

## Écotoxicologie des lombriciens

### I. — Écotoxicité contrôlée

Marcel B. Bouché

INRA, Laboratoire de Zooécologie du sol,  
CEPE/CNRS, BP 5051, 34033 Montpellier Cedex

#### RÉSUMÉ

Les produits chimiques agissent sur la structure des peuplements lombriciens et sur la composition des individus. L'application de produits sur des surfaces importantes oblige à tenir compte de leurs effets sur la première masse animale commensale de l'homme. La méthodologie relative à l'étude de la toxicité et du danger et des conséquences économiques de ces usages, est exposée et discutée de façon critique à partir d'exemples concrets. Elle oblige notamment à l'usage de tests en milieu homogène et neutre permettant de comparer les CL50 et CL5 entre substances. L'utilisation des résultats des tests pour la prédiction des risques résultant de l'usage volontaire de substances nouvelles est discutée en montrant qu'il serait possible de substituer aux jugements partiels et arbitraires actuels, une démarche méthodique et réellement intégrée.

MOTS-CLÉS : *Test toxicologique - Écotoxicologie - Sol - Pesticide - Annelida - Oligochaeta - Lumbricidae - Eisenia fetida.*

#### SUMMARY

Chemicals affect the structure and chemical content of individuals of earthworm communitiels. Spreadings of chemicals on large surfaces lead to consider their consequences on the major terrestria animal biomass. Based on concrete examples, the methodology dealing with toxicity, hazard and economical consequences for chemical uses, is critically reviewed. Especially this methodology binds us to use a test medium, homogeneous and neutral. Such a medium allows comparability of LC50 and LC5 of various chemicals. The paper deals also with the use of test results to predict hazards from new chemical introductions. The possibility of changing present arbitrary and partial appreciation by a really integrated methodology is pointed out.

KEY-WORDS: *Toxicological test - Ecotoxicology - Soil - Pesticide - Annelida - Oligochaeta - Lumbricidae - Eisenia fetida.*

### 1. — INTRODUCTION

Les lombriciens, ou vers de terre, constituent la première biomasse animale des milieux terrestres émergés. Ils jouent dans les sols des rôles essentiels liant leur activité à la fertilité spontanée des milieux.

Cette activité prend des formes variées et touche à la qualité physique des sols, à la disponibilité biologique des éléments minéraux nécessaires aux autres organismes et particulièrement aux plantes, à la stimulation de la vie microbienne, à la pénétration racinaire, etc.

Première masse de protéines animales présente dans la nature, ils entrent enfin dans la ration de nombreux prédateurs.

Parmi les pratiques humaines touchant l'espace rural, les emplois intentionnels de procédés physiques (notamment machines, drainage, etc.) ou chimiques (engrais, pesticides, etc.) peuvent favoriser ou détruire ce potentiel biologique. La connaissance de l'effet direct et des conséquences de l'éventuelle *toxicité* des produits chimiques apportés volontairement (dépendant de notre contrôle) en présence de communautés lombriciennes dans *leur* milieu (condition écologique) peut relever de ce que j'appellerai ici l'écotoxicité contrôlée.

En dehors de ces apports contrôlés, le sol est le réceptacle naturel de multiples substances transitant à partir de sources variées dont les rejets gazeux urbains et industriels, les dépôts de déchets plus ou moins contaminés (boues d'épuration, ordures), les impuretés « mineures » de certains apports volontaires (engrais, etc.) qui créent une *contamination* diffuse des sols. Il y a lieu de contrôler et de connaître les conséquences de cette contamination par une surveillance : c'est ce que j'appellerai la contamination surveillée. Les apports des lombriciens à la surveillance des contaminations seront étudiés dans un deuxième article.

Des études ponctuelles ont été effectuées sur ces deux aspects : écotoxicité contrôlée et contamination surveillée. Si celles-ci apportent toujours une information, précieuse en raison de sa rareté, force est de constater que la méthodologie, la critique technique, la rigueur expérimentale ou conceptuelle font souvent cruellement défaut. Il y a carence quantitative et qualitative. Le but des deux articles « Écotoxicologie des lombriciens » est de contribuer, par une analyse critique aussi précise que possible, à une méthodologie logique, rigoureuse et efficace... Ceci ne compensera pas la carence quantitative, mais vise à réduire les insuffisances qualitatives.

## 2. — LES ÉTAPES DE L'ÉTUDE D'ÉCOTOXICITÉ CONTROLÉE

L'interprétation vis-à-vis d'un peuplement de lombriciens d'un apport conscient de produits chimiques — essentiellement de pesticides — implique l'étude de l'effet de cet apport sur le peuplement et son interprétation quant aux mécanismes d'action. Une appréciation de l'impact de cet apport dans le contexte des autres contraintes « naturelles » ou techniques subies au long des ans par le peuplement est enfin nécessaire.

L'interprétation d'une observation sur un peuplement implique de connaître :

- 1) La toxicité du produit sur les lombriciens.
- 2) Les modes d'apports (dose(s), date(s), mode de dispersion).
- 3) Les propriétés de dispersion dont les interactions sol/contaminant (liaison, absorption, etc. = disponibilité biologique).
- 4) Les influences des agents climatiques (lessivage).
- 5) La stabilité du toxique ou de ses formes dérivées (« dégradation », produits de dégradation divers, etc.).
- 6) Une connaissance fiable des structures du peuplement lombricien en cause.
- 7) Une interprétation de ces structures (espèces, démographie, catégories écologiques, relations prédateur/proie...).
- 8) Une prise en compte des autres contraintes subies par le peuplement et notamment la fréquence et l'impact des interventions chimiques.

### 3. — LA TOXICITÉ

#### 3.1. PROBLÈMES ET SOLUTIONS

Il y a lieu de rappeler la distinction très nette entre *toxicité* et *danger* d'un produit chimique. La *toxicité* est l'effet direct du produit sur l'organisme considéré tandis que le danger est le risque réellement encouru par les organismes considérés dans leurs conditions normales d'existence. Une substance très toxique peut ne pas être dangereuse si elle n'est effectivement pas mise en contact avec l'organisme. A l'inverse, une substance non toxique pour les organismes considérés peut se révéler dangereuse par les conséquences des autres effets qu'elle entraîne (un déséquilibre prédateur/proie par exemple). Il n'en demeure pas moins que la toxicité est souvent la cause première du danger encouru par les peuplements d'organismes et que sa connaissance est indispensable.

Les effets toxiques peuvent être constatés par divers critères biologiques : la mortalité (ou létalité) est le plus courant mais également la fécondité, la respiration, etc. Pour les lombriciens, à de rares exceptions près (LOFS-HOLMIN, 1980), seule la létalité a été prise en compte et nous n'envisagerons ici que celle-ci. De même, je n'aborderai pas les mécanismes physiologiques expliquant la toxicité observée, ceux-ci, lorsqu'ils sont connus, variant avec les substances. Nous nous arrêterons par contre sur la mesure rigoureuse de la létalité.

Au niveau des lombriciens (vivant normalement dans la terre), il y a lieu de percevoir clairement que l'on ne peut pas au laboratoire tendre à mesurer un danger et simultanément assurer la relation univoque substances/lombriciens.

Toute démarche justifiant un dispositif de laboratoire par la reproduction du milieu « naturel » dans un test de toxicité est naïve, irréalisable et illogique.

*Naïve*, car nous n'avons aucun moyen d'imiter l'organisation et la structure très complexes d'un sol (profils thermique et hydrique...) qui constituent le cadre du comportement des lombriciens.

