

Tiphaine Chevallier, Tantely M. Razafimbelo, Lydie Chapuis-Lardy et Michel Brossard (dir.)

Carbone des sols en Afrique Impacts des usages des sols et des pratiques agricoles

IRD Éditions

Chapitre 10. Le carbone des sols des zones de forêts et de savanes en Côte d'Ivoire

Impacts de *Chromolaena odorata* et des légumineuses

Armand W. Koné, Emmanuel K. Kassin, Jean-Baptiste D. Ettien, Zoumana Konaté et Guy Modeste Gnahoua

DOI : 10.4000/books.irdeditions.35072

Éditeur : IRD Éditions, FAO

Lieu d'édition : Rome, Marseille

Année d'édition : 2020

Date de mise en ligne : 16 décembre 2020

Collection : Synthèses

ISBN électronique : 9782709928373



<http://books.openedition.org>

Édition imprimée

Date de publication : 1 septembre 2020

Référence électronique

KONÉ, Armand W. ; et al. *Chapitre 10. Le carbone des sols des zones de forêts et de savanes en Côte d'Ivoire : Impacts de *Chromolaena odorata* et des légumineuses* In : *Carbone des sols en Afrique : Impacts des usages des sols et des pratiques agricoles* [en ligne]. Rome, Marseille : IRD Éditions, 2020 (généré le 18 décembre 2020). Disponible sur Internet : <<http://books.openedition.org/irdeditions/35072>>. ISBN : 9782709928373. DOI : <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.35072>.

Le carbone des sols des zones de forêts et de savanes en Côte d'Ivoire

Impacts de *Chromolaena odorata* et des légumineuses

Armand W. KONÉ, Emmanuel K. KASSIN,
Jean-Baptiste D. ETIEN, Zoumana KONATÉ,
Guy M. GNAHOUA

Introduction

Malgré l'augmentation de la production agricole mondiale ces dernières décennies, près d'un milliard de personnes souffrent de la faim, principalement en Asie du Sud et en Afrique subsaharienne. En effet, les systèmes de production agricole dans ces régions, déjà sujets à un stress climatique élevé, sont très peu productifs (AGGARWAL *et al.*, 2013). En outre, les productions non alimentaires occupent une part croissante des terres arables (RUF, 2012). L'alternative la plus évidente pour sortir de cette insécurité alimentaire serait d'accroître, par des pratiques agricoles adaptées, la capacité de production des terres déjà en exploitation, laquelle repose encore essentiellement dans ces régions sur la matière organique (MO) ou le carbone organique des sols (COS), une composante majeure de leur fertilité (FELLER, 1995).

Dans le Sud et le Nord de la Côte d'Ivoire, dominés respectivement par les forêts et les savanes, l'agriculture est pratiquée majoritairement de façon itinérante sur brûlis malgré les conséquences négatives de cette pratique sur la fertilité du sol, les rendements des cultures et l'environnement (N'DRI *et al.*, 2019). Avec une croissance démographique accélérée, particulièrement dans le Sud, et une immigration en provenance du nord et des pays voisins, la disponibilité des terres est de plus en plus réduite surtout pour ces agriculteurs venus d'ailleurs. La durée des jachères est raccourcie alors qu'elles demeurent le principal mécanisme de

restauration de la fertilité des sols dégradés (ETTIEN *et al.*, 2014a ; NORGROVE et HAUSER, 2016). Ces jachères sont dominées, dans le Sud et le Centre et, dans une moindre mesure dans le Nord, par *Chromolaena odorata* (L) King & Robinson (Asteraceae), une espèce envahissante pantropicale qui est combattue à cause de son impact négatif (compétition pour l'eau et la lumière) lorsqu'elle s'installe dans les champs (MUNIAPPAN *et al.*, 2005 ; KLUGE et ZACHARIADES, 2006). Néanmoins, cette espèce est de plus en plus connue pour son action amélioratrice de la qualité des sols des jachères. Aujourd'hui, les jachères dominées par cette espèce sont intégrées de façon croissante dans les systèmes de production agricole à faibles intrants en Afrique de l'Ouest et du Centre (SLAATS, 1995 ; KOUTIKA *et al.*, 2004 ; NGOBO *et al.*, 2004 ; KOUTIKA et RAINEY, 2010 ; KONÉ *et al.*, 2012 ; KASSI *et al.*, 2017). Toutefois, pour observer une telle amélioration, la durée des jachères à *C. odorata* doit être d'au moins 5 ans (KASSI *et al.*, 2017). Dans un contexte de demande croissante en terres pour la production agricole, certaines catégories de producteurs envisagent d'autres options. L'utilisation des légumineuses, à la portée de tous, est une alternative intéressante. En effet, par leur aptitude à produire rapidement de la biomasse, à fixer l'azote atmosphérique dont une partie reste au sol à travers la production de litières, les légumineuses pourraient améliorer ou restaurer le statut organique du sol sur de courtes périodes (TIAN *et al.*, 2000).

De nombreuses études sur le rôle des légumineuses en agriculture ont été effectuées dans différentes zones agro-écologiques de Côte d'Ivoire. Certaines se sont limitées à la quantification de litières des légumineuses et ont porté sur leur influence (1) sur les flux d'éléments nutritifs associés (GNAHOUA *et al.*, 2013, dans le Centre-Ouest), (2) sur les adventices (BECKER et JONHSON, 1998, sur toute l'étendue du territoire) ou (3) sur les rendements des cultures telles que le maïs, dans le Nord (N'GORAN et KANGA, 2000) et la canne à sucre, dans le Centre-Ouest (KOUASSI, 2000). D'autres, plus approfondies, ont examiné l'influence des légumineuses sur (1) le COS et les éléments nutritifs ainsi que sur l'activité biologique du sol dans le Nord (CHARPENTIER *et al.*, 1999) et dans le Centre (KONÉ *et al.*, 2008a,b ; KONÉ *et al.*, 2012 ; EDOUKOU *et al.*, 2013) ou sur (2) le COS, les éléments nutritifs du sol et les rendements des cultures : le maïs dans le Centre-Ouest (AUTFRAY, 2002) et dans le Centre (KONÉ *et al.*, 2017a), le riz dans le Centre-Ouest (KONATÉ, 2014) et l'igname dans le Centre (KONÉ *et al.*, 2017b) et le Centre-Ouest (GNAHOUA *et al.*, 2008). Malgré les effets bénéfiques rapportés par ces études, l'adoption des légumineuses par les paysans dans les systèmes de culture reste encore timide, comme dans bien des contrées tropicales, à cause du travail supplémentaire qu'elles génèrent pour l'entretien des parcelles en culture pure (SIMELTON *et al.*, 2017).

Les premières études montrent que l'ampleur de l'amélioration du statut organique des sols par des plantes dépend de l'espèce, du niveau de fertilité initiale du sol (CHARPENTIER *et al.*, 1999 ; KONÉ *et al.*, 2008a) et de la durée de la jachère pendant laquelle la plante est présente (KOUADIO *et al.*, 2011). L'adoption des légumineuses dans la gestion du COS devrait gagner en importance au fur et à mesure que leurs effets bénéfiques sont connus et promus

auprès des paysans des différentes zones agro-écologiques (OJEM *et al.*, 2014 ; KURWAKUMIRE *et al.*, 2014). C'est dans ce cadre que s'inscrit ce travail. Il fait une synthèse de plusieurs études portant sur l'impact des légumineuses et de *C. odorata* sur le statut organique des sols, dont les stocks de carbone, et les rendements des cultures dans Centre et le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire.

