

EFFETS COMPARES D'INCUIT DE CHAUX ET DE DOLOMIE SUR QUELQUES PARAMETRES CHIMIQUES D'UN SOL FERRALLITIQUE ET D'UN SOL ORGANIQUE AU SUD DE LA CÔTE D'IVOIRE

K.T.P. ANGUI, D.L. GONE et S.L. DJEBRE

Laboratoire Géosciences, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Université d'Abobo-Adjamé.

RESUME

La dégradation continue des sols tropicaux est une préoccupation constante en agriculture dans les pays de l'Afrique subsaharienne. L'étude vise à évaluer le potentiel fertilisant de l'incuit de chaux, à travers l'amélioration des paramètres chimiques de deux types de sols. Il s'agit d'un sol ferrallitique et d'un sol organique. Un échantillon d'incuit de chaux a été prélevé sur un site de traitement des eaux souterraines de la Société de Distribution d'Eau (SODECI) dans le quartier de Yopougon, Abidjan. L'échantillon a été séché, broyé et tamisé à 125 μm . Les sols ont été incubés avec des doses croissantes d'incuit de chaux et de dolomie (pour comparaison) pendant 30 j, en vue d'étudier leurs effets sur le pH, la capacité d'échange cationique et la teneur en aluminium échangeable des sols. Les résultats montrent que l'incuit de chaux a eu un effet significatif ($p = 0,05$) sur les paramètres étudiés. L'augmentation du pH et de la capacité d'échange cationique des sols suite à l'addition de l'incuit de chaux a été plus importante que celle de la dolomie. A la dose maximale de 550 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, le pH du sol ferrallitique a été de 6,25 et 5,85, respectivement avec l'incuit de chaux et la dolomie. Concernant le sol organique, des pH de 5,33 et de 5,16 ont été obtenus à la même dose, respectivement avec l'incuit de chaux et la dolomie. Les réductions de la teneur en aluminium échangeable des sols ont été similaires pour les deux amendements, et cela quelque soit la dose utilisée. Ainsi, l'incuit de chaux se présente comme un amendement à fort potentiel d'amélioration de la fertilité de sols qui peut être valorisé en agriculture.

Mots clés : Incuits de chaux, dolomie, sols acides, amendements basiques, Côte d'Ivoire.

ABSTRACT

COMPARATIVE EFFECTS OF UNSLAKED LIME AND DOLOMITE ON SOME CHEMICAL PARAMETERS OF A FERRASOL AND AN ORGANIC SOIL IN SOUTHERN CÔTE D'IVOIRE

The ongoing degradation of tropical soil is a constant concern in agriculture in sub-Saharan Africa the countries. The study aims at evaluating the potential fertilizing of unslaked lime, through the improvement of some chemical parameters of a ferrasol and an organic soil (53 % organic matter). A sample of unslaked lime was taken from the water treatment site of the Water Distribution firm (SODECI). in Yopougon, Abidjan. The sample was dried, crushed and passed through a 125 μm screen. The soils were incubated with increasing amounts of both dolomite and unslaked lime for 30 days, in order to assess the effects on soil pH, cation of exchange capacity and exchangeable aluminum content. The results show that the unslaked lime had a significant effect ($p = 0.05$) on the parameters studied. The increase in soil pH and cation exchange capacity, following the addition of unslaked lime was more important than that of dolomite. With a maximum rate of 550 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, the pH of the ferrasol was 6.25 and 5.85, with the unslaked lime and the dolomite, respectively. Concerning the organic soil, pH values of 5.33 and 5.16 were obtained with the same rate of unslaked lime and dolomite, respectively. The reductions in exchangeable Al content of the soils were similar for the two amendments, and that regardless of amount used. Thus, the unslaked lime was shown here as having a strong potential to improve of the fertility of agricultural soils.

Key words : unslaked lime, dolomite, acid soils, basic amendments, Côte d'Ivoire.