*Irréalisable*, car nous ne connaissons pas cette organisation et encore moins l'influence des divers paramètres de celle-ci sur le comportement lombricien.

*Illogique*, car l'objet d'un test de toxicité est d'établir la relation univoque produit/lombricien et le fait de confectionner un « milieu sol » complexe crée une interférence profonde. Celle-ci est par ailleurs bien connue, ne serait-ce que par l'adsorption sur les argiles.

Ceci conduit à la nécessité de disposer d'un milieu *artificiel, synthétique, neutre* par rapport au couple substance/lombricien.

Les résultats doivent par ailleurs être reproductibles et comparables.

*Reproductibles*, c'est-à-dire que les résultats obtenus avec une substance donnée sur un lombricien précis peuvent être à nouveau observés dans un deuxième essai conduit dans les mêmes conditions.

*Comparables*, c'est-à-dire que la toxicité observée pour une substance peut être comparée à toute autre substance. La non-neutralité du milieu d'essai n'interdit pas la reproductibilité (si l'interférence est la même dans les essais) mais interdit la comparabilité (l'interférence variant avec les substances). Or, la comparabilité est *indispensable* pour l'interprétation des dangers des nouvelles substances (voir § 4.).

### 3.2. ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS D'UN TEST

Trois éléments sont donc présents dans un test :

- la substance (produit chimique) testée,
- le lombricien,
- le milieu.

Ces trois éléments doivent être définis avec précision.

*La substance chimique* testée suit usuellement sa définition technique (produit technique). Sa définition, relevant des normes de la chimie analytique, est souvent assez précise et sort du cadre du présent article. La mise en œuvre de cette substance se fait toutefois après une dilution dans un support selon une concentration choisie. Cette dilution est loin d'être assurée correctement en milieu poreux (sol et sol synthétique ou artificiel) et peut apporter des « surconcentrations » locales entraînant des erreurs de mesure importantes. En pratique, les substances insolubles sont mélangées dans le milieu-support à sec, celui-ci devant être « infiniment fin » afin de permettre une dilution réelle. Les substances solubles ou émulsifiables sont apportées avec le liquide ajouté au support solide, certains solvants étant ensuite évaporés. Dans tous les cas, de longs brassages sont nécessaires car le mélange phase liquide/substrats de sol artificiel ou naturel entraîne des inégalités de concentration à la manière d'un chromatogramme.

*Le lombricien.* On ne peut travailler que sur un matériel bien caractérisé et disponible. Toute référence avec le « milieu naturel » est arbitraire (cf. 3.1.). Quelle que soit l'espèce celle-ci ne peut « représenter » les milliers d'espèces lombriciennes. Le choix se porte donc vers des souches bien caractérisées, faciles à élever et ayant un contact total (cutané et intestinal) avec le sol.

La caractérisation taxonomique des espèces est actuellement arbitraire: la pratique de l'usage exclusif des caractères morphologiques peu diversifiés a conduit à écarter, chez les lombriciens, bien des espèces ou taxons biologiquement différents. « Il ne faut pas se dissimuler le caractère artificiel de certaines attributions taxonomiques...; ce fait a une conséquence importante : le biologiste doit s'assurer dans ses recherches de l'identité des populations qu'il compare, trop de divergences apparentes dans les résultats des travaux, sources d'incompréhensions voire de discordes, trouvent leur origine dans les hétérogénéités des populations comparées » (BOUCHÉ, 1972 a).

Ce constat n'est pas neutre pour les tests car l'« espèce » retenue par les instances internationales, en raison de sa facile reproduction en laboratoire, est « *Eisenia fetida* ». En 1972, en m'appuyant notamment sur le travail biologique de ANDRÉ (1963), j'avais reconnu l'existence « très vraisemblable » de deux espèces auxquelles je ne donnais que le statut sub-spécifique, cette preuve biologique exceptionnelle et unique n'étant pas dans la pratique des taxonomistes classiques. Il faudra attendre presque dix ans pour que cette preuve *biologique* commence à être reconnue (JAENIKE, 1982) et adoptée par quelques chercheurs. La carence des moyens, jointe à une solide résistance épistémologique, gêne encore la reconnaissance de l'évidence : même à l'intérieur d'une prétendue sous-espèce (par exemple, *Eisenia fetida andrei* Bouché) il peut y avoir plusieurs très bonnes espèces et assurément de multiples variétés. L'adoption d'un taxon lombricien de référence devra donc non seulement être très précise mais aussi s'appuyer sur une souche unique de stabilité génétique étudiée (électrophorèse) : ceci est devenu récemment possible pour *Eisenia fetida andrei*, Bouché 1972.

L'espèce *E. fetida* fait partie des lombriciens épigés (forme vivant à la surface du sol) et serait *a priori* une mauvaise candidate (les épigés ne représentent souvent que 1 % de la biomasse lombricienne). Cet argument référant au « milieu naturel » n'a pas de sens au niveau d'un test (cf. 3.1.); par contre, il est important que le contact cutané et intestinal (par ingestion) de la substance soit assuré. Cette espèce, comme *E. fetida*, s'alimente surtout des fractions organiques dans la nature et « trie » donc celles-ci dans les milieux hétérogènes.

Enfin dans un test, les animaux ne doivent pas introduire une hétérogénéité provenant de leur état physiologique antérieur (adaptation aux conditions thermiques ou/et hydriques, contenu du tube digestif accumulé avant le test); des précautions préalables au test lui-même doivent assurer un conditionnement homogène des lombriciens.

*Le milieu.* On peut distinguer dans le milieu le substrat, recevant les lombriciens et la substance chimique testée, et les conditions d'ambiance (température, lumière,...) qui entourent ce substrat + lombricien + substance durant l'application du test.

Nous avons récemment décrit un milieu synthétique, l'« artisol » (FERRIÈRE *et al.*, 1981) qui répond aux caractéristiques suivantes :

- chimiquement inerte : 3 composants : silice, eau, verre;
- chimiquement précis : les impuretés, réduites, sont analytiquement connues (taux d'impuretés);
- ingéré par tous les lombriciens testés et particulièrement par *E. fetida andrei*;
- permettant la dispersion des poudres (dans la silice sèche) ou de liquides émulsifiés ou non,
- permettant la survie des animaux pendant plusieurs mois,
- entièrement synthétique c'est-à-dire reproductible sans référence à des sols ou des mixtures de sols plus ou moins traités (tourbes, vermiculite, bentonite, kaolinite,...) d'identité chimique imprécise;
- permettant une régulation thermique, hydrique et une aération précise.

La normalisation de la procédure de ce test a enfin été arrêtée (par le service de la protection des consommateurs et de l'environnement de la CEE (Anonyme, 1982)). Cet acquis permet la rigueur de test d'écotoxicité à condition que la conduite de ces tests, y compris leur interprétation, soit correcte.

