

QUANTIFICATION A L'ANALYSEUR D'IMAGES DES TRACES
DE L'ACTIVITE DES LOMBRICS ET DE L'ESPACE POREUX
DISPONIBLE POUR LES MICRO-ARTHROPODES. Essai de
mesure sur une lame mince de grandes dimensions d'un sol
ferrugineux tropical (Lamto, Côte d'Ivoire).

C. JEANSON,¹ C. GATEAU,² J.M. LEPPERT,² et J.M. PRE-
VOSTEAU²

Chiffrer l'activité spécifique des animaux terricoles sans perturber la structure du sol et utiliser ensuite cette donnée comme élément de diagnostic de sa potentialité biologique. Voilà, certes, un objectif théorique, très séduisant et qui serait, sans doute, fort apprécié des praticiens et des nombreux planificateurs de nos "temps modernes". Cette étude ponctuelle ne prétend pas y parvenir mais, elle tentera, néanmoins, d'y apporter quelque contribution, sur l'exemple précis d'un sol ferrugineux tropical. Le milieu dont sont issus les échantillons est particulièrement bien connu. L'écosystème de la savane tropical de Lamto, Côte d'Ivoire, analysé selon les principes du programme biologique international de l'Unesco, a, en effet, fait l'objet d'une étude de plus de douze ans par toute une équipe pluridisciplinaire (Lamotte 1974).

Les plus petits animaux de la faune terricole et en particulier les Microarthropodes (acariens, Collemboles, Diploures ...) utilisent les pores du sol pour se déplacer et surtout ceux qui communiquent entre eux en une sorte de réseau. Il en va tout autrement des grosses espèces qui ont, à cet égard, un comportement tout à fait différent. Les vers de terre, par exemple, s'ils utilisent parfois

- 1). Laboratoire d'Ecologie générale Museum National d'Histoire Naturelle, 4, Avenue du Petit Château F. 91800 Brunoy.
- 2). Bureau de recherches géologique et minière. Orléans-La Source.

QUANTIFICATION DES TRACES DES LOMERICES. . . .

des anciens pertuis de racines, construisent leur propre réseau de galeries et créent ainsi dans le sol un réseau de macropores très important.

L'activité de la faune du sol se manifeste surtout dans les horizons superficiels et même parfois jusqu'à près d'un mètre et plus de profondeur. Son rôle dans la pédogénèse souvent évoqué à propos d'agrégat aux formes curieuses ou présentant une stabilité structurale bien marquée, fait rarement l'objet d'une hypothèse argumentée et encore moins d'une démonstration rigoureuse. Il est vrai, que les traces de l'activité animale à échelle du profil ou à celle de la lame mince ne sont pas faciles à identifier. En effet, leur identification spécifique est impossible sans une connaissance expérimentale des agrégats construits par les diverses espèces terricoles (Jeanson 1973, Jeanson, 1976, Jeanson, et Paulusse 1977, Paulusse et Jeanson 1976, Robaux, Jeanson Barbier, 1976) et aussi de la porosité qu'elles provoquent dans un sol donné.

La démarche suivie pour cette étude sera donc double: d'une part le prélèvement d'échantillons non perturbés du sol en place suivi d'une plastification non destructrice de la structure et la confection de sections polies (Jeanson 1966 Jeanson, Verbeke 1975) pour l'examen à l'analyseur d'images; d'autre part l'élevage au laboratoire des espèces dominantes de lombrics dans des conditions contrôlées (Jeanson 1966, Lavelle 1971) puis la comparaison des turricules ainsi obtenus avec les agrégats du milieu naturel.

MILIEU ET METHODES

1. Le sol et faune terricole

Le sol ferrugineux tropical étudié est situé en Côte d'Ivoire sous une savane arbusive d'un plateau proche de Lamto. C'est un type de sol fréquent dans cette région sur le socle granitique (Riou, 1970). L'horizon humifère analysé

dans cette étude va jusqu'à 20 et 30 cm, il est suivi d'un horizon gravillonnaire à concrétions ferrugineuses. La texture est nettement sableuse, pour l'horizon superficiel, entre autres: 70 % de sables, 20 % de limon, 7 % d'argile, 1,6 % de matière organique. Le rapport C/N est de 19. Les argiles présentes sont de l'illite et un peu de kaolinite. La structure grumeleuse en surface devient progressivement massive à partir de 7 cm environ. L'horizon superficiel est faiblement acide et chimiquement pauvre pH= 6,2, CaO = 2,34 meq, MgO = 0,69 meq, K₂O = 0,12 meq, Na₂O = 0,05 meq, C = 9,5 % , N = 0,5 % , P₂O₅ = 0,18 % .

Le peuplement animal des sols de Lamto a été étudié pendant plusieurs années par tour une équipe de spécialistes de sorte que la macrofaune (vers de terre et termites) , la mésofaune (microarthropodes) et la microfaune (protozoaires et nématodes) sont actuellement bien connues. Les échantillons de sols de cette étude proviennent précisément d'une parcelle décrite par Lavelle (1971) pour les lombrics et par Athias (1973) pour les microarthropodes.

Les populations animales qui vivent dans les sol laissent des traces de leur déplacement et de leur métabolisme. Elles sont particulièrement caractéristiques pour les lombrics qui creusent des galeries et déposent dans le sol des déjections aux formes arrondies (Jeanson 1964, 1966). Ces rejets ont un calibre directement lié à la taille du ver qui les construit et une localisation étroitement dépendante des habitudes alimentaires de l'animal et de la profondeur où il se déplace. La première étape sera donc d'identifier les traces, la seconde de mesurer leur répartition en fonction de la profondeur et la troisième de confronter les mesures obtenues avec les observations faites dans le milieu naturel par les zoologistes.

2. Prélèvements et élevages

Les prélèvements des échantillons de sol sont faits di-

QUANTIFICATION DES TRACES DES LOMBRICS. . . .

rectement sur le profil en y appliquant une boîte métallique à bords coupants qui assure également le transport. Les perturbations des matériaux sont ainsi réduits au minimum et les structures paraissent conservées.

