

L'action des vers de terre, genre *Hyperiodrilus africanus*, sur quelques propriétés pédologiques d'un sol sablonneux de la région de Kinshasa (Zaïre) ⁽¹⁾

TRAN-VINH-AN

Institut Polytechnique Rural de Katibougou (République du Mali)

RÉSUMÉ

Les analyses pédologiques et statistiques effectuées sur les échantillons d'excréta de vers de terre et des sols sablonneux avoisinants montrent une différence significative à propos de la texture, de la matière organique, du pH, de la teneur en calcium et en fer libre ainsi que de la capacité d'échange cationique. En outre, on remarque l'apparition exclusive de l'oxalate de calcium dans la fraction argileuse des rejets, tandis que les terres environnantes en sont dépourvues.

Grâce à la présence de vers de terre, le potentiel de fertilité d'un sol sablonneux peut être amélioré physiquement et chimiquement.

ABSTRACT

Some pedological and statistical analysis that have been done on earthworm excrements and sandy surrounding soils, reveal a significant difference about mechanical composition, organic matter, pH, amount of calcium and free iron and cationic exchange capacity. Moreover one observes exclusive appearance of calcium oxalate in the clay fraction of excrements, while this mineral is absent in the neighbouring soils.

The fertility of sandy soils may be improved physically and chemically by the presence of earthworms.

PLAN

1. Introduction

2. Matériel et méthodes d'analyse

2.1. Matériel

2.2. Méthodes d'analyse

3. Résultats expérimentaux et discussion

3.1. Granulométrie

3.2. Matière organique

3.3. pH

3.4. Calcium

3.5. Fer libre

3.6. Capacité d'échange cationique

3.7. Minéralogie de la fraction argileuse et limoneuse

3.7.1. Diffraction aux rayons X

3.7.2. Spectroscopie infrarouge

4. Conclusions

(1) Ce travail a été réalisé avec la collaboration technique de MM. MAKETA et GEGO, Laboratoire de Pédologie. Kinshasa (Université Nationale du Zaïre).

1. INTRODUCTION

L'action des vers de terre sur les propriétés physiques et chimiques des sols a été l'objet de nombreuses recherches, tant en région tempérée (SACHELL, 1958 ; BARLEY, 1959 ; RUSSEL, 1961 ; BACHELIER, 1963 ; SACHELL et LOWE, 1967 ; BOUCHÉ, 1972) qu'en région africaine (NYE, 1955 ; KOLLMANNSPERGER, 1956 ; BATES, 1960 ; MADGE, 1969).

Cependant, à notre connaissance, il n'existe quasiment pas de données sur les activités pédobiologiques des vers de terre dans les sols du Zaïre. C'est à ce sujet que nous avons effectué une étude systématique et comparative de quelques propriétés pédologiques, telles que la granulométrie, la matière organique, l'acidité, le calcium, le fer libre et la capacité d'échange cationique des rejets de vers de terre et des sols avoisinants.

Nous avons étudié le genre *Hyperiodrilus africanus* Beddard 1891, qui est considéré comme le type de vers de terre spécifique de l'Afrique tropicale : Angola, Cameroun, Côte d'Ivoire, Ghana, Nigeria, Togo, Zaïre (Omodéo, 1954).

Selon LESSEDJINA-KIABA (1970), cette espèce d'oligochète est très abondante dans les pelouses de *Paspalum* du Campus Universitaire, mais rare dans la savane environnante, dont la densité est respectivement de 67 et de 2 ou 3 vers au mètre carré. La pelouse semble être un biotope particulier pour ces vers de terre. Cet auteur a estimé que ces vers déposent en moyenne quelque 700 kg de rejets de surface à l'are et par an. Cette quantité correspond à celle signalée tant en Europe (EVANS, 1948 ; SACHELL, 1958) qu'en Afrique (NYE, 1955) ; toutefois, elle est plus faible que le chiffre avancé par MADGE (1969) au Nigeria (environ 1,7 tonne par are).

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES D'ANALYSE

2.1. Matériel

Quelques 40 échantillons de rejets et de terre environnante ont été prélevés le long d'un axe de 50 m d'une pelouse de *Paspalum* du Campus Universitaire dans lequel on observe une activité de vers de terre particulièrement intense (LESSEDJINA-KIABA, 1970).

Cah. ORSTOM, série Pédol., vol. XI, n° 3/4, 1973 : 249-256.

2.2. Méthodes d'analyses

Les échantillons de rejets et de terre (fraction < 2 mm) sont analysés suivant les méthodes décrites par CROEGAERT *et al.* (1958).

