

# Étude expérimentale des interactions entre éléments métalliques et la minéralisation de la matière organique d'une boue résiduaire ajoutée à un sol

Noureddine GABTENI et Tahar GALLALI

Laboratoire de Pédologie, Département de Géologie — Faculté des Sciences de Tunis

## RÉSUMÉ

*Des expériences d'incubation in vitro ont été réalisées pour suivre l'évolution de la matière organique d'une boue résiduaire additionnée à un sol alluvial et l'impact de l'ajout d'éléments métalliques à des concentrations croissantes sur la minéralisation de la matière organique de ce sol amendé en boue.*

*Une boue résiduaire, additionnée dans une proportion de 2g/100g de sol et des ajouts de cuivre et de zinc de 400, 800, 1600 et de 4000 ppm pour le premier et 400 et 800 ppm pour le second ont été testées au cours de ces expériences.*

*Le dosage quotidien du CO<sub>2</sub>, dégagé des différents échantillons, a montré d'une part que les boues résiduaires de Cherguia sont riches en matières organiques facilement biodégradables et d'autre part que les éléments métalliques provoquent une inhibition de la minéralisation de la matière organique ; cette inhibition est fonction de la nature de l'élément et elle est d'autant plus importante que la concentration métallique est élevée.*

**MOTS-CLÉS :** Incubation — Boue résiduaire — Éléments métalliques — Inhibition — Minéralisation de la matière organique.

## ABSTRACT

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ABOUT INTERACTIONS BETWEEN METALLIC ELEMENTS AND THE MINERALISATION OF ORGANIC MATTER FROM AN ALLUVIAL SOIL AMENDED WITH SEWAGE SLUDGE

*An incubation study was conducted to follow the evolution of organic matter of an alluvial soil amended with sewage sludge and the mineralisation after addition of copper or zinc at variable concentrations.*

*Sewage sludge added to soil (2g/100g soil) and solution of Copper and Zinc concentrated respectively at 400, 800, 1600 and 4000 ppm for the first element and 400, 800 ppm for the second, are tested during this experiments.*

*Analysis of daily released CO<sub>2</sub> of different samples show, on the one hand that the sewage sludge is rich in easily biodegradable organic matter and, on the other hand, that metallic element inhibits the mineralisation of organic matter. This inhibition depends of the metallic element nature and it's added quantity.*

**KEY WORDS :** Incubation — Sewage sludge — Metallic element — Inhibition — Organic matter mineralization.

## 1. INTRODUCTION

En Tunisie, l'utilisation de boues résiduaires à des fins agricoles constitue une technique d'utilisation

toute récente dans l'amélioration de la fertilité des sols. Les références concernant ces matériaux sont très peu nombreuses voire inexistantes.

Aussi avons-nous entrepris cette étude visant à

définir dans nos conditions agro-climatiques et édaphiques, les possibilités d'utilisation des boues d'épandage des stations d'épurations locales et de prévenir éventuellement les conséquences que peut engendrer une utilisation non contrôlée de tels produits. De ce point de vue le comportement des métaux lourds présents dans les boues à des teneurs souvent élevées constitue un problème des plus préoccupants (BLOOMFIELD *et al.*, 1976 ; LUND *et al.*, 1976 ; SILVIERA et SOMMERS, 1977 ; LIANG et TABATABAI, 1978 ; CHANG et BROADBENT, 1981 ; GREENFARD *et al.*, 1982 ; SPOSITO *et al.*, 1982 ; BREMAN *et al.*, 1984 ; SPOSITO, 1984 ; MOREL, 1985 ; GABTENI, 1986).

Cette étude se propose donc de suivre *in vitro*, l'action des deux éléments métalliques, le cuivre et le zinc, sur la cinétique de minéralisation de la matière organique d'une boue résiduaire utilisée comme engrais fertilisant dans des sols à vocation agricole.