Sites et plantes étudiés

Les études rapportées dans cette synthèse ont été menées en stations de recherche ou en milieu paysan, dans trois localités situées dans deux zones agro-écologiques de Côte d'Ivoire (tabl. 1). La première est Taabo, en zone de savane guinéenne dans le Centre du pays ; la deuxième et la troisième sont Oumé et Gagnoa, en zones de forêt dense semi-décidue dans le Centre-Ouest (fig. 1).

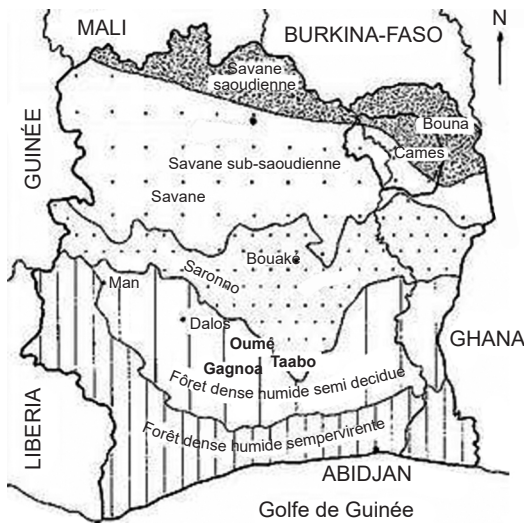


Figure 1

Localisation des sites et des zones d'étude en Côte d'Ivoire.
Taabo (zone de savane guinéenne au Centre), Oumé et Gagnoa
(zone de forêt dense humide semi-décidue au Centre-Ouest).

Source : GUILLAUMET et ADJANOHOUN, 1971.

Dans le Centre, le climat correspond à celui d'une savane tropicale selon la classification de Köppen-Geiger (PEEL *et al.*, 2007). Le régime pluviométrique est de type bimodal : les précipitations moyennes annuelles oscillent autour de 1 200 mm. La température moyenne annuelle est de 27 °C. La majeure partie des sols sont des Ferralsols moyennement désaturés (RIOU, 1974) et reposent

sur du matériel géologique d'origine granitique. Les horizons supérieurs sont généralement de texture sableuse (60 à 80 %) et pauvres en argiles (10 % en moyenne). Les sols ont de faibles teneurs en carbone, en phosphore et en cations.

Dans le Centre-Ouest, le climat correspond également à celui d'une savane tropicale selon la classification de Köppen-Geiger. Les précipitations annuelles sont comprises entre 1 300 et 1 600 mm, avec une moyenne interannuelle de 1 460 mm. La végétation originelle est une forêt dense humide semi-décidue. Le substratum géologique est essentiellement granitique, avec des intrusions de bandes de schistes. Les sols étudiés sont des Ferralsols, de texture argilo-sableuse à argileuse (KASSIN et YORO, 2009).

Les plantes testées sont l'espèce envahissante *C. odorata* et différents types de légumineuses. Ces légumineuses sont aussi bien des espèces herbacées, arborescentes et arbustives. Selon les essais, ces légumineuses sont à des fins alimentaires ou pas (tabl. 1).

Résultats

Jachères à *C. odorata*

Cette étude a été effectuée en 2012 par KASSI *et al.* (2017) sur des sites paysans des villages de Pacobo, Ahérérou 2 et Ahérérou (6°10-6°15 N, 4°55-5°00 W, 120 m d'altitude) dans la zone de transition forêt-savane de Côte d'Ivoire.

L'objectif était d'évaluer l'impact des jachères à *C. odorata* âgées de 5 à 10 ans (durées habituelles des jachères dans la région) sur (1) le stockage du COS à 0-20 et 0-40 cm de profondeur, (2) l'activité biologique des sols en surface (0-10 cm, minéralisation du COS et activité β -Glucosidasique) et (3) sur les rendements subséquents de l'igname (*Dioscorea alata*). La minéralisation du carbone (C_{min}) a été mesurée sur des échantillons de sol incubés à 28°C pendant 7 jours (ANDERSON et DOMSCH, 2010) et l'activité β -glucosidasique sur des échantillons incubés à 37 °C pendant 2 heures (HAYANO, 1973).

Les agrosystèmes étaient installés après forêt ou savane. La jachère à *C. odorata* installée après forêt (J_{FOR} , $n = 7$) a été comparée à la forêt (FOR, $n = 10$) ; la jachère à *C. odorata* installée après savane (J_{SAV} , $n = 3$) a été comparée à la savane (SAV, $n = 3$) selon l'approche synchrone, avec le postulat que les caractéristiques initiales du sol dans les deux types de parcelles en comparaison étaient semblables (BERNOUX *et al.*, 2006). Les stocks de COS ont été calculés selon la formule suivante :

$$\text{Stock COS (Mg C.ha}^{-1}\text{)} = C \text{ (g C.kg}^{-1}\text{)} \times Da \text{ (g.cm}^{-3}\text{)} \\ \times (100 - \% \text{ EG}) \times \text{épaisseur (dm)}$$

où C est la teneur en COS, Da, la densité apparente du sol, % EG le pourcentage d'éléments grossiers, dont les valeurs moyennes sont affichées dans le tableau 2.

Tableau 1
Caractéristiques des sites, plantes et méthodes des études.

Études	Zones agro-écologiques	Types de sols	Types d'expérimentation	Dispositifs expérimentaux	Espèces utilisées	Méthodes d'analyse de C, N
KASSI et al., 2017	Centre, transition forêt-savane	Ferralsols, sableux	Milieu paysan	Distribution aléatoire	<i>Chromolaena odorata</i> (L) King & Robinson	Combustion sèche (CHN)
KONÉ et al., 2008b	Centre, transition forêt-savane	Ferralsols, sableux	Station de recherche	Blocs aléatoires	Non alimentaires et herbacées : <i>Mucuna pruriens</i> (L.) DC., variété <i>utilis</i> , <i>Pueraria phascoloides</i> (Roxb.) Benth., <i>Lablab purpureus</i> (L.) Sweet	Spectroscopie proche infrarouge, modèle de prédiction construit sur des échantillons du dispositif et de parcelles alentours
KONÉ et al., 2012	Centre, transition forêt-savane	Ferralsols, sableux	Milieu paysan	Parcelles appariées	Non alimentaires, arbustives- <i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.(*) et herbacée – <i>L. purpureus</i>	Combustion sèche (CHN)
EDOUKOU et al., 2013	Centre, transition forêt-savane	Ferralsols, sableux	Milieu paysan	Parcelles appariées	Non alimentaires, arbustive – <i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp. *, herbacée – <i>L. purpureus</i>	COS : par oxydation, méthode Anne modifiée (NELSON et SOMMERS, 1982) N total : Technicon autoanalyzer
KONÉ et al., 2017b	Centre, transition forêt-savane	Ferralsols, sableux	Milieu paysan	Parcelles appariées	Non alimentaire et arbustive: <i>C. cajan</i> *	Combustion sèche (CHN)
KONATÉ, 2014	Centre-Ouest, forêt	Ferralsols, argilo-sableux à argileux	Station de recherche	Blocs de Fischer	Alimentaires et herbacées : soja (<i>Glycine max</i>), niébé (<i>Vigna unguiculata</i>)	COS : par oxydation, WALKLEY et BLACK (1934) N : Kjeldahl
GNAHOJA et al., 2008	Centre-Ouest, forêt	Ferralsols, argilo-sableux à argileux	Station de recherche	Blocs de Fischer	Non alimentaires et arborescentes : <i>Acacia mangium</i> , <i>Acacia auriculiformis</i>	Combustion sèche (CHN)

* Les graines de *C. cajan* ne sont pas consommées par les populations du Centre de la Côte d'Ivoire où ces études ont eu lieu ; elles le sont par contre dans le Nord-Ouest du pays.

