

# Décomposition des broyats de coques de cacao dans les sols ferrallitiques de la zone d'Oumé, centre-ouest de la Côte d'Ivoire : effets sur les caractéristiques chimiques des sols

Mathieu Danho Djeke <sup>(1)</sup>, Pascal Kouassi Tehua Angui <sup>(2)</sup>, Justin Yatty Kouadio <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Université d'Abobo-Adjamé. Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Nature (URF-SN). Laboratoire de Biologie et d'Amélioration des Productions Végétales (LBAPV). 02 BP 801. CI-Abidjan 02 (Côte d'Ivoire). E-mail : djekdanhomath@yahoo.fr

<sup>(2)</sup> Université d'Abobo-Adjamé. Unité de Formation et de Recherche des Sciences de Gestion de l'Eau (UFR-SGE). Laboratoire de Géosciences et Environnement. 02 BP 801. CI-Abidjan 02 (Côte d'Ivoire).

Reçu le 28 septembre 2009, accepté le 24 août 2010.

Pour étudier le potentiel des coques de cacao dans la fertilisation des sols, l'effet de leur décomposition sur l'évolution des caractéristiques chimiques des sols argileux et sableux de la zone d'Oumé a été évalué par un suivi en bocaux d'incubation. Deux quantités de broyats de coques : 1,39 g et 2,78 g, équivalents à 5 g C·kg<sup>-1</sup> (D5) et 10 g C·kg<sup>-1</sup> (D10) respectivement, ont été apportées à 100 g de sol sec et comparées à un témoin non amendé (D0) pour chacun des deux sols dans un dispositif en blocs de Fischer comportant trois répétitions. La minéralisation du carbone (C) à travers le CO<sub>2</sub> dégagé et l'évolution des paramètres chimiques des sols ont été observées à des dates régulières. Les coques de cacao ont influencé significativement la minéralisation du C qui a augmenté avec la dose D5, alors que la dose D10 a occasionné sa baisse par rapport au témoin. Les deux doses ont amélioré de façon significative les capacités d'échange cationique (CEC) de 3,94 à 5,65 cmol<sub>c</sub>·kg<sup>-1</sup> avec D5 et de 5,19 à 6,31 cmol<sub>c</sub>·kg<sup>-1</sup> avec D10, ainsi que les sommes des bases échangeables des sols amendés (+ 3,13 à + 4,14 cmol·kg<sup>-1</sup> avec D5 et + 6,52 à + 7,27 cmol·kg<sup>-1</sup> avec D10). L'acidité des sols amendés a été réduite de façon significative à travers l'augmentation des pH (+ 1 et + 2 unités avec D5 et D10, respectivement). La texture du sol a aussi influé sur la minéralisation du C et sur l'augmentation de la CEC et des sommes des bases avec des valeurs plus élevées pour les sols argileux que pour les sols sableux. L'étude a montré que les coques de cacao constituent une source de matière organique qui permet d'améliorer les paramètres chimiques des sols et qu'elles pourraient être utilisées dans la fertilisation des sols ferrallitiques dégradés de la zone d'Oumé. Toutefois, leur apport devrait être contrôlé du fait de leur plus faible décomposition lorsqu'elles sont apportées en grandes quantités. La détermination de la dose pour une meilleure minéralisation pourrait être l'objet d'études ultérieures.

**Mots-clés.** Sols ferrallitiques, coques de cacao, incubations, paramètres chimiques, Côte d'Ivoire.

**Decomposition of cocoa hulls in ferrallitic soils from Oumé region, Mid West of Côte d'Ivoire: effects on soils chemical characteristics.** The effects of cocoa hulls on clayey and sandy ferrallitic soils were monitored during their decomposition through incubations to study the interest of their use in soil fertilization. Two quantities of hulls: 1.39 g and 2.78 g which corresponded to 5 g C·kg<sup>-1</sup> (D5) and 10 g C·kg<sup>-1</sup> (D10) respectively, were brought to 100 g of each soil and compared to the non-amended control soil (D0). The experimental design was in Fischer blocks with six treatments and three replications. Carbon (C) mineralization and soil chemical parameters were measured. Results showed that cocoa hulls significantly influenced C mineralization. It increased significantly with D5 and decreased with D10 as compared to the control. Soil cation exchange capacity (CEC) varied from 3.94 to 5.65 cmol<sub>c</sub>·kg<sup>-1</sup> with D5 and 5.19 to 6.31 cmol<sub>c</sub>·kg<sup>-1</sup> with D10 and the sum of exchangeable bases varied from 3.13 to 4.14 cmol·kg<sup>-1</sup> with D5 and 6.52 to 7.27 cmol·kg<sup>-1</sup> with D10. Soil texture influenced significantly C mineralization, CEC and the sum of exchangeable bases with higher values obtained with clayey soils than with sandy soils. The study showed that cocoa hulls can be used to improve soil chemical characteristics, thereby soil fertilization in the Oumé region. However, the quantity must be controlled since there exists a threshold beyond which C mineralization is inhibited. Further studies should be undertaken with the aim to determine this threshold.

**Keywords.** Ferrallitic soils, cocoa hulls, incubations, chemical parameters, Côte d'Ivoire.

## 1. INTRODUCTION

En Côte d'Ivoire, les sols sont soumis à une exploitation agricole de plus en plus intensive du fait de la forte pression sur les terres due aux besoins croissants engendrés par l'accroissement démographique et au manque de terres cultivables (N'Goran et al., 1997). La conséquence de cette pression est la diminution des jachères conduisant à la dégradation du sol et aux faibles rendements des cultures (Yemefack et al., 2000). La chute des rendements constitue une préoccupation majeure pour les paysans.

L'utilisation des engrais chimiques, de par leur action bénéfique immédiate sur la productivité des cultures vivrières est une des solutions, mais leur coût élevé et leur indisponibilité les rendent presque inaccessibles aux petits paysans (N'Goran, 1995). Outre les problèmes écologiques et environnementaux qu'elle cause, la fertilisation minérale seule ne permet pas de maintenir la fertilité des sols (Bado, 2002). Son utilisation exclusive entraîne une augmentation de l'acidité, une dégradation du statut physique et une baisse de la matière organique du sol (Boli et al., 2000).