Notons que l'utilisation de mixtures complexes de sols comme milieu de test, actuellement également proposées, outre leur non-reproductibilité entre laboratoires ou entre séries d'expériences (produits constitutifs de composition variable), rend impossible l'interprétation rigoureuse de résultats. Ainsi HAQUE & EBING (1983) utilisant ces mixtures arrivent à un classement des effets d'une série de pesticides testés pour deux « espèces » (*Lumbricus terrestris* et *Eisenia fetida* sp.?). Les différences observées ne peuvent être rapportées à une différence de sensibilité car elles dépendent des variations des espèces dans leur comportement de pénétration (contact) et d'ingestion (choix alimentaire) dans la mixture. Comparant les LC50 obtenues sur 3 tests (papier-filtre, une mixture de sol et l'artisol), HEIMBACH (com. pers.) montre que les résultats obtenus entre les deux premiers milieux sont hétérogènes (19 produits) alors qu'ils sont cohérents entre les deux derniers milieux (11 produits). Notons enfin que l'introduction de sols naturels, indéfinissables de façon stricte, interdit une véritable standardisation et *a fortiori* la comparabilité des résultats entre produits. Ce point est classiquement non abordé dans les descriptions méthodologiques, par exemple KARNAK & HAMELINK (1982). Nous avons ainsi observé que dans les sols

ayant apparemment en moyenne 80 ppb de PCB (polychlorobiphényl), la concentration de la fraction de sol ingérée est de 440 ppb en moyenne avec une dispersion des valeurs réduite (TARRADELLAS *et al.*, 1982), ce qui témoigne d'un choix alimentaire dans un milieu complexe. Un milieu homogène neutre et reproductible s'impose donc.

### 3.3. MÉTHODOLOGIE

#### *Élevage de masse*

L'objectif d'un test de toxicité est de définir avec rigueur le lien dose de la substance/effet de celle-ci sur les lombriciens. En pratique la relation dose/effet. L'établissement d'une telle relation doit être statistiquement satisfaisante (résultats ayant une probabilité d'être dus au hasard inférieure à 5 % et si possible 1 % ou moins) et pour ce faire il y a lieu d'obtenir des résultats sur une série de doses et pour chaque dose sur un nombre suffisant d'individus. Ceci implique l'utilisation pour chaque produit de 100 à 200 individus adultes et d'une classe de poids précise et oblige donc à disposer d'un élevage de masse suffisant.

Élevage de masse d'*Eisenia fetida andrei*.

Cette espèce a été retenue en raison :

- de sa prolificité,
- de son contact cutané et intestinal en artisol (mais pas en sol),
- de son élevage facile en conditions de laboratoire sans personnel spécialisé ni aménagements spéciaux.

Cet élevage peut se pratiquer en bacs bien aérés (des bacs industriels de 40 l sont faciles à manipuler, une fermeture par toile nylon ou couvercle est indispensable)

L'aération s'effectue par la surface du sol avec de l'air saturé d'humidité.

Le sol d'élevage peut être composé de terreau du commerce (éviter les tourbes et terres de bruyères acides... le pH optimal est autour de 7). On peut éventuellement utiliser des matières organiques diverses débarrassées des vers de terre autochtones par chauffage à 60° C au cœur du tas, puis bonne aération. Les sacs de terreau scellés sans vers de terre (toujours?) s'achètent facilement dans le commerce.

La hauteur de sol dans les bacs est de 15 à 20 cm. L'humidité doit être importante mais sans noyer les lombriciens (l'anaérobiose par immersion est à craindre autant que la sécheresse), un pF de 2,5 est optimal, mais une fourchette entre  $2 < pF < 3$  est parfaitement acceptable.

Nourriture : le son de meunerie peut être apporté au fur et à mesure de la consommation.

Reproduction et croissance : entre 20 et 25° C (zone optimale) cette espèce produit à l'état adulte plus d'un juvénile par jour. Après une incubation des cocons d'environ 4 semaines, ceux-ci éclosent et les jeunes atteignent le stade adulte en 4 semaines après l'éclosion. 20 à 30 vers par décimètre cube de substrat d'élevage constituent une charge convenable. Le renouvellement du terreau ne s'impose pas si le sol n'est jamais inondé. On peut s'écarter, entre 0° C et 30° C, de la zone thermique optimale au détriment du rythme de reproduction. Le maintien à 20° C (température constante, qui est celle des tests) est recommandable. On développe l'élevage par simple division par deux (ou trois) des contenus des bacs (lombriciens avec cocons et terre, sans tri).

### Conduite du test et expression des résultats

Les conditions précises sont décrites dans Anonyme (1982), quant au test CEE (10 animaux par dose testée, température 20° C, durée 14 jours).

L'adoption de l'artisol (voir Annexe) se prête au mélange des substances poudreuses (mélange poudre de silice × substance) ou liquides (mélange eau × solution en suspension) testées. Éviter dans le mélange final regroupant silice, substrat et liquide, tout tri par « chromatographie » lors des mouvements de solutés dans le support. Un malaxage au cours de ce dernier mélange doit être pratiqué.

Il y a lieu de faire, pour un test correct, très attention à la lecture de la mortalité; tout lot présentant des animaux moribonds témoigne d'une durée d'essai insuffisante. Il y a lieu d'attendre une réponse claire où les animaux survivants ne présentent pas de signes anormaux (gonflements, déformations, paralysie, flétrissement). Le lot témoin ne doit avoir aucun mort quoique 10 % de mortalité soient tolérés dans le test CEE (une mortalité systématique de 10 % dans les témoins indique des manipulations grossières : animaux blessés).

Lorsque la durée des essais est insuffisante, les chercheurs sont conduits à des « appréciations » de survie aberrantes telles les observations de réaction à une piqûre sur la tête utilisée par HAQUE & EBING (1983). Le problème de la durée d'essai ne saurait recevoir de réponse standard, car certaines substances ont une évolution spontanée vers des composés actifs (cas de l'hydrolyse du pesticide Benomyl en BMC) ou/et agissent par des mécanismes de désorganisation physiologique à réponse létale lente.

La présence de moribonds dans les tests à durée trop brève entraîne une « indétermination » dans la qualification « mort-vivant » qui induit aussi une conséquence statistique : en général, il est impossible d'obtenir une droite de régression avec un seuil de signification de 1 % si l'on satisfait à l'« exigence » de LOWY (1978) (1 dose à effet nul, 4 doses au moins à effet intermédiaire et 1 dose à effet léthal). Outre cette

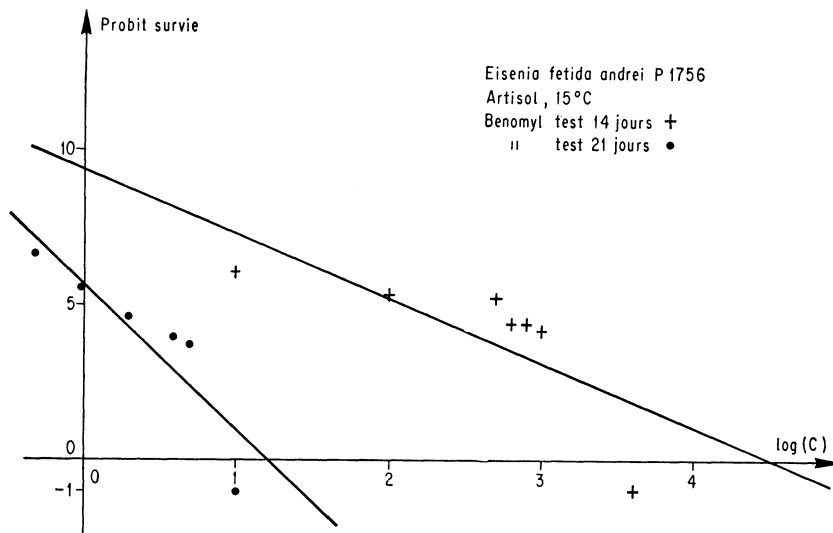


FIG. 1. — Relation graphique de la survie (en probit) et de la mortalité (en log de la concentration de Benomyl), après correction d'АВВОН, pour deux durées de test pour un pesticide à action lente (sur la cholinestérase et après hydrolyse).

exigence, les résultats doivent être traités par le test log-probit avec ou non expression de mortalité corrigée selon ABBOT (1925). Toute expression de CL50 sans données détaillées et statistiques correctes traduit un travail inachevé qui peut masquer une carence importante... par exemple une durée d'essai insuffisante (ex. fig. 1). Nous donnons au tableau I des résultats en artisol obtenus vis-à-vis de divers pesticides. Ces résultats montrent une énorme dispersion en raison de durées insuffisantes. Pour le benomyl, nous passons de 3 000 ppm (PRASAD & MOODY (1974) pour *Lumbricus terrestris* en sol sur 6 jours) à 1,4 ppm (pour *Eisenia fetida andrei* en artisol à 21 jours). FAYOLLE (1979) avait déjà montré (sur sol avec *Allolobophora chlorotica chlorotica*) que le temps léthal 50 (TL50) était important et presque indépendant de la dose (à 86,2 ppm TL50 = 7,8 jours; à 8,62 ppm TL50 = 8 jours) permettant de prévoir une DL50 faible.

