

Écologie

**BIOLOGIE DES OLIGOCHÈTES *LUMBRICUS TERRESTRIS*,
ALLOLOBOPHORA CHLOROTICA ET *DENDROBAENA PYGMEA*
DANS LE CONSTANTINOIS (EST ALGÉRIEN)**

par

Leila ROUABAH¹et Michel DESCAMPS^{2*}

L'agriculture moderne, confrontée aux contraintes économiques, a entraîné une intensification et une industrialisation des productions céréalières, maraîchères et fruitières. Cette évolution des techniques agricoles s'est accompagnée de l'utilisation massive de composés (engrais, pesticides...) naturels ou synthétiques, ayant des cibles biologiques. Ces produits affectent également des espèces non cibles, entraînant des déséquilibres des écosystèmes. Les Oligochètes, géophages, sont particulièrement exposés et sont donc employés comme organismes test. Le travail présenté concerne essentiellement les préférences et l'influence des facteurs externes sur trois espèces de vers de terre fréquentes dans l'est algérien.

Quatre sites d'étude des Oligochètes ont été retenus : deux terrains de culture, une prairie (site témoin) et un terrain en cuvette à proximité d'un complexe industriel traitant des produits mercuriels. Les quatre sites, sur sols argilo-limoneux sont peuplés par trois espèces d'Oligochètes : *Lumbricus terrestris* (espèce la mieux représentée), *Allobophora chlorotica* et *Dendrobaena pygmaea*.

L'été chaud et sec de l'Est algérien entraîne une diminution dans le nombre de vers adultes récoltés. En automne, le nombre d'adultes observables augmente. L'hiver, période pluvieuse et relativement froide, les jeunes vers sont nombreux et très actifs dans les quinze premiers centimètres du sol. Au printemps, avec l'assèchement progressif, les vers, adultes ou sub-adultes, s'enfoncent mais restent très actifs. Deux périodes d'éclosion des cocons ont été observées, en fin de printemps et en fin d'été.

Un élevage au laboratoire a été réalisé, de manière à pouvoir déterminer les préférences des différentes espèces et les paramètres de résistance aux métaux polluants ou aux xénobiotiques. L'élevage de masse a été choisi : les vers sont maintenus dans des bacs remplis de terre, permettant ainsi d'avoir à disposition un stock d'animaux de souche locale, adaptés aux conditions climatiques locales. Dans nos conditions d'élevage au laboratoire, nous avons pu observer, pour *L. terrestris* et *A. chlorotica*, deux périodes d'éclosion des cocons, une au printemps (avril-mai) et une en été (juin-juillet). Une seule période (avril-mai) a été observée pour *D. pygmaea*.

**Biology of *Lumbricus terrestris*, *Allolobophora chlorotica*
and *Dendrobaena pygmaea* (Annelida, Oligochaeta) in eastern Algeria**

As modern agriculture is under economical pressure to produce more with lower costs, a management of all productions have been developed. Evolution of agricultural methods involved the use of compounds (manure, pesticides, etc.) of natural or chemical origins. These compounds, in addition to their biological targets, may have effects on other species, and as a consequence lead to an ecosystem dysfunction. Earthworms are affected by soil pollutants and are employed as test organisms. In this work, ecological preferences and influences of external factors are studied on three species common in eastern Algeria.

Four sample sites of earthworms were choosen : two fields, a meadow (control site) and an area near a mercury surface mine. The four sites, on clay and silt soils, showed the same three main earthworm species : *Lumbricus terrestris*, *Allolobophora chlorotica* and *Dendrobaena pygmaea*.

The hot and dry summer of eastern Algeria leads to a stop in worm activity. Soil dryness leads to a drop in adult worm number. In autumn, an increase in worm abundance can be observed. In winter, the rainy season, young worms are numerous in the top 15 cm of soil. In spring, with the progressive drying of soils, all worms (adults and sub-adults), despite a good level of activity, begin to migrate to deeper soils. Two cocoon hatching periods were observed, during the end of spring and the end of summer.