— *Granulométrie* : traitement à H₂O₂ et dispersion à l'hexamétaphosphate de sodium puis sédimentation pour la fraction inférieure à 20 μ, et tamisage de la fraction de 20 à 2 000 μ.

— *Carbone* : méthode Walkley et Black : oxydation de carbone par voie humide réalisée par le bichromate de potassium, en présence d'acide sulfurique concentré ; titration du bichromate en excès par le sulfate ferreux 0,5 N.

— *Azote* : méthode Kjeldahl : minéralisation de l'azote organique par attaque à l'acide sulfurique concentré en présence de catalyseur et à chaud ; distillation à la vapeur de l'ammoniac obtenu par NaOH ; dosage de l'ammoniac libéré par H₂SO₄ 0,01 N.

— *pH* : au pH-mètre avec rapport sol/eau de 1/2,5. La fraction argileuse inférieure à 2 μ est soumise à des analyses comme suit :

— *Fer libre et Calcium* : par dissolution sélective à l'acide chlorhydrique concentré et à froid pendant 2 heures (HERBILLON et TRAN-VINH-AN, 1964 ; TRAN-VINH-AN, 1967). Le calcium et le fer sont dosés respectivement par complexométrie EDTA à pH = 12 (CHARLOT, 1966) et par colorimétrie par l'acide sulfosalicylique (VAINOVITCH *et al.*, 1962).

— *Capacité d'échange cationique* : par l'échange à l'acétate d'ammonium à pH = 7 (MACKENZIE, 1952).

— *Minéralogie des argiles* : les fractions inférieures à 2 μ et de 2-20 μ orientées sur lamelle de verre sont analysées par diffraction aux rayons X (radiation CuK α).

Les spectres infrarouge sont enregistrés à l'aide d'un spectrographe IR 12 à réseau. Les échantillons sont examinés sous forme de pastilles de KBr à la dilution de 1 %.

3. RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET DISCUSSION

Le tableau 1 représente les résultats d'analyses pédologiques et statistiques effectuées sur des rejets et des terres avoisinantes.

TABLEAU I

Résultats d'analyses pédologiques et statistiques des échantillons étudiés

| Propriétés pédologiques | n | Rejet | | Terre | | Coefficient de variation (%) | | Test de t |
|--|----|-----------|---------------|-----------|---------------|---------------------------------|-------|-----------|
| | | \bar{x} | $s_{\bar{x}}$ | \bar{x} | $s_{\bar{x}}$ | Rejet | Terre | |
| Granulométrie (%) (1) | | | | | | | | |
| 0 - 2 μ | 32 | 10,75 | 0,310 | 6,97 | 0,284 | 16,3 | 23,0 | 8,97*** |
| 2 - 20 μ | 32 | 2,33 | 0,122 | 1,80 | 0,099 | 5,1 | 31,3 | 3,37*** |
| 20 - 50 μ | 32 | 2,36 | 0,059 | 1,77 | 0,088 | 14,1 | 28,3 | 5,58*** |
| 50 - 100 μ | 32 | 12,18 | 0,068 | 9,18 | 0,277 | 3,1 | 17,1 | 8,52*** |
| 100 - 250 μ | 32 | 52,53 | 0,278 | 47,25 | 0,460 | 3,0 | 5,5 | 9,44*** |
| 250 - 500 μ | 32 | 20,70 | 0,473 | 33,19 | 0,703 | 13,3 | 12,0 | 12,97*** |
| Matière organique (%) (1) | | | | | | | | |
| Carbone | 42 | 2,24 | 0,050 | 1,12 | 0,054 | 17,1 | 31,3 | 14,08*** |
| Azote | 41 | 0,133 | 0,003 | 0,07 | 0,004 | 17,0 | 36,9 | 11,88*** |
| pH (1) | 37 | 6,43 | 0,024 | 6,22 | 0,072 | 2,2 | 7,0 | 2,68** |
| Propriétés chimiques (2) | | | | | | | | |
| Ca ⁺⁺ (%) | 22 | 4,54 | 0,305 | 3,27 | 0,364 | 31,5 | 52,3 | 2,67** |
| Fe ₂ O ₃ (%) | 23 | 6,94 | 0,326 | 10,26 | 1,157 | 22,5 | 54,0 | 2,99*** |
| C.E.C. (mé/100 g) | 21 | 64,31 | 0,816 | 55,08 | 1,165 | 5,8 | 9,7 | 2,05** |

(1) Fraction < 2 mm.

(2) Fraction < 2 μ .** Significatif ($P = 0,05$).*** Très significatif ($P = 0,01$).