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

L'échantillon de sol utilisé dans cette expérience est de type alluvial calcaire prélevé à la station expérimentale de Cherfech à une profondeur de 0 à 20 cm. Il contient 1,53 % de carbone organique et 0,16 % d'azote total. 98g de ce sol sont amendés avec 2g de boue résiduaire qui contient 26,17 % de carbone organique et 2,25 % d'azote total.

D'autres caractéristiques physico-chimiques de ces deux matériaux sont résumées dans le tableau suivant :

TABLEAU I  
Caractéristiques physico-chimiques du sol et de la boue

	pH	C%	N%	C/N	AH/AF	(Cext/Ctot)%
Sol	8,1	1,53	0,16	9,5	0,37	27
Boue	6,9	26,17	2,25	11,6	—	—

A 100g du mélange sol + boue (98g de sol et 2g de boue) placé dans des erlenmeyers de 500 ml sont ajoutées des quantités de cuivre et de zinc en solution respectivement de 400, 800, 1600 et 4000 ppm pour le premier et 400 et 800 ppm pour le second (tabl.II). Le volume d'eau des solutions correspond à 80 % de la capacité au champ de l'échantillon du sol soit 24 ml. Les solutions métalliques utilisées sont préparées à partir des sulfates  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

Il faut également noter que les différentes solutions utilisées sont ramenées à pH 6,5 par ajout de quelques gouttes de NaOH N/100.

TABLEAU II  
Teneurs en Cu et Zn dans les différents échantillons

Substrats référenciés	Sol+boue	Sol+boue + Zn400+Cu400	Sol+boue + Zn800	Sol+boue + Cu800	Sol+boue + Cu1600	Sol+boue + Cu400
Cu(ppm)						
Sol+boue	19*	409*	19*	789*	1588*	388*
		419*		819*	1619*	4019*
Zn(ppm)						
Sol+boue	94*	475*	860*	94*	94*	94*
		494*	894*			

\* Valeurs calculées  
0 Valeurs dosées

Signalons d'autre part que les teneurs initiales en cuivre et en zinc sont respectivement de 16 et 84ug/g pour le sol 153 et 511ug/g pour la boue. Il faut remarquer enfin que l'utilisation de la boue résiduaire de Cherfech entraîne une augmentation du stock global de la

matière organique. En effet le taux de carbone organique passe de 1,53 % dans le sol seul à 2,05 % dans le substrat sol + boue.

Les différents échantillons sont incubés à 28°C.

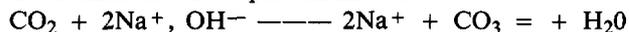
Le dispositif d'incubation utilisé permet de traiter

plusieurs échantillons à la fois. Il s'agit d'un dispositif aérobie à température constante (28°C), qui permet de mesurer quotidiennement la quantité de CO<sub>2</sub> dégagé provenant essentiellement des matières organiques minéralisées par la microflore du sol et de la boue.

L'air renouvelant l'atmosphère des erlen meyers contenant les échantillons est débarrassé de CO<sub>2</sub> par barbotage dans la soude 4N. Il est ensuite enrichi en vapeur d'eau par passage dans une allonge remplie d'eau distil-

lée évitant ainsi la dessiccation de ces mêmes échantillons.

Le CO<sub>2</sub> dégagé par les échantillons est récupéré par barbotage dans la soude 0,5 N. Le dispositif de bullage est réglé de façon à obtenir un débit faible et régulier afin d'assurer un meilleur piégeage du CO<sub>2</sub> dégagé. Ce dernier est dosé par titrimétrie.



L'excès de soude est dosé par HCl N/5 en présence de BaCl<sub>2</sub> et de quelques gouttes de phénol phtaléine à 5 %, comme indicateur coloré.