Dans un tel contexte, la fertilisation organique devrait constituer une solution appropriée pour la restauration de la fertilité des sols. De nombreux travaux ont montré que les amendements jouent un rôle important sur diverses propriétés du sol, ce qui permet de justifier leur utilisation (Piéri, 1989 ; Lompo et al., 1995). Ayanlaja et al. (1991) ont montré que la décomposition des résidus végétaux permet d'améliorer considérablement le niveau des nutriments et de la matière organique dans les sols. Mais l'utilisation des amendements organiques tels que les coques de cacao n'a pas été particulièrement étudiée (Moyin-Jesu, 2007), alors qu'elles constituent une source optimale de potassium pour le maïs au Ghana (Adu-Dapaah et al., 1994). Vu leur disponibilité en Côte d'Ivoire, premier producteur mondial de cacao avec environ 32 % de la production mondiale et une cacao-culture qui couvre environ 6 % du territoire (Lepoitevin et al., 2003), l'utilisation des coques de cacao pourrait être une solution aux problèmes de fertilisation des sols.

L'étude a été réalisée sur des sols ferrallitiques dégradés argileux et sableux en vue d'évaluer l'intérêt de l'utilisation des coques de cacao dans une perspective de gestion durable de la fertilité des sols. De façon plus spécifique, la décomposition des coques de cacao, à travers la minéralisation du carbone, et leurs effets sur l'évolution des caractéristiques chimiques des sols argileux et sableux de la zone d'Oumé, ont été étudiés en fonction des quantités apportées et de la texture du sol.

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1. Sols utilisés

Deux sols situés dans deux positions topographiques différentes ont été utilisés : un sol de haut de versant et un sol de bas de versant, représentatifs des sols sous cultures vivrières (maïs, riz, banane, manioc, igname) du site du Projet « *Conservation and Sustainable Management of Below-Ground Biodiversity* » (CSM-BGBD), localisé à Oumé, dans le village de Goulakao (5°31' W, 6°17' N et 200 m).

La zone d'Oumé, centre-ouest de la Côte d'Ivoire, est caractérisée par une pluviométrie bimodale, avec une moyenne annuelle de 1300 mm (N'Goran et al., 1997), une température moyenne et une humidité relative de 26 °C et 85 %, respectivement (Bongoua, 2002). Le climat est de type subéquatorial « attién » avec une végétation de type ombrophile, dense et semi-décidue (Guillaumet et al., 1971). Les surfaces affectées aux vivriers sont dégradées pour la majorité d'entre elles (Angui et al., 2005).

Les sols de la zone d'Oumé sont de type ferrallitique moyennement désaturé (Avenard, 1971 ; Lecompte, 1990), caractérisés par de faibles capacités de rétention en eau (Boa, 1989) et de fixation d'éléments nutritifs (Assa, 1988), un pH bas et des teneurs en matière organique variant de 2 à 3 % (Ouallou, 1997). Ils ont une texture argilo-sableuse à argileuse sur les plateaux et hauts de versant, et sableuse en bas de versant et dans les bas-fonds (Assié et al., 2008). Les caractéristiques physico-chimiques des sols utilisés ont été déterminées au laboratoire des sols de l'Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny (INP-HB) de Yamoussoukro et sont présentées dans le **tableau 1**.

### 2.2. Amendements organiques

Les amendements organiques utilisés sont des coques de cacao ramassées dans les plantations de cacao du Centre National de Recherche Agronomique (CNRA) de Côte d'Ivoire. Ces coques ont été séchées à l'air libre pendant sept jours, ensuite broyées et tamisées ( $\phi < 2$  mm). Les caractéristiques chimiques des broyats ont été déterminées au Laboratoire Central de Nutrition Animale (LACENA) et consignées dans le **tableau 2**.

### 2.3. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental était en blocs complets de Fischer avec deux facteurs : « la texture du sol » comportant deux modalités : « sol argileux » (Arg) et « sol sableux » (Sab) et « la dose de carbone » avec trois niveaux : témoin (D0), dose 5 g C·kg<sup>-1</sup> sol (D5) et dose 10 g C·kg<sup>-1</sup> sol (D10). Ces doses correspondent respectivement à 0 g ; 1,39 g et 2,78 g de coques de

**Tableau 1.** Quelques caractéristiques physico-chimiques des échantillons de sol étudiés — *Some physico-chemical characteristics of the studied soil samples.*

Caractéristiques physico-chimiques	Horizon de labour (0-30 cm)	
	Sol de haut de versant	Sol de bas de versant
<b>Granulométrie</b>		
Argile, < 2 µm (A en %)	23,8 ± 3,8	3,2 ± 0,9
Limons totaux, 2-50 µm (L en %)	46,5 ± 0,5	13,8 ± 1,3
Sables totaux, 50-2000 µm (S en %)	29,7 ± 3,3	83,0 ± 1,1
<b>pH</b>		
Eau	5,0 ± 0,6	5,4 ± 0,4
KCl	4,5 ± 0,4	4,8 ± 0,5
<b>Matière organique</b>		
Carbone (C en %)	0,4 ± 0,2	0,6 ± 0,5
Azote (N en %)	0,05 ± 0,02	0,06 ± 0,03
Rapport C/N	9,0 ± 3,1	9,5 ± 2,3
<b>Complexe adsorbant</b>		
Capacité d'échange cationique (CEC en cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> )	8,8 ± 0,4	7,3 ± 1,2
Somme des bases échangeables (SB en cmol <sub>c</sub> ·kg <sup>-1</sup> )	2,44 ± 0,78	3,16 ± 1,43
Taux de saturation	27,9 ± 7,8	43,5 ± 9,0

moyenne (erreur standard), n = 3 — *mean (standard error), n = 3.*

**Tableau 2.** Caractéristiques chimiques des coques de cacao — *Chemical characteristics of cocoa hulls.*

Caractéristiques chimiques	Coques de cacao
Carbone (C en %)	36,0
Matière organique (MO en %)	62,0
Azote (N en %)	1,4
Rapport C/N	25,7
Phosphore total (%)	0,1
Ca (%)	0,6
Mg (%)	0,4
K (%)	3,4
Na (%)	0,0

Les teneurs en éléments sont données en pourcentage de matière sèche (MS) — *Element contents are given in percentage of drought matter.*

cacao pour 100 g de sol. Les traitements issus de la combinaison de ces facteurs sont les suivants :

- ArgD0 : sol argileux sans amendement,
- ArgD5 : sol argileux + 1,39 g de coques de cacao,
- ArgD10 : sol argileux + 2,78 g de coques de cacao,
- SabD0 : sol sableux sans amendement,
- SabD5 : sol sableux + 1,39 g de coques de cacao,
- SabD10 : sol sableux + 2,78 g de coques de cacao.

