la production de litières, elle a un avantage sur *L. purpureus* au niveau de la biomasse totale (13t ha⁻¹ contre 6t ha⁻¹) et des stocks totaux de nutriments comme N, P et Mg (Koné, 2009), ce qui peut être déterminant après défrichage, au moment de la mise en culture des parcelles. La différence de quantité de litières entre *C. cajan* et les autres espèces est probablement amplifiée par le fait que les litières des dernières se décomposent significativement plus rapidement. Une étude récente rapporte que 80% de la masse initiale de litière de *C. odorata* et *L. purpureus* ont disparu après 4 mois contre 20% seulement pour *C. cajan* (Edoukou, données non publiées).

Figure 2 - Abondance des vers de terre selon les groupes trophiques dans le Système 1 (moyenne \pm SE, $n = 3$). Pour un même groupe trophique, les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil $\alpha = 5\%$.

Figure 2 - Earthworms density within the feeding groups in the System 1 (mean \pm SE, $n = 3$). For the same feeding group, means with the same letter are not significantly different at the 5% level.

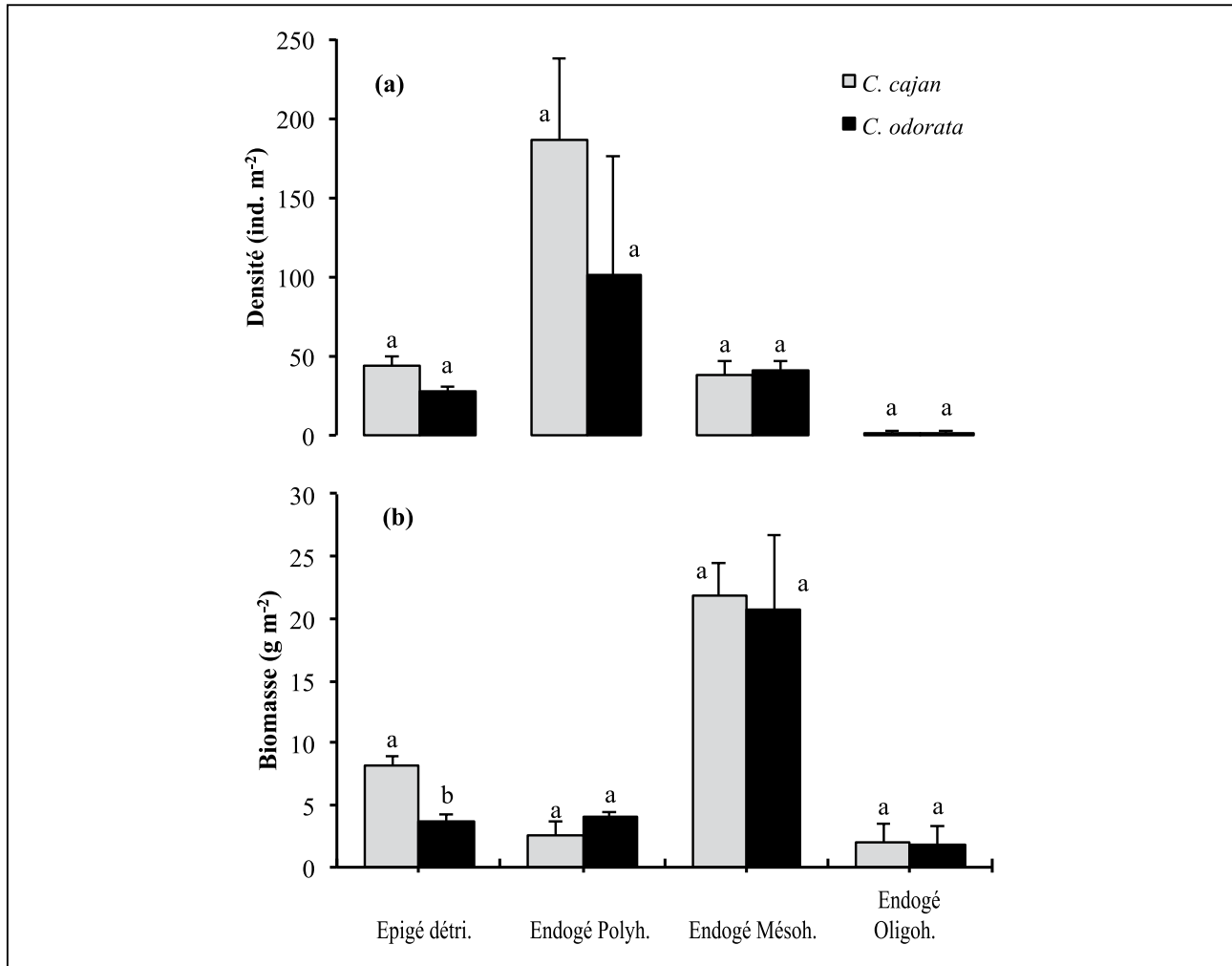


Par ailleurs, avec une teneur en N supérieure à 15 g kg^{-1} , les litières de feuilles de *C. odorata* sont considérées de bonne qualité (Jamaludheen et Kumar, 1999) au même titre que celles des deux espèces de légumineuses et cela peut expliquer, au moins en partie, que l'impact de cette espèce sur la fertilité du sol, au bout de deux années, soit comparable à celui des légumineuses. La teneur en N des litières de feuilles de *C. odorata* peut même atteindre 25 g kg^{-1} (Koné *et al.*, 2012b) à 33 g kg^{-1} (Tian *et al.*, 2000) dans les brousses âgées de plus de deux ans. Ces différents facteurs (biomasse totale, teneurs et stocks en N et P des litières) font de brousses à *C. odorata* un concurrent sérieux pour les légumineuses, au moins dans les premières années de jachère.

Les espèces de légumineuses utilisées ne servent pas à l'alimentation des populations dans la région d'étude; l'élevage ne compte pas parmi les activités traditionnelles de ces populations. Les avantages attendus de l'utilisation des légumineuses sont donc essentiellement liés à l'amélioration de la fertilité du sol et à la protection de l'environnement. Une étude économique prenant en compte les rendements des cultures et la vente des produits de récolte, l'achat des graines, le travail supplémentaire occasionné par la mise en place des parcelles de légumineuses, etc. aurait permis de mieux apprécier leur importance et de mieux comparer les deux systèmes de jachère. En effet, des sols peuvent présenter des niveaux de fertilité proches et se différencier au niveau des

Figure 3 - Abondance des vers de terre selon les groupes trophiques dans le Système 2 (moyenne \pm SE, $n = 3$). Pour un même groupe trophique, les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil $\alpha = 5\%$.

Figure 3 - Earthworms density within the feeding groups in the System 2 (mean \pm SE, $n = 3$). For the same feeding group, means with the same letter are not significantly different at the 5% level.



rendements de cultures, les éléments nutritifs n'étant pas toujours assimilés avec la même régularité ou la même efficacité.

CONCLUSION

En général, au bout de deux années, les paramètres de fertilité considérés n'ont pas été significativement modifiés avec l'introduction des légumineuses, sauf au niveau de la disponibilité du phosphore et de la biomasse de certaines espèces de vers de terre. Si les légumineuses devaient être utilisées pour raccourcir la durée des jachères de 4-5 ans en moyenne à 2-3 ans visée comme objectif, la question de leur utilité (comparativement aux brousses à *C. odorata*) peut apparaître fondée.

Toutefois, les conclusions tirées de cette étude peuvent être limitées par sa durée. En effet, les données montrent un début d'amélioration de la teneur en carbone et en azote sous les légumineuses, laquelle amélioration pourrait s'accroître avec le temps. Aussi, certains paramètres clés comme la capacité d'échange cationique qui aurait pu peser dans cette étude comparative n'ont-ils pas été mesurés. Un autre facteur ayant éventuellement pu masquer l'effet (significatif) des légumineuses est le faible nombre de répétitions. Dès lors, d'autres études similaires devraient être conduites sur une durée plus longue et sur un plus grand nombre de sites.

REMERCIEMENTS

Ces résultats ont été obtenus grâce au soutien d'AIRES-Sud, un programme du Ministère Français des Affaires Étrangères et Européennes dont la gestion a été confiée à l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD-DSF). Les auteurs remercient la chefferie et les habitants du village d'Ahéroumou II pour leur participation active au projet «Agriculture durable à base de jachères améliorées en zones de savanes humides de Côte d'Ivoire» (AJAMSA).

