

Gestion durable de la fertilité des sols à travers l'impact de l'écume de sucrerie sur la minéralisation de la matière organique dans un cambisol au centre ouest de Côte d'Ivoire

[Sustainable management of soil fertility through the incidence of foam of sugar refinery on the mineralization of the organic matter in a cambisol in the middle west of Côte d'Ivoire]

K. Yao¹, J. Gala Bi Trazié², F. Bouadou Oi Bouadou², J. Affi Bongoua², and A. Yao-Kouamé²

¹Sucrivoire, Unité Agricole Intégrée de Zuénoula BP 291 Zuénoula, Côte d'Ivoire

²Université Félix Houphouët-Boigny Abidjan-Cocody, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The dynamics of organic matter was investigated in a cambisol, in the middle west of Côte d'Ivoire, under irrigation condition, through incubation of foam in the inter-rows of sugar cane farm. In order to follow the organic matter's decomposition, Physico-chemical analyzes have been realized on two types of soil samples; one type containing foam and the other one without foam.

In the absence of foam, changes in the levels of carbon (C) and total nitrogen (N) is remained very slight. In contrast, levels of total carbon in amended soil change one and a half time faster. The constants of loss of carbon are 0.0069 p.c. of C and 0.0054 p.c. of C per day, respectively, for the amended and the control soils.

The incorporation of foam into the soil induced an increase in the organic matter content of 11 p.c. and the total nitrogen of 8 p.c.

KEYWORDS: physic-chemical analyses of soil, organic matter's decomposition, foam, cambisol, Côte d'Ivoire.

RESUME: La dynamique de la matière organique a été étudiée, sur un cambisol, dans le centre ouest de la Côte d'Ivoire, en régime irrigué, à travers une incubation au champ, d'écume de sucrerie, dans les inter-lignes d'une culture de canne à sucre. Des analyses physico-chimiques réalisées sur deux types d'échantillons de sol, l'un contenant l'écume et l'autre sans écume, ont permis de suivre la décomposition de la matière organique.

En l'absence d'écume, l'évolution des teneurs en carbone (C) et en azote (N) totaux est faible. En revanche, les teneurs en carbone total du sol amendé évoluent, une fois et demi, plus rapidement. Les constantes de vitesse (k) de perte de carbone sont, respectivement, de 0,069 p.c. de C par jour, pour le sol amendé et 0,054 p.c. de C par jour, pour le sol témoin.

L'apport d'écume a induit un accroissement de la teneur en matière organique de 11 p.c. et celle de l'azote total de 8 p.c.

MOTS-CLES: analyse physico-chimique du sol, décomposition de la matière organique, écume, cambisol, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

La matière organique joue un rôle fondamental dans la productivité des sols tropicaux. Elle influence fortement la fertilité du sol, la production de biomasse, la composition des espèces et la séquestration du carbone dans les écosystèmes terrestres

([1], [2]). Cependant, sous climat tropical chaud, la minéralisation de la matière organique est rapide, conduisant à une décroissance de ses teneurs dans le sol et à la dégradation chimique, biologique et physique des horizons de surface. Par conséquent, les sols cultivés deviennent à la fois moins productifs et moins résistants à l'énergie des pluies [3].

En région Centre-Ouest de la Côte d'Ivoire, l'exploitation des terres pour la culture de canne à sucre, qui dure depuis une trentaine d'années, se traduit par une baisse généralisée de la teneur en matière organique de ses sols, liée à la surexploitation, ainsi qu'une chute des rendements. L'utilisation d'engrais minéraux qui, de par leur action bénéfique immédiate sur la productivité de la canne à sucre, semble être une des solutions, ne permet pas toujours une augmentation réelle des rendements, vraisemblablement, à cause des pertes par lessivage [4].

Dans un tel contexte, d'autres modes de fertilisation sont à explorer. Certains producteurs optent pour l'écume, sous-produit de fabrication des sucreries, riche en éléments fertilisants [5], disponible en grande quantité sur les unités de production. Par ailleurs, de nombreux travaux ont montré que les amendements organiques jouent un rôle important sur diverses propriétés du sol ; ce qui en justifie l'utilisation ([6], [7]).