Tableau 2
Paramètres chimiques et physiques du sol dans les différents types de parcelles étudiés
(moyenne \pm erreur standard).

Paramètres du sol	Profondeur (cm)	Couvertures végétales			
		FOR	J _{FOR}	SAV	J _{SAV}
Teneur en COS (g.kg ⁻¹)	0 – 20	17,3 \pm 1,1 a	18,4 \pm 1,8 a	8,5 \pm 1,8 a	11,4 \pm 0,9 b
	0 – 40	12,7 \pm 0,7 a	13,0 \pm 1,3 a	6,8 \pm 1,2 a	8,3 \pm 0,9 a
Densité apparente (g.cm ⁻³)	0 – 20	1,3 \pm 0,0 a	1,3 \pm 0,0 a	1,5 \pm 0,0 a	1,4 \pm 0,1 a
	0 – 40	1,4 \pm 0,0 b	1,4 \pm 0,0 a	1,5 \pm 0,0 a	1,5 \pm 0,0 a
Éléments grossiers (%)	0 – 20	5,4 \pm 2,3 a	4,2 \pm 3,7 a	0,7 \pm 0,4 a	0,9 \pm 0,2 a
	0 – 40	10,8 \pm 4,4 a	7,5 \pm 6,8 a	0,9 \pm 0,4 a	1,0 \pm 0,3 a

FOR : forêt ; SAV : savane ; J_{FOR} : Jachère à *C. odorata* après forêt ; J_{SAV} : jachère à *C. odorata* après savane arbustive. Sur une même ligne et pour le même contexte (FOR vs. J_{FOR} et SAV vs. J_{SAV}), les moyennes affectées d'une même lettre (a, b) ne sont pas significativement différentes au seuil α de 0,05.

Les résultats montrent que les stocks de COS sont similaires sous les forêts et sous les successions de cycles culture d'igname-jachère quelle que soit la profondeur de sol considérée (fig. 2A). Les stocks à 0-20 cm de profondeur sont significativement plus élevés sous les successions culture-jachère que sous les savanes (fig. 2B). La quantité de COS stockée s'élevant à 7,2 Mg C.ha⁻¹ en moyenne pendant 10 années depuis l'installation des jachères à *C. odorata* après savane (J_{SAV}).

L'activité biologique est semblable dans les sols des successions culture-jachère à *C. odorata* et dans les sols forestiers, avec respectivement 382 \pm 37 et 333 \pm 21 mg CO₂-C.kg⁻¹ de sol, et 49 \pm 4 et 42 \pm 4 μ g *p*-nitrophenol.h⁻¹.g⁻¹ de sol. En revanche, l'activité biologique est plus élevée dans les sols des successions culture-jachère que dans ceux des savanes, avec respectivement 249 \pm 15 vs. 129 \pm 25 mg CO₂-C.kg⁻¹ de sol et 33 \pm 1 vs. 20 \pm 2 μ g *p*-nitrophenol.h⁻¹.g⁻¹ de sol. Ces résultats s'expliquent par une production importante de litière de *C. odorata* de bonne qualité (EDOUKOU *et al.*, 2013 ; KASSI *et al.*, 2017).

Les rendements des cultures d'igname après jachère à *C. odorata* sur sols de forêts (J_{FOR}) étaient semblables à ceux des cultures installées sur défriches de forêt (17,9 \pm 2,3 et 17,7 \pm 0,8 t.ha⁻¹ respectivement). En revanche, les rendements sont significativement plus élevés ($p = 0,02$) après jachère à *C. odorata* sur sols de savane (J_{SAV}) que sur défriche de savane (19,5 \pm 3,0 vs. 7,9 \pm 1,4 t.ha⁻¹). Une régression simple (fig. 3) a montré une influence nette des stocks de COS entre 0 et 20 cm de profondeur sur ces rendements ($R^2 = 0,6$, $F = 24$, $p < 0,001$). Ceci explique pourquoi la majorité des producteurs d'igname dans le centre de la Côte d'Ivoire, 80 % selon BOUADI (2009), cultivent ces jachères.

Malgré les potentialités agronomiques des jachères à *C. odorata*, les jachères à légumineuses sont fréquemment rencontrées en Côte d'Ivoire.

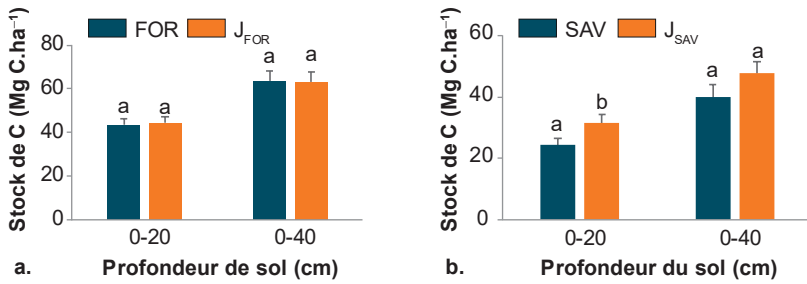


Figure 2

Stocks de COS dans les forêts (FOR), les savanes (SAV) et les jachères à *C. odorata* associées (J_{FOR} et J_{SAV} respectivement). Les bars représentent l'erreur standard. Pour une même couche de sol (0-20 ou 0-40 cm), différentes lettres indiquent une différence significative au seuil α de 0,05.

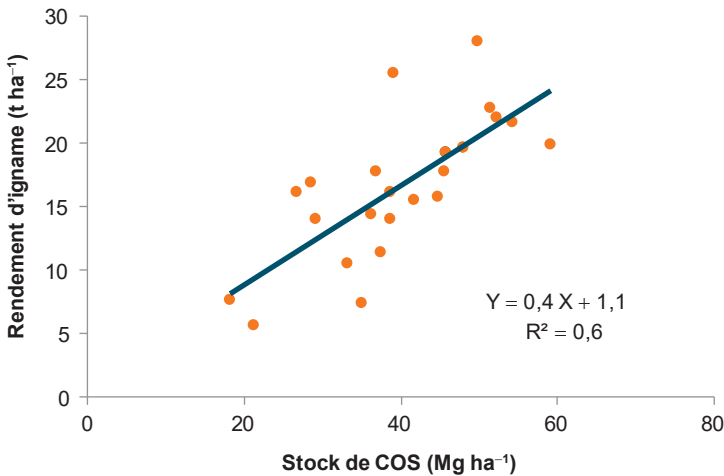


Figure 3

Régression entre les stocks de carbone (0-20 cm) et les rendements des cultures d'igname.

Utilisation de rotation à base de légumineuses herbacées et arbustives non alimentaires

Effet à court terme de *M. pruriens*, de *P. phaseoloides* et *L. purpureus*

Une première étude a été effectuée par KONÉ *et al.* (2008b ; 2017b) entre 2003 et 2004 à la périphérie de la réserve de Lamto (6°13'N, 5°20'W), dans une savane arbustive dominée par l'espèce *Hyparrhenia diplandra* (Andropogoneae). L'objectif était d'évaluer l'effet à court terme de différents modes de gestion de

la fertilité du sol intégrant ou non des légumineuses dans une rotation. La fertilité a été évaluée par la teneur en COS et sur certaines propriétés microbiologiques du sol (minéralisation, biomasse microbienne, etc.). Un dispositif en blocs aléatoires avec trois répétitions a été utilisé. Il y avait huit traitements qui consistaient (1) en des successions culturales : légumineuses-maïs une année sur deux et (2) en une culture continue de maïs avec ou sans apports d'engrais chimiques. Les espèces de légumineuses utilisées étaient *Mucuna pruriens* (L.) DC., variété *utilis*, *Pueraria phaseoloides* (Roxb.) Benth. et *Lablab purpureus* (L.) Sweet, soit en culture pure soit en culture mixte. Les engrais chimiques utilisés étaient l'urée 46 % N (à la dose de 50 kg.ha⁻¹) et le superphosphate triple 45 % P₂O₅ (à la dose de 30 kg.ha⁻¹). Sur chacune des parcelles élémentaires, des échantillons de sols ont été prélevés à l'état initial (t = 0 mois) puis 12 mois plus tard (t = 12 mois), à 0-10 et 10-20 cm de profondeur, afin de mesurer les teneurs en COS et en N total. La minéralisation du COS (0-10 cm) a été mesurée après réhumidification des échantillons à 80 % de la capacité au champ et incubés 21 jours à 30°C (BEKKU *et al.*, 1997). La comparaison des moyennes a été faite à l'aide du test U de Mann-Whitney entre 0 et 12 mois et à l'aide du test de Kruskal-Wallis entre les traitements.