BIBLIOGRAPHIE

- Anderson J.M. et Ingram J.S.I., 1993 - Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods, 2nd ed., CAB International, New York.
- Bernoux M., Feller C., Cerri C.C., Eschenbrenner V., Cerri C.E.P., 2006 - Soil carbon sequestration. In Roose E., Lal R., Feller C., Barthès B., Stewart B. (eds) Erosion and carbon dynamics, pp. 13-22? CRC Publisher, USA.
- Bilgo A., Masse D., Sall S., Serpantie G., Chotte J.L. et Hien V., 2007 - Chemical and microbial properties of semiarid tropical soils of short-term fallows in Burkina Faso, West Africa. *Biol. Fertil. Soils*, 43, 313-320.
- Blanchart E., Lavelle P., Baudeau E., LeBissonnais Y. et Valentin C., 1997 - Regulation of soil structure by geophagous earthworm activities in humid savannas of Côte d'Ivoire. *Soil Biol. Biochem.*, 29, 431-439.
- Bouadi L.E.C., 2009 - Rôle des jachères à *Chromolaena odorata* dans le terroir du village d'Ahéroumou-2. Mémoire de DUT, URES-Korhogo, Université de Bouaké.
- Diby L.N., Hgaza V.K., Tie Bi T., Assa A., Carsly R., Girardin O. et Frossard E., 2009 - Productivity of yams (*Dioscorea spp.*) as affected by soil fertility. *J. Anim. Plant Sci.*, 5, 494-506.
- Dinesh R., Suryanarayana M.A., Chaudhuri Ghoshal S. et Sheeja T.E., 2004 - Long-term influence of leguminous cover crops on the biochemical properties of a sandy clay loam fluvientic Sulfaquent in a humid tropical region of India. *Soil Till. Res.*, 77, 69-77.
- Edwards C.A. et Bohlen P.J., 1996 - Biology and ecology of earthworms. 3rd ed., Chapman & Hall, London, UK.
- Fofana B., Tamélókpo A., Wopereis M.C.S., Breman H. et Mando A., 2005 - Nitrogen use efficiency by maize as affected by a *Mucuna* short fallow and P application in the coastal savanna of West Africa. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 71, 227-237.
- Fonte S.J., Winsome T. et Six J., 2009 - Earthworm populations in relation to soil organic matter dynamic and management in California tomato cropping systems. *Appl. Soil Ecol.*, 41, 206-214.
- González B. et Zou X., 1999 - Plant and litter influences on earthworm abundance and community structure in a tropical wet forest. *Biotropica*, 31, 486-493.
- Ikerra S.T., Semu E. et Mrema J.P., 2006 - Combining *Tithonia diversifolia* and Minjingu phosphate rock for improvement of P availability and maize grain yields on a chronic Acrisol in Morogoro, Tanzania. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 76, 249-260.
- Jamaludheen V. et Kumar B.M., 1999 - Litter of multipurpose trees in Kerala, India: variation in the amount, quality, decay rates and release of nutrients. *For. Ecol. Manag.*, 115, 1-11.
- Kamh M., Horst W.J., Amer F., Mostafa H. et Meier P., 1999 - Mobilization of soil and fertilizer phosphate by cover crops. *Plant Soil*, 211, 19-27.
- Kolawole G.O. et Tian G., 2010 - Phosphorus fractionation and crop performance on an Alfisol amended with phosphate rock combined with or without plant residues. *Afr. J. Biotechnol.*, 6, 1972-1978.
- Kolawole G.O., Tian G. et Tijani-Eniola H., 2003 - Dynamics of phosphorus fractions with natural vegetation and planted *Pueraria phaseoloides* in southwestern Nigeria. *Plant Soil*, 257, 63-70.
- Koné A.W., 2009 - Qualité des sols en zone de savane humide de Côte d'Ivoire: Utilisation des légumineuses herbacées comme alternative pour une valorisation des terres marginales et une agriculture durable. Thèse de Doctorat unique, Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan.
- Koné A.W., Edoukou E.F., Gonnety J.T., N'Dri A.N.A., Assémien L.F.E., Angui P.K.T. et Tondoh J.E., 2012a - Can the shrub *Chromolaena odorata* (Asteraceae) be considered as improving soil biology and plant nutrient availability? *Agroforest. Syst.*, 85, 233-245.