Pour chaque traitement, trois répétitions ont été réalisées.

#### 2.4. Incubations des mélanges

L'essai d'incubation a été conduit au laboratoire de Biologie et d'Amélioration des Productions Végétales de l'Université d'Abobo-Adjamé. La méthode a été basée sur celles utilisées par Abiven (2004) et Annabi (2005). Les différentes quantités de broyats de coques de cacao ont été mélangées à 100 g de sol sec. Les incubations, en conditions contrôlées, ont été réalisées dans des bocaux de 1 l, fermés hermétiquement, à une humidité proche de la capacité au champ (20 % en humidité pondérale) et à une température constante (28 °C ± 2) dans l'obscurité. L'atmosphère dans les bocaux a été renouvelée à chaque date de mesure de minéralisation du carbone, afin de maintenir les sols dans des conditions d'aérobic. L'humidité a été contrôlée constamment par pesée et ajustée au besoin. L'essai a comporté 20 durées d'incubation différentes pour le suivi de la minéralisation et 6 durées pour le suivi des paramètres chimiques du sol.

#### 2.5. Mesures de la minéralisation du carbone

La minéralisation du C a été mesurée par piégeage du CO<sub>2</sub> dans la soude (Freijer et al., 1991). Les quantités

de CO<sub>2</sub> piégé ont été déterminées par titrage avec du HCl 0,1 M en présence de phénophtaléine 5 % à 1, 3, 6, 9, 14, 17, 20, 27, 35, 42, 49, 56, 63, 70, 77, 84, 91, 98, 105 et 120 jours d'incubation. Ces quantités (Q en mg C.kg<sup>-1</sup>) ont été calculées sur la base de 1 ml de HCl 0,1 M équivalent à 2,2 mg de CO<sub>2</sub> à l'aide de la formule suivante (Anderson et al., 1993) :

$$Q = \frac{[(V_{bl} - V_{éch}) \times 2,2 \times 1000]}{100}$$

où V<sub>bl</sub> = volume moyen de HCl utilisé pour le contrôle, V<sub>éch</sub> = volume de HCl utilisé pour l'échantillon et 100 = poids de sol en g.

Le taux de minéralisation du C a été calculé et équivaut au ratio de la quantité du C minéralisé sur la quantité totale de carbone du sol (celle du sol augmentée de celle apportée).

## 2.6. Méthodes d'analyses chimiques

Les paramètres chimiques des sols amendés ou non ont été mesurés et suivis à des dates régulières : 0 ; 3 ; 6 ; 9 ; 12 et 15 semaines d'incubation. Les mesures des pH<sub>cau</sub> et pH<sub>KCl</sub>, pour évaluer l'acidité du sol, ont été effectuées dans une suspension de sol dans l'eau et dans une solution normale de chlorure de potassium (KCl) à l'aide d'un pH-mètre dans un rapport 1/2,5. La méthode à l'acétate d'ammonium 1 M à pH 7 (Anderson et al., 1993) a été utilisée pour déterminer la capacité d'échange des cations (CEC) et les teneurs en bases échangeables (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>). Le carbone organique total a été déterminé selon la méthode de Walkley-Black (1934).

## 2.7. Analyse statistique des données

Les données recueillies ont été soumises à une analyse de variance (ANOVA) à l'aide du logiciel STATISTICA 7.0. Le test de Newman-Keuls a été utilisé pour la comparaison des moyennes lorsque des différences significatives entre les traitements ont été révélées au seuil de probabilité de 5 %.

## 3. RÉSULTATS

### 3.1. Caractéristiques chimiques des coques de cacao

Les broyats de coques de cacao ont présenté un rapport C/N de 25,7 et leur composition chimique, déterminée à partir de la matière sèche, a indiqué une forte teneur en potassium (3,4 %), des teneurs en calcium et en magnésium s'élevant à 0,6 % et 0,4 %, respectivement (**Tableau 2**).

### 3.2. Caractéristiques initiales des sols

Les caractéristiques des sols utilisés montrent que la teneur en argile du sol de haut de versant (23,8 %) est plus élevée que celle du sol de bas de versant (3,2 %) (**Tableau 1**). Mais ces deux sols sont fortement acides (pH < 5,5) avec des faibles teneurs en C organique (< 1 %) et en N total (< 0,1 %), des CEC et des sommes des bases échangeables similaires et inférieures à 10 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup> et à 5 cmol<sub>c</sub>.kg<sup>-1</sup>, respectivement. Par contre, les taux de saturation en bases s'élèvent à 43,5 % pour le sol sableux et à 27,9 % pour le sol argileux.

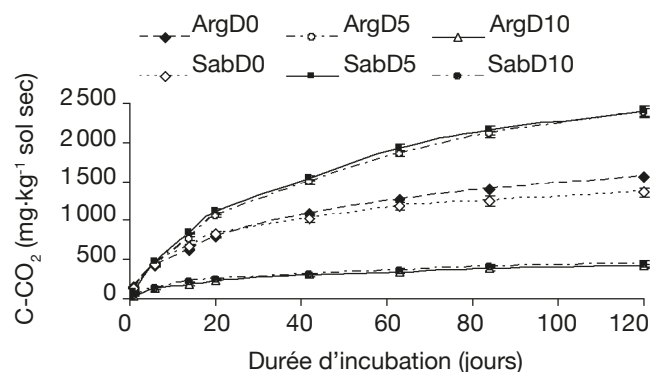
### 3.3. Minéralisation du carbone organique

L'effet des doses a été hautement significatif sur les teneurs cumulées en C minéralisé ( $p < 0,001$ ) jusqu'à la fin des incubations, par contre, celui de la texture du sol l'a été jusqu'au 21<sup>e</sup> jour d'incubation ( $0,04 < p < 1,30$ ). L'interaction « texture x doses » a été significative à partir du 35<sup>e</sup> jour d'incubation ( $0,26 < p < 2,71$ ).