Worm breeding was conducted in order to determine the preferred living parameters of the worms (temperature, soil humidity) and their biological cycle in laboratory conditions and their CL50 of trace metals (particularly cadmium). Worms were maintained in containers with soil collected from their own site ; as a consequence, a living stock adapted to local conditions is always present in the laboratory. In these experimental breeding conditions, two hatching periods were observed for *L. terrestris* and *A. chlorotica*, the first during spring (April-May) and the second in summer (June-July). Only one period of hatching (April-May) was recorded for *D. pygmaea*.

Introduction

L'agriculture moderne confrontée aux contraintes économiques a entraîné une intensification et une industrialisation des productions céréalières, maraîchères et fruitières. Cette évolution des techniques agricoles s'est accompagnée de l'utilisation massive de composés (engrais, pesticides...) naturels ou synthétiques ayant des cibles biologiques. Ces produits, en plus de l'action mécanique résultant du travail du sol avec du matériel de plus en plus lourd, affectent également des espèces non cibles entraînant des déséquilibres des écosystèmes. Nous avons voulu savoir quel est l'effet de cette industrialisation sur la présence de trois espèces d'Oligochètes, à savoir *Lumbricus terrestris*, *Allolobophora chlorotica* et *Dendrobaena pygmaea*.

Le choix des Oligochètes se justifie par le fait qu'ils constituent un groupe numériquement important de la pédofaune, pouvant aller jusqu'à 90% de la biomasse des invertébrés du sol. Ils sont ubiquistes et le rôle qu'ils jouent dans la structuration et l'équilibre du sol n'est plus à démontrer. En tant que géophages, les Oligochètes sont particulièrement exposés aux polluants du sol et sont ainsi devenus des organismes tests pour de nombreuses études ou normes concernant l'intoxication par les métaux ou divers xénobiotiques (voir, entre autres HOPKIN, 1989 ; TEXIER *et al.*, 1996).

Biologie des Oligochètes

Nous avons donc étudié les préférences (température, humidité) de ces Oligochètes et l'influence des facteurs externes. Nous avons également établi le cycle biologique annuel de ces vers de terre dans l'Est algérien, aussi bien dans la nature qu'au laboratoire. Enfin, la troisième partie consiste à déterminer les paramètres de résistance au cadmium, métal trace souvent associé aux amendements apportés en agriculture.

Matériel et Méthodes

Caractéristiques générales des sites retenus

Site n°1 : champ de culture céréalière - Ce site se trouve sur une ferme pratiquant à la fois la culture et l'élevage, à 15 km au sud-est de Constantine et à 900 m d'altitude. Les cultures céréalières concernent le blé tendre, le blé dur et l'orge. Le rendement y est considéré bon. Les engrais sont apportés régulièrement aux sols sous forme de superphosphates utilisés comme amendement à des doses de 50 kg à l'hectare ; l'épandage se fait au mois de septembre. Au début du tallage, de l'ammonitrate à 21% est ajouté à raison de 33 kg pour 100 kg de semis ; un deuxième apport d'engrais composés (NPK) a lieu au stade gonflement.

Site n°2 : champ de culture maraîchère - Ce site est dans une zone très individualisée, située au nord de Constantine. Le sol présente une texture limono-argileuse riche en calcaire et on y pratique des cultures à rotation rapide : les sols sont travaillés deux à quatre fois par an. Sur le site choisi pour notre étude, les cultures sont traitées régulièrement par un insecticide de la famille des carbamates. Les traitements (dose variant de 120 à 150 g par hectolitre) sont appliqués dès l'apparition des insectes (mai-juin) et sont répétés trois à quatre fois, suivant le degré de l'infestation, tous les cinq à sept jours.

Site n°3 : situé près d'un complexe mercuriel, ce troisième site d'échantillonnage est à 100 km au nord-est de Constantine. C'est un terrain en cuvette sur un sol calcifié développé sur des matériaux argileux. Il est à proximité de l'exploitation à ciel ouvert d'un gisement de minerai de mercure.

Site n°4 : site témoin. Il s'agit d'une prairie située au sud-est de Constantine. Le sol est de texture argilo-limoneuse. On y trouve, en plus d'une couverture de graminées, du *Silybum marianum* (chardon) et des aulnes blancs (*Alnus incana*). Les moyennes mensuelles de température sont de 9°C pour le mois de Janvier, 11°C pour le mois d'avril et 27°C pour le mois d'août.