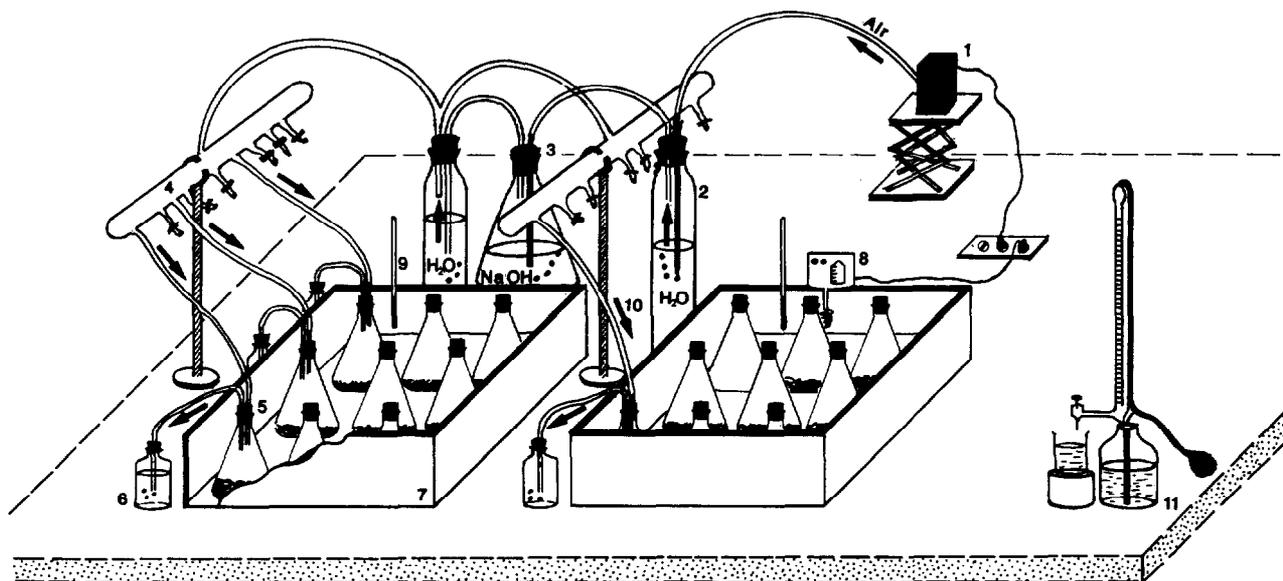


FIG. 1. - Dispositif expérimental

- |                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| 1. Pompe à air                       | 7. Bain thermostaté                    |
| 2. Allonges régulatrices de pression | 8. Résistance thermostatée             |
| 3. Barboteur de soude 4N             | 9. Thermomètre                         |
| 4. Colonnes distributrices           | 10. Pinces régulatrices du débit d'air |
| 5. Unité d'incubation                | 11. Burette à HCL 0,5 N                |
| 6. Barboteur de soude 0,5N           |  |

### 3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

La figure 2, sur laquelle sont représentées les deux courbes de minéralisation du sol témoin et du mélange sol + boue, montre les deux phases classiques de minéralisation du sol (DOMMERMUES, 1968). Dans les deux cas, la première phase se développe pendant les six à huit premiers jours, elle correspond à la biodégradation des produits facilement métabolisables. Le maximum de dégagement de CO<sub>2</sub> s'exprime entre la première et la deuxième journée d'incubation. La deuxième phase de minéralisation correspondant à une réduction de l'intensité de l'activité biologique due à la diminution

des quantités de substances facilement biodégradables.

La comparaison entre les deux courbes de minéralisation montre un dégagement de carbone plus important dans le substrat sol + boue ; ceci témoigne que la boue est plus riche en matière organique facilement biodégradable que le sol seul.

Les résultats de la mesure du taux de minéralisation des différents échantillons amendés en boue et chargés en éléments métalliques sont illustrés sur les figures 3 et 4.