La minéralisation du C organique a été fortement stimulée avec la dose D5 qui a permis un accroissement des teneurs cumulées en C minéralisé de 53 % sur sol argileux et de 77 % sur sol sableux par rapport aux sols témoins à la fin des incubations. En revanche, une faible minéralisation a été observée avec la dose D10 qui a occasionné une baisse des teneurs cumulées en C minéralisé de 73 % et de 67 %, respectivement sur les sols argileux et les sols sableux (**Figure 1**). Ceci dénote que l'apport de coques de cacao améliore la minéralisation du C dans les sols, mais qu'il existe un seuil au-delà duquel tout apport induit un phénomène d'inhibition de la minéralisation.

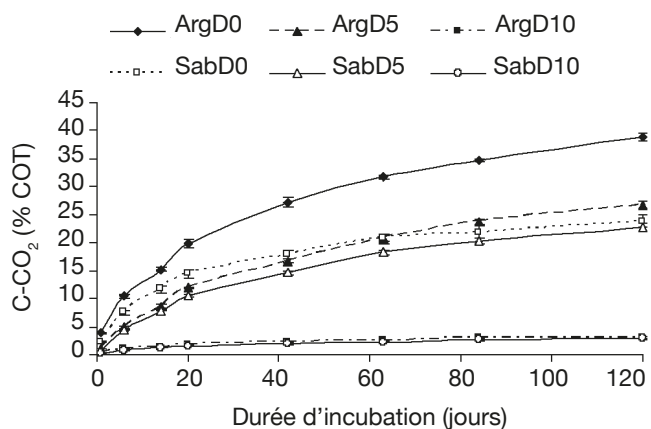
Après 21 jours d'incubation, 51 à 56 % des teneurs cumulées en C minéralisé ont été obtenus sur les sols argileux et 47 à 61 % sur les sols sableux. Les 21 premiers jours d'incubation représentent ainsi une période de forte minéralisation, donc d'intenses activités microbiennes.

Les taux de minéralisation du C, présentés à la **figure 2**, ont été significativement différents. Les coques de cacao ont influencé de façon significative ( $p < 0,001$ ) ces taux qui ont été plus élevés avec la dose D5 qu'avec la dose D10, soit 26,7 % pour ArgD5 et 22,7 % pour SabD5 contre 3,1 % pour ArgD10 et 2,9 % pour SabD10. L'apport de coques de cacao entraîne donc une réduction du taux de minéralisation du C du sol et ce, d'autant plus avec la forte dose. L'effet significatif de la texture ( $p < 0,001$ ) apparaît avec les sols non amendés où le taux de minéralisation des sols argileux (38,87 % COT) a été, de façon significative, plus élevé que celui des sols sableux (23,80 % COT). Sans apport de coques de cacao, les micro-organismes ont donc été plus actifs dans les sols argileux (ArgD0) que dans les sols sableux (SabD0).



**Figure 1.** Évolution des teneurs cumulées en carbone minéralisé en fonction des traitements et du temps d'incubation — *Evolution of cumulated carbon mineralized contents according to treatments and time of incubation.*

ArgD0 : sol argileux sans amendement — *clayey soil without amendment* ; ArgD5 : sol argileux + 1,39 g de coques de cacao — *clayey soil + 1.39 g of cocoa hulls* ; ArgD10 : sol argileux + 2,78 g de coques de cacao — *clayey soil + 2.78 g of cocoa hulls* ; SabD0 : sol sableux sans amendement — *sandy soil without amendment* ; SabD5 : sol sableux + 1,39 g de coques de cacao — *sandy soil + 1.39 g of cocoa hulls* ; SabD10 : sol sableux + 2,78 g de coques de cacao — *sandy soil + 2.78 g of cocoa hulls.*

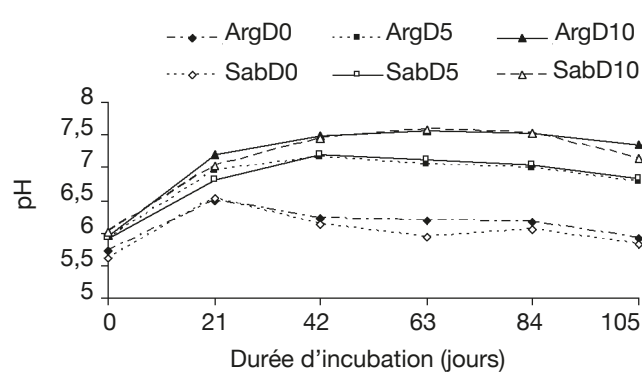


**Figure 2.** Évolution des taux de minéralisation du carbone en fonction des traitements et du temps d'incubation — *Evolution of carbon mineralization rates according to treatments and time of incubation.*

Pour l'explication des types de sol, voir **figure 1** — *For the explanation of the soils, see figure 1.*

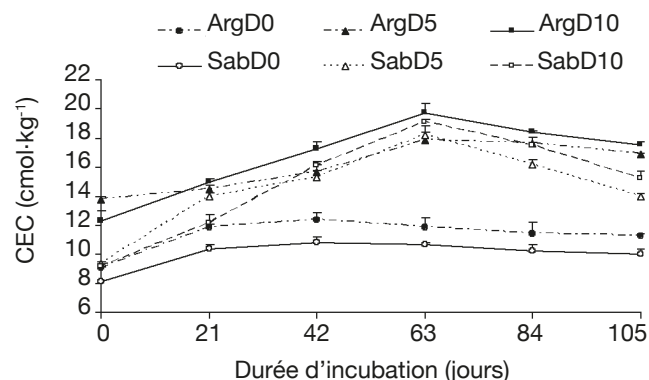
### 3.4. Évolution des paramètres chimiques des sols

**Évolution des pH.** Les variations du  $pH_{KCl}$  suivent grosso modo celles des  $pH_{eau}$  et les valeurs des  $\Delta pH$  ont été toutes négatives. Les  $pH_{eau}$ , présentés à la **figure 3**, ont été significativement supérieurs pour les sols amendés comparativement aux témoins ( $p < 0,1$ ).