La consolidation par plastification se fait directement dans la boîte de prélèvement sous vide par une résine polyester mise au point par Jeanson et Verbeke (1975). Les lames obtenues ici ont 20 cm X 10 cm X 60 μ m, elles sont montées sur plexiglas sans couvrir l'objet. L'épaisseur de 60 μ m accentue le contraste entre les déjections des lombrics, les autres agrégats et les réseaux de pores et de ce fait bien préférable à l'épaisseur pétrographique.

Les élevages de Vers de terre au laboratoire fournissent un ensemble de données complémentaires aux observations du milieu naturel. Lavelle (1973, 1978) élève les principales espèces dans leur terre d'origine et entre autres les vers de terre de surface: Dichogaster agilis (3 mm de diamètre, 7 à 8 cm. de longueur) et Milsonia lamtoiana (7 mm de diamètre, 20-25 cm de longueur). Ces deux espèces consomment de la terre des horizons superficiels mélangée à des débris végétaux parfois très décomposée et rejetant leurs turricules à la surface de sol. Par contre Milsonia anomala (5 mm de diamètre, 15 à 20 cm de longueur) est plus nettement géophage et endogée. Ces animaux consomment 10 à 30 g de terre par jour en général 10 fois plus que leur propre poids, de sorte qu'en 1 an une population de 230 individus par m² décomptée sur les 60 premiers cm de sol réalise un transit de 800 à 1200 T/ hectare/an de terre sèche (Lavelle 1973) et rejettent en surface 20 à 30 tonnes de turricules hectare/an, 60 à 80 % de cette terre consommée proviennent de 0 à 10 cm de profondeur. Ces quelques chiffres montrent l'importance du brassage réalisé et l'intérêt de quantifier ce phénomène sur des lames minces faites sur un profil non perturbé.

3. L'analyseur d'images

L'appareil utilisé est un quantimet 720 (Cambridge Instruments). Ce matériel, initialement conçu pour des métallurgistes, a vu ces dernières années ses possibilités d'applications élargies à de très nombreux domaines. Comme on pourra le constater dans un article de synthèse de Prevosteau (1976).

Des développements importants ont été réalisés en particulier dans les sciences de la terre, où la possibilité d'effectuer des granulometries en place (Gateau et Prevosteau 1975) dans la roche permet par exemple d'évaluer les conditions optimales de broyage à partir de l'étude du milieu fissural (Gateau et al. 1976) ou des minéraux en présence (Barbey et Prevosteau 1976).

La diversification des moyens d'entrée permet de s'affranchir de la notion d'échelle et donc aussi bien de traiter des documents transmis par satellites (Gateau et Al. 1975) que d'étudier les particules impliquées dans les phénomènes de pollution atmosphérique (goni et al. 1976, Gateau et Prevosteau 1977) ou encore la position des canalicules dentaires (Iamendin et Jeanrot 1974) ou la structure de la viande congelée.

-Principe général.

Les images à traiter, transmises à l'appareil par l'intermédiaire d'un système de balayage télévision sont visualisées sur un écran de contrôle. La discrimination des différents constituants s'effectue à partir de leur brillance apparente (fig. 2 à 6). Selon le mode de formation de l'image cette brillance peut traduire un pouvoir réflecteur ou un coefficient de transmission. Des seuils ajustables permettent alors d'isoler une "tranche" de niveau de gris caractéristique des régions à extraire de l'image. L'analyse automatique de ces régions permet d'appréhender différents paramètres géométriques de base tels que surface,

QUANTIFICATION DES TRACES DES LOMBRICS....

périmètre, comptage, dimension, périodicité. Des classifications selon des critères de forme ou d'environnement peuvent éventuellement être réalisées.

-Application à la mesure de l'activité faunique.

Dans la présente étude, une lame mince de grande dimension (20 X 10 cm X 60 μ m) représentant une coupe verticale de l'horizon A d'un sol ferrugineux tropical (Fig. 1) est examinée par l'intermédiaire d'un épидiascope monté en transmission. Trois phases sont retenues pour les mesures: deux types d'agrégats à formes arrondies, de couleur noire ou de couleur brune et les pores de diamètre supérieur à 250 μ m.

La préparation est divisée en plages d'analyse carrées jointives de 3 cm de côté. Pour chacune des trois phases retenues, nous avons déterminé systématiquement à chaque niveau le pourcentage géométrique d'occupation et la distribution en taille; cette granulométrie est obtenue par "ouverture octogonale". Rappelons que cette méthode consiste à ne retenir de l'image détectée que les parties qui contiennent un octogone dont on fait croître progressivement la taille.

RESULTATS

La vue d'ensemble de l'horizon superficiel humifié ou horizon A du profil est représenté par la photo d'une lame mince (Fig. 1). A l'œil nu les déjections de vers apparaissent globuleuses 3 à 14 mm de diamètre environ et très nettement localisées dans les sept premiers centimètres du sol. Cette zone a bien, comme le décrivent les pédologues de terrain, une "structure grumeleuse" due précisément à la juxtaposition de très nombreuses déjections de vers. Leurs contours s'estompent progressivement en profondeur mais ils sont encore perceptibles jusqu'à douze centimètres. Ensuite la structure, comme elle est décrite sur le terrain, devient bien "massive" par tassement, compaction

et coalescence des déjections. La porosité évolue dans le même sens: les pores sont nettement délimités dans les six premiers centimètres et plus grands qu'en profondeur. Les racines sont nombreuses dans les dix premiers centimètres et de forte taille. Elles sont plus petites en profondeur mais encore visibles vers dix-huit centimètres.