Les résultats ont montré une augmentation de la teneur en COS sur les parcelles à légumineuses, de même que sur celles où les résidus de récolte (maïs) étaient laissés sur place et associés à l'urée et au superphosphate triple (tabl. 3). La teneur du sol en azote total a augmenté sur ces mêmes parcelles ainsi que dans la parcelle ayant reçu de l'urée. Les accroissements les plus importants des teneurs en COS et en azote total (à 0-10 cm de profondeur) ont été observés sous *L. purpureus* et sous l'association des trois légumineuses. En général, le rapport C/N a baissé d'une unité au bout de douze mois (de 14 à 15,5 au début de l'essai à 13,5). La baisse moyenne était significativement plus importante (p = 0,04) sous les parcelles à légumineuses (- 6,77 %) qu'en culture continue de maïs (- 4,77 %). La minéralisation potentielle du COS était en moyenne plus élevée dans les parcelles à légumineuses (42 ± 7,6 mg CO₂.g C⁻¹) qu'en culture continue de maïs (33,1 ± 1,6 mg CO₂.g C⁻¹).

Les stocks et le stockage de COS ont été estimés en utilisant des valeurs moyennes de densité apparente de 1,4 et 1,45 g.cm⁻³ et de pourcentage d'éléments grossier de 0,8 et 1,05 % pour respectivement des profondeurs de 0-10 cm et 0-20 cm (tabl. 4). Ces valeurs ont été mesurées dans des savanes arbustives de la zone d'étude.

Les tendances observées sur les stocks de COS à 0-10 cm sont les mêmes que celles observées sur les teneurs en COS. Pour la couche 0-20 cm, le stockage du COS était significatif dans les parcelles de *P. phaseoloides* et de *L. purpureus* ainsi que dans celles ayant reçu les apports combinés d'urée et de superphosphate triple.

Le stockage du COS sur les parcelles à légumineuses après une année s'élève en moyenne entre 1,1 et 2,1 Mg C.ha⁻¹.an⁻¹ contre 0,7 et 1,6 Mg C.ha⁻¹.an⁻¹ en culture continue, respectivement sur 0-10 et 0-20 cm (fig. 4).

Tableau 3
 Évolution des teneurs en COS et en azote total (0-10 cm)
 et rendements de maïs grains (moyenne ± erreur standard)
 sur les parcelles en rotation avec des légumineuses ou en culture continue de maïs.

Traitements	COS (g.kg ⁻¹)			N total (g.kg ⁻¹ de sol)			Rendement maïs (kg.ha ⁻¹)
	0 mois	12 mois	Δ (%)	0 mois	12 mois	Δ (%)	
<i>M. pruriens</i>	7,7 ± 0,1	8,2 ± 0,2	6,93*	0,54 ± 0,01	0,62 ± 0,02	14,93*	472 ± 58
<i>P. phaseoloides</i>	7,3 ± 0,2	8,0 ± 0,2	9,33*	0,51 ± 0,02	0,59 ± 0,01	17,07*	836 ± 105
<i>L. purpureus</i>	7,2 ± 0,2	8,3 ± 0,2	15,3*	0,5 ± 0,02	0,62 ± 0,01	23,62*	579 ± 43
Parcelles mixtes	7,5 ± 0,2	8,6 ± 0,3	14,7*	0,53 ± 0,02	0,65 ± 0,02	21,64*	653 ± 26
Maïs-U	7,1 ± 0,3	7,6 ± 0,2	8,09	0,49 ± 0,02	0,57 ± 0,01	15,57*	414 ± 111
Maïs-Sp	7,8 ± 0,2	8,2 ± 0,4	4,71	0,56 ± 0,02	0,6 ± 0,03	8,14	284 ± 99
Maïs-U+Sp	7,4 ± 0,1	7,9 ± 0,1	6,65*	0,53 ± 0,01	0,59 ± 0,01	12,32*	559 ± 97
Maïs témoin	7,6 ± 0,3	8,1 ± 0,3	7,42	0,54 ± 0,03	0,61 ± 0,03	12,46	184 ± 98

*Variation significative au seuil de 5 %.

Parcelles mixtes : association des trois espèces de légumineuses ; Maïs-U, Maïs-Sp, Maïs-U+Sp : culture continue de maïs avec apport d'urée, de superphosphate triple et d'urée+superphosphate triple, respectivement ; Maïs témoin : culture continue de maïs sans apport d'engrais minéraux.

Source : KONÉ et al., 2008b.

Tableau 4
 Stocks (Mg C.ha⁻¹) et stockage de COS (ΔStock moyen ± erreur standard en Mg C.ha⁻¹.an⁻¹)
 pour les profondeurs de sol 0-10 cm et 0-20 cm selon les différents traitements.

Traitements	Profondeur 0-10 cm			Profondeur 0-20 cm		
	Stock		ΔStock	Stock		ΔStock
	initial	à 1 an		initial	à 1 an	
<i>M. pruriens</i>	10,7 ± 0,1	11,4 ± 0,3	0,7 ± 0,3	21,4 ± 0,5	22,9 ± 0,9	1,6 ± 0,6
<i>P. phaseoloides</i>	10,1 ± 0,3	11,1 ± 0,2	0,9 ± 0,2*	19,3 ± 0,5	21,6 ± 0,5	2,4 ± 0,0*
<i>L. purpureus</i>	10,1 ± 0,3	11,5 ± 0,3	1,4 ± 0,2*	19,9 ± 0,7	22,5 ± 0,7	2,6 ± 0,4*
Parcelle mixte	10,5 ± 0,3	12,0 ± 0,4	1,5 ± 0,1*	21,1 ± 0,8	22,9 ± 0,9	1,7 ± 0,4
Maïs-U	9,8 ± 0,4	10,6 ± 0,2	0,7 ± 0,4	19,2 ± 1,0	20,7 ± 0,9	1,4 ± 0,4
Maïs-Sp	10,8 ± 0,3	11,3 ± 0,5	0,5 ± 0,2	21,1 ± 0,9	22,5 ± 1,1	1,5 ± 0,5
Maïs-U+Sp	10,3 ± 0,2	11,0 ± 0,1	0,7 ± 0,2*	20,2 ± 0,4	21,5 ± 0,3	1,3 ± 0,6*
Maïs témoin	10,6 ± 0,4	11,4 ± 0,5	0,8 ± 0,1	20,6 ± 0,8	22,5 ± 0,7	2,0 ± 0,1

*ΔStock significativement différent de zéro au seuil de 5 %.

Parcelles mixtes : association des trois espèces de légumineuses ; Maïs-U, Maïs-Sp, Maïs-U + Sp : culture continue de maïs avec apport d'urée, de superphosphate triple et d'urée + superphosphate triple, respectivement ; Maïs témoin : culture continue de maïs sans apport d'engrais minéraux.