TABLEAU I. — Concentration létale 50 de quelques pesticides observée en artisol à 15° C sur 20 *Eisenia fetida andrei* souche P 1756 (% = seuil significatif du test F, ppm : CL50 dans artisol). Ces tests ont été pratiqués durant 7 jours par deux manipulateurs distincts. Le test à 14 jours permet d'obtenir des résultats généralement plus fiables mais qui peuvent être insuffisants, (\*) 21 jours sont nécessaires pour le Benomyl pour obtenir un seuil de signification < 5 %. Les seuils significatifs < 5 % sont seuls valides et sont effectivement reproductibles (NS = non significatif à 5 %).

	14 jours (*)		7 jours		
	ppm	%	Répétitions	ppm	%
Benomyl 14 jours	132	20			
Benomyl 21 jours (*)	1,4	2,5		22	5
Bromophos			1 <sup>re</sup> répét.	263	1
			2 <sup>e</sup> répét.	270	1
Carbaryl	25	2,5		11	5
Carbofuran	57	2,5			
Chlormephos	41	1			
Chlorpyrifos éthyl	205	2,5			
Chlortoluron	6 100	0,5			
Dazomet	97	0,5			
Diquat				258	1
Endosulfan			1 <sup>re</sup> répét.	12	NS
			2 <sup>e</sup> répét.	< 10	1
Lindane			1 <sup>re</sup> répét.	311	1
			2 <sup>e</sup> répét.	275	1
Méthiocarbe			1 <sup>re</sup> répét.	41	1
			2 <sup>e</sup> répét.	42	1
Phosalone			1 <sup>re</sup> répét.	94	1
			2 <sup>e</sup> répét.	61	1
Pyréthrines + BT	5	0,5			
Terbufos	13	2,5			
Thiofanox				67	1
Thiophanate méthyl			1 <sup>re</sup> répét.	1 117	1
			2 <sup>e</sup> répét.	995	1
Thirame	292	2,5			
Triallate			1 <sup>re</sup> répét.	115	NS
			2 <sup>e</sup> répét.	183	1
Trifluraline	1 480	1			
Zirame	169	0,5		80	NS



### 3.4. VALEUR PRÉDICTIVE DU TEST

BOUCHÉ (1979), a tenté d'extrapoler les résultats d'un test « primitif » (dans un sol de référence) au danger en considérant arbitrairement que les substances diffusaient sur 1 cm de profondeur uniformément. En d'autres termes, que la CL50 représentait un réel danger lorsqu'elle se réalisait dans 100 m<sup>3</sup> de sol/ha (pour un apport, par exemple, de pesticide d'un poids connu de matière active/ha). Tout aussi arbitrairement, LOFS-HOLMIN (1980) adopte une diffusion sur 10 cm (le même poids est alors dilué théoriquement dans 1 000 m<sup>3</sup>/ha!). KLEIN (1977) et LEBRUN *et al.* (1981) justifient à leur tour un test en considérant que le pesticide se diffuse dans la phase aqueuse et est entraîné au contact des animaux dans cette phase.

Ces démarches arbitraires, dont je limite ici le catalogue, ont au moins le mérite de souligner l'importance du *mode de diffusion* de la substance dans le milieu.

Plutôt que d'adopter des postulats invérifiables, il semble plus judicieux d'y substituer une analyse des modes de diffusion et d'action de *substances classiques de référence*.

Les modes de diffusion des substances dépendent :

- a) du mode d'apport,
- b) de la nature de la substance,
- c) de la nature du milieu récepteur.

Pour les modes d'apport, nous avons distingué (ch. 1) l'écotoxicité contrôlée, avec apports intentionnels de substances. Ces apports se font alors en quantités connues, selon des modes (poudrage, aspersion, dilution, période dans l'année, etc.) connus et descriptibles. L'autre mode d'apport résulte des contaminations diffuses que l'on surveille en principe (contamination surveillée), les quantités et modes d'apport sont souvent imprécis mais des études classiques peuvent fournir des modèles de diffusion à partir de *substances classiques* déjà dispersées dans la nature. Selon la nature de la substance et la nature du milieu (interception de la végétation, saison, pluies texture du sol, porosité, lessivage, ...), cet apport diffusera dans le sol de façon hétérogène, en fonction des horizons, labourés ou non, mais également des pédostructures et particulièrement du mode de pénétration (fentes, galeries lombriciennes, etc.). L'étude objective et la description de ces phénomènes, à partir de *substances classiques* déjà diffusées, sont possibles. Il est probablement possible d'établir les relations entre modes de dispersion, milieux et grandes catégories chimiques.

Selon la dispersion d'une substance nouvelle, ainsi prédite, et le mode de vie des différentes catégories écologiques des lombriciens par ailleurs décrit et connu (BOUCHÉ, 1971; LAVELLE, 1983) le risque d'exposition peut être apprécié.

La *disponibilité biologique* de la substance peut enfin varier en fonction de l'importance de sa liaison et de son mode de microdispersion dans le milieu : par exemple, la concentration effective dans la solution du sol et le mode de liaison des substances au substrat sont totalement différents entre les grains de sable et dans les feuillets d'argile. Pour une même concentration globale (en termes de ppm), la disponibilité biologique peut varier de deux ou trois ordres de grandeur. Ici encore, comme pour la diffusion générale, cette disponibilité biologique est appréciable sur des molécules classiques.

La *stabilité* de la substance (non indépendante du milieu) varie également et peut s'étudier sur molécules classiques, voire au laboratoire pour des molécules nouvelles. La vitesse de dégradation, la toxicité des dégradats peuvent être également étudiées

(dégradats : produits issus de la dégradation d'une molécule initiale de référence, que cette dégradation soit issue ou non d'un processus métabolique).

En conclusion, à côté de la toxicité d'une substance (nouvelle ou classique), la connaissance des modes de *dispersion*, de *disponibilité biologique* et de *stabilité* permet d'apprécier le *danger* encouru par une population, dont on connaît par ailleurs les mœurs vis-à-vis des risques d'exposition.

J'ai écarté (§ 3.1.) toute tentation de référer, ou de justifier, la définition du test par rapport au « milieu naturel » en raison de son caractère naïf, irréalisable et illogique. Le corollaire de ce constat technique (inadéquation d'un test, rigoureux ou non, avec le milieu naturel) conduit à se poser la signification pratique des résultats d'un test de toxicité pour interpréter des dangers.