- Koné A.W., Edoukou E.F., Orendo-Smith R. et Tondoh J.E., 2012b - Earthworms in *Chromolaena odorata* (L.) King and Robinson (Asteraceae) fallows along a chronosequence: Changes in community structure and identification of persistent and indicator species. *Pedobiologia*, 55, 193-201.
- Koné A.W., Edoukou E.F., Tondoh J.E., Gonnety J.T., Angui P.K.T. et Masse D., 2012c - Comparative study of earthworm communities, microbial biomass, and plant nutrient availability under 1-year *Cajanus cajan* (L.) Millsp and *Lablab purpureus* (L.) Sweet cultivations versus natural regrowths in a guinea savanna zone. *Biol. Fertil. Soils*, 48, 337-347.
- Koutika L.-S., Hauser S., Meuteum Kamga J.G. et Yerima B., 2004 - Comparative study of soil properties under *Chromolaena odorata*, *Pueraria phaseoloides* and *Calliandra calothyrsus*. *Plant Soil*, 266, 315-323.
- Lavelle P., 1997 - Faunal activities and soil processes: adaptive strategies that determine ecosystem function. In: Begon M, Fitter AH (eds.), *Adv. Ecol. Res.*, 27, pp. 93-132.
- Lavelle P., Decaëns T., Aubert M., Barot S., Blouin M., Bureau F., Margerie P., Mora P. et Rossi J.-P., 2006 - Soil invertebrates and ecosystem services. *Eur. J. Soil Biol.*, 42, 3-15.
- Le Bayon R.C. et Milleret R., 2009 - Effects of earthworms on phosphorus dynamics - a review. *Dyn. Soil Dyn. Plant*, 3, 21-27.
- Mariani L., Jimenez J.J., Torres E.A., Amezcuita E. et Decaëns T., 2007 - Rainfall impact effects on ageing casts of a tropical anecic earthworm. *Eur. J. Soil Sci.*, 58, 1525-1534.
- Murphy J. et Riley J.P., 1962 - A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27, 31-36.
- Nelson D.W. et Sommers L.E., 1980 - Total nitrogen analysis for soil and plant tissues. *J. Assoc. Offic. Anal. Chem.*, 63, 770-778.
- Nelson D.W. et Sommers L.E., 1982 - Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.), *Methods of Soil Analysis, Part 2*. Agronomy Monograph No. 9. ASA/SSSA, Madison, WI, pp. 539-579.
- Norgrove L., Csuzdi C., Forzi F., Canet M. et Gounes J., 2009 - Shifts in soil faunal community structure in shaded cacao agroforests and consequences for ecosystem function in Central Africa. *Trop. Ecol.*, 50, 71-78.
- Obatolu C.R. et Agboola A.A., 1993 - The potential of Siam weed (*Chromolaena odorata*) as a source of organic matter for soils in humid tropics. In: Mulongoy M. et Merckx R. (eds), *Soil Organic Matter Dynamics and Sustainability of Tropical Agriculture*. Wiley-Sayce Co, New York, pp. 89-99.
- Okpara D.A., Ikeorgu J.E.G. et Njoku J.C., 2005 - Potential of cover crops for short fallow replacement in low-input systems of maize production in the humid tropics. *Trop. Subtrop. Agroecosyst.*, 5, 109-116.
- Olsen S.R. et Sommers L.E., 1982 - Phosphorus. In: Page A.L., Miller R.H. and Keeney D.R. (Eds), *Methods of soils analysis. Part 2, Second Edition*. American Society of Agronomy, Inc, Madison, pp. 403-430.
- Onguene N.A., 2007 - Mycorrhizal associations as indicators of forest quality after land use practices. In: Bationo A., Waswa B., Kihara J. et Kimetu J. (eds) *Advances in Soil Fertility Management in Sub-Saharan Africa: Challenges and opportunities*, pp. 845-853.
- Osunkoya O.O. et Perrett C., 2011 - *Lantana camara* L. (Verbenaceae) invasion effects on soil physicochemical properties. *Biol. Fertil. Soils*, 47, 349-355.
- Pielou E.C., 1966 - The measurement of diversity in different types of biological collections. *J. Theor. Biol.*, 13, 213-226.
- Quansah C., Fening J.O., Ampontuah E.O., Afreh D. et Amin A., 2001 - Potential of *Chromolaena odorata*, *Panicum maximum* and *Pueraria phaseoloides* as