L'examen de la figure 3 permet de constater que les courbes des différents substrats présentent une allure similaire : un dégagement important de CO<sub>2</sub> au bout

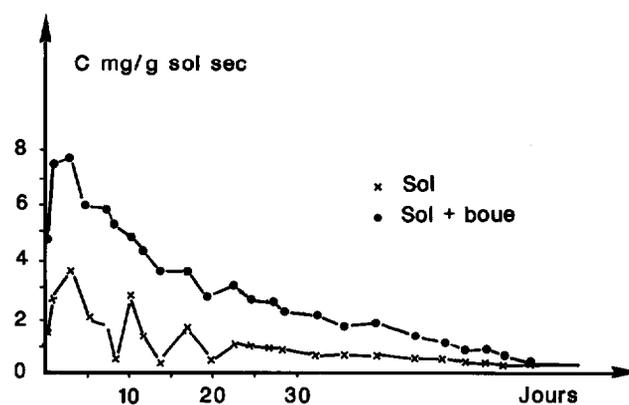


FIG. 2. — Evolution du taux de minéralisation journalière des substrats (Sol + boue) en fonction du temps

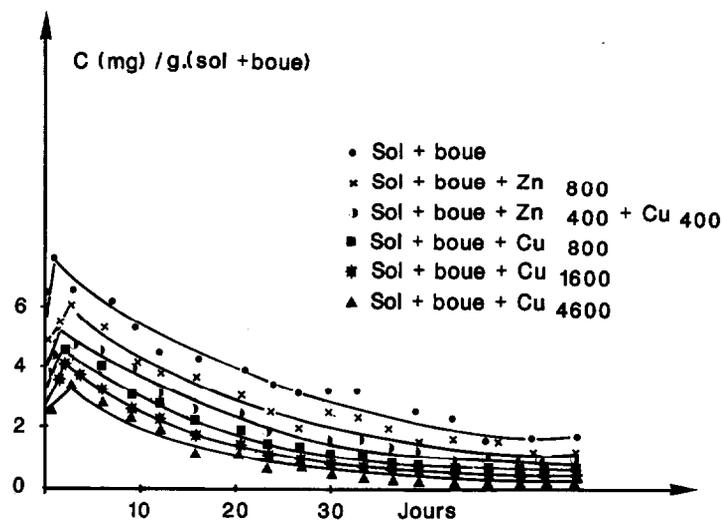


FIG. 3. — Evolution de la minéralisation quotidienne des différents substrats

TABLEAU III

Taux de minéralisation cumulée dans les différents substrats

Substrats	Minéralisation cumulée (C(CO <sub>2</sub> )/C Total)%
Sol+boue	7,05
Sol+boue+Zn800	5,78
Sol+boue+Zn400+Cu400	5,4
Sol+boue+Cu800	4,99
Sol+boue+Cu1600	4,72
Sol+boue+Cu4000	4,05

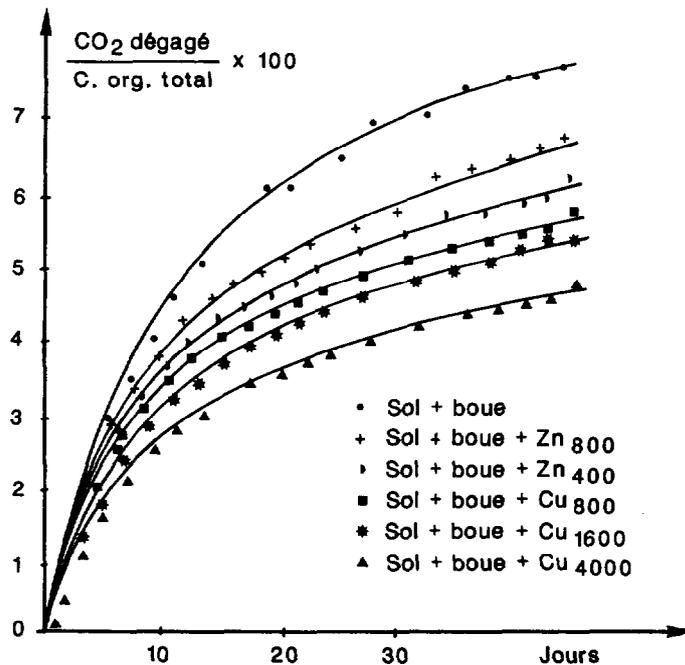


FIG. 4. — Evolution de la minéralisation cumulée des différents substrats à concentrations métalliques variables

de deux à quatre jours d'incubation puis une diminution progressive jusqu'à la fin d'incubation. Toutefois, il apparaît que suivant la concentration métallique initiale, l'intensité de dégagement de CO<sub>2</sub> est différente.