INTRODUCTION

La dégradation constante de l'environnement, suite à la déforestation, avec comme corollaire, la perte de fertilité des sols constitue une préoccupation en agriculture tropicale (Dao, 1999). Les conséquences de cette dégradation sont nombreuses. Elles se traduisent en termes d'appauvrissement des sols en éléments nutritifs, une mauvaise structure, une faible capacité de rétention en eau du sol et une baisse des rendements des cultures (Sanchez *et al.*, 1997) menaçant gravement la sécurité alimentaire (Yoro *et al.*, 1995). La Côte d'Ivoire, un pays dont l'économie essentiellement basée sur l'agriculture, n'échappe pas à cette réalité. En effet, le pays a perdu plus du tiers de son couvert végétal depuis son accession à l'indépendance en 1960 (Balac, 1999 ; Dao, 1999). La surexploitation des terres suite à une croissance démographique galopante et l'utilisation de techniques de culture mal adaptées, couplées aux facteurs naturels tel que le lessivage/lixiviation, sont responsables de la perte de fertilité des sols (Pieri, 1988 ; Badiane et Delgado, 1995). En outre, située dans la zone intertropicale, le pays est caractérisée par une couverture pédologique essentiellement constituée de sols ferrallitiques (ferrasols) caractérisés par une pauvreté intrinsèque (Schwartz, 1990 ; Duchaufour, 1991 ; Sanchez, 1997 ; Rahajaharitombo, 2004).

L'utilisation de fertilisants pour améliorer la fertilité des sols en vue d'augmenter les rendements des cultures est une nécessité en agriculture tropicale (FAO, 2003). Les amendements calcaires utilisant la chaux, la dolomie ou autres dérivés calciques et magnésiens ont permis de réduire l'acidité et restaurer les niveaux de bases échangeables des sols tropicaux désaturés (Julien et Turpin, 1999 ; Fabre et Kockmann, 2002). Dans la plupart des pays d'Afrique subsaharienne, les fertilisants sont très peu utilisés, compte tenu des coûts qui sont souvent hors de portée des paysans. McIntire (1986) a rapporté que les agriculteurs africains n'ont utilisé que $5,9 \text{ Kg ha}^{-1}$ d'engrais dans la période de 1978 à 1982, alors que les moyennes des engrais dans le monde étaient de $77,9 \text{ Kg ha}^{-1}$. Plus récemment, Stoorvogel et Smaing (1990) ont révélé que l'agriculture en Afrique subsaharienne utilise à peine 8 kg ha^{-1} de fertilisants. Il apparaît dès lors, que la vulgarisation de fertilisants bon

marché et disponibles localement est indispensable à une agriculture durable dans ces pays.

L'incuit de chaux issu du traitement des eaux de consommation, constitue une alternative viable aux amendements chimiques trop onéreux (Prévot, 2000). En effet, lors du traitement de ces eaux, la chaux est utilisée à l'étape de mise à l'équilibre calco-carbonique pour relever le pH de l'eau de 6,5 à 8,5. Le résidu de chaux n'ayant pas réagi au cours du traitement de l'eau, ou incuit de chaux est jeté en pêle-mêle sur le site, avec des conséquences graves sur l'environnement. Environ, 25 kg d'incuits de chaux sont produits au cours du traitement des eaux à l'usine de Yopougon, soit une quantité approximative d'une tonne d'incuits produits sur les différents sites de traitement répartis à travers le pays par jour. La présente étude vise à tester, en comparaison avec la dolomie l'effet de l'incuit de chaux issu des sites de traitement d'eau potable, sur quelques propriétés chimiques du sol.

MATERIEL ET METHODES

MATERIEL

Incuits de chaux

L'incuit de chaux utilisé dans le cadre de ce travail a été prélevé à l'usine de traitement des eaux souterraines de la SODECI dans la commune de Yopougon (Abidjan). Il se présente sous forme de bloc blanchâtre plus ou moins friable. Il a été obtenu après une mise en équilibre calco-carbonique avec la chaux sur une eau brute d'origine souterraine de pH entre 4,5 et 5,5 n'ayant pas subi de coagulation-floculation. Vingt cinq kilogrammes d'incuits de chaux ont été prélevés à l'aide de sacs plastiques. L'échantillon a été ensuite séché à la température ambiante, broyé puis tamisé à $125 \mu\text{m}$ avant utilisation.

Dolomie

La dolomie a été obtenue de la Société Tropicale d'Engrais et de Produits Chimiques (STEP) sise à la zone industrielle de Vridi (Abidjan). C'est un composé de couleur brunâtre constitué de granulés et de poudre et qui également a été tamisée à $125 \mu\text{m}$.