Les mesures des déjections de vers et des pores sont faites sur la partie centrale de la lame mince, jusqu'à 15 cm de profondeur c'est-à-dire sur les plages des niveaux I à 5 des verticales a et b (Fig, 1). Le quadrillage a des mailles de 30 mm de côté et dans chacune d'elles le pourtour est éliminé et la surface considérée réduite à 25 mm X 25 mm. La planche II représente les pores et les déjections, ainsi définies, de la verticale b. Les pores sont blancs et particulièrement bien visibles sur les photos 7 à 11; leur taille diminue avec la profondeur et leur nombre augmente. Les photos 12 à 16 montrent les deux types de déjections brunes de grande taille. Leurs contours respectifs sont délimités avec précision à la main directement, sur l'écran de l'appareil à l'aide d'un stylo électronique (image editor) d'abord pour les déjections noires (Fig. 17 à 20) puis pour les déjections brunes (Fig. 21 à 24). Les surfaces occupées par chacune d'entre elles sont ensuite rapportées automatiquement à l'ensemble de la plage considérée.

Dans chaque plage analysée et pour chaque phase définie (pores, déjections noires, déjections brunes) on obtient un histogramme des surfaces occupées et leurs dimensions moyennes respectives. Ces données sont représentées graphiquement en fonction de la profondeur (Planche III, tableaux I et II).

TABLEAU I
Dimensions moyennes des pores et des déjections en fonction de la profondeur

Niveau	Profondeur en centimètres	Diamètre en millimètres		
		Pores	Déjections noires	Déjections brunes
1	0 - 3	0,34	2,33	4,01
	1,5 - 3	0,36		
2	3 - 6	0,41	2,31	3,11
	4,5 - 6	0,75		
3	6 - 9	0,34	1,51	2,64
	7,5 - 9	0,29		
4	9 - 12	0,24	0,99	2,97
5	12 - 15	0,26	0,59	-

TABLEAU II
 Surface occupée par les pores et les déjections en pour cent
 (Moyenne de / mesures faites sur les deux verticales a et b)

Niveau	Profondeur cm	Pores	Ecart type	Déjections noires	Ecart type	Déjections brunes	Ecart type
1	0 - 3	22,58	6,05	8,96	7,21	30,71	2,63
2	3 - 6	27	9,66	24,74	16,77	15,25	13,21
3	6 - 9	18,77	3,68	4,03	3,24	9,13	7,84
4	9 - 12	11,59	1,75	2,12	0,52	9,98	9,22
5	12 - 15	17,92	1,66	0,37	0,25	0	
6	15 - 18	27,88	4,46	0,20	0,02	0	

QUANTIFICATION DES TRACES DES LOMBRICS....

INTERPRETATION

Les déjections de vers sont nombreuses dans les six premiers centimètres sous la surface du sol. Plus en profondeur elles sont moins fréquentes et disparaissent complètement après quinze centimètres. Les grosses déjections brunes et les petites déjections noires sont présentes aux mêmes niveaux. Au seul examen des lames minces la différence de couleur entre les déjections pourrait laisser supposer qu'il existe entre elles un degré d'évolution: les petites déjections noires seraient dans cette hypothèse des fragments très humifiés des déjections brunes. Les observations sur le terrain et les élevages (Lavelle, 1978) orientent vers une autre hypothèse. Les grosses déjections brunes polyglobuleuses seraient dûes à Millsonia lamtoiana espèce de grande taille, et les petites déjections noires subsphériques à Dichogaster agilis espèce de petite taille. Sur le terrain, cette dernière espèce fréquente les mêmes couches superficielles que la précédente et tout particulièrement le voisinage des racines. Sur la lame mince cette observation est confirmée par la présence de nombreuses petites déjections noires autour des sections de racines (Fig. 1, 3 et 4). Les déjections de Dichogaster agilis sont bien en relation avec l'activité de ce ver et les profondeurs où elle se développe. En ce qui concerne les grosses déjections brunes il est probable qu'elles appartiennent à Millsonia lamtoiana mais il n'est pas exclu que certaines puissent appartenir aussi à une autre espèce également de grande taille, Millsonia anomala. L'ambiguïté pourra être levée vraisemblablement par la suite par l'examen de la nature des matériaux à l'intérieur même des déjections. Millsonia lamtoiana consomme en effet, de préférence dans les horizons superficiels, de la terre mélangée à des dé-

bris végétaux, tandis que Milsonia anomala, surtout géophage, consomme aussi, en profondeur des matériaux surtout minéraux.

Les dimensions des déjections diminuent aussi avec la profondeur. La légère augmentation des déjections brunes (Fig. 26) est due, en réalité, à la mesure globale de plusieurs déjections coalescentes qui auraient pu être individualisées. Deux hypothèses peuvent être émises : 1) le tassement du sol comprime les déjections et estompe leur contour; 2) les grosses déjections brunes des six premiers centimètres sont émises par une espèce, les petites déjections brunes de six à quinze centimètres par une espèce. Les déjections noires pourraient être aussi dues à plusieurs espèces. L'examen approfondi de la nature et du calibre des débris végétaux et des constituants minéraux de déjections obtenues en élevage à partir de matériaux connus pourra vraisemblablement, par la suite, permettre de préciser la part de chaque phénomène. La diversité des résultats montre la difficulté qui existe, en raison de l'hétérogénéité du milieu, à faire ce genre de mesures. Pour les rendre plus significatives il faudrait multiplier les mesures sur un plus grand nombre d'échantillons.