Analyse des sols

Trois carottes de sol ont été prélevées sur chaque site, puis séchées à 80°C jusqu'à l'obtention d'un poids constant. Les échantillons sont broyés manuellement à l'aide d'un mortier puis passés sur un tamis de 2 mm. Le dosage des métaux a été réalisé en ICP AES (Varian Liberty Serie II). L'azote total est mesuré après traitement à l'acide sulfurique et à l'eau oxygénée à l'aide d'un Digestdahl-HACH 32130-20, selon la méthode décrite dans HACH (1989). Le carbone organique est obtenu par oxydation

sulfochromique ; l'absorbance est lue à 610 nm par un spectrophotomètre HACH DR/2000. La teneur en carbonates de calcium est faite par détermination volumétrique du dioxyde de carbone dégagé sous l'action d'un acide fort par l'échantillon.

Matériel biologique

Méthode de prélèvement et choix des espèces

Nous avons testé différentes méthodes de récolte des vers : celle au formol (SACHEL, 1963) s'est révélée la plus efficace pour l'estimation de l'abondance. Les vers extraits sont immédiatement lavés. Notre choix pour la poursuite de l'étude, s'est porté, en raison de leur prédominance dans les récoltes opérées sur les quatre sites, sur deux vers de surface (*Lumbricus terrestris*, *Dendrobaena pygmaea*) et un ver de profondeur (*Allolobophora chlorotica*).

Conditions d'élevage au laboratoire

Les animaux sont groupés par lots de dix dans des bacs contenant 1 kg de terre prélevée sur le site d'origine. Ils sont nourris de feuilles de tilleul humidifiées. L'humidité est entretenue par arrosage hebdomadaire. Les bacs de l'élevage en masse sont entreposés dans une pièce où la température est maintenue à 25°C. L'élevage au laboratoire a ainsi permis d'avoir à disposition un stock d'animaux. La fécondation des vers aboutit à la ponte de cocons déposés en général en surface au dessus des feuilles de tilleul. Ces derniers sont prélevés, rincés et mis dans des boîtes de Petri entre deux feuilles de papier filtre découpées et humidifiées. Ils sont conservés dans ces conditions jusqu'à l'éclosion. Les cocons et les vers nouveau-nés se desséchant très vite, nous avons attaché une très grande importance à la constance de l'humidité.

Influence de facteurs extrinsèques

Afin de caractériser l'effet de la température sur le développement, nous avons utilisé des étuves réglées à 10°C, 15°C, 20°C et 25°C. L'influence de l'humidité a été étudiée pour deux configurations : sol humidifié mais non ennoyé, sol ennoyé. Les intoxications au cadmium ont été réalisées par ajout de CdCl_2 à un sol témoin.

Biologie des Oligochètes

Résultats

Pédologie

Les caractéristiques physico-chimiques des sols des sites retenus sont résumées dans le tableau 1. Les teneurs en métaux sont rapportées dans les tableaux 1 et 2.

Tableau 1

Caractéristiques principales des sols étudiés et leur teneur en métaux
(mg/kg de poids sec ; moyennes \pm SD)

Site	pH	OM (%)	Cd	Cu	Ni	Zn	Hg
n° 1 (terrain de grande culture)	7,5	2,7	7,1 \pm 0,7	15,8 \pm 0,3	131,3 \pm 0,1	131,4 \pm 0,1	nd
n° 2 (terrain de culture maraîchère)	8,2	1,5	3,8 \pm 0,1	25,8 \pm 0,1	16,7 \pm 0,1	105,4 \pm 0,1	nd
n° 3 (terrain près du complexe mercuriel)	6,5	1,1	nd	21,4 \pm 0,1	21,1 \pm 0,1	235,7 \pm 0,1	40,1 \pm 0,1
n° 4 (prairie ; site témoin)	7,7	6,6	nd	92,1 \pm 0,6	18,1 \pm 0,1	22,16 \pm 0,8	nd

Tableau 2

Teneurs en mercure en fonction des saisons et de la profondeur du prélèvement
(moyennes et écarts-types obtenus sur trois prélèvements).