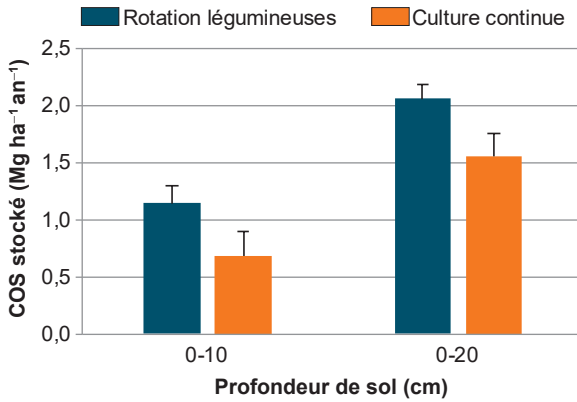


Figure 4

Stockage du COS dans les parcelles de rotation maïs-légumineuses et de culture continue de maïs (avec ou sans engrais minéraux).

Les rendements en grains de maïs varient significativement entre les traitements ($p = 0,002$), les plus élevés étant observés sur les rotations avec *L. phaseoloides*, *L. purpureus*, et les parcelles mixtes (tabl. 3). Les parcelles de culture continue de maïs, montrent des rendements généralement plus faibles. Néanmoins, après un apport combiné d'urée et de superphosphate triple, les rendements sont proches des rendements observés dans les rotations à base de *L. purpureus* et les parcelles mixtes.

Dans les parcelles en rotation avec des légumineuses, l'activité biologique du sol est stimulée par la qualité des résidus (DINESH *et al.*, 2004 ; KONÉ *et al.*, 2012) qui alimentent le stock de COS. En culture continue de maïs, l'amélioration du stockage de carbone dans les parcelles ayant reçu de l'urée peut s'expliquer également par l'amélioration de la minéralisation du carbone, probablement due cette fois à une baisse du ratio C/N des résidus comme rapporté dans des travaux antérieurs (WHITBREAD *et al.*, 2003).

Comparaison du précédent *C. odorata* avec les précédents *C. cajan* ou *L. purpureus*

Deux autres études se déclinant en trois tests de comparaison, ont été conduites dans la même région que précédemment, en milieu paysan, de 2009 à 2011 (KONÉ *et al.*, 2012 ; EDOUKOU *et al.*, 2013, tabl. 1). Ces études ont porté sur l'effet à court terme (1 an et 2 ans) des précédents culturaux à légumineuses (*Cajanus cajan* et *L. purpureus*) par rapport aux couvertures végétales naturelles (savane herbeuse et jachère à *C. odorata*) sur les teneurs en COS, azote total et phosphore extractible ainsi que sur la minéralisation de l'azote. Les mesures ont été effectuées à 0-10 cm de profondeur du sol.

Ces trois tests étaient les suivants : *C. cajan* vs savane (test 1) ; *L. purpureus* vs jachère à *C. odorata* (test 2) ; et *C. cajan* vs jachère à *C. odorata* (test 3).

Ces comparaisons ont été faites sur trois sites distincts ($n = 3$), selon l'approche synchrone, au bout d'un an pour le test 1 et de 2 ans pour les tests 2 et 3.

Le phosphore extractible a été dosé par la méthode Bray-1 (OLSEN et SOMMERS, 1982) et l'azote minéral par la méthode de BREMNER (1965). La comparaison des moyennes a été faite à l'aide du test Wilcoxon au seuil 5 %.

Les principaux résultats sont présentés dans le tableau 5. Ces études, comme la précédente, ont montré que le précédent cultural « légumineuse » augmente les teneurs de COS (test 2) et surtout la teneur du sol en phosphore extractible, par rapport aux précédents « savane » ou « jachère à *C. odorata* ». Le stockage du carbone a également été amélioré sous *L. purpureus* par rapport à *C. odorata*.

Tableau 5
Paramètres de fertilité du sol (0-10 cm) sous précédents légumineux
et sous végétations naturelles (moyenne \pm erreur standard).

Paramètres du sol	Test 1		Test 2		Test 3	
	<i>C. cajan</i>	Savane	<i>L. purpureus</i>	<i>C. odorata</i>	<i>C. cajan</i>	<i>C. odorata</i>
C organique (g.kg ⁻¹)	7,3 \pm 2,1	5,0 \pm 0,6	26,9 \pm 2,5	22,7 \pm 1,7*	21,3 \pm 1,2	18,6 \pm 3,1
N total (g.kg ⁻¹)	0,4 \pm 0,1	0,3 \pm 0,0	2,7 \pm 0,4	2,3 \pm 0,2	2,1 \pm 0,2	1,8 \pm 0,2
C/N	16,5 \pm 0,1	18,1 \pm 0,1*	10,2 \pm 0,3	10,1 \pm 0,1	10,4 \pm 0,1	10,4 \pm 0,4
P Bray-1 (mg.kg ⁻¹)	10,5 \pm 0,6	7,0 \pm 1,0*	15,3 \pm 2,0	11,7 \pm 1,5*	15,7 \pm 3,6	10,7 \pm 2,6*
pH _(eau)	6,0 \pm 0,1	6,0 \pm 0,1	7,6 \pm 0,2	7,1 \pm 0,2	7,2 \pm 0,5	7,3 \pm 0,5
NH ₄ ⁺ (mg.kg ⁻¹)	15,0 \pm 4,2	11,0 \pm 1,6	-	-	-	-
NO ₃ ⁻ (mg.kg ⁻¹)	4,0 \pm 1,7	4,2 \pm 0,9	-	-	-	-
Da (g.cm ⁻³)	1,4 \pm 0,0	1,5 \pm 0,0*	1,4 \pm 0,9	1,2 \pm 0,8	1,4 \pm 0,9	1,4 \pm 0,1
Humidité (%)	9,8 \pm 1,4	6,4 \pm 0,8	16,1 \pm 3,1	15,3 \pm 4,4	15,3 \pm 2,3	12,6 \pm 1,2
Stock de C (Mg.ha ⁻¹)	10,0 \pm 2,7	7,1 \pm 0,8	35,2 \pm 5,4	28,4 \pm 2,4*	24,0 \pm 1,2	25,4 \pm 4,7

* Pour un même test, différence significative au seuil de 5 %.

Sources : KONÉ *et al.*, 2012 pour le test 1 ; EDOUKOU *et al.*, 2013 pour les tests 2 et 3.

Amélioration des jachères à *C. odorata* par association avec *C. cajan*

Une quatrième étude, conduite sur des parcelles paysannes dans la même zone entre 2012 et 2015 (KONÉ *et al.*, 2017b), portait sur l'amélioration des jachères à *C. odorata* à travers leur association avec la légumineuse arbustive *C. cajan*. En effet, une des solutions proposées pour améliorer la qualité de la jachère à *C. odorata*, espèce connue pour augmenter la disponibilité du phosphore (KASSI

et al., 2017), serait d'y associer la légumineuse *C. cajan* qui a l'avantage d'accroître la disponibilité de l'azote. Dans la mesure où l'espèce *C. cajan* résiste à la concurrence imposée par *C. odorata*, le temps de travail important dévolu à l'entretien des parcelles serait ainsi éliminé. L'étude a été faite selon l'approche synchrone également, comparant deux traitements par paires sur trois sites distincts : (1) *C. odorata* et (2) *C. odorata* + *C. cajan* (parcelle mixte). Sur la parcelle mixte, les graines de légumineuses ont été semées à un espacement d'environ 2 m. Les parcelles ont ensuite évolué pendant deux années sans intervention. Les paramètres de fertilité du sol (C, N, P extractible, CEC, pH) ont été mesurés à 0-10 cm de profondeur ainsi que les rendements de l'igname cultivée après ces deux années de jachère.