La porosité est maximale entre trois et six centimètres; c'est également à ce niveau que les dimensions des pores sont les plus grandes, si l'on ne tient pas compte du pore entourant la racine au centre de la lame (Fig. 1). Ce pore introduit dans la courbe de la porosité une variation importante d'où les deux courbes possibles à ce niveau (Fig. 26). Il est sans doute artificiellement agrandi par la dessiccation de la racine et devrait être plus réduit dans le sol en place. Les galeries de vers ne sont pas individualisées dans cette section du sol. Il est vraisemblable qu'elles ne sont pas visibles parce que comblées de déjections pourraient, alors, en être les traces des parois (Fig. 7-12 et 8-13). Les autres pores sont de petites di-

QUANTIFICATION DES TRACES DES LOMBRICS....

mensions. La question théorique qui se pose, a priori, est : la structure est qualifiée de massive en profondeur par les pédologues mais jusqu'à quelle profondeur les pores sont-ils suffisants pour favoriser la pénétration des populations de microarthropodes ? A partir de douze centimètres les pores n'ont plus que 250 μm de diamètre environ et la porosité augmente néanmoins en profondeur. Les pores sont donc encore ici suffisants pour permettre le passage de la plupart des espèces de la microfaune. Seuls les pores communiquant en réseau sont utilisables par les animaux pour leur déplacement or; ici, même les pores clos sont mesurés, de sorte que la place réellement disponibles pour les microarthropodes ne peut être évaluée. Cette imprécision pourra sans doute être levée ultérieurement par l'emploi d'un colorant injecté dans les pores en réseau. L'étude quantitative du peuplement en microarthropode de ce sol (Athias, 1973) a montré par ailleurs que ces animaux utilisaient bien ces pores très fins puisqu'on retrouvait parfois encore un quart de la population de certains groupes à quinze centimètres de profondeur.

CONCLUSION

Les résultats obtenus représentent une première tentative d'évaluation de l'activité de la faune du sol. Ils portent sur les traces laissées par les vers dans les couches superficielles et nécessitent la différenciation manuelle des déjections par un manipulateur averti. Cette méthode pourrait être généralisée avec des dispositifs plus sophistiqués permettant, non seulement l'analyse d'images, mais aussi, la reconnaissance des couleurs. La saisie des données couleurs est techniquement possible par caméra, mais n'est pas encore appliquée dans le domaine des Sciences de la terre. Pour que l'automatisation de l'analyse d'images soit complète, il faudrait également pouvoir saisir des données de formes. Actuellement le problème

de l'identification des formes est toutefois l'un des plus difficiles à résoudre; c'est un problème auquel se heurtent aussi les récentes recherches de pointe sur l'intelligence artificielle pour la reconnaissance de l'environnement.

L'ensemble de la présente étude nécessite l'emploi de toute une technologie en plus de l'analyse d'images: la plastification des sols et la fabrication des lames minces de grandes dimensions à laquelle doit s'ajouter, pour le choix de la programmation, la connaissance des récents résultats de la pédozoologie expérimentale, de l'écologie du sol et de la microscopie du sol.

Lorsque les traces laissées par les animaux terri-
cologiques seront mieux connues et répertoriées, la méthode sera susceptible d'être appliquée à l'étude de toute

QUANTIFICATION DES TRACES DES LOMBRICS....

LEGENDES DES FIGURES

PLANCHE I ASPECTS DES MATERIAUX

- 1.- Lamelle mince dans l'horizon A d'un sol ferrugineux tropical quadrillage à maille de 3 cm, mesures faites aux niveaux 1 à 5 sur les verticales a et b.
- 2 à 6 Variations des contrastes entre les racines, les pores et les agrégats fauniques par divers réglages de la luminosité d'analyseur d'images X 2.

PLANCHE II IMAGES

- 7 à 11 Horizon A de 0 à 15 cm, plages de 25 mm de côté. Images de la porosité mesurée à l'analyseur d'images.
- 12 à 16 Mêmes plages en lumière naturelle. Déjections de lombrics : gros agrégats bruns (gris sur la photo) construits par Milsonia lamtoiana ou M. anomala petits agrégats noirs subsphériques de Dichogaster agilis.
- 17 à 20 Délimitation des agrégats noirs au stylo électrostatique pour la mesure de leur diamètre et de leur surface à l'analyseur d'images.
- 21 à 24 Id. Agrégats bruns (gris sur les photos).

PLANCHE III REPRESENTATION DES RESULTATS

- 25 Surface moyenne occupée par les pores et les agrégats de lombrics, en fonction de la profondeur. Agrégats noirs : déjections de Dichogaster agilis, agrégats bruns : déjections de M. lamtoiana ou M. anomala.
- 26 Diamètre moyen des pores et des agrégats. Id.