	0-10cm	10-20cm
hiver	39 \pm 1,1	30 \pm 1,7
printemps	40,1 \pm 0,1	36 \pm 0,3
été	40,6 \pm 2	37 \pm 1,3
automne	33 \pm 3	28 \pm 0,1

Matériel biologique

La taille maximale observée des individus adultes récoltés peut se résumer ainsi :

- *L. terrestris* : 23 cm de longueur et 1 cm de diamètre, pour un poids de 6 à 8 g.
- *A. chlorotica* : 16 cm de longueur et 6 mm de diamètre, pour un poids atteignant 5 g.
- *D. pygmea* : 4 cm de longueur et 3 mm de diamètre. Le poids est de 120 à 230 mg.

La taille du cocon dépend de l'animal ; elle est de 2 à 3 mm pour *D. pygmea* et de 4,5 à 6 mm pour *Lumbricus*.

A. chlorotica est d'un vert prononcé avec un clitellum rose. *L. terrestris* et *D. pygmea* sont de couleur rouge assez prononcé.

Abondance

Dans les sols du site témoin, en conditions optimales d'humidité, nous avons trouvé en moyenne 160 vers au mètre carré, soit environ 40 *L. terrestris*, 30 *A. chlorotica*,

10 *D. pygmaea*, le reste étant constitué d'autres espèces de vers. En période sèche le nombre de vers récolté baisse rapidement et n'atteint plus en moyenne que 20 vers au mètre carré.

Dans le site n°1, nous avons noté dans les meilleures conditions d'humidité en moyenne 100 vers/mètre carré et seulement 15 vers/mètre carré pendant les périodes sèches. Les espèces rencontrées demeurent les mêmes, avec une dominance nette de *Lumbricus*. Sur 100 vers récoltés nous avons dénombré 40 *L. terrestris*, 20 *A. chlorotica*, 4 *D. pygmaea* et 26 d'autres espèces.

Dans le site n°2, nous n'avons pu récolter au maximum que 40 vers au mètre carré, répartis en 18 *L. terrestris*, 8 *A. chlorotica*, 4 *D. pygmaea* et 10 autres vers.

Le site se trouvant à proximité du complexe mercuriel est pauvre en vers par rapport aux trois autres sites. Nous n'avons pu y récolter que 10 vers au mètre carré.

Cycle annuel d'activité des vers (Fig. 1)

Dans l'Est algérien, l'été est chaud et sec et la plupart des vers entrent en quiescence. Le tube digestif vide, ils s'enroulent sur eux même. La dessiccation des sols entraîne une mortalité importante de vers adultes. Les jeunes vers sont au contraire nombreux dans les récoltes pendant cette saison.

En hiver, période de pluie, les vers n'hibernent pas. Au contraire ils sont actifs et se localisent dans les 15 cm supérieurs du sol. Au printemps avec l'assèchement du sol, ils s'enfoncent plus en profondeur mais restent actifs. Les vers adultes sont nombreux, alors que les jeunes vers le sont moins. En automne le nombre de vers adultes augmente.

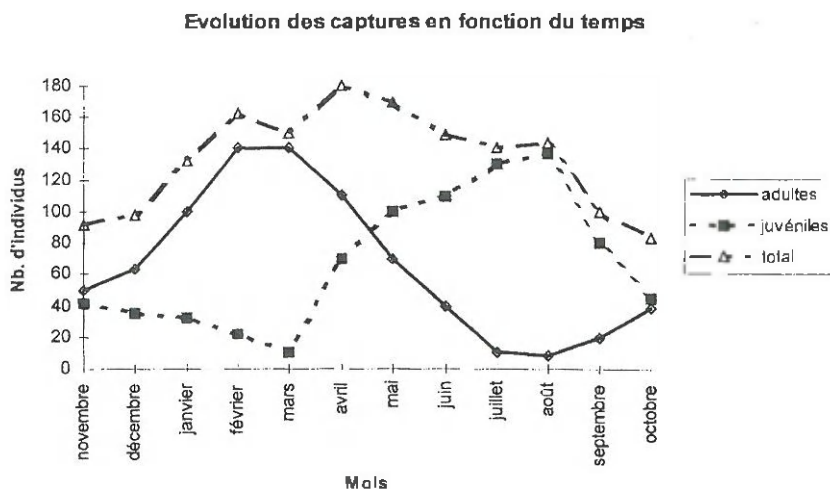


Figure 1

Nombre d'individus, toutes espèces confondues, matures ou juvéniles, récoltés sur l'ensemble des sites d'étude.