- nutrient sources and organic matter amendments for soil fertility maintenance in Ghana. *Biol. Agric. Hortic.*, 19, 101-113.
- Riou G., 1974 - Les sols de la savane de Lamto. *Bulletin de Liaison des Chercheurs de Lamto*, 1, 3-45.
- Roder W., Phengchanh S., Keoboualapha B. et Maniphone S., 1995 - *Chromolaena odorata* in slash-and-burn rice systems of Northern Laos. *Agrofor. Syst.*, 31, 79-92.
- Scheu S., 2003 - Effects of earthworms on plant growth: patterns and perspectives. *Pedobiologia*, 47, 1-11.
- Slaats J.P.P., 1995 - *Chromolaena odorata* fallow in food cropping systems: an assessment in South-West Ivory Coast. Thèse de Doctorat, Université de Wageningen, 175 p.
- Tao J., Chen X., Liu M., Hu F., Griffiths B, Li H., 2009 - Earthworms change the abundance and community structure of nematodes and protozoa in a maize residue amended rice-wheat rotation agro-ecosystem. *Soil Biol. Biochem.*, 41, 898-904.
- Technicon Industrial Systems, 1977 - Individual/simultaneous determination of nitrogen and/or phosphorus in BD acid digests. Technicon Industrial Systems, Tarrytown.
- Thomas G.W., 1982 - Exchangeable cations. In: Page AL, Miller RH, Keeney DR (eds) *Methods of soil analysis*, 2nd edn. Agron. Monogr. 9. American Society of Agronomy, Madison, pp. 159-164.
- Tian G., Olimah J.A., Adeoye G.O. et Kang B.T., 2000 - Regeneration of earthworm populations in a degraded soil by natural and planted fallows under humid tropical conditions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64, 222-228.