PLANCHE I

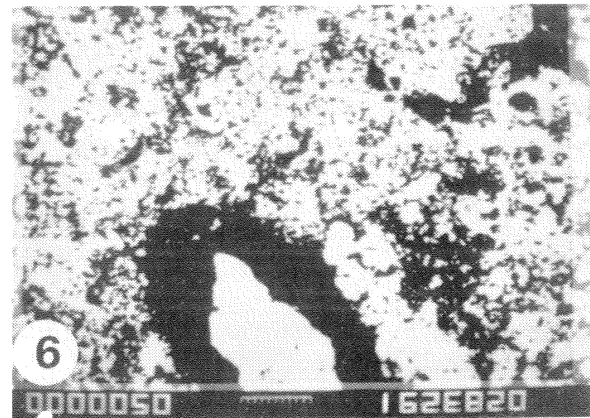
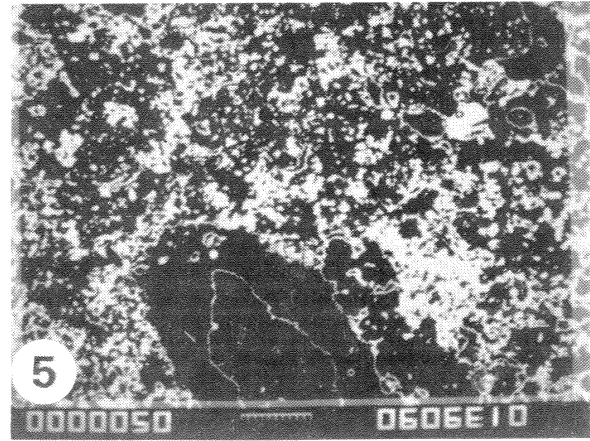
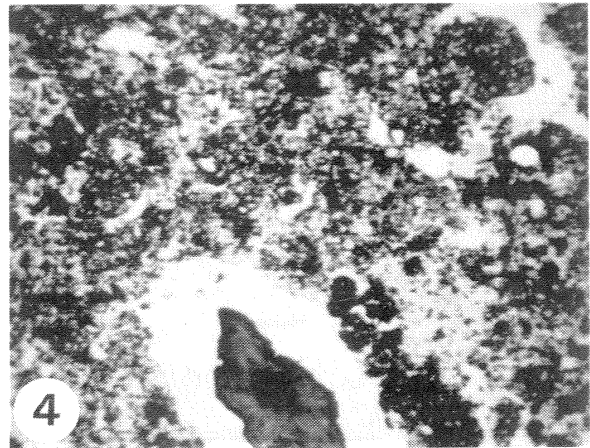
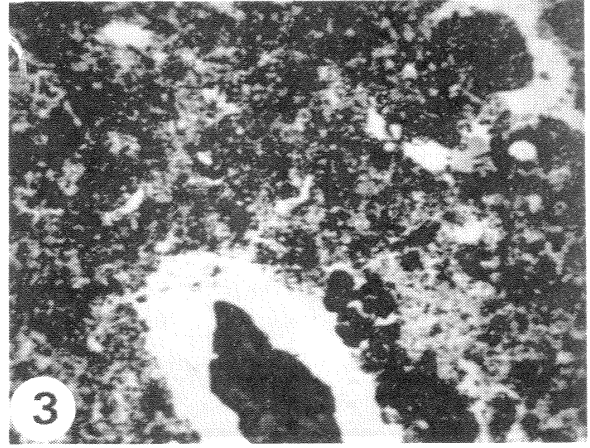
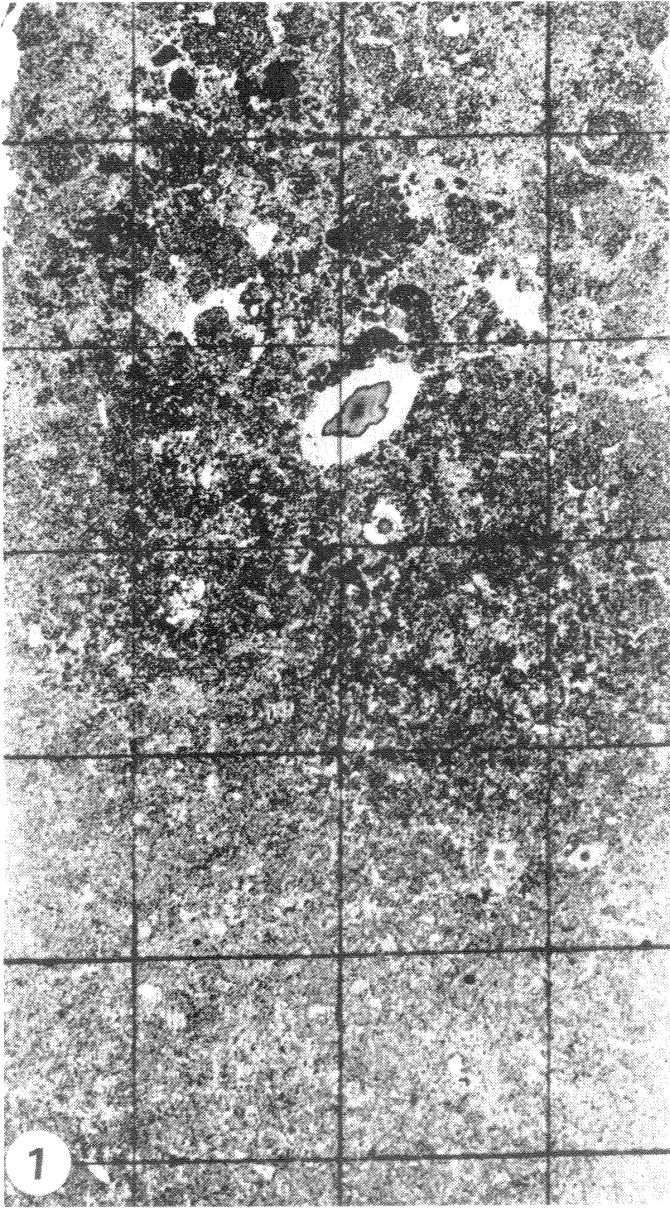
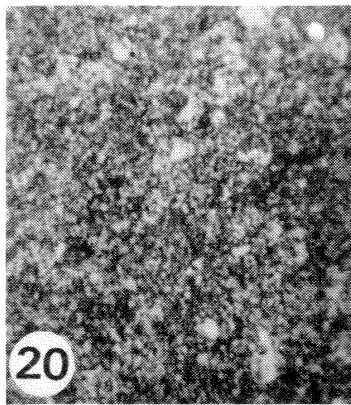
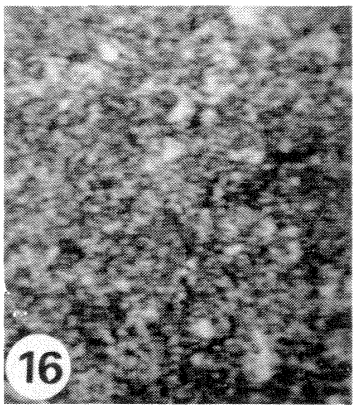