3.1. Granulométrie

Les pourcentages de cinq fractions 0-2 μ , 2-20 μ , 20-50 μ , 50-100 μ et 100-250 μ , sont systématiquement plus élevés dans les rejets que dans les terres avoisnantes ; tandis que la teneur de la fraction de sable grossier 250-500 μ varie de manière inverse. Le test de t a montré que cette différence est très significative (seuil $P = 0,01$). Ces résultats indiquent que les terres ingérées par les vers ont un calibre bien défini, généralement inférieur à 250 μ , et que vraisemblablement, certaines particules minérales les moins solides peuvent être à leur tour broyées à travers le gésier et l'intestin des vers en particules plus fines. MEYER (1943) a signalé que les particules de sol peuvent être broyées mécaniquement dans les intestins des vers.

Nos résultats concordent dans une certaine mesure avec ceux de NYE (1955) qui a observé que les rejets d'*Hippopera nigeriae* ne contiennent pas de grains plus gros que 0,5 mm, alors que le sol environnant était constitué par un sable grossier. BATES (1960) a constaté que les rejets de ces mêmes vers sont plus riches en argile, en limon et en sable fin de 50 à 250 μ . BACHELIER (1963) a noté également que les rejets de vers sont

généralement plus argileux ou plus limoneux que les sols correspondants et que la granulométrie des rejets varie avec les espèces et leur taille.

Les calculs statistiques révèlent que les coefficients de variation de chaque fraction granulométrique des rejets sont plus faibles que ceux des terres correspondantes (3-16 % contre 5-31 %). La composition granulométrique des rejets semble par conséquent plus homogène que celle des terres environnantes.

3.2. Matière organique

Les pourcentages de carbone et d'azote dans les excréta sont approximativement deux fois plus élevés que ceux des terres environnantes, respectivement 2,24 et 1,12 % de C et 0,13 et 0,07 % de N.

L'enrichissement en C et en N dans les rejets de vers a été déjà signalé par LUNT et JACOBSON (1944) ; SACHELL (1958) ; BATES (1960) ; BARLEY (1961) ; RUSSEL (1961) ; RAW (1961) ; BACHELIER (1963) ; BHANDARI, RANDHAWA et MASKINA (1967) ; GUPTA et SAKAL (1967). On admet généralement que les vers

de terre favorisent le phénomène de l'humification des matières organiques, notamment dans la nitrification des composés organiques azotés. Les bactéries nitrifiantes sont très actives dans les excréta, ceux-ci ont dès lors un pouvoir nutritif plus élevé que les sols.

JEANSON (1960) (cité par BACHELIER, 1963) a noté que les vers accélèrent la disparition de la matière organique du sol en même temps qu'augmentait la teneur en carbone de la fraction lourde de ce sol, par suite d'une fixation de la matière organique humifiée sur la partie minérale.

Les teneurs en C et en N des rejets sont liées au degré d'incorporation des débris végétaux à la matière minérale. Cette fixation est plus ou moins importante selon les vers de terre, les sols, les saisons et la nature des matériaux végétaux. Le taux d'assimilation pour les vers de terre est d'environ 10% (BACHELIER, 1973) ⁽¹⁾.

Le test de *t* a montré que, par rapport à la terre avoisinante, l'enrichissement en C et en N dans les rejets est statistiquement significatif. Les coefficients de variation de deux éléments dans les rejets sont plus faibles que ceux des sols (17 % contre 31-36 %).

3.3. pH

Les rejets et les terres environnantes ont des pH respectivement de 6,43 et 6,22. Cette réaction quasiment neutre pourrait être due notamment à de fortes teneurs en bases et particulièrement en calcium échangeable, puisqu'elles sont respectivement de 11,4 et de 7,6 mé/100 g sol (valeurs moyennes obtenues à partir d'une dizaine d'analyses d'excréta). Le taux de saturation en bases est de l'ordre de 90 %. La richesse en calcium échangeable dans les excréta aurait une certaine relation avec la présence de l'oxalate de calcium (voir § 3.7) et pourrait influencer la valeur du pH.

SATCHELL (1958) et BACHELIER (1963, 1971) ont remarqué que la neutralisation du sol ne pourrait être due aux cristaux de calcite excrétés par les glandes de Morren, puisque ce minéral est difficilement dissociable du pH des excréta. Les sécrétions intestinales, l'ammonification des matières organiques azotées et l'accroissement des bases du complexe colloïdal expliquent mieux cette neutralisation du pH.