Biologie des Oligochètes

L'éclosion des cocons s'effectue non seulement à la fin du printemps mais aussi à la fin de l'été pour *L. terrestris* et *A. chlorotica*.

Au laboratoire, pour *L. terrestris* et *A. chlorotica*, nous avons pu observer deux éclosions, l'une au printemps (Avril - Mai), l'autre en été (Juin - Juillet). Les conditions de laboratoire ne semblent pas permettre d'avoir une deuxième ponte chez *D. pygmea*, du fait peut-être de la température et/ou de l'humidité du milieu.

Influence de l'humidité

Dans un milieu saturé en eau (un sol totalement submergé), *A. chlorotica*, *D. pygmea* et *L. terrestris* survivent 40 à 50 semaines, à condition que l'eau soit aérée.

Des vers submatures d'*A. chlorotica* atteignent la maturité, s'accouplent et pondent des cocons dans ce type de milieu. *A. chlorotica* semble donc bien s'adapter à un sol saturé en eau. D'ailleurs, ces animaux atteignent plus vite leur maturité dans ce type de sol que dans un sol simplement humide. À l'inverse, *L. terrestris* et *D. pygmea* se développent mieux sur un sol humide plutôt que saturé.

Tableau 3

Effets de la température d'élevage sur la maturité des jeunes vers.

	<i>A. chlorotica</i>			<i>L. terrestris</i>			<i>D. pygmaea</i>		
Température (°C)	10	15	20	10	15	20	10	15	20
Temps (en jours) avant d'atteindre la maturité	150	105	80	150	120	90	150	100	80

Effet de la température sur l'éclosion des cocons

Les cocons pondus ont des tailles variables chez le même animal. Tout au long du suivi nous n'avons que rarement eu des cocons de même taille. Ils ont la forme d'un citron d'une couleur jaune paille et sont nettement polarisés. L'enveloppe de ces cocons est élastique et transparente.

Le nombre d'embryons est variable d'un cocon à l'autre et d'une espèce à l'autre. *L. terrestris* et *D. pygmea* produisent plus de cocons que *A. chlorotica*. La couleur des cocons change suivant l'évolution des embryons qui s'y trouvent. Dès que le système sanguin est mis en place, le cocon devient rouge et les embryons deviennent observables par transparence. Les jeunes vers présentent la même structure que les adultes. Ils sortent par le pôle portant le tube.

La durée d'incubation varie avec la température. Les résultats obtenus à 20 et 25°C étant très proches, seuls ceux correspondant à 20°C sont reportés ici et dans le tableau 3. Les cocons d'*A. chlorotica* éclosent après 35 jours à 20°C, 48 jours à 15°C et 110 jours à 10°C. Les cocons de *L. terrestris* nécessitent une incubation d'une durée de 30 jours à 20°C, 40 jours à 15°C et 100 jours à 10°C, alors que pour *D. pygmea* les cocons éclosent après 30 jours à 20°C, 45 jours à 15°C et 106 jours à 10°C.

Effets de la température sur la maturité des vers

La maturité, caractérisée par l'apparition du clitellum chez les jeunes vers, est très dépendante de la température comme le montre le tableau 3.

Toxicité du cadmium

C'est expérimentalement, par augmentation progressive de la teneur du sol en cadmium, que nous avons déterminé la CL50 des animaux. Les résultats obtenus se présentent comme suit :

- 150 ppm pendant 15 jours entraînent un taux de mortalité de 50 % chez *A. chlorotica* ;
- 160 ppm de cadmium pendant 15 jours implique la mort de 50% de *D. pygmea* ;
- 250 ppm de cadmium sont nécessaires pour qu'au bout de 15 jours d'intoxication un taux de mortalité de 50 % soit enregistré dans le cas de *L. terrestris*.