Comme précédemment, les teneurs en COS, azote total ($p = 0,04$ pour les deux) et phosphore extractible sont significativement ($p = 0,03$) augmentées avec la présence de la légumineuse dans la jachère (tabl. 6). De même, le stockage du carbone a été amélioré avec le renforcement de la jachère naturelle par *C. cajan*. Le rendement de l'igname y a également augmenté ($p = 0,04$) de 35 %. Toutefois, ces rendements étaient largement en deçà des rendements moyens dans la région (9-22 t.ha⁻¹) et du rendement moyen national, de l'ordre de 8 à 10 t.ha⁻¹ (FAO-IITA, 1999 ; ETTIEN et al., 2014b). Ces écarts peuvent s'expliquer par des conditions pluviométriques particulièrement défavorables en 2014 durant la période de culture de l'igname (avril à décembre) – 796 mm de pluies contre en moyenne 994 mm les dix années précédentes, soit un déficit de 200 mm – doublée d'une mauvaise répartition des pluies durant cette même période.

Tableau 6
Paramètres physiques et chimiques du sol (0-10 cm)
deux années après la mise en place des parcelles.

Paramètres du sol	<i>C. odorata</i>	<i>C. odorata</i> + <i>C. cajan</i>
COS (g.kg ⁻¹)	12,9 ± 0,4 a	15,1 ± 0,5 b
N total (g.kg ⁻¹)	1,1 ± 0,1 a	1,5 ± 0,1 b
C/N	11,5 ± 1,2 a	10,4 ± 0,9 a
P Bray-I (mg.kg ⁻¹)	20,3 ± 2,6 a	32,3 ± 3,5 b
CEC (cmol _c .kg ⁻¹)	6,9 ± 0,8 a	7,2 ± 0,5 a
pH _{eau}	7,1 ± 0,1 a	7,0 ± 0,0 a
Densité apparente (g.cm ⁻³)	1,1 ± 0,0 a	1,0 ± 0,0 a
Humidité (%)	8,6 ± 0,1 a	9,0 ± 0,7 a
Stock de carbone (Mg.ha ⁻¹)	13,5 ± 0,3 a	15,3 ± 0,3 a
Rendement de l'igname (t.ha ⁻¹)	5,2 ± 0,5	7,04 ± 0,6

Sur la même ligne, les valeurs affectées de lettres différentes sont significativement différentes au seuil de 5 %.
Source : KONE et al., 2017b.

Utilisation de légumineuses herbacées alimentaires

Cette étude a été effectuée par KONATÉ (2014) à Gagnoa (7°44 N, 5°04 W, 376 m) dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, en station de recherche pendant deux années consécutives (2010 et 2011). Elle a comparé l'effet des précédents culturaux constitués de soja (*Glycine max*), de niébé (*Vigna unguiculata*) et de riz (variété NERICA1) sur la fertilité du sol dans un dispositif en blocs de Fisher avec trois répétitions. Au bout de la première année, des échantillons de sol (0-20 cm) ont été prélevés et les paramètres de fertilité mesurés. La seconde année, toutes les parcelles ont été défrichées, le riz a été semé sur chacune d'elles et les paramètres de fertilité du sol à nouveau mesurés à la récolte du riz. Les moyennes ont été comparées à l'aide d'une analyse de variance (logiciel SAS v 9.0) au seuil de 5 %. Lorsque les différences étaient significatives, le test de Newman-Keul a été utilisé pour la séparation des moyennes.

Au bout de la première année, la teneur du sol en COS était significativement plus élevée sous le niébé que sous les deux autres couvertures alors que l'azote ne montrait aucune différence (tabl. 7). Au bout de la seconde année, la teneur en COS était significativement plus élevée sur les parcelles à précédent légumineuses (soja et niébé) que sur les parcelles de culture continue de riz.

La teneur en azote était améliorée avec le soja, mais pas avec le niébé par rapport à la culture continue de riz. Comme dans les études précédentes, on note un rapport C/N plus faible dans les parcelles à précédent légumineuses.

Tableau 7
Statut organique de la couche 0-20 cm du sol dans les différentes parcelles.

Précédents culturaux	C organique (g.kg ⁻¹)		N total (g.kg ⁻¹)		C/N	
	T1	T2	T1	T2	T1	T2
Soja	14,0 ± 1,0 a	18,0 ± 0,0 a	1,0 ± 0,0 a	3,0 ± 0,1 a	10,7 ± 0,1 a	7,0 ± 0,1 a
Niébé	16,0 ± 1,0 b	18,0 ± 0,0 a	2,0 ± 0,0 a	2,0 ± 0,0 b	10,7 ± 0,1 a	7,6 ± 0,0 a
Riz	14,0 ± 0,0 a	16,0 ± 1,0 b	1,0 ± 0,0 a	2,0 ± 0,1 b	10,8 ± 0,1 a	8,3 ± 0,2 b

Dans la même colonne, les valeurs suivies de la même lettre ne sont pas différentes au seuil de 5 %.

T1, T2 : année 1, 2.

Source: KONATÉ, 2014.

Utilisation de légumineuses arborescentes

Dans le Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, à Oumé (06°17' N et 05°31' W), l'effet du précédent « légumineuses arborescentes » sur la fertilité du sol et sur les rendements d'une culture d'igname a été étudié (GNAHOUA *et al.*, 2008). Les espèces utilisées – *Acacia mangium* et *Acacia auriculiformis* – ont été comparées à *C. odorata*, l'espèce dominante dans les jachères non contrôlées (régénération naturelle). Ces trois types de parcelles étaient âgés de 3 ans selon l'historique suivant : au cours des deux premières années, chacune des espèces de légumineuses

était associée à une culture vivrière – igname et riz successivement – tandis que la parcelle de *C. odorata* a été totalement défrichée et plantée d'ignames puis de riz. Au cours de la troisième année, les trois types de parcelles ont été mis en jachères respectives à *C. odorata*, *A. mangium* et *A. auriculiformis*. À la fin de l'année, des échantillons de sol ont été prélevés à 0-15 cm de profondeur pour en mesurer les teneurs en COS et en éléments nutritifs. En quatrième année, les parcelles ont été défrichées et plantées d'ignames dont les rendements ont été estimés à partir des tubercules frais. Chacun de ces traitements était répété quatre fois.

Les résultats n'ont pas montré d'amélioration significative des teneurs en COS et azote total. Les teneurs en COS étaient en effet de 19, 21 et 19 g C.kg⁻¹ sous *C. odorata*, *A. mangium* et *A. auriculiformis*, respectivement et celles en azote total de 1,9, 2,1 et 1,9 g N.kg⁻¹ respectivement. Toutefois, les rendements de la culture d'igname étaient significativement plus élevés après *A. mangium* (8,8 t.ha⁻¹) et *A. auriculiformis* (5,2 t.ha⁻¹) qu'après la jachère naturelle à *C. odorata* (2,7 t.ha⁻¹). Ces augmentations ont été attribuées à la quantité de résidus de végétaux plus importante sur les parcelles de légumineuses après défriche et à la brièveté de la jachère à *C. odorata* (1 an contre 3 ans de présence de légumineuses). Il semble que les jachères arborées à légumineuses nécessitent davantage de temps (> 3 ans) pour améliorer la fertilité du sol de façon significative.