Les analyses statistiques ont montré que la différence de pH entre les excréta et les terres correspon-

dantes est significative au seuil de $P = 0,05$. Les coefficients de variation sont parmi les plus faibles des propriétés pédologiques étudiées.

3.4. Calcium

La teneur en calcium soluble dans l'acide chlorhydrique est plus élevée dans les rejets que dans les terres environnantes (4,54 % contre 3,27 %). Le test de *t* montre que cette différence est significative.

D'ailleurs, les observations sont faites dans le même sens par LUNT et JACOBSON (1944) ; NYE (1955) et SATCHELL (1958, 1967), qui ont constaté que les rejets sont plus riches en calcium total et en calcium échangeable. La teneur en cations, et notamment en calcium, dans les excréta dépend essentiellement des débris végétaux ingérés. Le rapport entre les différents cations dans les rejets est plus souvent plus proche de la composition des aliments végétaux absorbés que celle des sols.

Dans notre cas, l'attaque à l'acide chlorhydrique ne parvient pas à dissoudre complètement l'oxalate de calcium présent dans les rejets, puisque dans certains échantillons, les raies de diffraction aux rayons X caractéristiques de ce minéral persistent mais s'atténuent après le traitement (figure 1).

Le coefficient de variation de la teneur en calcium relativement élevé montre que la distribution de cet élément est très hétérogène dans les terres avoisinantes et, dans une moindre mesure, dans les rejets des vers.

3.5. Fer libre

Signalons tout d'abord que l'extraction du fer à l'acide chlorhydrique concentré à froid correspond à une déferrisation classique, tel que l'emploi du dithionite de sodium (HERBILLON et TRAN VINH AN, 1964 ; TRAN VINH AN, 1967).

Les pourcentages en fer sont plus faibles dans les excréta (6,94 %) que dans les sols environnants (10,26 %). Le test *t* a révélé que cette différence est très significative.

JEANSON (1961, 1971) a observé que dans les galeries de vers, la formation d'un manchon de rouille dû à la solubilisation du fer par la matière organique en fermentation et à l'oxydation du fer au contact de l'air, permettrait de supposer que le fer devient plus mobile dans le « milieu » des excréta : neutralité du

(1) Communication personnelle.

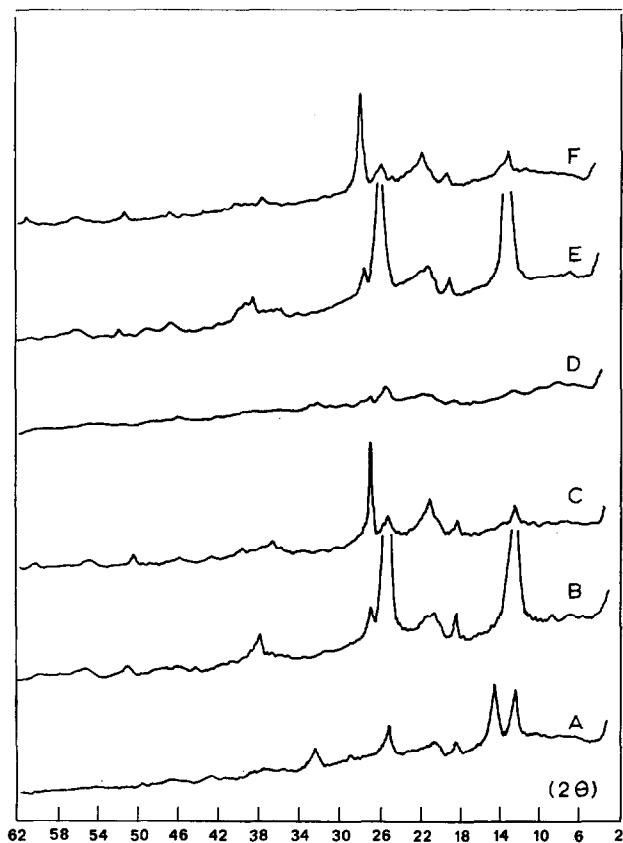


FIG. 1. — Spectres de diffraction aux rayons X

- A : rejet, fraction $< 2 \mu$ non traitée
- B : rejet, fraction $< 2 \mu$ après traitement à HCl
- C : rejet, fraction 2-20 μ non traitée
- D : terre, fraction $< 2 \mu$ non traitée
- E : terre, fraction $< 2 \mu$ après traitement à HCl
- F : terre, fraction 2-20 μ non traitée.

pH et formation d'un complexe pseudo-soluble fer-matière organique qui peut ainsi migrer et enrichir le sol environnant.