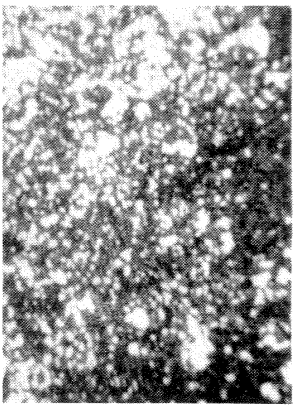
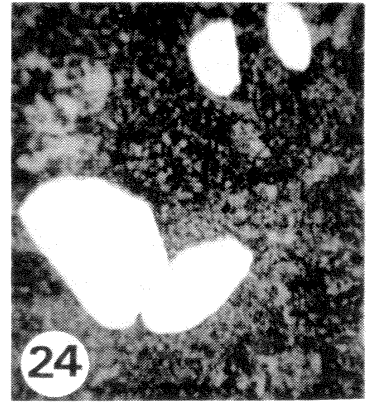
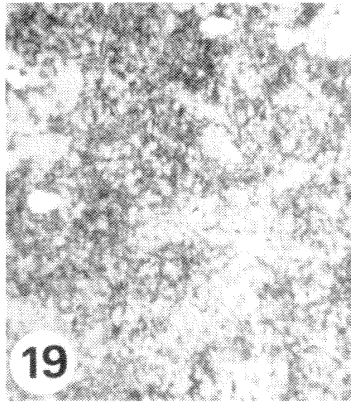
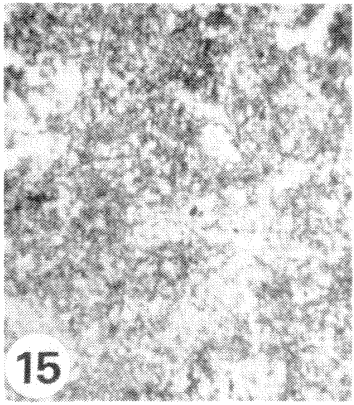
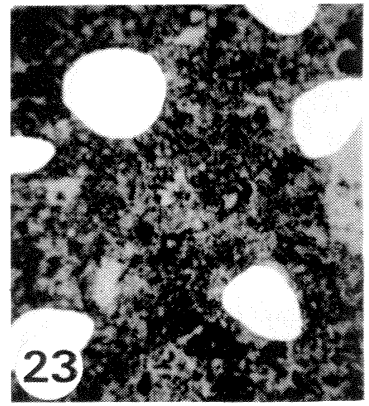
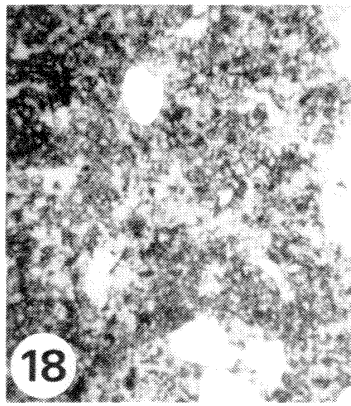
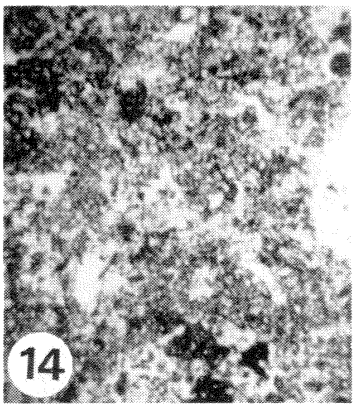