Conclusions

Ces études expérimentales, en station ou en milieu paysan, ont toutes montré des effets bénéfiques des légumineuses sur le stockage du COS et sur les rendements des cultures, parfois significatifs dès les premières années de leur introduction. Ces études confirment que la quantité et la qualité des résidus de légumineuses retournés au sol sont favorables à l'activité biologique et au statut organique des sols (BLANCHART *et al.*, 2006 ; KONÉ *et al.*, 2012). Ces études ont aussi montré que l'effet des légumineuses sur la MO du sol dépend de l'interaction sol-espèce de plante dans l'écosystème d'origine, de l'espèce de légumineuses elle-même et de la durée de son action. En effet, dans les écosystèmes de savane où les sols sont pauvres en COS, toutes les espèces de légumineuses testées ont permis une amélioration significative des teneurs au bout d'un an seulement. Ces espèces, utilisées en jachères, n'ont pourtant pas toujours permis d'améliorer les teneurs de COS, même après un délai de 2 ans, par rapport à une jachère naturelle dominée par l'espèce *C. odorata*. Cependant, l'association de légumineuses à *C. odorata* a amélioré significativement la teneur en COS au bout de 2 ans, par rapport à la jachère pure à *C. odorata*. Dans le cas des espèces de légumineuses arborescentes, une durée de 3 ans n'est pas suffisante pour observer un effet significatif sur le COS. En effet, le

développement de ce type de plante a besoin de plus de temps avant de restituer une partie appréciable de biomasse sous forme de litières, y compris racinaires. Même sans être associées avec des légumineuses, les jachères à *C. odorata* ont montré leur aptitude à améliorer relativement rapidement le stockage du carbone dans le sol, surtout dans les sols de savane, plus pauvres en carbone organique. L'efficacité de cette jachère pourrait être plus grande si la biomasse qu'elle produit n'est pas brûlée après défrichage (N'DRI *et al.*, 2019).

La capacité de certaines espèces de légumineuses, telles que *C. cajan*, à se développer sans aucune intervention sur les mêmes sites que *C. odorata* donne la triple opportunité de limiter le temps de travail habituellement dévolu à l'entretien des jachères améliorées, d'améliorer le stockage carbone dans les jachères de courte durée et de promouvoir l'adoption des légumineuses par les agriculteurs. Cette association *C. odorata*-*C. cajan* devrait donc faire l'objet d'une promotion auprès des paysans. Des tests agronomiques du même genre devraient être faits sur d'autres espèces de légumineuses dans le même but.

Même si certaines espèces de légumineuses herbacées améliorent la MO du sol et les rendements des cultures à court terme (1 à 2 ans), le maintien du statut organique du sol nécessite la présence de ces espèces sur les parcelles cultivées pendant les périodes inter-culturelles. En effet, les résidus issus des espèces herbacées sont sujets à un turnover accéléré pouvant entraîner une perte rapide de la MO du sol, surtout dans les sols sableux, et entraver ainsi la production vivrière.

Le stockage du COS étant un processus relativement lent, des études sur la capacité des légumineuses à restaurer les stocks organiques des sols devront être réalisées sur des périodes supérieures à 3 années, afin de tirer des conclusions plus fiables et faire des recommandations plus solides aux utilisateurs dans les différentes zones agro-écologiques de la Côte d'Ivoire.

Bibliographie

AGGARWAL P., ZOUGMORÉ R., KINYANGI J., 2013

Climate-smart villages: a community approach to sustainable agricultural development. Copenhagen, Denmark, CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS).

ANDERSON T. H., DOMSCH K. H., 2010

Soil microbial biomass: the eco-physiological approach. *Soil Biology and Biochemistry*, 42 : 2039-2043.

AUTFRAY P., 2002

Effets des litières sur l'offre en azote d'origine organique dans des systèmes de culture de maïs à couvertures végétales. Étude de cas dans la zone à forêt semi-décidue de Côte d'Ivoire. École nationale supérieure agronomique de Montpellier, France.

BECKER M., JOHNSON D. E., 1998

Legumes as dry season fallow in upland rice-based systems of West Africa. *Biology and Fertility of Soils*, 27 (4) : 358-367.

BEKKU Y., KOIZUMI H., OIKAWA T., IWAKI H., 1997

Examination of four methods for measuring soil respiration. *Applied Soil Ecology*, 5 (3) : 247-254.

BERNOUX M., FELLER C., CERRI C. C., ESCHENBRENNER V., CERRI C. E. P., 2006

« Soil carbon sequestration ». In Roose E., Lal R., Feller C., Stewart B. A. (éd.) : *Soil erosion and carbon dynamics*, Boca Raton, Taylor et Francis : 13-22.

BLANCHART E., VILLENAVE C., VIALLATOUX A., BARTHÈS B., GIRARDIN C., AZONTONDE A., FELLER C., 2006

Long-term effect of a legume cover crop (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) on the communities of soil macrofauna and nematofauna, under maize cultivation, in southern Benin. *European Journal of Soil Biology*, 42 : S136-S144.

BOUADI L. E. C., 2009

Rôle des jachères à *Chromolaena odorata* dans le terroir du village d'Ahérérou-2. Mémoire de Diplôme universitaire de technologie, URES-Université de Bouaké, Côte d'Ivoire.

BREMNER J. M., 1965

« Total nitrogen ». In Black A. (éd.) : *Methods of soil analysis. Chemical and microbial properties*, Madison, WI, USA, American Society of Agronomy : 1049-1178.

CHARPENTIER H., DOUMBIA S., COULIBALY Z., ZANA O., 1999

Fixation de l'agriculture au nord et au centre de la Côte d'Ivoire : quels nouveaux systèmes de culture ? *Agriculture et développement*, 21 : 69 p. Téléchargeable : https://agritrop.cirad.fr/392539/1/document_392539.pdf

DINESH R., 2004

Long-term effects of leguminous cover crops on microbial indices and their relationships in soils of a coconut plantation of a humid tropical region. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167 (2) : 189-195.

EDOUKOU E. F., KONÉ A., TONDOH J. E., 2013

Les jachères à base de *Chromolaena odorata* (Asteraceae) et de légumineuses ont-elles les mêmes potentialités agronomiques ? *Étude et Gestion des Sols*, 20 : 95-106.

ETTIEN J., GNAHOVA J.-B., N'ZUÉ B., KOUAO A., YAO-KOUAME A., DE NEVE S., BOECKX P., 2014A

Ferralsols of southern Côte d'Ivoire under strong land pressure: what alternative to an improving soil fertility for a sustainable cassava production? *Basic Research Journal of Soil and Environmental Science*, 2 (6) : 62-69.

ETTIEN D. J. B., KOUADIO K.-K. H., N'GORAN E., YAO-KOUAMÉ A., GIRARDIN O., 2014B

Improving the performance of a traditional variety of yam produced under Ferralsol poor in organic matter in the forest areas of Côte d'Ivoire. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 4 (1) : 76-84.

FAO-IITA, 1999

Agriculture policy for sustainable management and use of natural resources in Africa. Ibadan, Nigeria, IITA-Intec Printers.

FELLER C., 1995

La matière organique du sol : un indicateur de la fertilité. Application aux zones sahélienne et soudanienne. *Agriculture et Développement*, 8 : 35-41.

GNAHOVA G. M., KOUASSI F. Y., ANGUP P. K. T., BALLE P., OLIVIER R., PELTIER R., 2008

Effets des jachères à *Acacia mangium*, *Acacia auriculiformis* et *Chromolaena odorata* sur la fertilité du sol et les rendements de l'igname (*Dioscorea* spp.) en zone forestière de Côte d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 20 (3) : 291-301.

GNAHOVA G. M., OLIVER R., NGUESSAN K. A., BALLE P., 2013

Production et retombées minérales des litières chez quatre espèces de légumineuses arborées, utilisées en amélioration de jachères, en zone forestière de Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 72 : 5800-5809.

GUILLAUMET J.-L., ADJANOHOON E., 1971

« La végétation de Côte d'Ivoire ». In Avenard J.-M., Eldin M., Girard G., Sircoulon J., Touchebeuf P., Guillaumet J.-L., Adjanohoun E. (éd.) : *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*, Paris, Mémoires ORSTOM 50, 391 p.