Le coefficient de variation de la teneur en fer libre des rejets est inférieur à celui des sols environnants.

3.6. Capacité d'échange cationique

Notons déjà que les diagrammes de diffraction aux rayons X montrent que la kaolinite et la gibbsite sont des minéraux argileux dominants dans tous les échantillons étudiés. Cependant, la capacité d'échange

cationique de la fraction argileuse des sols environnants et particulièrement des excréta est relativement élevée. Cette haute valeur de CEC ne peut s'expliquer que par la présence de gels aluminosiliciques (HERBILLON, PÉCROT et VIELVOYE, 1966) ou ferri-siliciques amorphes (TRAN VINH AN, 1967 ; HERBILLON et TRAN VINH AN, 1969).

Les travaux récents de JEANSON (1971) ont remarquablement mis en évidence l'existence d'un complexe argilo-humique dans les turricules des vers. Il y a lieu de noter dès lors que la CEC est également conditionnée par la matière organique plus ou moins humifiée des excréta.

L'analyse statistique révèle que la différence de CEC entre les excréta et les sols est significative. Les coefficients de variation sont parmi les plus faibles de toutes les caractéristiques pédologiques étudiées.

3.7. Minéralogie de la fraction argileuse et limoneuse

3.7.1 DIFFRACTION AUX RAYONS X

L'examen des minéraux argileux par diffraction aux rayons X a été fait lors d'une étude systématique sur une trentaine d'échantillons de rejets et de terre environnante. La figure 1 montre en exemple une série de spectres de rayons X des échantillons étudiés.

D'une manière générale, dans les échantillons de départ (spectres A et D), la kaolinite (raies 7,08, 3,56 Å) et la gibbsite (raie 4,82 Å) sont des minéraux argileux et communs dans les rejets et les terres avoisinantes. Ces deux minéraux sont courants dans les sols étudiés puisque dans la classification des sols du Zaïre (Sys et alii., 1961), ils correspondent aux *arénoferralsols* et aux *quartzipsammements oxiques* de la classification américaine (Sys, 1969), qui sont des sols ferrallitiques fortement altérés sur des matériaux grossiers.

On remarque en outre, dans la fraction argileuse des rejets (spectre A), la présence remarquable et exclusive (28 cas sur 32 échantillons examinés) d'une série de raies à 6,15, 3,08, 2,76, 2,39 Å que l'on pourrait identifier à l'oxalate de calcium $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ forme C (SMITH, 1966).

La faible intensité des raies est due notamment à la présence des gels amorphes qui peuvent masquer les minéraux argileux cristallisés (spectres A et D). Les diagrammes de rayons X révèlent que les composés de fer se trouvent sous forme non cristallisée, dont la

silice peut être un des éléments stabilisateurs de cet état amorphe (TRAN VINH AN, 1967 ; HERBILLON et TRAN VINH AN, 1969).

Après le traitement à l'acide chlorhydrique, les raies caractéristiques de la kaolinite, de la gibbsite et du quartz sont nettement améliorés. La kaolinite apparaît alors du type désordonné (forme étalée des raies 020, 060 et absence des raies hkl). Par contre, les pics à 6,15 et 2,76 Å de l'oxalate de calcium ont disparu ou diminué après la dissolution à l'acide. On voit apparaître également les raies à 10,1, 12,9 et 13,6 Å de très faible intensité que l'on pourrait attribuer à des minéraux 2/1 (spectres B et E).

Quant à la fraction limoneuse de 2-20 μ (spectres C et F), elle est essentiellement composée de quartz (raies 4,23 et 3,33 Å) accompagné de faibles quantités de kaolinite et de gibbsite.

3.7.2. SPECTROSCOPIE INFRAROUGE

La figure 2 représente quelques spectres infrarouge des échantillons étudiés.

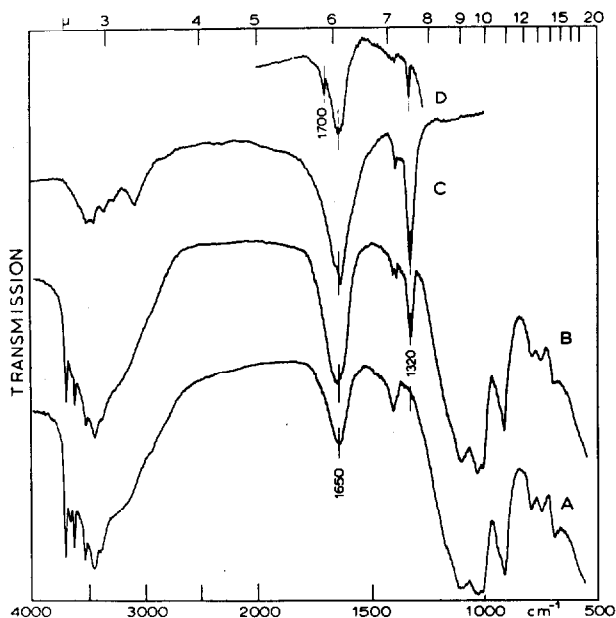


FIG. 2. — Spectres infrarouge de la fraction < 2 μ.