**Figure 3.** Évolution des pH en fonction des traitements et du temps d'incubation — *pH evolution according to treatments and time of incubation.*

Pour l'explication des types de sol, voir **figure 1** — *For the explanation of the soils, see figure 1.*



**Figure 4.** Évolution des CEC en fonction des traitements et du temps d'incubation — *CEC evolution according to treatments and time of incubation.*

Pour l'explication des types de sol, voir **figure 1** — *For the explanation of the soils, see figure 1.*

La dose D10 a permis une augmentation de deux unités pH par rapport aux témoins, alors que celle entraînée par la dose D5 a été d'une unité pH en fin d'incubation. Il en résulte que l'apport de coques de cacao a amélioré les pH des sols par rapport aux témoins et plus la quantité apportée est élevée, plus l'augmentation est importante.

Par ailleurs, les pH obtenus sur les sols argileux et sur les sols sableux ne diffèrent pas de façon significative, ce qui dénote l'effet non significatif de la texture du sol sur l'évolution des pH.

**Évolution des CEC.** Les CEC des sols amendés ont été supérieures à celles des témoins de façon significative ( $p < 0,001$ ) (**Figure 4**). Sur les sols amendés, l'augmentation des CEC a varié selon la dose appliquée, elle a été de + 3,94 à + 5,65  $cmol_c \cdot kg^{-1}$

avec D5 et de + 5,19 à + 6,31  $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$  avec D10. Les coques de cacao ont donc amélioré de façon positive les CEC et plus la quantité apportée a été élevée, plus l'amélioration a été importante.

L'effet significatif de la texture sur l'évolution des CEC a été également révélé ( $p < 0,01$ ). Les CEC des sols argileux ont été supérieures à celles des sols sableux tout au long des incubations (**Figure 4**).

#### Évolution des sommes des bases échangeables.

Les sommes des bases échangeables ont été significativement différentes sous l'effet des doses à toutes les dates de mesure ( $p < 0,001$ ). Elles ont été accrues sur les sols amendés comparativement aux témoins (**Figure 5**). La dose D10 a permis un accroissement de + 6,52 à + 7,27  $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$  plus élevé que celui de la dose D5 (+ 3,13 à + 4,14  $\text{cmol}_c \cdot \text{kg}^{-1}$ ).

La texture du sol a aussi influencé significativement l'évolution des sommes des bases échangeables au cours des incubations ( $0,003 < p < 3,14$ ). Les valeurs obtenues au niveau des témoins ne diffèrent pas d'un type de sol à un autre, par contre, avec l'apport de coques de cacao, les valeurs enregistrées sur les sols argileux ont été supérieures à celles obtenues sur les sols sableux.

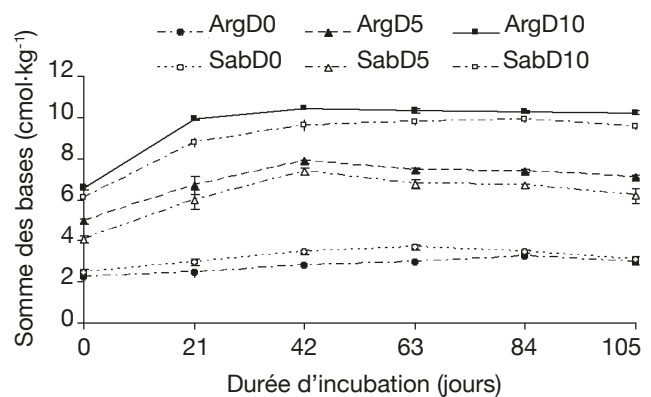
**Évolution des taux de saturation en bases.** Des différences significatives ont été révélées entre les taux de saturation en bases (TSB) présentés à la **figure 6**, sous l'effet des coques de cacao ( $p < 0,001$ ). Les TSB des témoins ont été plus faibles que ceux des sols amendés, ceux obtenus avec la dose D10 (52 à 72 %) ont été plus élevés que ceux obtenus avec la dose D5 (36 à 50 %). Ceci dénote un accroissement des TSB des sols avec l'apport des coques de cacao en fonction des doses appliquées.

L'évolution des TSB des sols a été également influencée par la texture du sol. Les TSB des sols argileux ont été significativement inférieurs à ceux des sols sableux ( $p = 0,84$ ), tout au long des incubations pour les sols non amendés et au début des incubations pour les sols amendés (**Figure 6**).

## 4. DISCUSSION

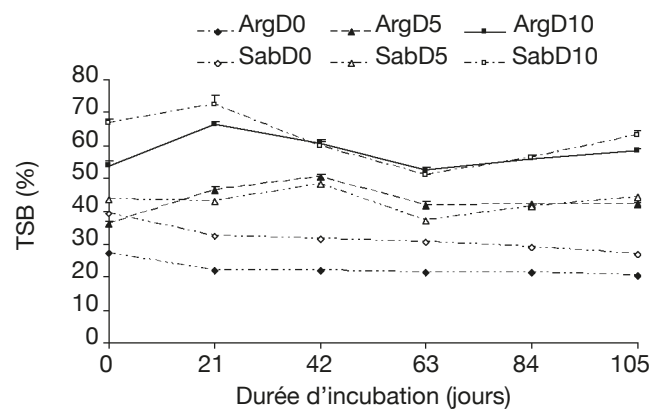
### 4.1. Effets de la texture du sol

Les deux types de sols utilisés se distinguent par leur texture dont l'effet, cependant, ne se marque pas au niveau de leurs CEC initiales (**Tableau 1**). Ceci peut être dû, d'une part, à la nature de l'argile présente dans ces sols. Selon Boyer (1982), la kaolinite est l'argile dominante dans les sols ferrallitiques. Cette argile a une faible capacité d'échange, limitée aux charges négatives variables des zones de rupture