Sols

Deux types de sols ont été prélevés à Dabou, sur le littoral ivoirien à l'ouest d'Abidjan, sur l'axe Abidjan Dabou. Il s'agit d'un sol ferrallitique et d'un sol organique. Les sols de cette région ont été décrits par Camara et Yao (1987). Soixante quinze kilogrammes de chaque type de sol ont été prélevés à la profondeur de 0 à 30 cm. Ils ont été séchés à la température ambiante, puis tamisés à 2 mm.

METHODES

Caractérisation chimique de l'incuit de chaux et de la dolomie

Les pH des deux amendements ont été déterminés dans l'eau, selon un rapport de 2:5 sol : eau (p/v), à l'aide d'un pH-mètre. Les cations échangeables ont été extraits l'aide d'une solution 1M d'acétate d'ammonium. Les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} ont été dosés par complexométrie à l'aide d'une solution d'EDTA et les ions Na^+ et K^+ par photométrie de flamme. L'aluminium échangeable (Al^{3+}) a été déterminé à l'aide d'un photomètre UV-visible à 581 nm après extraction au KCl 1M (AFNOR, 1996). L'azote total et le phosphore total ont été déterminés par la méthode de Kjeldahl, après digestion à l'acide, et la méthode AFNOR (1996), respectivement.

Caractérisation des sols

Le pH, les cations basiques plus l'aluminium échangeables et l'azote total des sols ont été déterminés suivant les mêmes méthodes que l'incuit de chaux et la dolomie. La capacité d'échange cationique a été déterminée suivant la méthode AFNOR (1996), après extraction par l'acétate d'ammonium à pH 7. La teneur en carbone organique a été obtenue à l'aide de la méthode Walkey-Black modifiée (Anonyme, 2003). Le phosphore total et le phosphore assimilable ont été respectivement déterminés par la méthode Olsen (1954) et Truog (1930).

Incubation des sols avec l'incuit de chaux

L'effet de des amendements sur les propriétés chimiques a été étudié à travers l'incubation à

doses croissantes d'incuit de chaux et de dolomie à la température ambiante. Le dispositif expérimental comprenait 11 traitements pour chaque type de sol. Les doses de 185, 278, 370, 463 et 550 kg ha^{-1} , d'incuits de chaux et de dolomie ont été ajoutées à 100 g de chaque sol. Ces doses correspondantes ont été calculées sur la base d'une recommandation optimale de dolomie de 370 kg ha^{-1} (Kouakou, 2007) et comparées à un témoin sans amendement. Ensuite, de l'eau distillée correspondant à 80 % de la capacité au champ de chaque type de sol a été ajoutée à chaque échantillon. Au cours de l'incubation, chaque échantillon a été aéré tous les 3 j, puis pesé, afin de rajouter de l'eau distillée correspondant à la perte d'eau par évaporation.

Traitement des données

Les données ont été soumises à une analyse de variance à l'aide du logiciel «STATISTICA», édition 99 STAT SOFT France 1994-1999, sous Windows XP 5P2. Le test de comparaison des de Newman-Keuls a été appliqué au seuil de 5 %.

RESULTATS

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DE L'INCUI DE CHAUX ET DE LA DOLOMIE

Le tableau 1 montre que l'incuit de chaux et la dolomie ont eu un pH basique, avec des valeurs de 11,13 et 9,75, respectivement. Les teneurs en Ca^{2+} et en Mg^{2+} de l'incuit de chaux ont élevés par rapport à la dolomie. Par contre, les teneurs en N, P et Al^{3+} ont été faibles, pour les deux amendements.

CARACTERISTIQUES CHIMIQUES DES SOLS

Les deux sols sont acides, avec un pH de 5,32 pour le sol ferrallitique et un pH de 4,51 pour le sol tourbeux. Les teneurs en Al^{3+} sont de l'ordre de 2,45 mol (+) kg^{-1} pour le sol ferrallitique et de 3,87 mol (+) kg^{-1} pour le sol organique. Par contre, les teneurs en bases échangeables, du phosphore et de l'azote, ont été faibles. Le sol organique a eu une teneur en matière organique de 53 % (Tableau 2).

Tableau 1 : Principaux paramètres chimiques de l'incuit de chaux et de la dolomie.

Paramètres mesurés	Valeurs des paramètres	
	Incuit de chaux	Dolomie
pH _{eau}	11,13	9,75
Ca ²⁺ (cmol (+) kg ⁻¹)	5,8	3,7
Mg ²⁺ (cmol (+) kg ⁻¹)	2,3	1,9
K ⁺ (cmol (+) kg ⁻¹)	0,7	0,00
Na ⁺ (cmol (+) kg ⁻¹)	0,36	0,08
Phosphore total (%)	0,49	0,29
Azote total (%)	0,00	0,14
Aluminium (cmol (+) kg ⁻¹)	0,47	0,00

Tableau 2 : Principales caractéristiques chimiques des sols étudiés.