- A : terre, non traitée
- B : rejet, non traité
- C : oxalate de calcium pur
- D : rejet après traitement à HCl.

On observe tout d'abord les bandes de vibration des OH de constitution situant à 3 650 cm⁻¹ et à 3 610, 3 520, 3 440 cm⁻¹ et qui correspondent respectivement à la vibration des OH de constitution de la kaolinite et de la gibbsite ; tandis que les bandes à 1 030, 1 010 et 910 cm⁻¹ caractérisent la vibration de déformation de la liaison Al-O-H de ces minéraux (FRIPIAT, 1960).

Signalons particulièrement dans la région entre 1 300 et 1 650 cm⁻¹ l'apparition d'une vibration à 1 320 cm⁻¹ (spectre B). Selon SILVERSTEIN et BASSLER (1968), l'ion carboxylate a deux vibrations d'allongement asymétrique se situant entre 1 610 et 1 550 cm⁻¹ et d'allongement symétrique vers 1 400-1 300 cm⁻¹. Le spectre B possède effectivement une bande à 1 320 cm⁻¹ qui est également présente dans le spectre C de l'oxalate de calcium pur (échantillon standard) correspondant à l'allongement symétrique.

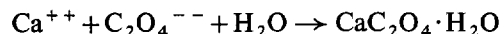
Il y a une absorption relativement large vers 1 630-1 650 cm⁻¹ qui est probablement due à la superposition de deux bandes à savoir la bande de déformation de l'eau et la bande de l'allongement asymétrique de l'ion carboxylate.

Lorsque l'on acidifie de l'oxalate, on forme en partie de l'acide oxalique qui doit présenter une bande d'allongement C = O dans la région de 1 700 cm⁻¹. Effectivement, lorsque l'échantillon B est acidifié à l'acide chlorhydrique, on obtient le spectre D qui présente nettement une bande de 1 700 cm⁻¹, tandis que la bande d'allongement du carboxylate à 1 320 cm⁻¹ s'est affaiblie.

Ces observations confirment bien la présence de l'oxalate de calcium révélée par la diffraction aux rayons X.

L'apparition remarquable de l'oxalate de calcium dans la fraction inférieure à 2 μ des rejets pourrait être expliquée de la manière suivante : parmi les composés aliphatiques de la matière organique, l'acide oxalique est un des acides importants et possède un pouvoir complexant élevé vis-à-vis des cations, notamment le calcium (BRUCKERT et JACQUIN, 1969).

La formation de l'oxalate de calcium peut se réaliser par la réaction suivante :



On peut supposer que cette réaction se réalise dans les excréta, puisque du calcium est fourni par les glandes de Morren (1) et que l'anion oxalate provient

(1) Les vers *H. africanus* possèdent des glandes de Morren se situant au niveau du 9^e, 10^e, 11^e et 13^e segments du corps (OMODEO, 1954).

de la matière organique que les vers absorbent comme nourriture. La précipitation de l'oxalate de calcium se forme généralement en milieu neutre.

On assisterait de cette manière à un véritable indice de synthèse minérale, voire de pédogenèse, par l'action des vers de terre sur les sols.

4. CONCLUSIONS

Au cours de cette étude, nous avons pu observer une différence remarquable et significative entre la composition physique et chimique des rejets de vers de terre et celle des terres avoisinantes.

Des rejets ont une granulométrie légèrement plus fine et particulièrement plus riche en fraction argileuse inférieure à 2μ et dans une moindre mesure en différentes fractions de 2 à 250μ .

Quant à la matière organique, les excréta sont plus riches en carbone et en azote. Il est intéressant de souligner que les vers de terre, par leur action mécanique et biologique, permettent une meilleure fixation et une meilleure conservation des produits de décomposition de la matière organique dans la partie minérale du sol.

Parmi les propriétés chimiques, la teneur en fer est plus faible dans les rejets, tandis que la teneur en calcium, la capacité d'échange cationique et le pH sont plus élevés dans les excréta.