Des arrêts de croissance sont enregistrés à des doses de 20 ppm de chlorure de cadmium pour *A. chlorotica*, 30 ppm pour *D. pygmea* et 45 ppm dans le cas de *L. terrestris*.

Discussion

La première constatation concerne la taille des animaux récoltés : quelle que soit l'espèce, taille et poids sont supérieurs à ceux indiqués par BOUCHÉ (1972) pour les individus de la même espèce en France.

Les vers de terre fousseurs à rejets abondants ont une grande importance pour le maintien et éventuellement l'amélioration de la porosité des sols (KRETZSCHMAR, 1978 ; LEE, 1985). Dans les sols argileux, les vers par leurs galeries, peuvent à la longue enlever à ces sols leur caractère compact et gênant pour l'agriculture. Une meilleure porosité permet en effet une pénétration plus importante et plus rapide des pluies (BACHELIER, 1978).

C'est sur le site témoin que le nombre de vers est le plus important. Par comparaison avec ce site, ni traité ni labouré, nous pouvons estimer l'influence des pratiques agricoles sur l'abondance des vers. D'après nos observations, c'est le genre *Allolobophora* en général (*A. chlorotica*, *A. rosea*, *A. caliginosa*) qui paraît être le plus sensible aux traitements des sols alors que *Lumbricus* semble être le plus résistant. La quantité de vers est réduite dans les sites cultivés, conséquence des traitements physiques ou chimiques des sols (LEE, 1985 ; EDWARDS & BOHLEN, 1996 ; LAVELLE *et al.*, 1997). Les *Allolobophora* et *Dendrobaena* semblent être plus sensibles que *Lumbricus*. Pour le site n°3 (contaminé par le mercure), la quantité de vers très faible est vraisemblablement en relation avec la pollution du sol. Une grande sensibilité au mercure a déjà été démontrée chez l'oligochète *Octochaetus pattoni* (ARBASI & SONI, 1983).

A. chlorotica semble bien s'adapter à un sol saturé en eau alors que *L. terrestris* et *D. pygmea* préfèrent un sol simplement humide. On pourrait expliquer cette préférence par le fait que *Lumbricus* et *Dendrobaena* vivent plus près de la surface du sol contrairement à *Allolobophora* qui vit en profondeur où la terre est généralement plus humide que la couche superficielle.

Biologie des Oligochètes

Dans les sites étudiés, c'est *Lumbricus terrestris*, un fouisseur très actif en hiver qui s'est révélé le plus abondant. Il faut cependant remarquer que la technique employée (extraction au formol) est réputée favoriser ce genre et d'une manière plus générale les vers épigés ou intermédiaires au détriment des endogés (BOUCHE, 1972).

La production des cocons varie avec les espèces et la température. Dans notre élevage 25°C est la température à laquelle les animaux atteignent très vite leur maturité sexuelle. On peut d'ailleurs remarquer que les jeunes vers sont nombreux dans l'horizon superficiel en été, ce qui laisse à penser qu'ils résistent bien à la chaleur. Les jeunes vers semblent être plus résistants à la sécheresse que les adultes ou en tous cas s'enfoncer moins dans le sol que les adultes, ce qui rejoint les observations faites par LAVELLE (1978) en Côte d'Ivoire.

Les CL50 déterminées sont supérieures à 100 ppm de cadmium, dose déjà très importante et que l'on ne rencontre pas dans les sites étudiés. Notons cependant que les valeurs que nous avons obtenues dans nos conditions expérimentales (sol « naturel » additionné de CdCl₂, 25°C, nous donnent des valeurs de CL50 inférieures à celles obtenues chez *Eisenia fetida* ou *E. andrei* (1843 µg/g NEUHAUSER et al., 1985 ; 253 µg/g, VAN GESTEL et al., 1991 ; > 300 µg/g, SPURGEON et al., 1994). Notons que les disparités de CL50 obtenues par ces différents auteurs peuvent s'expliquer par des différences de protocoles expérimentaux.