Le calcul du taux de minéralisation cumulée de la matière organique des différents substrats (tabl. III), donne l'ordre décroissant suivant :

Sol + boue > Sol + boue + Zn<sub>800</sub> > Sol + boue + Zn<sub>400</sub> + Cu<sub>400</sub> > Sol + boue + Cu<sub>800</sub> > Sol + boue + Cu<sub>1600</sub> > Sol + boue + Cu<sub>4000</sub>.

La minéralisation est d'autant plus importante que la concentration métallique initiale de l'échantillon est faible.

Par ailleurs, le calcul du taux d'inhibition (1) de la minéralisation de la matière organique induite par l'ajout des différents cations métalliques par rapport à l'échantillon Sol + boue, pris comme référence (tabl. IV), permet de tirer les conclusions suivantes :  
 1. A concentration initiale identique (Cu<sub>800</sub> et Zn<sub>800</sub>), le cuivre induit une inhibition de la minéralisation de la matière organique plus élevée que le zinc (29 % pour le cuivre contre 18,8 % pour le zinc).

2. Dans le cas du cuivre, le taux d'inhibition de la matière organique augmente avec la quantité ajoutée. Ces taux sont respectivement de 29,3 % ; 33 % et 42,5 % pour le Cu<sub>800</sub>, Cu<sub>1600</sub> et Cu<sub>4000</sub>.

3. On remarque enfin que le taux d'inhibition provoqué par un apport simultané de Cu<sub>400</sub> + Zn<sub>400</sub> (800ppm de Cu + Zn), est supérieur à celui du Zn<sub>800</sub> (800ppm de Zn) ; ce taux est de 23,4 % pour le premier contre 18,8 % pour le second.

La différence entre les taux d'inhibition dans les deux traitements, malgré une concentration métallique initiale identique (800 ppm), est liée à la présence du cuivre dans le premier traitement. Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer les observations citées auparavant :

— Les fortes teneurs en éléments métalliques contribuent à rendre la matière organique difficilement accessible aux micro organismes. Ces derniers dégraderaient préférentiellement les sites des composés non occupés par les métaux lourds et laisseraient probablement intacts les liaisons des polymères occupés par les métaux (MOREL, 1985). Contrairement au zinc, qui forme des complexes

(1) Le taux d'inhibition est le complément à 100 des rapports des taux de minéralisation des différents substrats (Sol + boue + métaux) sur le taux de minéralisation du Sol + boue.

TABLEAU IV  
Taux d'inhibition de la minéralisation de la matière organique dans les différents substrats  
en fonction de la quantité du métal présent dans le milieu

Substrats	C(CO <sub>2</sub> /Ct)%	%	Taux d'inhibition
Sol+boue	7,05	100	-
Sol+boue+Zn800	5,78	81,19	18,81
Sol+boue+Zn400+Cu400	5,4	76,49	23,41
Sol+boue+Cu800	4,99	70,7	29,3
Sol+boue+Cu1600	4,72	66,96	33,05
Sol+boue+Cu4000	4,05	57,44	42,56

très labiles avec la matière organique (DISNAR, 1981 ; HATIRA, 1987), le cuivre en contractant des liaisons solides avec les composés humiques (SCHNITZER, 1978), soustrait ces derniers de l'action microbienne et rend de plus en plus lente leur minéralisation.

— Les éléments métalliques sont plus ou moins toxiques vis-à-vis des micro organismes. L'action du cuivre semble être plus importante que celle du zinc.

#### 4. CONCLUSION

L'étude analytique de l'évolution de la minéralisation de la matière organique in vitro et l'incidence des apports croissants en cations métalliques sur la minéralisation permet de tirer les conclusions suivantes :

— La boue résiduaire de Cherguia constitue une source non négligeable en matière organique facilement minéralisable. C'est là une conséquence positive certaine quant à son utilisation dans les sols de nos régions.