La minéralogie de la fraction argileuse montre que, à part la kaolinite et la gibbsite qui sont des minéraux communs dans les rejets et les terres correspondantes, l'oxalate de calcium apparaît exclusivement dans la fraction inférieure à 2μ des rejets.

Les coefficients de variation étant relativement plus faibles, la composition physique et chimique des excréta semble plus homogène que celle du sol. Toutefois, les coefficients de variation de la teneur en carbone, en azote, en calcium et en fer libre sont élevés ; ils semblent indiquer que l'action des vers de terre y joue un rôle important. BECKETT et WEBSTER (1971) ont remarqué que, dans certains cas, la variabilité des propriétés pédologiques surtout chimiques, est conditionnée notamment par l'activité pédobiologique des vers de terre.

A partir de ces observations, on peut déduire qu'un sol sablonneux considéré comme un des plus pauvres peut être, dans une certaine mesure, amélioré au point de vue de la fertilité, grâce à la présence bénéfique des vers de terre dans ces sols.

REMERCIEMENTS

L'auteur est particulièrement reconnaissant à Monsieur J.J. FRIPIAT, Professeur à l'Université de Louvain, d'avoir bien voulu lui permettre d'effectuer les analyses en spectroscopie IR dans son laboratoire. Il tient également à remercier Monsieur G. BACHELIER (ORSTOM) pour ses précieux commentaires au cours de la préparation du présent document.

BIBLIOGRAPHIE

- BACHELIER (G.), 1963. — La vie animale dans les sols. *Init. Doc. techn. ORSTOM*, n° 3, Paris, 280 p.
- BACHELIER (G.), 1971. — La vie animale dans les sols. II. Action de la faune dans l'évolution des sols considérés en tant qu'équilibres naturels. In : La vie dans les sols. Aspects nouveaux. Etudes expérimentales. Gauthiers-Villars, Paris, 45-82.
- BOUCHE (M.B.), 1972. — Lombriciens de France. Ecologie et systématique. Inst. nat. Rech. agron., publ. 72-2, *Ann. zool. Ecol. animale*, n° hors série, 672 p.
- BHANDARI (G.S.), RANDHAWA (N.S.), MASKINA (M.S.), 1967. — On the polysaccharide content of earthworm casts. *Curr. Sci.*, 36, 519-520.
- BARLEY (K.P.), 1959. — Earthworms and soil fertility - IV. The influence of earthworms on the physical properties of red brown earth. *Austr. J. agric. Res.*, 10, 3, 371-376.
- BARLEY (K.P.), 1961. — The abundance of earthworms in agriculture land and their possible significance in agriculture. *Adv. Agron.*, 13, 249-268.
- BATES (J.A.R.), 1960. — Studies on a Nigerian forest soil. I. - The distribution of organic matter in the profile and in various soil fractions. *J. Soil. Sci.*, 11, 2, 246-256.
- BECKETT (P.H.T.), WEBSTER (R.), 1971. — Soil variability : a review. *Soils Fertil.*, 34, 1, 1-15.
- BRUCKERT (S.), JACQUIN (J.), 1969. — Interaction entre la mobilité de plusieurs acides organiques et de divers cations dans un sol à mull et dans un sol à mor. *Soil Biol. Biochem.*, 1, 275-294.
- CHARLOT (G.), 1966. — Les méthodes de la chimie analytique. Analyse quantitative minérale, 5^e éd. Masson et Cie, Paris, 1023 p.