Ceci est possible avec le test artisol car celui-ci permet, à côté de la *reproductibilité*, la *comparaison* des CL50 obtenues entre substances, grâce notamment à la « neutralité » chimique de la silice utilisée (pour toxicité, danger, reproductibilité, comparabilité, cf. § 3.1.). *L'importance de la comparabilité est essentielle* quoique rarement perçue, en tout cas non explicitée, ce qui conduit à un foisonnement de démarches injustifiées. Ayant perdu moi-même beaucoup de temps à la recherche d'une interprétation ou d'une extrapolation « logique » des résultats d'un test, je développerai ici ce point plus en détail.

Celui-ci est par ailleurs essentiel pour le diagnostic de risque effectif (*danger*) dans le cas d'introduction de nouvelles substances pour lesquelles par essence nous ne disposons que de résultats de tests de laboratoire.

Grâce au fait qu'un test en milieu chimiquement neutre permet de connaître la

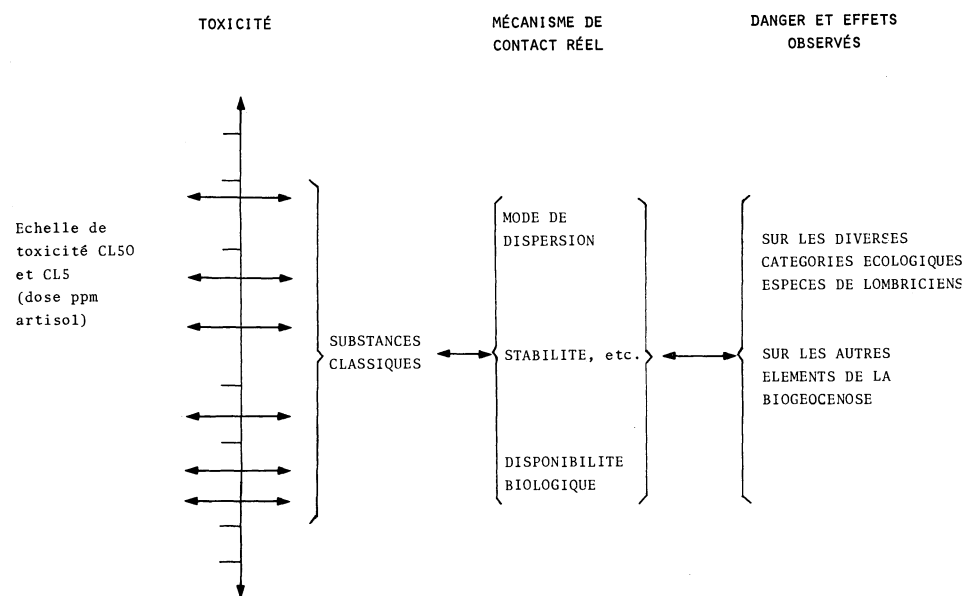


FIG. 2. — Démarche écotoxicologique d'appréciation des dangers d'une nouvelle substance à partir de la toxicité établie sur test ayant une *comparabilité* convenable. L'expérience acquise sur des substances antérieurement répandues sert de critère complémentaire.

relation univoque lombricien/substance, il est possible de classer les toxicités de substances en ordre croissant. En se référant à la dispersion, à la stabilité et à la disponibilité de *substances classiques* dont les *dangers* effectifs sont connus, il est possible de faire une *prédiction des risques* pour des *substances nouvelles*. La mise en œuvre systématique d'une telle méthodologie permettrait un abord logique des problèmes d'écotoxicité aiguë directe des substances, le modèle d'interprétation pouvant constamment être affiné (fig. 2) à partir des nouvelles substances dont l'usage est autorisé. Cette démarche ne faisant pas intervenir de postulat arbitraire exige que le test fournisse la possibilité de comparer la toxicité des substances, en d'autres termes que la relation substance-lombricien n'interfère en aucun cas avec le milieu (le « sol » principalement). Cette démarche lève également le problème du choix de l'espèce lombricienne car ce n'est qu'à travers la sensibilité dans la « nature » des diverses catégories écologiques à des substances classiques que les risques de nouvelles substances sont appréciés. De même les tests de toxicité basés sur le seul critère de létalité ne peuvent représenter l'ensemble des effets des substances sur les peuplements lombriciens (stérilité, baisse de fécondité, malformation, ...) : il y a entre ce test artificiel et les conséquences des substances sur la dynamique des peuplements *in situ* de très nombreux autres mécanismes possibles... On peut espérer que le test de létalité nous donne une échelle de sensibilité des lombriciens à la substance et que l'étalonnage, grâce aux substances déjà en usage sur peuplements naturels, nous permette une appréciation globale des dangers. Dans la mesure où cela a été observé, il y a une relation entre effets non létaux et la dose (MA, 1983) et le test de létalité peut en première approximation refléter la sensibilité des lombriciens au produit étudié.

#### 4. — CONSÉQUENCES D'UN RISQUE : BILAN D'IMPACT

Nous venons de voir la faisabilité d'un test rigoureux sur les lombriciens et l'usage qui pourrait en être fait pour l'appréciation d'un risque en termes de danger. En ce qui concerne les lombriciens, cette démarche préalable est insuffisante pour estimer l'intérêt économique et les risques généraux encourus par l'introduction d'une substance nouvelle utilisée par exemple comme pesticide (écotoxicité contrôlée). Pour cela, nous allons aborder trois types d'appréciation des risques :

- 1) dans le cadre des équilibres spontanés,
- 2) dans le cadre de l'ensemble des pratiques appliquées au milieu,
- 3) dans le cadre de l'interprétation économique des risques, avant de montrer la possibilité d'une interprétation intégrée.

##### 4.1. LES RISQUES DANS LE CADRE DES ÉQUILIBRES BIOGÉOCÉNOTIQUES

Les conséquences prévisibles ou connues d'une substance sur le peuplement lombricien n'ont de sens que rapportées à leur contexte. En dehors du cas simple de l'éradication des lombriciens (100 % de mortalité), le cas des risques partiels doit être apprécié en tenant compte de la capacité de restauration des peuplements (= aptitude à rétablir l'état initial). Dans les conditions normales, les lombriciens subissent un prédatisme important (bien que mal quantifié) et d'autant plus intense qu'il porte sur les espèces vivant sur la surface du sol (les épigés). En conséquence, la reproduction très dynamique des lombriciens épigés cicatrise très vite les pertes occasionnées par les agressions naturelles (prédateurs, parasites, aléas climatiques : gel, sécheresse). Il n'en est pas de même des espèces vivant dans le sol; celles-ci constituent l'essentiel de

la biomasse animale des sols fertiles (60 à 80 % de la zoomasse). Ces animaux occupent l'essentiel de la niche écologique des décomposeurs macrophages des terres émergées et appartiennent à deux catégories écologiques (endogés et anéciques) qui jouent un rôle prépondérant dans la régulation de l'activité microbienne des sols. Ainsi, il y a corrélation entre les anéciques (biomasse lombricienne dominante) et les sols à C/N bas caractéristiques des sols fertiles à mull (BOUCHÉ, 1972 *a* et *b*).

J'ai pu montrer par ailleurs que dans les sols fertiles le premier facteur limitant naturel des lombriciens n'était pas les agressions... mais leur intercompétition nutritionnelle, modulée par les aléas climatiques et les caractéristiques du sol. RAW (1962), doublant l'apport de litière, observe un doublement de l'épianécique *Lumbricus terrestris* Linné (*sensu* SIMS). De sorte que des agressions additionnelles résultant de l'emploi de substances peuvent dans une certaine mesure être tolérées sans entraîner de conséquences à long terme sur l'activité biologique des sols, la reproduction potentiellement surnuméraire compensant les pertes. Ceci implique que la substance n'ait qu'un effet partiel et transitoire et nullement un effet permanent et cumulatif (cas des accumulations de cuivre dans les sols ayant reçu des traitements cupriques).