Paramètres mesurés	Valeurs des paramètres	
	Sol ferrallitique	Sol organique
pH _{eau}	5,32	4,51
Ca ²⁺ (cmol (+) kg ⁻¹)	0,22	0,13
Mg ²⁺ (cmol (+) kg ⁻¹)	0,17	0,08
K ⁺ (cmol (+) kg ⁻¹)	0,02	0,04
Na ⁺ (cmol (+) kg ⁻¹)	0,21	0,32
CEC (cmol (+) kg ⁻¹)	12,4	33,32
Azote total (%)	0,28	0,7
Phosphore total (%)	19	67
Phosphore assimilable (%)	7	14
Carbone organique (%)	3,2	31,04
Matière organique (%)	5,52	53,51
Aluminium (cmol (+) kg ⁻¹)	2,45	3,87

EFFETS DES AMENDEMENTS SUR LES PROPRIETES CHIMIQUES DES SOLS

Acidité des sol

Effet sur le pH

Les figures 1a et 1b montrent que les pH des sols ont évolué faiblement en fonction de doses d'incuit de chaux et de dolomie. Pour le sol ferrallitique, les pH ont varié entre 5,3 et 5,5 et entre 5,3 et 5,6, de chaux, respectivement, avec des doses avec la dolomie et l'incuit allant de 0 à 500 kg ha⁻¹. L'effet de l'incuit de chaux a été significativement plus important que la dolomie (Figure 1a). Pour le sol organique, les tendances ont été similaires, avec des pH entre 4,5 et 4,8 et entre 4,5 et 4,6, avec l'incuit de chaux et la dolomie, respectivement, pour les mêmes doses d'amendement (Figure 1b).

Effet sur l'aluminium échangeable sur les sols

Les teneurs en Al³⁺ échangeable des deux sols ont décliné avec l'augmentation des doses

d'amendement (Figures 2a et 2b). Entre 0 et 200 kg ha⁻¹, la diminution a été plus faible, mais plus rapide entre 200 et 500 kg ha⁻¹. Pour le sol ferrallitique, la teneur en Al³⁺ a varié entre 2,45 et 2,2 cmol (+) kg⁻¹ et entre 2,2 et 0,22 cmol (+) kg⁻¹, respectivement dans les mêmes intervalles de doses d'amendement. La dolomie a eu un comportement similaire à l'incuit de chaux sur les deux types de sol. Toutefois, la diminution de la teneur en Al³⁺ échangeable a été plus importante dans le sol organique, soit 75 %, contre 60 % pour le sol minéral.

Effet sur la capacité d'échange cationique

De façon générale, pour les deux types de sol, on constate une augmentation de la capacité d'échange cationique (CEC) avec des doses croissantes d'incuit de chaux et de dolomie. Pour le sol ferrallitique, la CEC a été constante à environ 13 cmol (+) kg⁻¹, après ajout de doses d'amendements comprises entre 0 et 280 kg ha⁻¹. Puis, de 280 à 550 kg ha⁻¹, elle a connu une augmentation plus rapide. La CEC a évolué

de 13 à 18 cmol (+) kg^{-1} avec l'incuit de chaux et de 13 à 16 cmol (+) kg^{-1} avec la dolomie (Figure 3a). Concernant le sol organique, la CEC a connu une augmentation significative, à partir de 280

kg ha^{-1} avec les deux amendements. Ainsi, la CEC a évolué de 34 à 36,12 cmol (+) kg^{-1} avec l'incuit de chaux et de 34 à 35,97 cmol (+) kg^{-1} avec la dolomie (Figure 3b).