**Figure 5.** Évolution des sommes de bases échangeables en fonction des traitements et du temps d'incubation — *Sums of exchangeable base evolution according to treatments and time of incubation.*

Pour l'explication des types de sol, voir **figure 1** — *For the explanation of the soils, see figure 1.*



**Figure 6.** Évolution des taux de saturation en bases (TSB) en fonction des traitements et du temps d'incubation — *Evolution of base saturation (TSB) according to treatments and time of incubation.*

Pour l'explication des types de sol, voir **figure 1** — *For the explanation of the soils, see figure 1.*

latérale des feuillets (Duchaufour, 1997). De ce fait, elle confère un faible pouvoir de fixation aux sols ferrallitiques (Boyer, 1982). Ainsi, sa forte teneur dans les sols argileux (23,8 %) n'entraîne pas de différence significative entre les CEC des sols utilisés. D'autre part, le matériau parental, proche de la surface des sols sableux de bas de versant, influence le pH à travers sa réserve minérale et de ce fait, la capacité d'échange des sols à charges variables, ce qui permet alors de retenir davantage d'éléments en position d'échange.

En revanche, l'effet de la texture a été significatif sur les taux de minéralisation du C en absence des coques de cacao. Ces taux, qui traduisent l'efficacité des micro-organismes, ont été plus élevés dans les

sols argileux du fait de l'effet de l'argile dans la décomposition des matières organiques. Cet effet a été profondément étudié (Sorensen, 1972 ; Feller et al., 1991 ; Ladd et al., 1992). Les processus microbiens se déroulant en grande partie à la surface des particules (Robert et al., 1992), la teneur de 24 % d'argile aurait créé un contexte favorable à l'activité microbienne, grâce au pouvoir de rétention de l'eau et l'effet protecteur de l'argile (James et al., 1996) sur la biomasse microbienne (Saggar et al., 1999).

Les effets significatifs de la texture du sol sur l'évolution de la CEC et des sommes des bases échangeables ont été attestés aussi par nos résultats qui montrent que les valeurs ont été plus élevées dans les sols argileux que dans les sols sableux au cours de la décomposition des coques de cacao.

#### 4.2. Effets des coques de cacao

Les coques de cacao ont permis un accroissement de la minéralisation du C organique dans les sols dégradés de la zone d'Oumé. Cet accroissement a été aussi mis en évidence dans de nombreuses études (Serra-Wittling, 1995 ; Tejada et al., 2002 ; Annabi, 2005). Il est dû à l'augmentation du C labile par l'apport des coques de cacao, matière organique exogène, support énergétique principal des micro-organismes (Barry, 2006). Jenkinson (1977) avait déjà montré que l'apport de composés organiques a une action stimulante sur la décomposition des matières organiques préexistantes dans le sol.

En revanche, une baisse de la minéralisation du C a été observée avec la forte dose (D10). Ceci est en accord avec les résultats d'Annabi (2005) et de Gamouh et al. (2004-2005) qui ont observé, dans leurs travaux, une baisse de la minéralisation du C avec la plus forte dose de compost. Selon Annabi (2005), un facteur limitant la minéralisation du C apparaît en présence de la forte dose. Ce facteur pourrait être la présence et les teneurs élevées de composés biochimiques tels les lignines, les celluloses, les hémicelluloses et les composés phénoliques lors d'un apport excessif. Koné (2009) a fait remarquer que la plupart des travaux rapportent une action inhibitrice de ces substances sur la décomposition, due à leurs propriétés antibiotiques sur les décomposeurs (Bernhard-Reversat, 1998 ; Hartemink et al., 2001). La lignine, comme l'a signalé Duguet (2005), intervient en formant des complexes avec les protéines, les rendant ainsi résistantes à la minéralisation. Ces résultats montrent que, dans l'amendement organique des sols, il existe un seuil au-delà duquel tout apport induit un phénomène d'inhibition de la minéralisation du C.

Nos résultats ont, par ailleurs, montré que l'apport des coques de cacao a occasionné une baisse du taux de minéralisation et ce, d'autant plus avec la forte dose.

Cette baisse qui indique une réduction de l'efficacité microbienne pourrait être due à un apport excédentaire des coques qui occasionne, selon Gamouh et al. (2004-2005), des phénomènes d'inhibition de la microflore initialement capable de dégrader le substrat. Elle pourrait être due aussi au fait que les coques de cacao modifient la qualité et la quantité des matières organiques du sol, ce qui change la porosité du sol à l'intérieur de laquelle sont répartis les microhabitats des micro-organismes (Nannipieri et al., 2003). La réduction de l'efficacité microbienne suggère que les coques de cacao contiennent des composés qui rendent inefficaces certaines stratégies d'adaptation ou de développement des micro-organismes, ou provoquent leur état de dormance voire même leur mort.

Les coques de cacao apportées ont produit des effets significatifs sur les paramètres chimiques des sols dégradés de la zone d'Oumé par l'amélioration des CEC, des sommes des bases échangeables, des taux de saturation en bases et des pH des sols amendés et ce, d'autant plus avec la forte dose. Nos résultats sont en accord avec ceux de Moyin-Jesu (2007) et de Ayanlaja et al. (1991) qui ont montré, respectivement, que l'apport de coques de cacao a permis l'augmentation de pH, de potassium et de calcium, et que la décomposition des résidus végétaux a relevé les niveaux de nutriments du sol. En effet, les coques de cacao livrent des éléments chimiques dont certains sont retenus en position d'échange dans les sols amendés et ce, d'autant plus que les doses sont élevées. Ces éléments tels que le Ca et Mg influent sur le pH par la neutralisation de l'aluminium, réduisant ainsi l'acidité du sol. Woomer et al. (1994) ont expliqué que l'augmentation de la matière organique du sol par l'apport de cendres de bois et de coques de cacao permet la réduction des effets des cations toxiques (Fe, Mn, Al). L'effet de ces éléments sur le pH et l'apport même de coques de cacao comme matière organique ont une incidence sur la CEC, entraînant ainsi son augmentation. Étant donné que le pH permet de définir l'état du complexe adsorbant, notamment le taux de saturation en bases (Duchaufour, 1997), son amélioration par l'apport des coques de cacao traduit aussi celle du taux de saturation en bases qui est d'ailleurs mise en évidence dans cette étude. Cette amélioration et l'augmentation des teneurs en bases échangeables attestent de conditions d'adsorption plus favorables. Ainsi, même si la minéralisation est faible avec la forte dose (D10), les éléments libérés y sont mieux retenus.