HAYANO K., 1973

A method for determination of β -glucosidase activity in soil. *Soil Science and Plant Nutrition*, 19 : 103-108.

- KASSI S.-P. A. Y., KONÉ A. W., TONDOH J. E., KOFFI B. Y., 2017**
Chromolaena odorata fallow-cropping cycles maintain soil carbon stocks and yam yields 40 years after conversion of native- to farmland, implications for forest conservation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 247 : 298-307.
- KASSIN K., YORO G., 2009**
 Rapport d'activité du Programme gestion durable des sols et maîtrise de l'eau (GDSME). Gagnoa, CNRA, 17 p.
- KLUGE R. L., ZACHARIADES C., 2006**
 Assessing the damage potential of the stem-boring weevil *Lixus aemulus* for the biological control of *Chromolaena odorata*. *BioControl*, 51 (4) : 547-552.
- KONATÉ Z., 2014**
Étude des arrières effets du soja (Glycine max.) et du niébé (Vigna unguiculata) sur quelques propriétés physico-chimiques des sols et sur la productivité du riz pluvial de plateau : cas de Gagnoa au Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire. Thèse de doctorat, université Félix Houphouët-Boigny.
- KONÉ A. W., TONDOH J. E., ADURAMIGBA-MODUPE V. O., DELEPORTE P., ORENDO-SMITH R., BRUNET D. 2017a**
 Legume- and fertilizer-derived nutrient use efficiencies by maize in a Guinea savannah of Côte-d'Ivoire. *Agronomie Africaine*, 29 (1) : 33-48.
- KONÉ A., KABLAN A. B. M. K., GAUZE-TOUAO K. M., DJESSOU S. A., KONÉ B., 2017b**
 Agroforestry technique for minimal extra-labour: influence of *Chromolaena-Cajanus* combination on soil chemistry and biology, and yam yields. *Environment and Natural Resources Research*, 7 : 109-119.
- KONÉ A. W., TONDOH J. E., ANGUI P. K. T., BERNHARD-REVERSAT F., LORANGER-MERCIRIS G., BRUNET D., BRÉDOUMI S. T. K., 2008A**
 Is soil quality improvement by legume cover crops a function of the initial soil chemical characteristics? *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 82 (1) : 89-105.
- KONÉ A., TONDOH J. E., BERNHARD-REVERSAT F., LORANGER-MERCIRIS G., BRUNET D., TANO Y., 2008B**
 Changes in soil biological quality under legume- and maize-based farming systems in a humid savanna of Côte d'Ivoire. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, 12 (2) : 147-155.
- KONÉ A. W., EDOUKOU E. F., TONDOH J. E., GONNETY J. T., ANGUI P. K. T., MASSE D., 2012**
 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 regrowth in a Guinea savanna zone. *Biology and Fertility of Soils*, 48 (3) : 337-347.
- KOUADIO K. K. H., DOUDOU D. T., TSCHANNEN A., DAO D., GIRARDIN O., 2011**
 Techniques agroforestières à base de *Gliricidia sepium* à l'est de la Côte d'Ivoire : impacts et perspectives. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 11 (1) : 1374-1379.
- KOUASSI N. A., 2000**
 « Utilisation des plantes de couverture comme substitution à la jachère pour la culture de la canne à sucre en Côte d'Ivoire ». In Floret C. et Pontanier R. (éd.) : *La jachère en Afrique tropicale : rôles, aménagement, alternatives. 1. Actes du séminaire international, Dakar, 13-16 avril 1999*, Paris, Montrouge, France, IRD, John Libbey Eurotext, Paris : 611-615.
- KOUTIKA L.-S., HAUSER S., MEUTEUM KAMGA J. G., YERIMA B., 2004**
 Comparative study of soil properties under *Chromolaena odorata*, *Pueraria phaseoloides* and *Calliandra calothyrsus*. *Plant and Soil*, 266 : 315-323.
- KOUTIKA L.-S., RAINEY H. J., 2010**
Chromolaena odorata in different ecosystems: weed or fallow plant? *Applied Ecology and Environmental Research*, 8 : 131-142.
- KURWAKUMIRE N., CHIKOWO R., MTAMBANENGWE F., MAPFUMO P., SNAPP S., JOHNSTON A., ZINGORE S., 2014**
 Maize productivity and nutrient and water use efficiencies across soil fertility domains on smallholder farms in Zimbabwe. *Field Crops Research*, 164 : 136-147.
- MUNIAPPAN R., REDDY G. V. P., LAI P.-Y., 2005**
 « Distribution and biological control of *Chromolaena odorata* ». In Inderjit S. (éd.) : *Invasive plants: ecological and agricultural aspects*, Basel, Birkhäuser Verlag : 223-233.

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 (5) : 738-751.

NELSON D. W. A. S., SOMMERS L. E., 1982

« Total carbon, organic carbon, and organic matter ». In Page A. L. et Miller R. H. K., D. R. (éd.) : *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*, Madison, WI, USA, ASA-SSA : 536-577.

N'GORAN A., KANGA N. A., 2000

« Influence d'un précédent de légumineuse herbacée et d'une jachère courte de deux ans sur la productivité du maïs au Nord de la Côte d'Ivoire ». In Floret C. et Pontanier R. (éd.) : *La jachère en Afrique tropicale : rôles, aménagement, alternatives. 1. Actes du séminaire international, Dakar, 13-16 avril 1999*, Paris, Montrouge, France, IRD, John Libbey Eurotext, Paris : 616-621.

NORGROVE L., HAUSER S., 2016

Biophysical criteria used by farmers for fallow selection in West and Central Africa. *Ecological Indicators*, 61 : 141-147.

OJEM J. O., FRANKE A. C., VANLAUWE B., RIDDER N. A. D., GILLER K. E., 2014

Benefits of legume-maize rotations: assessing the impact of diversity on the productivity of smallholders in Western Kenya. *Field Crops Research*, 168 : 75-85.

OLSEN S. R., SOMMERS L. E., 1982

« Phosphorus ». In Page A. L. et Miller R. H. K., D. R. (éd.) : *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. Madison, WI, USA, ASA-SSA : 403-430.

PEEL M. C., FINLAYSON B. L., MCMAHON T. A., 2007

Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11 (5) : 1633-1644.

RIOU G., 1974

Les sols de la savane de Lamto. *Bulletin de liaison des chercheurs de Lamto. Numéro spécial. Analyse d'un écosystème tropical humide : la savane de Lamto (Côte d'Ivoire). Fascicule 1. Les facteurs physiques du milieu* :3-43.

RUF F., 2012

L'adoption de l'hévéa en Côte d'Ivoire. Prix, mimétisme, changement écologique et social. *Économie rurale*, 330-331 : 103-124.

SIMELTON E. S., CATACTAN D. C., DAO T. C., DAM B. V., LE T. D., 2017

Factors constraining and enabling agroforestry adoption in Viet Nam: a multi-level policy analysis. Agroforestry Systems, 91 : 51-67.

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.

TIAN G., KOLAWOLE G. O., KANG B. T., KIRCHHOF G., 2000

Nitrogen fertilizer replacement indexes of legume cover crops in the derived savanna of West Africa. *Plant and Soil*, 224 (2) : 287-296.

WALKLEY A. J., BLACK I. A., 1934

Estimation of soil organic carbon by the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37 : 29-38.

WHITBREAD A., BLAIR G., KONBOON Y., LEFROY R., NAKLANG K., 2003

Managing crop residues, fertilizers and leaf litters to improve soil C, nutrient balances, and the grain yield of rice and wheat cropping systems in Thailand and Australia. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 100 (2) : 251-263.