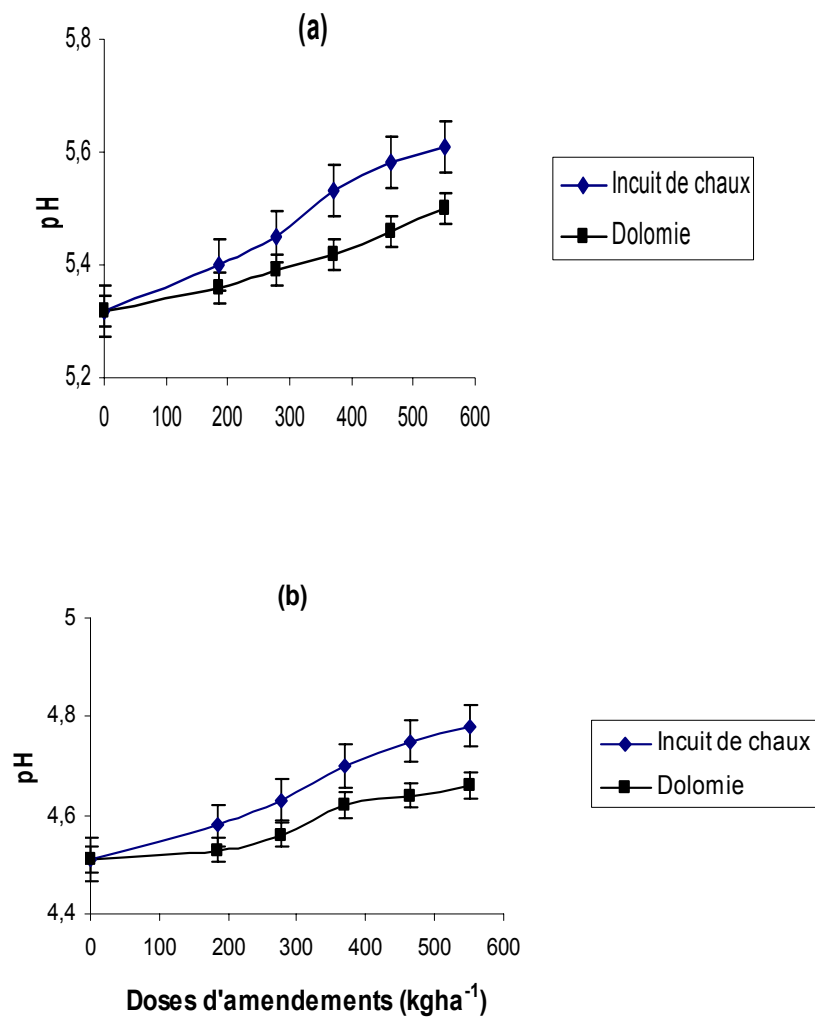


Figure 1 : Evolution du pH des sols sous l'effet de l'incuit de chaux et de la dolomie. (a) : sol ferrallitique, (b) : sol organique.

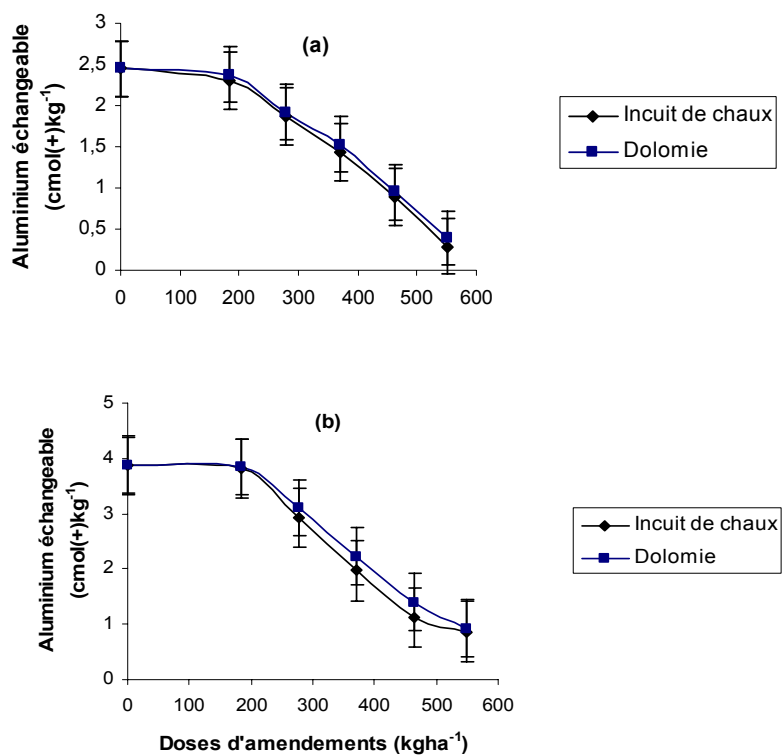


Figure 2 : Effets de l'incuit de chaux et de la dolomie sur la teneur en aluminium échangeable des sols. (a) : sol ferrallitique, (b) : sol organique.