La gestion durable de la fertilité des sols suppose une bonne connaissance des processus de transformation de la matière organique, en fonction des caractéristiques du milieu. Or, les travaux effectués dans ce domaine n'ont surtout concerné que les effets de la nature, des doses, des modes d'apport de la matière organique, de l'association avec la fumure minérale sur certaines caractéristiques, pour un sol donné ([8], [9]). Très peu d'entre eux se sont intéressés à la dynamique de décomposition de l'écume apportée au sol ou à son influence sur la matière organique du sol.

L'objectif du présent travail est de se pencher sur ces aspects, dans un cambisol tropical sous culture de canne à sucre, en régime irrigué.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 SITE D'EXPÉRIMENTATION

L'étude a été conduite en 2013 sur la station d'expérimentation agronomique du complexe sucrier de Zuénoula (7°38'53N, 6°9'46W, 218 m) en Côte d'Ivoire. Le site est une zone de transition entre la savane et la forêt, caractérisée par un régime pluviométrique de type bimodal, avec 1189,8 mm enregistrés en 2013 et une température moyenne annuelle de 26,4°C. Le sol où a été mise en œuvre l'expérimentation est un plinthic cambisol (manganifère) à tendance gleyique, de texture limono-sableuse.

2.2 ECUME DE SUCRERIE

L'écume est un sous-produit d'extraction du sucre de canne. C'est le résidu de filtration de la boue issue de la décantation du jus chaulé. L'écume est une matière brune à noire, humide à très humide, et à odeur faible [10], dont la composition et la qualité varient en fonction de l'endroit de prélèvement.

L'échantillon d'écume qui a servi à l'étude, a été prélevé à la sucrerie de l'UAI de Zuénoula. Cet échantillon contenait 2,1 kg⁻¹ d'azote total, 39,2 kg⁻¹ de carbone total, 6,98 kg⁻¹ de phosphore, 5,94 kg⁻¹ de calcium et 1,3 kg⁻¹ de magnésium. Son pH était de 6, son taux d'humidité de 15, et son rapport C/N de 20.

2.3 METHODE D'INCUBATION AU CHAMP ET PRELEVEMENT D'ECHANTILLONS POUR ANALYSE EN LABORATOIRE

La méthode d'incubation s'inspire de celle pratiquée par [11]. L'échantillon de sol prélevé dans l'horizon 0 à 20 cm a été mélangé avec l'écume, à raison de 16 g d'écume pour 1484 g de sol, soit 1,5 kg par échantillon (TE). Le mélange a été transposé dans des sacs à maille 1 mm (1,5 kg/sac) et enfoui entre 5 et 20 cm, soit 30 tonnes d'écume par hectare. Cette dose apportée correspond à la réalité de la fumure, tel que pratiquée en amendement de fond, à SUCRIVOIRE, pour les parcelles à replanter. Un échantillon témoin sans écume (T0) a été également incubé selon le même procédé.

Les sacs sont déterrés les uns après les autres, tous les quinze (15) jours, à compter du 30^{ème} jour d'incubation. Le dernier prélèvement a eu lieu le 225^{ème} jour après incubation, soit sept (7) mois plus tard. A chaque observation, six (6) échantillons sont simultanément prélevés, c'est-à-dire trois (3) par traitement (TE et T0) dont un (1) par bloc, puis analysés au laboratoire en vue de suivre l'évolution de la matière organique des deux types de traitement.

2.4 MÉTHODES ANALYTIQUES EN LABORATOIRE

Les teneurs du sol en C-total et en N-total ont été déterminées, respectivement, par les méthodes de [12] et de Kjeldahl.

2.5 ANALYSES STATISTIQUES DES DONNÉES

La cinétique de perte en C-total est appréciée par l'estimation des paramètres selon le modèle à un compartiment de [13]. Les pertes cumulées de C (Ct) ont été ajustées suivant la cinétique de premier ordre : $C_t = C_m (1 - e^{-kt})$, où C_m est la quantité théorique de carbone minéralisable contenu dans le mélange sol + écume, k est la constante de la vitesse de disparition du carbone du compartiment C_m , et t désigne le temps, en jours, après la mise en incubation.