— La présence des éléments métalliques, cuivre et zinc, dans un milieu enrichi en boue ralentit la minéralisation de la matière organique. Ce ralentissement est d'autant plus important que la concentration en métaux est forte.

Les boues résiduaires doivent donc faire l'objet d'un contrôle strict quant à leurs teneurs en métaux avant toute utilisation en agriculture.

*Manuscrit accepté par le Comité de Rédaction le 10 mai 1989*

#### BIBLIOGRAPHIE

- BLOOMFIELD (C.), KELSO (W.I.) and PRUDEN (G.), 1976. — Reactions between metals and humified organic matter. *J. Soil. Sc.* 27 (1) : 16-31.
- BREMAN (R.F.), CARTELL (J.W.W.) and ROBSON (A.P.), 1984. — Reaction of copper with soil affecting its availability to plant. Effect of incubation temperature. *Austr. Soil. Res.* 22 : 169-172.
- CHANG (F.M.) and BROADBENT (F.E.), 1981. — Influence of trace metal on carbon dioxide evolution from a yolo soil. *Soil Sci.* 132 : 416-421.
- DISNAR (J.R.), 1981. — Etude expérimentale de la fixation des métaux par un matériau sédimentaire d'origine algale - II. Fixation in vitro de UO<sub>2</sub> + Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>+</sup>, Ni<sup>+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, CO<sub>2</sub>, Mn<sup>+</sup>, Mn<sup>2+</sup> ainsi que VO<sub>3</sub><sup>-</sup>, MoO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et GeO<sub>3</sub><sup>2-</sup>. *Geochim et Cosmochim. Acta*, vol. 45 : 363-379.
- DOMMERMUES (Y.), 1968. — Dégagement tellurique du CO<sub>2</sub> ; mesure et signification *Ann. ; Institut Pasteur* : 115-127.
- GABTENI (N.), 1986. — Géochimie analytique et expérimentale des éléments traces dans les sols. Applications

- aux sols calcaires de la Tunisie du Nord. Thèse Doct. Spécialité. Univ. de Tunis, 136 p.
- GREENFARD (J.), SARCIA (C.), BOURG et CAUVROT (I.), 1982. — Métaux toxiques dans les sols de la zone d'épandage de la station d'Achères. Ministère de l'Environnement rapport S.O.S. : 80-403.
- HATIRA (A.), 1987. — Géochimie des complexes Organo-Métalliques en pédologie expérimentale. Application à l'étude des interactions acides fulviques — oxyhydroxydes de fer et métaux Cu, Pb et Zn. Thèse Doc. Spécialité. Univ. Tunis, 148 p.
- LIANG (C.N.) and TABATBAI (M.A.), 1978. — Effects of trace element on nitrification in soils. *J. Environ. Qual.* 7 : 291-293.
- LUND (N.J.), PAGE (A.L.) and NELSON (C.CO), 1976. — Movement of heavy metals below sewage disposal pond. *J. Envir. Qual.* 5 : 330-334.
- MOREL (J.L.), 1985. — Contribution à l'étude des transferts de métaux lourds dans le système sol-plante. Rôle des mucilages racinaires. Thèse de Doct. d'Etat I.N.P.L. Nancy, 176 p.
- SCHNITZER (M.), 1978. — Reaction of humic substances with minerals in soil environment. In environment biogeochemistry and geomicrobiology. W.E Krumbein ed, Arbor. Sc. Pub : The terrestrial environment : 639-647.
- SILVIERA (D.J.) and SOMMERS (L.E.), 1977. — Extractibility of Cooper, Zinc, Cadmium and Lead in soil incubated with sewage sludge. *J. Envir. Qual.* 6 ; n° 1 : 47-52.
- SPOSITO (G.), 1984. — Ion activities in soil solution. *Soi. Sci. Soc. Am. J.* 48 : 531-536.
- SPOSITO (G.), LUND (L.J.) and CHANG (A.C.), 1982. — Trace metal chemistry in arid zone fiel soils amende with sewage sludge. 1. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd and Pb in soil phases. *Soil. Sc. Soc. Am. J.* 46 : 260-264.