La croissance des jeunes vers semble par contre être très sensible à l'action du cadmium. En effet, 20 ppm de chlorure de cadmium sont suffisants pour que la croissance d'*Allolobophora* reste bloquée au stade submature. Notons une fois encore que ces doses ne sont pas atteintes dans les sols étudiés.

1. Université de Constantine, Institut des Sciences de la Nature,
Ann-Smara, Constantine, Algérie.

2*. Université de Lille 1, Lab. Biologie Animale,
59655 Villeneuve d'Ascq Cedex, France.

* auteur pour la correspondance

RÉFÉRENCES

- ABBASI, S.A. & SONI, R. (1983).- Stress-induced enhancement of reproduction in the earthworm *Octochaetis pattoni* exposed to chromium and mercuric : implication in environmental management. *Inter. J. Environ. Studies*, **22**, 43-47.
- BACHELIER, G. (1978).- *La faune du sol : son écologie et son action*. Éditions de l'ORSTOM (Paris). Documentation technique, **38**, 127-175.
- BOUCHÉ, M.B. (1972).- Lombriciens de France. Ecologie et Systématique. *Annales de Zoologie Ecologie animale*, N° hors série, INRA, 1-672.
- EDWARDS, C.A. & BOHLEN, P.J. (1996).- *Biology and Ecology of Earthworms*. Chapman & Hall, London.
- HACH (1989).- *DR/2000 Spectrophotometer Handbook*. Hach Company, Loveland, Colorado.

Bulletin de la Société zoologique de France 126 (1-2)

- HOPKIN, S.P. (1989).- *Ecophysiology of metals in terrestrial invertebrates*. Elsevier Applied Science, New-York.
- KRETSCHMAR, A. (1978).- Quantification écologique des galeries de lombriciens : techniques et premières estimations. *Pedobiologia*, **18**, 31-38.
- LAVELLE, P. (1978).- *Les vers de terre de la savane de Lamto (Côte d'Ivoire) : peuplements, populations et fonctions dans l'écosystème*. Thèse de Doctorat. Université de Paris VI.
- LAVELLE, P., BIGNELL, D., LEPAGE, M., WOLTERS, V., ROGER, P., INESON, P., HEAL, O.W. & DHILLION, S. (1997).- Soil function in a changing world : the role of invertebrate ecosystem engineers. *Eur. J. Soil Biol.*, **33**, 159-193.
- LEE, K.E. (1985). *Earthworms : their ecology and relationships with soils and land use*. Academic Press, New-York, 1-411.
- NEUHAUSER, E.G., LOEHR, R.C., MILLIGAN, D.L. & MAJER, M.R. (1985).- Toxicity of metals to the earthworm *Eisenia foetida*. *Biol. Fertil. Soils*, **1**, 149-152.
- SATCHELL, J.E. (1963).- Nitrogen turnover by a woodland population of *Lumbricus terrestris*. In : Soil organisms, North Holland Publ. Co., Amsterdam, 60-66.
- SPURGEON, D.J., HOPKIN, S.P. & JONES, D.T. (1994).- Effects of cadmium, copper, lead and zinc on growth, reproduction and survival of the earthworm *Eisenia fetida* (Savigny) : assessing the environmental impact of point-source metal contamination in terrestrial ecosystems. *Environ. Pollution*, **84**, 123-130.
- TEXIER, C., CLUZEAU, D., CORTET, J. & GOMOT, A. (1996).- *La faune, indicateur de la qualité des sols*. ADEME Éditions, Séries données et références. Brochure 2588, 1-62.
- VAN GESTEL, C.A.M., VAN DIS, W.A., DIRVEN-BREEMEN, E.M., SPARENBURG, P.M. & BAERSEMAN, R. (1991).- Influence of cadmium, copper and pentachlorophenol on growth and sexual development of *Eisenia andrei* (Oligochaeta : Annelida). *Biol. Fertil. Soils*, **12**, 117-121.

(reçu le 21/12/1999 ; accepté le 17/04/2000)