Les résultats des analyses de sols obtenus ont été traités, statistiquement, à l'aide du logiciel STATISTICA 7.1, pour l'analyse de la variance (ANOVA); chaque fois qu'une différence significative est révélée, l'ANOVA est complétée par le test de TUKEY, qui permet d'identifier la/ou les variable (s) très significativement différente (s) des autres. Les moyennes des variables ont été séparées au seuil de probabilité $P < 0,05$.

Les moyennes des traitements T0 et TE ont également été comparées entre elles, à travers le test t de STUDENT, pour savoir si elles sont significativement différentes au seuil de 0,05.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DE L'ÉCUME DE SUCRERIE ET DU SOL AYANT SERVI A L'EXPERIMENTATION

Les compositions chimiques de l'écume et du sol qui ont servi à l'étude sont consignées dans le tableau 1. L'on note que la teneur en Ca de l'écume est inférieure de 2% à celle de la teneur normale ; quant aux teneurs en Mg et P, elles sont respectivement supérieures de 20 et 50% de la teneur normale.

Le sol étudié est modérément acide, avec une teneur moyenne en matière organique, un rapport C/N de 8,8 et un niveau moyen de CEC. La teneur en Mg est élevée (Mg/CEC >10%), alors que celles de Ca et K sont faibles (Ca/CEC < 60% ; K/CEC < 3%). Les ratios d'équilibres des cations échangeables sont normaux, avec des valeurs de 3 pour Ca/Mg et 7 pour Mg/K.

Tableau 1. Quelques caractéristiques physico-chimiques du sol et de l'écume de sucrerie

Caractéristiques physico-chimiques du sol			Caractéristiques chimiques de l'écume	
Argile	(p.c.)	17,50	pHeau	6,0
Limon fin	(p.c.)	10,00	pHKCl	Non déterminé
Limon grossier	(p.c.)	43,95		
Sable fin	(p.c.)	8,80		
Sable grossier	(p.c.)	17,75		
C	(gkg ⁻¹)	9,4	C (gkg ⁻¹)	39,2
N	(gkg ⁻¹)	1,1	N (gkg ⁻¹)	2,1
Rapport C/N		8,8	Rapport C/N	19
pHeau		6,5	P (gkg ⁻¹)	6,98
pHKCl		5,8	Ca (gkg ⁻¹)	5,94
Ca ²⁺	(cmolk ⁻¹)	4,53	Mg (gkg ⁻¹)	1,30
Mg ²⁺	(cmolk ⁻¹)	1,50	K (gkg ⁻¹)	Non déterminé
K ⁺	(cmolk ⁻¹)	0,22		
CEC	(cmolk ⁻¹)	10,60		
S	(cmolk ⁻¹)	6,30		
Taux de saturation	(p.c.)	59		
P total	(mgkg ⁻¹)	239		
P assi.	(mgkg ⁻¹)	19		

Tableau II. Evolution des niveaux de C, N et C/N

Temps (en JAI)	Traitement T0			Traitement TE		
	C (gkg ⁻¹)	N (gkg ⁻¹)	C/N	C (gkg ⁻¹)	N (gkg ⁻¹)	C/N
0	11,70	1,06	11,05	16,87	1,10	15,51
30	11,30	1,07	10,72	14,60	1,17	12,54
45	11,70	1,17	10,22	13,30	1,13	11,80
60	11,23	0,97	11,92	11,57	0,87	13,42
75	11,07	1,10	10,08	12,17	1,13	10,84
90	10,97	1,10	9,99	11,57	1,17	9,92
105	10,60	1,13	9,32	12,27	1,43	8,73
120	10,30	1,17	8,84	10,80	1,17	9,26
135	9,00	0,93	9,87	10,27	1,03	9,96
150	9,17	0,77	11,98	9,13	1,10	8,28
165	9,07	0,93	9,87	9,75	1,03	9,47
180	8,67	0,77	11,72	8,47	0,80	10,88
195	8,40	0,60	14,00	8,80	0,83	10,85
210	7,20	1,07	6,76	8,40	1,03	8,19
225	7,13	0,90	8,12	8,07	1,13	7,09