#### 5. CONCLUSION

Cette étude, réalisée sur les sols ferrallitiques argileux et sableux dégradés de la zone d'Oumé, a montré que

l'utilisation des coques de cacao comme amendement organique, à la portée des paysans ivoiriens, demeure une voie dans la résolution des problèmes de fertilité des sols et surtout des sols dégradés.

Les coques de cacao ont contribué à l'amélioration de la minéralisation du C organique. La dose D5 a permis un accroissement, ce qui dénote qu'elles constituent une source non négligeable de matière organique minéralisable. En revanche, la dose D10 a occasionné une baisse de cette minéralisation, ce qui montre qu'il existe un seuil au-delà duquel les coques de cacao induisent des phénomènes d'inhibition de la minéralisation du C. Leur apport doit donc être contrôlé. Il serait intéressant de poursuivre les recherches afin de déterminer la dose adéquate pour une meilleure minéralisation du C.

Au plan de la fertilité, les CEC, les sommes des bases échangeables, les taux de saturation en bases et les pH des sols amendés ont été accrus par rapport aux sols non amendés et ce, d'autant plus que la dose est élevée. Les coques de cacao constituent ainsi un réservoir d'éléments chimiques.

Par ailleurs, la texture du sol a influé sur la minéralisation du C et sur l'évolution des caractéristiques du sol ; les sols argileux ayant été plus favorables que les sols sableux. Toutefois, l'apport de coques de cacao s'est révélé bénéfique pour les deux types de sol.

La valorisation agronomique des coques de cacao mérite d'être approfondie car leur utilisation pourrait être une solution dans la gestion de la fertilité du sol pour une agriculture durable. Dans le futur, il serait intéressant d'évaluer leur impact sur les rendements des cultures et leurs effets sur les sols en combinaison avec les engrais minéraux.

### Remerciements

Les auteurs remercient le projet « *Conservation and Sustainable Management of Below-Ground Biodiversity* » (CSM-BGBD) pour avoir financé cette étude.

### Bibliographie

- Abiven S., 2004. *Relations entre caractéristiques des matières organiques apportées, dynamique de leur décomposition et évolution de la stabilité structurale du sol*. Thèse de doctorat : Institut National Agronomique Paris-Grignon (France).
- Adu-Dapaah H.K., Cobbina J. & Asare EO., 1994. Effect of cocoa pod ash on the growth of maize. *J. Agric. Sci. Cambridge*, **132**, 31-32.
- Anderson J.M. & Ingram J.S.I., 1993. *Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods*. 2<sup>nd</sup> ed. Wallingford, UK: CAB International.
- Angui P.K.T., Tié Bi T. & Tamia J.A., 2005. Typologie des sols de la Côte d'Ivoire et leur utilisation. *Bioterre*, **5**(1), 1-16.
- Annabi M., 2005. *Stabilisation de la structure d'un sol limoneux par des apports de composts d'origine urbaine : relation avec les caractéristiques de leur matière organique*. Thèse de doctorat : Institut National Agronomique Paris-Grignon (France).
- Assa A., 1988. Géomorphologie et potentialités des sols des régions montagneuses de l'Ouest ivoirien. In : *AISA, Actes des 3<sup>e</sup> Assises, Man, Côte d'Ivoire*, 3-25.
- Assié K.H., Angui K.T.P. & Tamia A.J., 2008. Effets de la mise en culture et des contraintes naturelles sur quelques propriétés physiques d'un sol ferrallitique au centre-ouest de la Côte d'Ivoire : conséquences sur la dégradation des sols. *Eur. J. Sci. Res.*, **23**(1), 149-166.
- Avenard J.M., 1971. Aspects de la géomorphologie. In : *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*. Mémoire n°50 : Orstom, Paris, 1-70.
- Ayanlaja S.A. & Sanwo J.O., 1991. Management of soil organic matter in farming systems of the lowland humid tropic of West Africa. *Soil Technol.*, **4**, 265-279.
- Bado B.V., 2002. *Rôle des légumineuses sur la fertilité des sols ferrugineux tropicaux des zones guinéennes et soudanaises du Burkina Faso*. Thèse de doctorat : Université de Laval (Québec).
- Barry Y., 2006. *La transformation des apports organiques dans le sol (modèle TAO) : cas des apports riches en azote*. Master Recherche CGSE : Université Henri Poincaré UHP, INLP, Nancy (France).
- Bernhard-Reversat F., 1998. Changes in relationships between initial litter quality and CO<sub>2</sub> release during early laboratory decomposition of tropical leaf litters. *Eur. J. Soil Biol.*, **34**, 119-122.
- Boa D., 1989. *Caractérisation, propriétés hydrodynamiques, contraintes et potentialités agronomiques des sols gravillonnaires : cas de Boro-Borotou (Côte d'Ivoire)*. Thèse de doctorat : Université Nationale de Cocody, Abidjan (Côte d'Ivoire).
- Boli Z. & Roose E., 2000. Rôle de la jachère de courte durée dans la restauration de la productivité des sols dégradés par la culture continue en savane soudanienne humide du Nord-Cameroun. In : Floret Ch. & Pontanier R., eds. *La jachère en Afrique tropicale*. Paris : John Libbey Eurotext, 149-154.
- Bongoua A.J., 2002. *Caractérisation de l'état de fertilité des jachères plantées en légumineuses fixatrices d'azote dans la région d'Oumé*. Mémoire de DEA de Pédologie : Université de Cocody-Abidjan (Côte d'Ivoire).
- Boyer J., 1982. *Les sols ferrallitiques. Vol. X. Facteurs de fertilité et utilisation des sols*. Paris : Orstom.
- Duchaufour P., 1997. *Abrégé de pédologie. Sol, végétation, environnement*. 5<sup>e</sup> éd. Paris : Masson.
- Duguet F., 2005. *Minéralisation de l'azote et du phosphore dans les sols organiques cultivés du sud-ouest du Québec*. Maîtrise en Sols et Environnement : Faculté des Sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Québec (Canada).