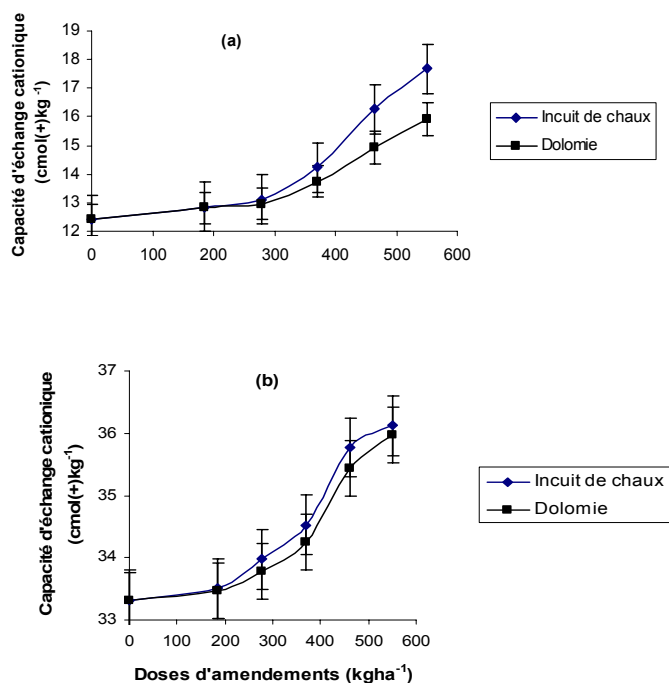


Figure 3 : Effets de l'incuit de chaux et de la dolomie sur la capacité d'échange cationique des sols. (a) : sol ferrallitique, (b) : sol organique.

DISCUSSION

L'augmentation du pH des deux sols est due à la libération par l'incuit de chaux et la dolomie d'ions hydroxydes (OH^-) et cations basiques dans la solution des sols, à en jugé par les pH basiques de ces amendements. Ces ions ont contribué à neutraliser l'acidité des sols. La différence significative ($p < 0,05$) entre l'effet de l'incuit de chaux et celui de la dolomie sur l'augmentation du pH des sols peut s'expliquer par le fait que le premier possède un pH et une teneur en cations échangeables plus élevés que le second. Ces résultats sont en accord avec ceux de Pires *et al.* (2003) et The *et al.* (2006). Ces auteurs ont montré, respectivement au Brésil et au Cameroun, que l'addition de broyats de roches carbonatées entraîne une augmentation plus importante du pH des sols acides étudiés. Par ailleurs, la faible variation du pH observée dans les deux sols peut être due à un fort pouvoir tampon de ces sols (Jonhston, 1991 ; Djondo, 1995). Ce pouvoir qui est plus important dans le sol organique peut être dû à une forte teneur en colloïdes organiques de ce sol (Bacyé *et al.*, 1998 ; Rahajaharitombo, 2004).

La baisse de la teneur en (Al^{3+}) échangeable des deux sols, avec l'addition d'incuit de chaux et de dolomie, peut s'expliquer par le remplacement des Al^{3+} fixés sur les complexes colloïdaux des sols par les cations Ca^{2+} et Mg^{2+} (Hargrove et Thomas, 1981 ; Rahajaharitombo, 2004). Les ions Al^{3+} libérés en solution ont produit des protons qui ont été ensuite neutralisés par les ions OH^- provenant des amendements. La réduction faible des teneurs en Al^{3+} aux doses d'amendements, entre 0 et 185 kg ha^{-1} , pourrait correspondre à une phase d'échange sans neutralisation des protons (Kamprath, 1972 ; Sanchez et Uehara, 1984). La seconde phase relative à la diminution rapide des teneurs en Al^{3+} des deux sols pourrait correspondre au début de la neutralisation des protons par les ions OH^- apportés par les amendements. Ceci voudrait dire que les réactions d'échange des Al^{3+} au niveau des complexes colloïdaux ont lieu avant celles de l'hydrolyse et de la neutralisation des protons (Hargrove et Thomas, 1981 ; Djondo, 1995).