Un autre risque biocénotique important souvent évoqué est l'équilibre prédateur-proie. De nombreux prédateurs se nourrissent de lombriciens et leur destruction par une substance entraînerait en théorie simpliste une pullulation des lombriciens... mais je viens déjà d'indiquer que les peuplements lombriciens semblent très généralement d'abord limités par les limites du milieu physique (sol + climat) et les apports nutritionnels végétaux. L'inverse par contre est vrai. De nombreux animaux se nourrissent préférentiellement et de manière substantielle de lombriciens. La raréfaction de ceux-ci pourrait par contre expliquer bien des diminutions fauniques (y compris du gibier).

#### 4.2. LES RISQUES DANS LE CADRE DES AUTRES AGROTECHNIQUES

Si l'on peut considérer que dans une certaine mesure les peuplements lombriciens ont une aptitude à cicatrifier les létalités partielles résultant de l'emploi d'une substance, il y a par contre lieu de tenir compte des autres agressions subies par les peuplements. Il est souvent difficile d'attribuer à un seul pesticide la raréfaction des lombriciens observée dans certaines terres de grande culture. Ce sont probablement leurs effets répétés (répétition des traitements) et cumulés (multitude des agressions, série de produits variés utilisés dans les diverses cultures constitutives de l'assolement, effet synergique possible : HOUVERT *et al.*, 1982), joints aux autres facteurs défavorables induits (pauvreté des apports organiques végétaux retournant au sol du fait des désherbants, etc.) ou non (effets mécaniques traumatisants des travaux du sol, etc.) qui interviennent également. On est alors conduit à considérer l'effet global d'un type de cultures sur les peuplements. Par exemple, l'usage récent de nouveaux produits dans les grandes cultures a entraîné un abaissement dramatique des peuplements (fig. 3). Ceci ne signifie pas qu'un produit ne puisse pas à lui seul être responsable de la situation considérée. Ainsi une seule substitution en maïsiculture d'une molécule (le lindane) par une autre (le carbofuran) semble préparer la même situation que celle observable aujourd'hui en grande culture. Ces situations complexes nécessitent l'intégration des études, ce qui est aujourd'hui une technique possible.

#### 4.3. LES RISQUES ET L'UTILITÉ DES SUBSTANCES

Le rôle fondamental joué par les lombriciens dans le fonctionnement des écosystèmes (BOUCHÉ, 1984), y compris des agrosystèmes, peut être compensé en cas de

carence par diverses agrotechniques plus ou moins efficaces mais toujours coûteuses. On peut accepter une certaine diminution temporaire des peuplements (§ 4.1.) ou même un abaissement résultant d'une succession d'agrotechniques (§ 4.2.); encore faut-il savoir pour quel intérêt (intérêt économique réellement démontré de la substance) et que celui-ci compense largement les inconvénients et surcoûts ainsi induits. Il n'en est actuellement rien. On utilise en écotoxicité contrôlée des molécules complexes dans des milieux complexes et variés : par une série de « raisonnements » réducteurs, l'observation des effets se résume à quelques paramètres. Considérons ici brièvement quelques cas de paramètres non observés qui montrent que l'on ne devrait pas conclure à partir de méthodes aussi arbitrairement réductrices (BOUCHÉ, 1974).

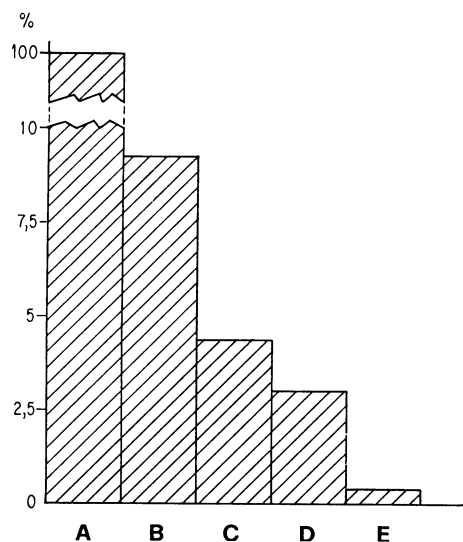


FIG. 3. — État de la lombricofaune en céréaliculture comparé à

- A : surface toujours en herbe, adjacente = 100 % de la biomasse du peuplement total,  
 B : surface en maïs (pesticide 2 kg/MA/ha/an; fongicide : 0),  
 C : surface en orge (pesticide 0,75 kg MA/ha/an; fongicide : 0),  
 D : surface en blé (pesticide 2,050 kg MA/ha/an; fongicide : 0,105 kg MA/ha/an),  
 E : surface en blé (pesticide 3,42 kg MA/ha/an; fongicide : 0,220 kg MA/ha/an).

1) Dans le court terme, en ne considérant que la mortalité induite par une substance, les cadavres peuvent libérer brutalement de l'ordre de 10 à 20 kg d'azote sous forme protéique rapidement dégradable et stimulant la dégradation par la microflore des autres formes organiques (BACHELIER, 1973) en raison de la richesse en acides aminés essentiels de ces cadavres. Cette libération d'éléments est fort susceptible d'expliquer les augmentations de rendements attribuées normalement à la seule propriété « considérée » de la substance. Ces deux interprétations, également réductionnistes, ne peuvent constituer un élément de preuve. Seule la seconde étant prise en compte, classiquement un produit géodrilicide (= destructeur des lombriciens) peut très bien avoir dans le court terme (celui des essais de pesticides) un effet positif sur

les rendements par destruction (entre autres) du capital « vers de terre ». Nous avons même pu récemment observer un effet « synergique » cadavres de lombriciens + pesticides (fig. 4).

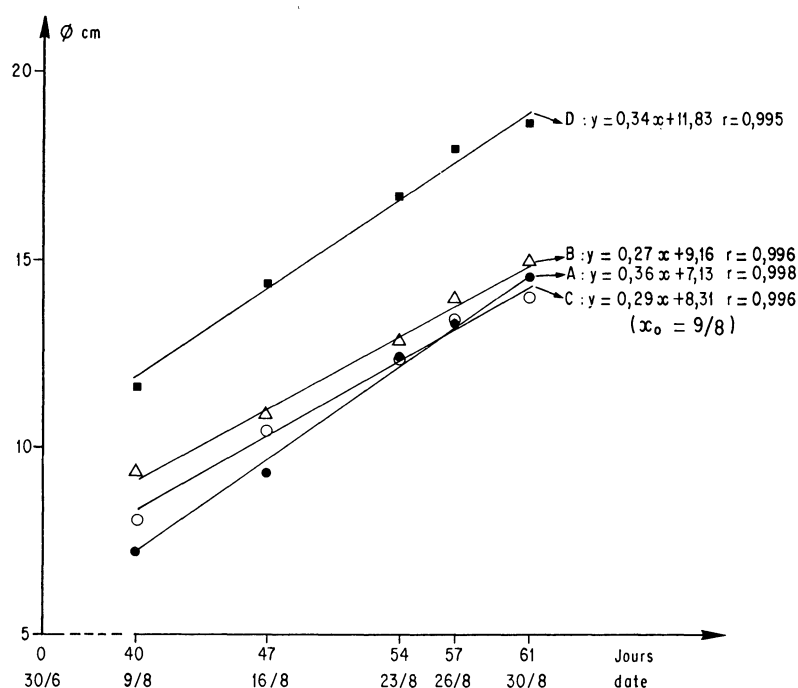


FIG. 4. — Croissance finale de la couronne de laitues n'ayant reçu aucun traitement (A), ayant reçu du carbofuran (B) (1 kg MA/ha), des cadavres lombriciens (50 g mph/m<sup>2</sup>) (C), des lombriciens vivants (50 g mph/m<sup>2</sup>) traités avec le sol au carbofuran (1 kg MA/ha) (D) (mph = masse, tube digestif plein, humide). Le dernier traitement donne une croissance significativement différente (seuil 1 %) des trois premiers, peut-être en raison de la distribution dans l'espace et le temps de la décomposition des cadavres de lombriciens traités.