JAI = Jours Après Incubation

T0 = Témoin sans écume

TE = Traitement écume

3.2 EVOLUTION DES TENEURS EN C ET N TOTAUX ET DU RAPPORT C/N

3.2.1 TENEUR EN AZOTE TOTAL

Les teneurs en azote total des deux traitements ont fluctué entre 0,90 et 1,06 gkg⁻¹, pour T0, et entre 1,13 et 1,43 gkg⁻¹, pour TE (Figure 1), avec une tendance à la baisse sur les 225 jours d'incubation. L'analyse de variance montre qu'il y a une différence hautement significative ($P = 0,000000$) entre les teneurs en azote. L'apport de 30 tha⁻¹ d'écume a engendré un gain moyen de 0,08 gkg⁻¹ d'azote total, soit une augmentation de 8 p.c. par rapport au sol témoin. Le test t de Student, réalisé sur les moyennes des deux traitements T0 et TE, révèle que cette amélioration du niveau d'azote, n'est pas statistiquement significative ($p = 0,17$).

La minéralisation de l'écume a permis un accroissement de la teneur en azote total de 8 p.c. par rapport à celle du sol témoin. Mais, les teneurs en azote total ont fluctué tout au long de l'incubation, avec une chute marquée entre le 135^{ème} et le 195^{ème} jours, et une tendance générale à la baisse.

La fluctuation permanente du niveau d'azote total peut s'expliquer par le phénomène de minéralisation-réorganisation [11]. [10] confirment que l'apport d'écume fraîche de sucrerie, utilisée comme amendement, crée une réorganisation de l'azote minéral. La chute de la teneur en azote total observé entre le 135^{ème} et le 195^{ème} jours après incubation pourrait s'expliquer par les conditions climatiques, à savoir la baisse de la température moyenne, de la température du sol et la forte humidité, due à la pluviométrie enregistrée sur la période (368 mm). Ces conditions pédoclimatiques ont dû réduire l'activité biologique dans le sol et occasionner probablement l'entraînement de l'azote minéral.

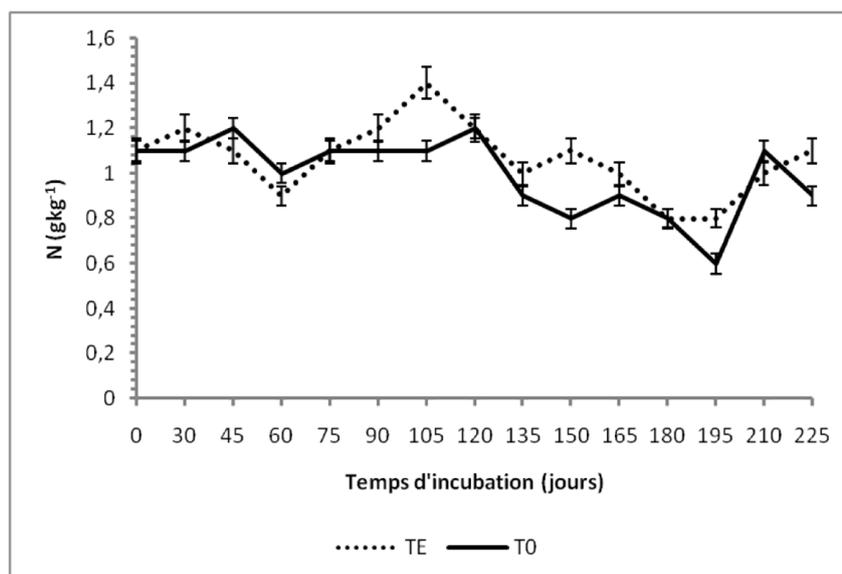


Figure 1. Teneurs moyennes en azote dans les traitements TE (sol avec écume) et T0 (sol sans écume) durant le temps d'incubation