Les valeurs quasi constantes de la CEC pour les doses d'incuit de chaux et de dolomie

comprises entre 0 et 280 kg ha^{-1} peuvent être dues aux faibles niveaux d'échange des cations du complexe par les cations basiques des amendements. Les ions NH_4^+ apportés par l'acétate d'ammonium, lors de la détermination de la CEC, n'ont pu extraire les cations acides (Al^{3+} , Fe^{3+} et H^+) fortement plus liés au complexe colloïdal du sol (Rishirumuhirwa, 1993 ; Djongo, 1995 ; Rahajaharitombo, 2004). Ainsi, un seuil de teneur en cations basiques, apportés par les amendements, doit être atteint afin de favoriser un échange des cations acides au niveau du complexe adsorbant des sols (Djongo, 1995 ; Bacyé *et al.*, 1998 ; Rahajaharitombo, 2004). Par ailleurs, l'augmentation de la CEC observée dans le sol organique, par rapport au sol minéral pourrait s'expliquer par le fait que le premier est plus riche en matière organique. Selon Bigorre *et al.* (2000), la CEC, liée à la matière organique est plus importante, que la CEC des sols minéraux argileux à doses équivalente d'amendement.

CONCLUSION

Ce travail a eu pour but d'étudier le potentiel fertilisant de l'incuit de chaux sur un sol minéral et un sol organique. Ainsi, son action sur certaines propriétés chimiques d'un sol ferrallitique et d'un sol organique, a été comparée à la dolomie couramment utilisée en agriculture. Des doses croissantes de ces amendements ont été incubées dans chacun des sols étudiés pendant 30 j. Les résultats ont montré que l'incuit de chaux a permis une augmentation significative du pH et de la CEC et une réduction de la teneur en aluminium échangeable des sols étudiés légèrement plus que la dolomie. Il apparaît que l'incuit de chaux peut être utilisé comme amendement pour l'amélioration de la fertilité des sols agricoles acides. Il peut constituer de ce fait, une alternative au faible niveau d'utilisation de fertilisants en agriculture dans les pays d'Afrique subsaharienne du fait de son efficacité et des coûts moins importants pour les paysans. Enfin, l'utilisation de l'incuit de chaux en agriculture eut être une alternative, à la lutte contre la dégradation de l'environnement, liée au déversement de ces sous-produits de traitement des eaux de boisson.