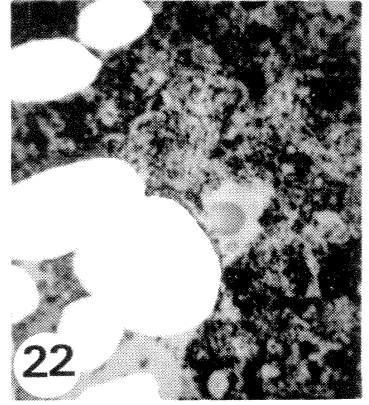
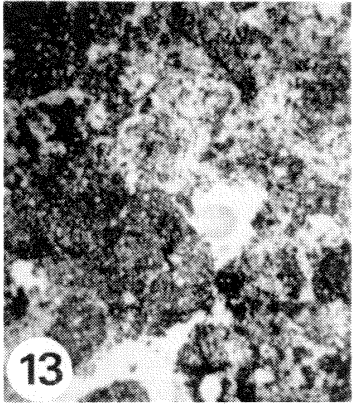
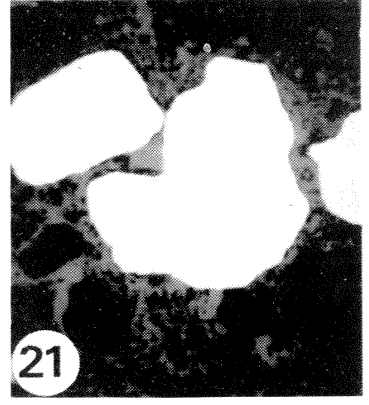
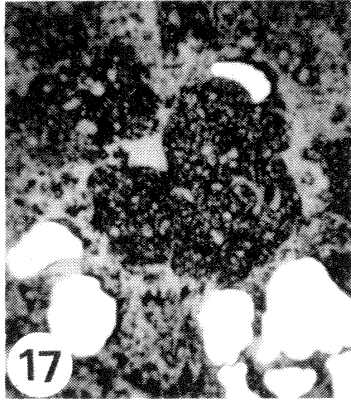
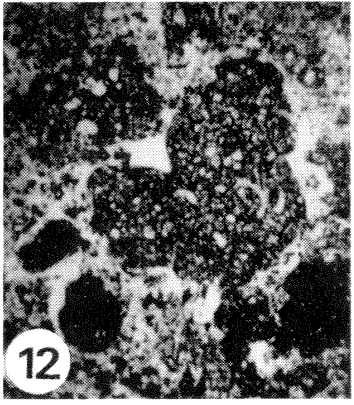
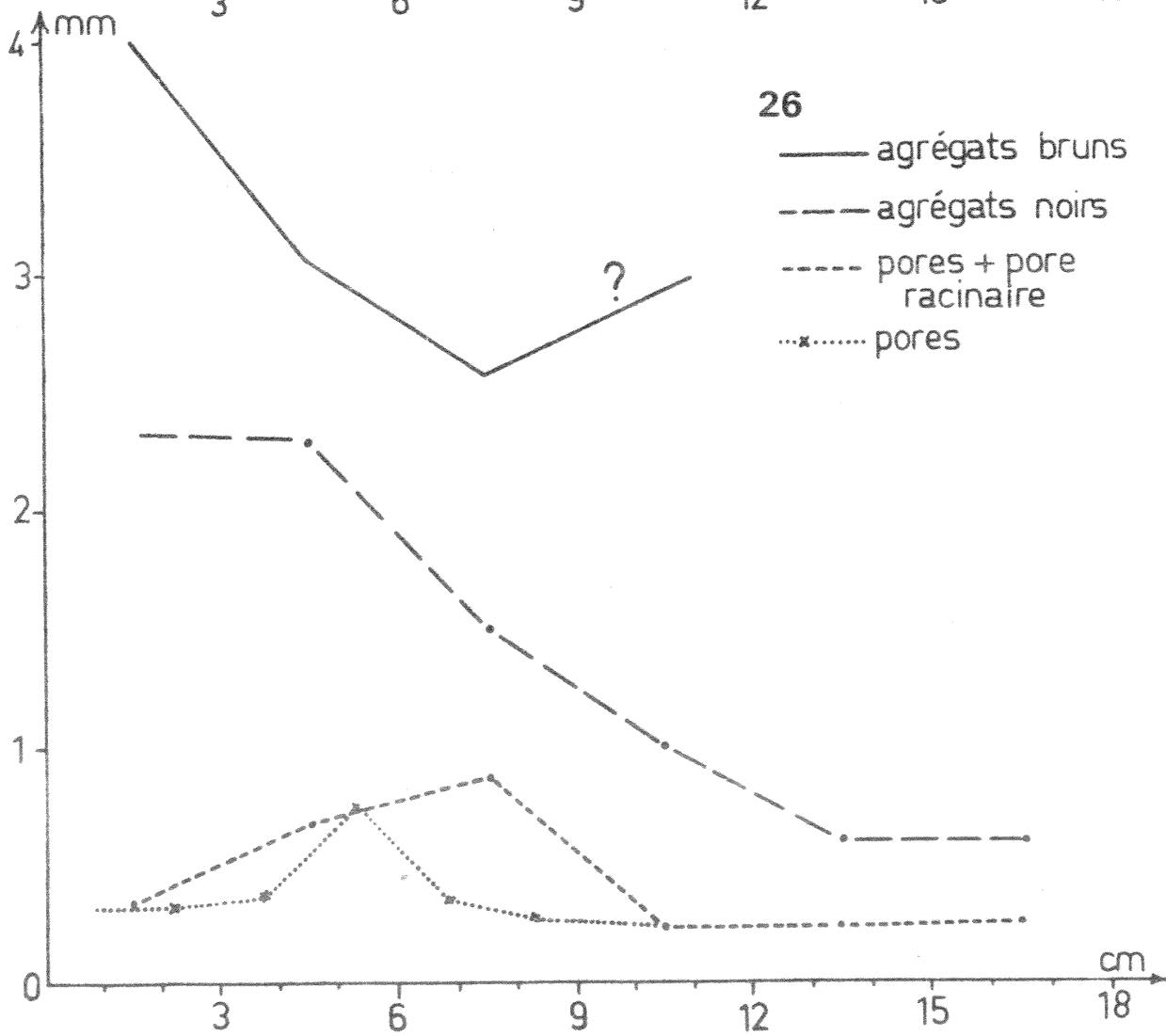
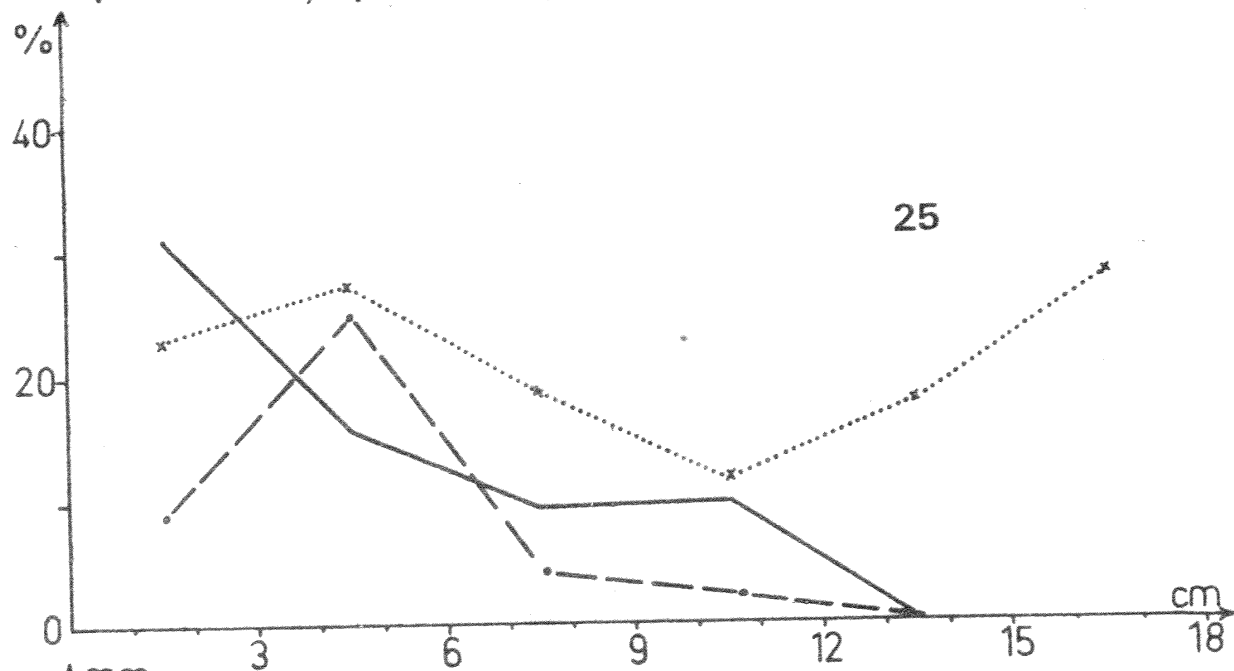