2) Dans le moyen terme, la diminution, l'inhibition ou l'éradication des lombriciens, et particulièrement des lombriciens anéciques, entraînent l'arrêt de consommation-ingestion-incorporation au sol de la litière (fait normalement à environ 99 %). De ce fait, les inoculum de champignons ou d'insectes hivernant dans ces litières ne sont plus largement détruits par les transits intestinaux ou rendus inopérants par l'enfouissement. Ceci a été montré très tôt par HIRST *et al.* (1961) et RAW (1962) pour le champignon responsable de la tavelure *Venturia inaequalis* (Cooke) Wint. De même P. GRUYS (comm. pers.) constate la destruction de *Chyllonorycter* (= *Lithocolletis*) *blanchardella* F., un lépidoptère Gracillariidae dont la chrysalide hiverne dans les feuilles (ingérées par les lombriciens) tandis que les lombriciens sont sans effet sur *Stigmella malella*, Stainton, une mineuse Nepticulidae dont l'hivernage en cocon se fait dans le sol. Ainsi, une substance géodrilicide peut fort bien favoriser l'année suivante les ennemis de la culture.

3) Dans le long terme, l'abaissement systématique des peuplements de lombriciens entraîne une déstructuration du sol, un abaissement de la porosité, voire favorise la battance. Ceci avait été montré autrefois en conséquence des traitements cupriques (VAN DE WESTERIGH, 1972) et m'avait permis de pronostiquer de semblables difficultés (8 janvier 1974, rapport non publié) avec l'introduction généralisée des géodrilicides de la famille des carbamates en grandes cultures. Ce pronostic semble bien se vérifier dans la périphérie du bassin parisien où de semblables difficultés se développent effectivement quelques années après cette généralisation. Ces difficultés sont attribuées présentement à des causes orthodoxes (faible taux de matière organique et poids des machines agricoles). Ces causes, qui jouent probablement un rôle complémentaire, ne sauraient seules expliquer ces phénomènes récents car elles sont plus anciennes, à la différence des pesticides considérés : une étude des mécanismes agissant effectivement au terrain s'impose.

#### 4.4. INTERPRÉTATIONS INTÉGRÉES

Les difficultés d'interprétation des risques résultant de l'introduction d'une nouvelle substance ne relèvent donc pas seulement de l'interprétation des effets des toxicités éventuelles sur les faunes, mais d'une appréciation intégrée des conséquences au niveau des équilibres de peuplements (prédation, compétition, etc.) vis-à-vis de l'ensemble des agrotechniques, et à des échelles de temps dépassant sensiblement celui des essais aux champs en parcelles expérimentales « classiques ». D'une façon générale, un renouvellement méthodologique et conceptuel serait parfaitement possible. En restreignant ce sujet à l'objet de l'article, la connaissance de plus en plus approfondie du rôle des lombriciens est peu à peu intégrée dans un ensemble cohérent (le modèle REAL : BOUCHÉ, 1980). Ceci rend possible, dans les limites de ce modèle et de l'état de nos connaissances, une simulation des conséquences (par catégorie écologique, par niveau d'abondance affecté par une substance, par pas de temps). Ici encore, la confrontation des résultats avec des effets de substances classiques utilisées (§ 3.4., fig. 2) devrait permettre d'améliorer la fiabilité de ces estimations et remplacer l'ignorance ou le jugement empirique par des données de plus en plus fiables. Ainsi, l'interprétation des effets d'une substance sur les lombriciens en termes de danger pour les peuplements (§ 3.4.) peut être complétée d'une prédiction des conséquences techniques, écologiques et économiques. Prédiction par ailleurs contrôlable, le modèle REAL étant réfutable.

#### RÉFÉRENCES

- ABBOT W. S., 1925. — Methods of computing effectiveness of an insecticide. *J. econom. entomol.*, **18**, 265-267.
- ANDRÉ F., 1963. — Contribution à l'analyse expérimentale de la reproduction des lombriciens. *Bull. biol. Fr. Belg.*, **81**, 1, 1-101.
- Anonyme, 1982. — Toxicity for earthworms. Artisol test. In: *EEC Directive*, 19/831 Annex V. Part C, DG XI/129/82. Rev., 1-9.
- BACHELIER G., 1973. — *Étude expérimentale de l'action des animaux sur l'humidification des matériaux végétaux*. 2. Action des animaux morts sur l'humidification des matériaux végétaux. Coll. trav. docum. ORSTOM, **30**, 80 p.
- BOUCHÉ M. B., 1971. — Relation entre les structures spatiales et fonctionnelles des écosystèmes illustrées par le rôle pédobiologique des vers de terre. In: P. PESSON, ed., *La vie dans les sols*, Gauthier-Villars, Paris, 187-209.
- BOUCHÉ M. B., 1972 a. — Lombriciens de France. Écologie et systématique. *Ann. zool. Écol. anim.*, n° spécial, 72-2, 1-671.