- CROEGAERT (J.), DE MEESTER (R.), PAMPFER (R.), QUIDOUSSE (G.), 1958. — Recueil des modes opératoires en usage au Laboratoire d'Analyse de l'INEAC (inédit).
- EVANS (A.C.), 1948. — Studies on the relationships between earthworms and soil fertility - II Some effects of earthworms on soil structure. *Ann. Appl. Biol.*, 35, 1-13.
- FRIPIAT (J.J.), 1960. — Application de la spectroscopie infrarouge à l'étude des minéraux argileux. *Bull. Gr. fr. Argiles*, XII, 7, 25-41.
- GUPTA (M.L.), SAKAL (R.), 1967. — The role of earthworms on the availability of nutrients in garden and cultivated soils. *J. Indian Soc. Soil. Sci.*, 15, 149-151.
- HERBILLON (A.), TRAN VINH AN, 1964. — Etude de la fraction amorphe colloïdale de quelques sols tropicaux. *Int. Congr. Soil. Sci.*, 8, 1964, Bucharest vel ill, 1191-1201.
- HERBILLON (A.), PECROT (A.), VIELVOYE (L.), 1966. — Aperçu sur la minéralogie des fractions fines de quelques grands groupes de sols du Vietnam. *Pédologie*, XVI, 1, 5-16.
- HERBILLON (A.), TRAN VINH AN, 1969. — Heterogeneity in silicon-iron mixed hydroxides. *J. Soil. Sci.*, 20, 223-235.
- JEANSON-LUUSINANG (C.), 1961. — Sur une méthode d'étude du comportement de la faune du sol et de sa contribution à la pédogenèse. *C.R. Acad. Sci.*, 253, 2571-2573.
- JEANSON (C.), 1971. — Etude expérimentale de l'action des vers de terre sur les sols artificiels. In : La vie dans les sols. Aspects nouveaux. Etudes expérimentales. Gauthiers-Villars, Paris, 211-277.
- KOLLMANNSPERGER (F.), 1956. — Lumbriciden in humiciden und ariden Gebieten und ihre bedeutung für die Fruchbarkeit des Bodens. *Int. Congr. Soil. Sci.*, 6, 1956, Paris, vol. C, 293-297.
- LESSEDJINA-KIABA, 1970. — Facteurs limitant la densité et l'activité d'*Hyperiodrilus africanus*, Beddard 1891 (Oligochète, Opisthopore, Eudrilidae) sous pelouse de paspalum. Mémoire, Université Nationale du Zaïre. 149 p.
- LUNT (H.A.), JACOBSON (H.G.M.), 1944. — The chemical composition of earthworm casts. *Soil Sci.*, 58, 367-375.
- MACKENZIE (R.C.), 1952. — A micro-method for determination of cation exchange capacity of clay. *Clay Min. Bull.*, 1, 203-205.
- MADGE (P.S.), 1969. — Field and laboratory studies on the activities of two species of tropical earthworms. *Pedobiologia*, 9, 188-214 (*Abstr. in : Soils Fertil.*, 1969, 32, 6, réf. 4584).
- MEYER (L.), 1943. — Experimenteller Beitrag zu makrobiologischen Wirkungen auf Humus - und Bodenbildung. *Z. Pflanzenernähr. Düngung Bodenkd.*, 29, 119-140.
- NYE (P.A.), 1955. — Some soil forming processes in the humid tropics. IV. The action of the soil fauna. *J. Soil Sci.*, 6, 1, 73-83.
- OMODEO (P.), 1954. — Eudrilinae e octochaetinae della Costa d'Ovorio (Oligochaeta) Mem. Mus. civ. St. nat. Verona, IV, 213-229.
- RAW (F.), 1961. — The agricultural importance of soil mesofauna. *Soils Fertil.*, 24, 1, 1-2.
- RUSSEL (E.W.), 1961. — Soil conditions and plant growth 9th ed. Longmans, Green & Co, London, 688 p.
- SATCHELL (J.E.), 1958. — Earthworms biology and soil fertility. *Soils Fertil.*, XXI, 4, 209-219.
- SATCHELL (J.E.), 1967. — Lumbricidae. In : *Soil Biology*. Academic Press, London and New York, 259-322.
- SATCHELL (J.E.), LOWE (D.G.), 1967. — Selection of leaf litter by *Lumbricus terrestris*. In : *Progress in Soil Biology*. Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig. North-Holland Publ. Co, Amsterdam, 102-119.
- SILVERSTEIN (R.M.), BASSLER (G.C.), 1968. — Identification spectrométrique des composés organiques. Masson et Cie, Paris, 225 p.
- SMITH (J.V.) (Editor), 1966. — Fink organic index to the powder diffraction file. A.S.T.M., Philadelphia, 1025 p.
- SYS (C.), VAN WAMBEKE (A.), FRANKART (R.), GILSON (P.), JONGEN (P.), PECROT (A.), BERGE (J.M.), JAMAGNE (M.), 1961. — La cartographie des sols au Congo. *Publ. INEAC*, sér. Techn., n° 66, Bruxelles, 149 p.
- SYS (C.), 1969. — Les sols de l'Afrique Centrale dans la classification américaine. 7^e Approximation. *Sols Afr.*, XIV, 1-2, 5-24.
- TRAN VINH AN, 1967. — Les systèmes ternaires « oxydes de fer-silice-kaolinite » et la pédogenèse des sols tropicaux. Thèse, Louvain. Laboratoire de physico-chimie minérale, Inst. Sci de la Terre, Heverlée, 87 p. *multigr.*
- VAINOVITCH (I.A.), DEBRAS-GUEDON (J.), LOUVRIER (J.), 1962. — L'analyse des silicates. Hermann, Paris, 510 p.