3.2.2 TENEUR EN CARBONE TOTAL

Les teneurs en carbone organique total des traitements T0 et TE ont fluctué, respectivement, entre 7,20 et 11,70 g.kg⁻¹, et entre 8,40 et 16,80 g.kg⁻¹ (Figure 2). L'analyse de variance montre des différences hautement significatives ($P = 0,000000$) entre les données. L'examen des données révèle la diminution de la teneur en carbone résiduel, aussi bien dans le sol amendé avec l'écume que dans le sol témoin. Cette diminution de la teneur en carbone est plus forte dans les 100 premiers jours après incubation pour TE que pour le traitement T0, dont la tendance à la baisse de la teneur en matière organique est faible, mais assez régulière sur toute la durée de l'expérimentation (225 jours). Après 100 jours, la teneur en carbone résiduel du traitement TE décroît modérément, et de façon régulière, mais reste sensiblement plus élevée que celle de T0. Plus de 50 p.c. des pertes cumulées en carbone total du sol amendé avec 30 tha⁻¹ d'écume sont enregistrées pendant les 100 premiers jours. Puis, après cette période, les pertes cumulées augmentent plus lentement, mais restent supérieures à celles du sol témoin. L'ajustement des pertes cumulées suivant la cinétique de premier ordre $C_t = C_m (1 - e^{-kt})$ a permis de déterminer les paramètres de pertes en carbone total, consignés dans le tableau III. Les quantités totales de carbone perdu (C_m) [Figure 3] au niveau du sol amendé par l'écume (0,86 p.c. de C), pendant la durée de l'incubation, sont environ une fois et demi supérieures à celles perdues par le sol témoin (0,46 p.c. de C). La constante de perte de carbone (k) du traitement TE (0,069 p.c) est plus élevée que celle du traitement témoin (0,054 p.c.). L'apport de l'écume a induit un gain moyen en carbone organique total de 1,3 g.kg⁻¹ par rapport au témoin, soit une augmentation de la teneur en matière organique de 11 p.c. (tableau II).

Du début jusqu'à la fin de l'incubation, les teneurs en carbone organique ont baissé au rythme moyen de 5,2 p.c. par mois, sur le sol témoin (les teneurs en carbone sont passées de 11,70 g.kg⁻¹ à 7,13 g.kg⁻¹) et de 6,9 p.c. par mois, sur le sol amendé avec 30 tha⁻¹ d'écume (les teneurs en carbone sont passées de 16,80 g.kg⁻¹ à 8,07 g.kg⁻¹). [14] et [8] expliquent la baisse des teneurs en carbone par une minéralisation rapide de la matière organique. La perte de la moitié du carbone minéralisable, dans le sol amendé avec l'écume, a lieu au cours des 13 premières semaines, alors que cette durée est de 18 semaines pour le sol témoin. Ces résultats laissent suggérer que la minéralisation du carbone est plus rapide dans le sol ayant reçu 30 tha⁻¹ d'écume de sucrerie. Autrement dit, l'apport d'écume au sol, accélère la minéralisation de la matière organique. [11] avaient obtenu des résultats similaires avec la décomposition de poudrette de fumier incorporée à un sol sableux de versant et à un sol argilo-limoneux de bas-fond, en milieu soudano-sahélien. A ce sujet, [15] avait déjà montré que l'apport de composés organiques a une action stimulante sur la décomposition des matières organiques préexistantes dans le sol. L'accroissement de la minéralisation du carbone organique est dû à l'augmentation de C labile par l'apport de l'écume, matière organique exogène, support énergétique principal des microorganismes [16]. Cette minéralisation, bien que concernant les deux traitements à l'étude, est plus marquée en présence d'écume. [8] a montré qu'en l'absence d'apport d'amendement organique, la matière organique des sols cultivés sans restitutions organiques autres que les racines, se trouve, en grande partie associée aux colloïdes minéraux, et peut être considéré comme relativement stable. C'est ce qui

explique que l'évolution des teneurs en C dans le sol témoin soit faible par rapport à celle observée dans le sol amendé. En réalité, l'écume apporte surtout de la matière organique sous forme de débris végétaux, à rapport C/N élevé (20), considérée comme biodégradable.