- BOUCHÉ M. B., 1972 b. — Répartition des vers de terre appréciée par le rapport carbone-azote dans les types d'humus en France. *Ann. zool. Écol. anim.*, 71-7, 481-493.
- BOUCHÉ M. B., 1974. — Pesticides et lombriciens : problèmes méthodologiques et économiques. *Phytiatrie-Phytopharmacie*, 23, 107-116.
- BOUCHÉ M. B., 1979. — Conséquences de l'apport de contaminants sur les lombriciens. I. Problèmes en cause et méthodologie. *Doc. pédozool.*, 1, 1, 2-22.
- BOUCHÉ M. B., 1980. — Objectifs, compartimentation et faisabilité du modèle REAL (rôle écologique et agronomique des lombriciens). *Pedobiologia*, 20, 3, 197-211.
- BOUCHÉ M. B., 1984. — Les vers de terre. *La Recherche*, 156, 795-804.
- FAYOLLE L., 1979. — Conséquences de l'apport de contaminants sur les lombriciens. III. Essais de laboratoire. *Doc. pédozool.*, 1, 1, 34-65.
- FERRIÈRE G., FAYOLLE L. & BOUCHÉ M. B., 1981. — Un nouvel outil, essentiel pour l'écophysologie et l'écotoxicologie, l'élevage des lombriciens en sol artificiel. *Pedobiologia*, 22, 3, 196-201.
- HAQUE A. & EBING W., 1983. — Toxicity determination of pesticides to earthworms in the soil substrate. *J. plant. diseases. protect.*, 90, 4, 395-408.
- HIRST J. M., LE RICHE H. H. & BASCOMB C. L., 1961. — Copper accumulation in the soils of apple orchards near Nisbech. *Pl. Path.*, 10, 105-108.
- HOUPERT G., JENOT M. & LARDIER P. A., 1982. — La sensibilité accrue d'*Eisenia fetida* (Lumbricidae) aux insecticides carbamates en présence d'atrazine. *Bull. ENSAIA*, 24, 3-9.
- JAENIKE J., 1982. — « *Eisenia foetida* » is two biological species. *Megadrilogica*, 4, 1-2, 6-8.
- KARNAK R. E. & HAMELINK J. L., 1982. — A standardized method for determining the acute toxicity of chemicals to earthworms. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 6, 216-222.
- KLEIN E., 1977. — Impact d'insecticides carbamates sur l'activité pédogénétique des lombrics. *Mémoire Un. cath. Louvain, Fac. Sci. Agron. (Belgique)*, 1-138.
- LAVELLE P., 1983. — The structure of earthworm communities. In: J. E. SATCHELL, ed., *Earthworm ecology from Darwin to vermiculture*. Chapman and Hall, London, 449-466.
- LEBRUN Ph., DE MEDTS A. & WAUTHY G., 1981. — Écotoxicologie comparée et bioactivité de trois insecticides carbamates sur une population expérimentale de vers de terre *Lumbricus herculeus* (Savigny, 1826). *Pedobiologia*, 21, 225-235.
- LOFS-HOLMIN A., 1980. — Measuring growth of earthworms as a method of testing sublethal toxicity of pesticides. *Swedish J. agric. res.*, 10, 25-33.
- LOWY R., 1978. — Évaluation des effets métaboliques des pesticides. In: Anonyme, *Contamination des chaînes biologiques*. Ministère Environnement et Cadre de vie, *Rech. Environ.*, 14, 37-41.
- MA W., 1983. — Biomonitoring of soil pollution: ecotoxicological studies of the effect of soil-borne heavy metals on lumbricid earthworms. *Res. instit. natur. manag.*, ann. rep. 1982, 83-97.
- PRASAD R. & MOODY R. P., 1974. — Translocation of benomyl in elm (*Ulmus americana* L.). IX. Some ecological consequences of the treatments on population dynamics of earthworms (*Lumbricus terrestris* L.). *Information Rep., Chem. Control Res. Inst.*, Canada, CC-X-81, 1-12.
- RAW F., 1962. — Studies of earthworms population. I. Leaf burial in apple orchards. *Ann. Appl. Biol.*, 50, 389-404.
- TARRADELLAS J., DIERCXSENS P. & BOUCHÉ M. B., 1982. — Methods of extraction and analysis of PCBs from earthworms. *Int. J. Environm. Analyt. Chemistry*, 13, 55-67.
- VAN DE WESTERINGH W., 1972. — Deterioration of soil structure in worm free orchards soils. *Pedobiologia*, 12, 6-15.

## ANNEXE

## TEST DE TOXICITÉ EN ARTISOL

— Milieu d'élevage : l'artisol : pour chaque dose, 2 parties :

a) le squelette du sol : 1 425 g de billes de diamètre  $20 \pm 1,5$  mm (1);

b) la matière : mélange de 215 g d'eau désionisée à 90 g de silice hydratée amorphe marque « lévillite » (2) pour obtenir un pF = 2,5.



— *Mélange du produit chimique* :

. produit technique en poudre ou avec un solvant très volatil à mêler à la lévillite avant son hydratation,

. produit technique en solution ou émulsion hydrique à ajuster à 215 ml de l'apport hydrique. Bien mêler lévillite, eau et produit pour éviter tout tri par « chromatographie ».

— *Lombricien* : pour chaque dose 10 adultes de *Eisenia fetida* (sous-espèce et souche à préciser (\*)) (poids individuel vif compris entre 300 et 600 mg).

— *Conditions au cours du test* : obscurité, pas d'alimentation, température 15° C ou 20° C (\*), aération en surface par air naturel à humidité relative 100 %.

— *Durée de l'essai* : suffisante pour obtenir *sans ambiguïté* des animaux vifs ou morts, et un test  $F < 2,5$  (97,5 % de probabilité).

— *Expression des résultats* :

. concentration des doses en fonction du poids sec de lévillite,

. correction de mortalité d'ABBOT (1925),

. 4 doses minimales ayant un effet intermédiaire (+ 1 dose à mortalité totale et 1 dose à survie totale) (\*),

. expression des résultats : log-probit, CL50 (CL5 éventuellement) et test de signification.

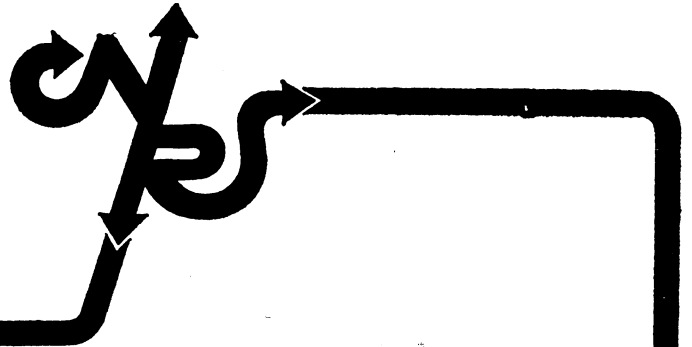
RÉFÉRENCES FOURNISSEURS

(1) Billes de verre, réf. E 14,5 g. Vetrotex Saint-Gobain, 767, quai des Allobroges, BP 86, 73001 Chambéry Cedex (France).

(2) Lévillite (marque déposée Rhône-Poulenc), réf. 24 973 297, Prolabo (produits chimiques) 12, rue Pelée, 75011 Paris (France).

---

(\*) La norme CEE (Anonyme, 1982) n'impose pas de conditions d'effets intermédiaires, de test de probabilité d'erreur  $< 2,5$  %, propose une durée de 14 jours, la température de 20° C (trop élevée par rapport aux tensions de vapeur des produits dans les sols) et n'indique que la référence *Eisenia fetida*.



LABORATOIRE DE MICROPALÉONTOLOGIE DE L'ÉCOLE PRATIQUE DES HAUTES ÉTUDES

## CAHIERS DE MICROPALÉONTOLOGIE

1981/1

Symposium : chitinozoaires (nature et systématique),  
paléomycologie

- sur l'évolution parallèle des organismes du précambrien ● proposition pour chitinozoaires : attributions systématiques, affinités fongiques ● regonflement de micro-organismes fossilisés ● relations entre les champignons fossiles et actuels ● les mycota.

(10 communications en français, 2 en anglais)

21 × 27 / 136 p. / dos collé / 35 fig. / 27 pl. / 5 tabl.  
ISBN 2-222-02906-6 / septembre 1981

90 F

RAPPEL :

1980/4 Foraminifères des récifs et lagons coralliens de Moorea, Ile de la Société, par Y. Le Calvez et B. Salvat.  
ISBN 2-222-02819-1

30 F

1980/1 2<sup>e</sup> partie : « les spores du dévonien de Libye ».  
ISBN 2-222-02655-1

45 F

# Editions du CNRS

15 quai Anatole France. 75700 Paris

CCP Paris 9061-11 - Tél. 555.92.25

M \_\_\_\_\_ chez son libraire   
profession \_\_\_\_\_ à défaut aux Éditions du CNRS (chèque joint)   
adresse \_\_\_\_\_ et demande votre documentation  
achète le livre \_\_\_\_\_  Sciences humaines  
 Sciences exactes et naturelles  
 Trésor de la langue Française  
 Revue de l'Art