- Feller C., Fritsch E., Poss R. & Valentin C., 1991. Effet de la texture sur le stockage et la dynamique des matières organiques dans quelques sols ferrugineux et ferrallitiques (Afrique de l'Ouest, en particulier). *Cah. Orstom. Sér. Pédol.*, **26**(1), 25-36.
- Freijer J.I. & Bouten W., 1991. A comparison of field methods for measuring soil carbon dioxide evolution: experiments and simulation. *Plant Soil*, **135**, 133-142.
- Gamouh A. et al., 2004-2005. Effets comparés et interactifs des pesticides et facteurs physiques sur la minéralisation de substrats carbonés dans le sol. *Bull. Inst. Scientifique Sci. Vie*, **26-27**, 35-38.
- Guillaumet J.L. & Adjanahoun E., 1971. La végétation de Côte d'Ivoire. In : *Le milieu naturel de la Côte d'Ivoire*. Mémoire : Orstom, Paris, 157-263.
- Hartemink A.E. & O'Sullivan J.N., 2001. Leaf litter decomposition of *Piper aduncum*, *Glicidia sepium* and *Imperata cylindrical* in the humid lowlands of Papua New Guinea. *Plant Soil*, **230**, 115-124.
- James P.M. & Korand H., 1996. Influence of mineral colloids on turnover rates of soil organic carbon. *Soil Sci. Soc. Am.*, **17**, 283-302.
- Jenkinson D.S., 1977. Studies on the decomposition of plant material in soil. IV. The effect of rate of addition. *J. Soil Sci.*, **28**, 417-423.
- Koné W.A., 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 : Université d'Abobo-Adjamé, Abidjan (Côte d'Ivoire).
- Ladd J.N., Foster R.C. & Skjemstad J.O., 1992. Soil structure: carbon and nitrogen metabolism. *Geoderma*, **56**, 401-434.
- Lecompte P., 1990. *Place et intégration de l'arbre dans l'exploitation agricole ivoirienne du centre-ouest*. Mémoire de fin d'étude : CNEARC, Montpellier, France.
- Lepoitevin C., Nuville M., Boullenger A. & Maguet N., 2003. *Le cacao : vers un système plus durable ? Horticulture dans les pays en voie de développement*. Angers, France : ENSHAP.
- Lompo F., Sédogo M.P. & Hien V., 1995. Agronomic impact of Burkina phosphate and dolomite limestone. In: Gerner H. & Mokwunye A.U., eds. *Proceedings of a seminar on the use of local mineral resources for sustainable agriculture in West Africa, November 21-23, 1994, International Fertilizer Development Center (IFDC), Lomé, Togo*. Miscellaneous Fertilizers studies n°11. Muscle Shoals, AL, USA: IFDC, 54-66.
- Moyin-Jesu E.I., 2007. Use of plant residue for improving soil fertility, pod nutrients, root growth and pod weight of okra (*Abelmoschus esculentum* L). *Bioresour. Technol.*, **98**, 2057-2064.
- Nannipieri P. et al., 2003. Microbial diversity and soil functions. *Plant Soil*, **54**, 655-670.
- N'Goran A., 1995. *Intégration des légumineuses dans la culture de maïs comme moyen de maintien de la fertilité des sols et de lutte contre l'enherbement*. Rapport de la deuxième réunion du Comité de Recherche du WECAMAN, USAID, IITA, 163-171.
- N'Goran A., Gnahoua G.M., Oualou K. & Pity B., 1997. Évolution de la fertilité d'un sol au cours de quatre ans de culture suite à une jachère arborée de six ans. Cas d'une zone de forêt humide en Côte d'Ivoire. In : Floret Ch. & Pontanier R. *Amélioration et gestion de la jachère en Afrique de l'Ouest*. Paris : Orstom, 101-106.
- Ouallou K., 1997. *Gestion de l'arbre dans les systèmes agroforestiers à base de cacaoyers en basse Côte d'Ivoire : une étude expérimentale dans la zone d'Oumé*. Mémoire : Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux (Belgique).
- Piéri C., 1989. *Fertilité des terres de savane*. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricole au Sud du Sahara. Paris : Ministère Français de la Coopération, IRAT/CIRAD.
- Robert M. & Chenu C., 1992. Interaction between soil minerals and microorganisms. In: Bollag J.M. & Stotzky G., eds. *Soil Biochemistry*. Vol 7. New York, USA: Marcel Dekker, 307-404.
- Saggar S., Parshotam A., Hedley C. & Salt G., 1999. <sup>14</sup>C-labelled glucose turnover in New Zealand soils. *Soil Biol. Biochem.*, **31**, 2025-2037.
- Serra-Wittling C., 1995. *Valorisation de compost d'ordures ménagères en protection des cultures : influence de l'apport de composts sur le développement de maladies d'origine tellurique et le comportement de pesticides dans un sol*. Thèse de doctorat : Institut National Agronomique Paris-Grignon (France).
- Sorensen L.H., 1972. Stabilisation of newly formed amino-acids metabolites in soil by clay minerals. *Soil Sci.*, **114**, 121-130.
- Tejada M. & Gonzalez J.L., 2002. Effects of the application of a compost originating from crushed cotton gin residues on wheat yield under dryland conditions. *Eur. J. Agron.*, **1**, 1-12.
- Walkley A. & Black I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chronic acid titration method. *Soil Sci.*, **37**, 29-38.
- Woomer P.L. et al., 1994. The importance and management of soil organic matter in tropics. In: Woomer P. & Swift M.J., eds. *Biology management of tropical soils fertility*. Chichester, UK: John Wiley and Sons.
- Yemefack M. & Nounamo L., 2000. Dynamique des sols et durée optimale des jachères agricoles au Sud-Cameroun. In : Floret Ch. & Pontanier R., eds. *La jachère en Afrique tropicale*. Paris : John Libbey Eurotext, 135-141.