PLANCHE II





QUANTIFICATION DES TRACES DES LOMBRICS....

SUMMARY . -

A new method to measure the activity of soil fauna is described. The quantitative television microscope allows distinction and quantification of the castings of two earthworms species. The relative quantity of materials returning to deep soil layers, can be determined, as well as the degree of porosity which determines the ability of the soil microfauna to colonize the different layers.

REMERCIEMENTS

L'analyseur d image est un appareil BRGM CNRS. A R. Verbeke, M. Hladik, Mmes Bouillyer et Muñoz du Museum pour respectivement les lames minces, le résumé anglais, la mise au point du manuscrit et le dessin des graphiques. A J. Luu de L'ESIEE pour les notions d intelligence artificielle. A C. Hyighens du Museum pour la photo 1.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ATHIAS, F., 1973 - Etude quantitative du peuplement en microarthropodes du sol d'une savane de Côte d'Ivoire. These 3eme cycle Paris VI, 103 p.
- BARBERY, M. PREVOSTEAU, J.J. 1976 - La mineralogie quantitative. Annales des mines, 51-60.
- CAYE, R. PIERROT, R., PREVOSTEAU, J.M. et RAGOT, J.P. 1970 - Methodes de visualisation des milieux poreux en vue de leur analyse quantitative au microscope. Bull. soc. Fr. mineral. cristallogr. 93, 571-578.
- GATEAU, C. HUYET, G. PREVOSTEAU, J.M. 1976 - Application de la mineralogie quantitative a l'etude de la fissuration des roches. 4eme reunion annuelle des journées des Sciences de la terre. Paris. Sous presse.

- GATEAU, C, LOUIS M. PREVOSTEAU, J. M. 1975 - Parametres de quantification de la fracturation par analyse d'images. Journées nationales de Geotechniques, 1-11.
- GATEAU, C. PREVOSTEAU, J. M. 1975 - Les analyses granulométriques en place par analyseur d'images. Rapport interne 75, SGN, LAB. 306.
- GATEAU, C. PREVOSTEAU, J. M. 1977 - Examples of new possibilities for automatic image analysis. 2eme symposium europeen d'analyse quantitative des microstructures en sciences des matériaux, biologie et médecine. Sous presse.
- GONI, J. BIGNON, J. BONNAUD, G. JAURAND, M. C. SEBASTIEN, P. CAYE, R. et PREVOSTEAU, J. M. 1976 - Les poussières dans la pollution atmosphérique. Methodes d'etudes. Vers les agences de l'air. Nuisances et environnement. Sous presse.
- JEANSON, C. 1964 - Micromorphologie et Pedozoologie expérimentale : etude sur plaques minces de grandes dimensions (16 x 8 cm X 30 μ m) de la structure créée par les lombrics. In Jongerius, Soil micrology, Elsevier Amsterdam, 47-55.
- JEANSON, C. 1966 - Essai de Pedozoologie expérimentale : Morphologie d'un sol artificiel structure par les lombricides. These de doctorat d'etat. Paris. 1966. Dépôt CNRS, Archives originales 1078. Mémoires du Museum d'Histoire Naturelle 1968, A. XLXVI, 3, 211-357. Editions du Museum, 38, rue Geoffroy St Hilaire Paris 5e.
- JEANSON, C. 1973 - Presence de soufre dans des agrégats construits par des forficules. Microstructures et composition élémentaire. Plant and Soil, 43, 219-228.
- JEANSON, C. et LAVELLE, P. 1978 - Microstructures cupuliformes construites par les vers de terre dans

QUANTIFICATION DES TRACES DES LOMBRICS. . . .

- un sol ferrugineux tropical et dans une rendzine. A paraître.
- JEANSON, C. PAULUSSE, 1977 - Microagregats construits sur un sol de limon et une litière de marronnier par Orchesella villosa (Collembole Apterygotte). Etude expérimentale et microscopique. Third int. coll. on Apterygota, Södertälje, Suede. Sous presse.
- JEANSON, C., PAULUSSE, 1977 - Structuration du sol par des Isopodes. Etude expérimentale et microscopique. 5eme Reunion Internationale Microscopie du Sol Grenade. Redume II, 6.
- JEANSON, C. et VERBEKE, R. 1975 - Nouvelles bases de consolidation de matériaux friables et des sols. Reparcussion sur la fabrication de lames minces. Lithoclastia, 2, 39-59.
- LAMENIDIN, H. et JEANROT, P. 1974 - Canalicules dentaires et analyses d'images. Revue de l'information dentaire, Mars.
- LAMOTTE, M. 1974 - Origine et bilan du projet Lamto, étude d'un écosystème de savane tropicale. Programme biologique international, projet Lamto. Bulletin de liaison des chercheurs de Lamto, Station d'écologie tropicale Lamto, N'Douci (Côte d'Ivoire) Supplement numero special, 1-6.
- LAVELLE, P. 1971 - Etude démographique et dynamique des populations de Millsonia animala (Acanthodrilidae-Oligochetes). These 3eme cycle Paris, 88p.
- LAVELLE, P. 1978 - Les vers de terre de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire) : Peuplement, populations, fonctions dans l'écosystème. These de doctorat d'état. Laboratoire de zoologie de l'École normale supérieure de Paris. A paraître.
- PAULUSSE, J. et JEANSON, C. 1976 - Structuration du sol par les Diplopodes. Etude expérimentale et mi -

- microscopique. In: Lohm, V. & Persson, T. (Eds). Soil organisms as components of Ecosystems. Proc. VI. Int. Soil Zoology colloquium. Ecol. Bull. Stockholm, 25.
- PREVOSTEAU, J. M. 1976 - L'analyse quantitative d'images. Spectra 2000, 25, 33-38.
- RIOU, G. 1970 - Les sols de Lamto d'après les travaux de Bonvallot, Delmas et Riou. Programme biologique international, Projet Lamto. Bulletin de liaison des chercheurs de Lamto. Station d'Ecologie tropicale de Lamto, N'Douci, Côte d'Ivoire. Numéro special 5-39.
- ROBAUX, P., JEANSON, C., BARBIER, D. 1976 - Microstructures construites par Tyrcphagus putrescentiae dans une argile. Etude expérimentale et microscopique. In: Lohm, V. & Persson, T. (Eds). Soil organisms as components of Ecosystems. Proc. VI. Int. Soil Zoology colloquium. Ecol. Bull. Stockholm, 25, 17-21.