REFERENCES

- AFNOR 1996. Qualité des sols. Recueil de normes françaises. AFNOR, Paris France, 533 p.
- Anonyme. 2003. Détermination de la matière organique par dosage du carbone organique dans les sols agricoles : méthode Walkey-Black modifiée. Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec, 10 p.
- Badiane O. and C. L. Delgado. 1995. A 2020 vision for food, agriculture and the environments in-Saharan Africa. Food, Agric. and the Environ. Disp. Pap. 4. Int Food Policy Res. Inst. Washington DC.
- Balac R. 1999. Les économies pionnières prédatrices du milieu forestier : le cas de l'économie de plantation en Côte d'Ivoire. In : Bahuchet S., Bley D., Pagezy H. et Vernazza-Licht. L'homme et la forêt tropicale : 429 - 437.
- Bigorre F., Tessier D. et G. Pedro. 2000. Contribution des argiles et des matières organiques à la rétention de l'eau dans les sols. Signification et rôle fondamental de la capacité d'échange en cations. C.R. Acad. Sci. Paris. 330, 1 - 6.
- Bycé B., Moreau R. et C. Feller. 1998. Décomposition d'une poudrette de fumier incorporée dans un sol sableux de versant et un sol argilo-lumineux de bas-fond en milieu soudano-sahélien. Etude et gestion des sols, 5 (2) : 83 - 92.
- Camara M et K. A. Yao. 1987. Description de quelques sols du sud de la Côte d'Ivoire (Région de Dabou) : vocation agricole de ces sols. Orstom, Adiopodoumé, 11 p.
- Djondo M. Y. 1995. Propriétés d'échange ionique des sols ferrallitiques argileux de la vallée du Niari et sableux du plateau de Mbe-Bateké au Congo. Application à la correction de leur acidité, Thèse de Doctorat, Orstom, centre de Montpellier, 259 p.
- Duchaufour Ph. 1991. Pédologie. Sol, végétation, environnement. Troisième édition entièrement renouvelée. Coll. Abrégés, Masson eds., Paris, 289 p.
- Fabre B. et F. Kockmann. 2002. La pratique du chaulage : de la construction du référentiel régional à la démarche de conseil en exploitation. Etude et Gestion des sols, 9 (3) : 213 - 234.
- FAO 2003. Les engrais et leurs applications. Précis à l'usage des agents de la vulgarisation agricole, 27 - 30.
- Hargrove W. L. and G. W. Thomas. 1981. Effect of organic matter on exchangeable aluminum and plant growth in acid soils. Chemistry in the soil environment. Am. Soc. Agron., special publication n° 40, pp 151 - 166.
- Julien J. L. et A. Turpin. 1999. Surfaces réactives et raisonnement de quelques propriétés chimiques de sols acides. C.R. Acad. Agric. Fr., 85 (2) : 25 - 35.
- Johnston A. E. 1991. Benefits from long-term ecosystem research : some examples from Rothamsted, <http://www.iscu-scope/downapubs/scope47/chap06.htm>.
- Kamprath E. J. 1972. Soil acidity and liming in soils of the humid tropics. Edit. Nat. Acad. of science, Washington : 136 - 149.
- Kouakou K. T. 2007. Utilisation de boyat de coquille d'escargot (*Achatina achatina*) pour l'amendement d'un sol ferrallitique fortement désaturé et effet sur la croissance du maïs (*Zea mays*) (poaceae), maîtrise, UFR Science de la Nature, Université d'Abobo-Adjamé.
- McIntire J. 1986. Constraints to fertilizer use in sub-saharan Africa. In : Management of nitrogen and phosphorous fertilizers in sub-saharan African, A. Uzo Mokwunye and Paul L. G. Vlek (Eds.). Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht : 33 - 57.
- Olsen S. R. 1954. Measurement of surface phosphate on hydroxylapatite and phosphate rock with radiophosphorus. J Phys. Chem., 56 : 630 - 632.
- Pieri C. 1988. Industrie des engrais phosphatées et développement de la fertilisation en Afrique. L'Agronomie Tropicale 43 : 261 - 277.
- Pires F. R., Souza C. M., Oueiroz D. M., Miranda G. V. and J. C. C. Galvao. 2003. Changes in chemical soil characteristics, nutritional state and agronomic characteristics of corn plant due to lime application forms under no-tillage. Revista brasileira de Ciência do solo, 27 (1) : 121 - 131.
- Prévot H. 2000. La récupération de l'énergie issue du traitement des déchets. Rapport du conseil général des mines. Juillet 2000. <http://www.environnement.gouv.fr/telch/2001-t3/010731-rapport-prevot-dechets-energie.pdf>.
- Rahajaharimpo R. L. 2004. Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des hautes terres de Madagascar, Thèse de Doctorat, Université d'Antananarivo, 213 p.

- Rishirumuhirwa T. 1993. Potentiel du bananier dans la gestion et la conservation des sols ferrallitiques du Burundi. Cah. Orstom, sér. Pédol., 27 (2) : 367 - 383.
- Sanchez P. A., Shepherd M. J., Soule F. M., Buresh R. J. and A. M. N. Izac. 1997. Soil fertility replenishment in A. K. D. Africa : An investment in natural resource capital. In Replenishing Soil fertility in Africa. SSSA Special Publication, 51 : 1 - 46.
- Sanchez P. A. and G. Huerara. 1984. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. pp. 471 - 514. In : The role of phosphorus in agriculture. Eds Khasawneh F. E., Sample E. C. and Kamprath E. J. ASA-CSSA-SSSA, Madison, Wisconsin USA.
- Stoorvogel J. J. and E. Smaling. 1990. Assessment of soil nutrient depletion in sub-saharan Africa, 1983 - 2000. Vol. 1 Main Report 28, DLO. The Winang Staring Centre for Integrated Land, Soil and Water Research (SC-DLO), Wageningen, The Netherlands, 137 p.
- The C., Calba H., Zonkeng C., Ngonkeu E. L. M., Adetimirin V. O. Mafouasson H. A., Meka S. S. and W. J. Horst. 2006. Responses of maize grain yield to changes in acid soil characteristics after soil amendments. DOI 10. 1007/ s11104-006-0029. Plant and Soil, 284 : 45 - 57.
- Truog E. 1930. The determination of readily available phosphorus of soil. J. Amer. Soc. Agron. : 874 - 882.
- Yoro G., Tamia A. and B. Gnonhouiri. 1995. Technical report on land development for sustainable agriculture in Côte d'Ivoire. Results from Becedi site 1990 - 1994. IBSRAM IDEFOT/DCC.