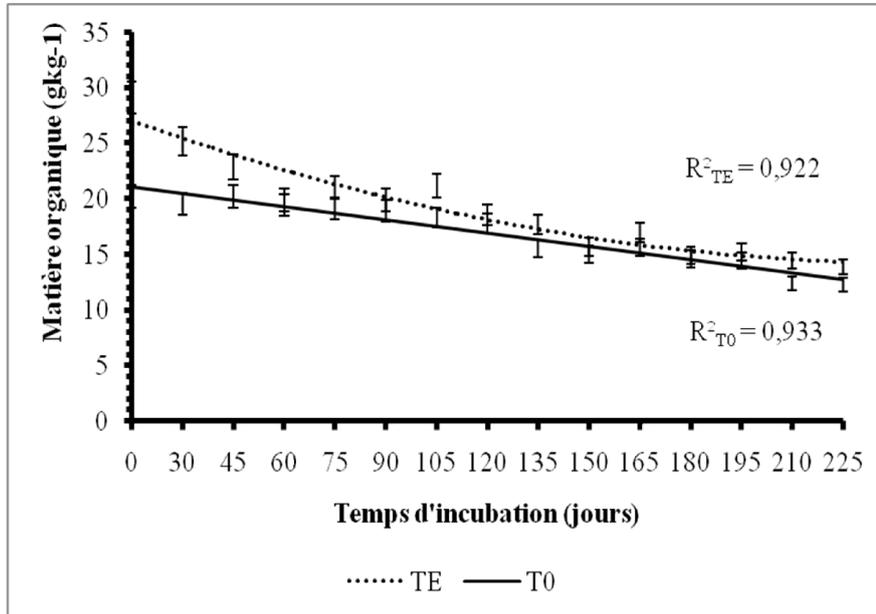


Figure 2. Tendence de la teneur en matière organique dans les traitements TE (sol amendé avec écume) et T0 (sol sans écume) pendant le temps d'incubation

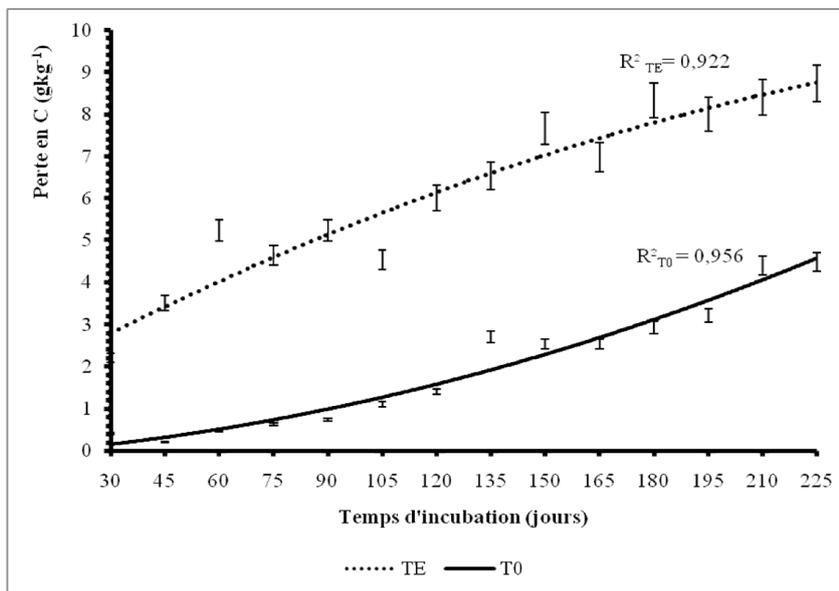


Figure 3. Tendances des pertes cumulées en carbone dans les traitements TE (sol avec écume) et T0 (sol sans écume) en fonction du temps d'incubation

3.2.3 RAPPORT C/N

Le rapport C/N a connu des variations sur les 225 jours d'incubation (Figure 4), avec une tendance générale à la baisse dans les deux traitements. Le rapport C/N a fluctué entre 12 et 7 pour T0, et entre 15 et 7 pour TE. Dans le traitement TE, la baisse du rapport C/N est plus accentuée dans les 150 premiers jours après incubation. Au-delà de 150 jours, le rapport C/N a

faiblement baissé (Tableau II). Quant au traitement T0, le rapport C/N a faiblement diminué, et de façon constante, sur toute la durée de l'incubation.

La cinétique de décomposition de l'écume montre que le rapport C/N du mélange "sol et écume", est passé de 15 à 12, 30 jours après le début de l'incubation, alors que la valeur d'équilibre optimum d'une matière organique se situe entre 10 et 12 [17]. Ce qui signifie qu'au delà d'un mois après son épandage, l'écume acquiert une certaine stabilité biochimique. D'ailleurs, de 60 jours après incubation jusqu'à la fin de l'expérimentation, les rapports C/N ont varié de 12 à 8, avec une tendance à la baisse. Ces différentes phases d'évolution du rapport C/N traduisent le degré de minéralisation de la matière organique. C'est ce qui a fait dire à [10] que le compost d'écume (ISB = 60) est un intéressant amendement organique de fond, comparativement à l'écume fraîche, qui est un amendement organique moyen, du fait de sa faible indice de stabilité.

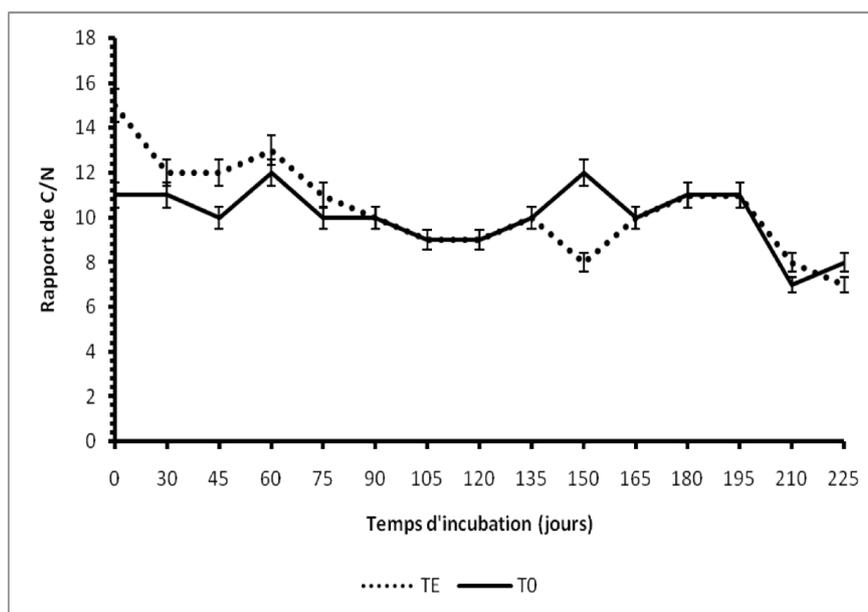


Figure 4. Valeurs moyennes des rapports C/N selon les traitements TE (sol amendé avec écume) et T0 (sol sans écume) en fonction du temps d'incubation

Tableau III. Paramètres de la cinétique de perte du carbone total en fonction du type de traitement

TRAITEMENT	Coef. de détermination r^2	Carbone perdu en p.c. de sol	Taux de perte en carbone (k) en p.c jour	Temps de perte de Cm/2 (ln2/k)
T0	0,97	0,46	$0,054 \pm 0,029$	128,4
TE	0,94	0,86	$0,069 \pm 0,019$	100,5

TE : Traitement écume ; T0 : Traitement témoin

Tableau IV. Gains moyens en carbone et en azote dus à l'apport de l'écume

PARAMETRES	Gain en C (p.c.)	Gain en N ($^{\circ}/_{\infty}$)
TE	$0,13 \pm 0,013$	$0,08 \pm 0,01$
CV%	10,00	12,9
PPDS à 5%	NS	NS

TE : Traitement écume ; CV% : Coefficient de variation ; NS : non significatif

4 CONCLUSION

Ce travail a permis de suivre la minéralisation de la matière organique dans un sol amendé avec 30 tha^{-1} d'écume fraîche. L'enfouissement de l'écume a entraîné une minéralisation de la matière organique environ une fois et demie plus rapide dans le sol amendé que dans le sol témoin, avec des constantes de pertes en C respectives de 0,069 p.c. et 0,054 p.c. par jour. Ce qui laisse suggérer que les sols qui reçoivent l'écume fraîche doivent faire objet de suivi pour maintenir la teneur en matière organique à un niveau convenable pour les rendre plus productifs.

La dynamique de l'écume pourrait être affectée par la nature des sols. La cinétique de décomposition de l'écume incorporée au sol devrait être évaluée dans différents types de sols, afin d'élargir le champ de connaissances sur cette matière organique.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Direction Générale de SUCRIVOIRE, l'Unité de Formation et de Recherche des Sciences de la Terre et des Ressources Minières de l'Université de Félix Houphouët-Boigny Abidjan-Cocody (Côte d'Ivoire) et le Service des Etudes Agronomiques de l'Unité Agricole Intégrée de Zuénoula pour leur soutien dans la réalisation de cette étude.

REFERENCES

- [1] H. Tiessen, E. Cuevas, P. Chacon, "The role of organic matter in sustaining soil fertility", *Nature* 371, 783 – 785, 2002.
- [2] R. J. Haynes et R. S. Swift, "Concentration of extractable Cu, Zn and Mn in a group of soils as influenced by air-and oven drying and rewetting", *Geoderma*, 49: 319-333, 1991.
- [3] E. Roose, B. Barthès, "Soil carbon erosion and its selectivity at the plot scale in Tropical and Mediterranean regions". *Advances in soil sciences CRC Press, Boca Raton, Floride* pp 55 – 72, 2006.
- [4] W.C. Beets, "Sustainable continuous crop production in a tropical environment", *ILEIA Newsletter*, 5 (2): 3 – 9, 1989.
- [5] P. Chabalier, T. Morvan et N. Payet, *Guide des matières organiques, Mission de Valorisation Agricole des Déchets (MVDA), Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD)*, 57 p, 2005.
- [6] S. A. Ayanlaja et J. O. Sanwo, "Management of soil organic matter in farming systems of the lowland humid tropic of West Africa". *Soil Technol.*, 4, 265-279, 1991.
- [7] A. Prone, M.- L. Rodriguez et C. Massiani, *Étude des interactions physiques et chimiques d'un compost en épandage sur un sol. Sciences du sol*, Vol. 31, 1/2, pp. 17-30, 1993.
- [8] M. P. Sedogo, *Evolution des sols ferrugineux lessivés sous culture : incidence des modes de gestion sur la fertilité. Thèse de Doct. D'Etat, FAST, Université Nationale de Côte d'Ivoire*, 285 p, 1993.
- [9] F. Lompo, *Contribution à la valorisation des phosphates naturels du Burkina Faso. Étude des effets de l'interaction phosphate naturel matière organique. Thèse de Docteur Ingénieur. Université nationale de Côte d'Ivoire*; 247 p, 1993.
- [10] P. Chabalier, V. V. D. Kerchove et H. S. Macary, *Guide de la fertilisation organique à la Réunion, Cécile Fovet-Rabot, éditrice scientifique au Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD)*, pp. 103-304, 2006.
- [11] B. Bacye, R. Moreau et C. Feller, "Décomposition d'une poudrette de fumier incorporée dans un sol sableux de versant et un sol argileux limoneux de bas-fond en milieu soudano-sahélien", *études et gestion des sols*, 5, 2, pp. 83-92, 1998.
- [12] A. Walkley et I. A. Black, "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, 1934.
- [13] S. Henin et M. Dupuis, "Essai de bilan de la matière orgaique du sol", *Annales Agronomiques*. XV, 17-29, 1945.
- [14] J. Pichot, M. P. Sedogo, et J. F. Poulain, "Arrivets J.. Fertility evolution in a tropical ferruginous soil under the effect of organic manure and inorganic fertilizer applications", *Agronomie Tropicale*, 36: 122–133, 1981.
- [15] D. S. Jenkinson, "Studies on the decomposition of plant material in soil. IV. The effect of rate of addition". *Journal of soil sciences.*, 28, 417-423, 1977.
- [16] Y. Barry, *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)*, 115 p, 2006.
- [17] C. Silguy, *L'agriculture biologique. Des techniques efficaces et non polluantes. Gambini*, 186 p, 1999.