

Etude de la sensibilité d'*Enchytraeus variatus* (Oligochaeta, Enchytraeidae) à certains sels de métaux lourds en vue de son utilisation comme organisme test

C. Guérin¹
N. Giani¹
M. Sire¹

Mots-clés : *Enchytraeus*, biologie, métaux lourds, toxicité, organisme test.

E. variatus est une espèce de petite taille facile à élever au laboratoire ; elle peut se reproduire par voie asexuée (fragmentation). L'influence de certains sels de métaux lourds sur la mortalité, le taux de fragmentation et la croissance des populations ont été étudiés afin d'établir les possibilités d'utilisation de cette espèce amphibie pour tester la toxicité des sédiments aquatiques. Les sels de Cd, Cu et Zn provoquent une mortalité proportionnelle à leur concentration. Le zinc est le métal le plus nocif ; le plomb n'entraîne pas de mortalité significative à court terme (72 heures). Les sels de métaux utilisés modifient de façon variable le taux de fragmentation et de croissance des populations. La fragmentation complique l'interprétation des résultats des tests auxquels cette espèce est soumise. De ce fait, *E. variatus* ne semble pas être un bon candidat comme organisme test, comme le sont d'autres espèces du même genre.

A study of the sensitivity of *Enchytraeus variatus* (Oligochaeta, Enchytraeidae) to certain salts of heavy metals in relation to its use as a test organism

Keywords : *Enchytraeus*, biologie, heavy metals, toxicity, test organism

E. variatus is a small species that is easy to rear in the laboratory ; it is able to reproduce asexually (fragmentation). The influence of certain salts of heavy metals on the mortality, fragmentation rate and growth of populations has been studied in order to establish the possibilities of using this amphibious species to test the toxicity of aquatic sediments. Salts of Cd, Cu and Zn produced a mortality proportional to their concentration. Zinc is the most harmful metal ; lead did not cause a significant mortality in a short time period (72 hours). The metal salts used in the experiments modified in a variable way the fragmentation rate and growth of the populations. Fragmentation complicates the interpretation of the results of the tests used on this species. Hence, *E. variatus* does not seem to be suitable as a test organism, as are other species of the same genus.

1. Introduction

Les Enchytraeidae ont récemment été utilisés pour tester la toxicité de certaines substances dans les sols (Kaufman 1975, Bethke-Beilfuss 1986, Römbke & Knacker 1989, Westheide & Bethke-Beilfuss 1991) ou dans les milieux aquatiques (Römbke & Knacker *op. cit.*). Ce sont généralement des espèces du genre *Enchytraeus* qui ont été employées.

Les caractéristiques d'une nouvelle espèce, *Enchytraeus variatus* Bouguenec & Giani, 1987, ont fait de cette forme un organisme test potentiel. En effet, *E. variatus* est un ver de petite taille (6 à 11,5 mm, 25 à 31 segments), aisé à élever. Son temps de génération est très court, 26 jours en moyenne d'œuf à œuf ; il peut se reproduire asexuellement, parfois exclusivement, par fragmentation (Bouguenec & Giani 1989). Cette espèce terrestre ou amphibie pourrait permettre de tester, en laboratoire, la toxicité de sédiments prélevés dans le milieu naturel et utilisés comme substrat d'élevage, en l'absence d'eau surnageante.

¹. Laboratoire d'Hydrobiologie, Université Paul Sabatier, URA CNRS 695, 118, route de Narbonne, 31062 Toulouse Cedex, France.

Dans cette optique, nous avons réalisé une analyse préliminaire, destinée à évaluer la sensibilité de cette espèce. Cette étude est basée sur l'observation en laboratoire des effets de sels de métaux lourds (plomb, cuivre, zinc et cadmium), utilisés seuls ou associés deux par deux, sur la mortalité, la fragmentation et la croissance des populations de cet Enchytraeidae. L'influence du plomb et celle du cadmium ont été précisées en fonction de la température, de la teneur en matière organique du substrat et du pH.

2. Matériel et méthodes

Les vers ont été élevés selon la méthode préconisée par Bouguenec (1987). Les expériences ont été effectuées dans des boîtes en plastique (dimensions : 4 × 5 × 1 cm) dont le fond était recouvert par 1 gramme de terreau de tourbe de sphaigne et de carex (NF U44-551) humidifié à l'aide de 3 ml de solution du (des) sel(s) métallique(s) à tester (Tableaux 1 et 2) ou d'eau du robinet pour les témoins.

Tableau 1. Concentrations (en mg/g de poids sec) des métaux utilisés lors des tests.

Table 1. Concentrations (in mg/g dry weight) of metals used for the tests.

Cd	14,7	25,7	36,7	55,2	73,6
Cu	11,3	34,0	56,7	70,8	85,0
Zn	11,5	22,9	34,4	45,8	57,3
Pb	3,0	24,0	400,0	801,3	1600,0

Au début de chacune des expériences, 10 vers adultes, non sexuellement matures, ont été introduits

dans les boîtes. Chaque essai a fait l'objet de 3 répliqués accompagnés de 3 témoins. Tous les tests ont été réalisés à l'obscurité. Les paramètres dont nous n'avons pas étudié l'influence sont restés constants (pH = 5,8 ; température = 20°C ; teneur en matière organique = 54 %).

Le cadmium, le cuivre et le zinc ont été utilisés sous forme de chlorures en solution aqueuse et le plomb sous forme de citrate et de carbonate. Pour étudier les effets d'éventuelles synergies, les métaux ont été associés deux par deux (Tableau 2).

L'influence des facteurs environnementaux a été étudiée sur le plomb à la concentration de 15,6 mg/l, et le cadmium à 3,5 mg/l, utilisés sous forme de solution de Pb(NO₃)₂, et de CdCl₂. L'influence de la température a été étudiée à 10, 20 et 30°C et celle du pH du substrat pour des valeurs de 5,5, 7 et 8,5. L'ajout de sable calciné au terreau a permis d'obtenir des substrats à 54 %, 27 % et 13,5 % de teneur en matière organique.

Les expériences sur les effets à court terme ont duré 72 heures ; des essais préliminaires ont montré que, comme l'avaient noté Römcke & Knacker (1989), les effets observés après 96 heures ne diffèrent pas significativement de ceux observés après 72 heures. Les individus et les fragments ont été dénombrés toutes les 24 heures.

Les expériences sur les effets à moyen terme ont duré 14 et 39 jours. Deux concentrations en plomb et en cadmium ont été utilisées : 1,2 mg/g PS puis 0,5 pour le Pb, 0,3 mg/g PS puis 0,1 pour le Cd.

Les principaux paramètres étudiés sont :

Tableau 2. Effets des associations entre les métaux (concentrations en mg/g de poids sec) sur la mortalité d'*E. variatus* : S : synergie ; A : antagonisme ; R : rien, aucun effet. Dans la partie inférieure du tableau figurent les codes utilisés pour identifier les diverses associations.

Table 2. Effects of associations between the metals (concentrations in mg/g dry weight) on the mortality of *E. variatus* : S : synergy ; A : antagonism ; R : nothing, no effect. The codes used to identify the different associations are figured in the lower part of the table.

Concentrations	CADMIUM		CUIVRE		ZINC		PLOMB	
	14,7	36,7	11,3	34	11,5	22,9	3	24
CADMIUM	14,7		S	S	R	S	R	R
	36,7		S	S	R	S	S	S
CUIVRE	11,3	CC1	CC2		R	R	R	R
	34	CC3	CC4		R	R	R	R
ZINC	11,5	CZ1	CZ2	ZC1	ZC2		A	A
	22,9	CZ3	CZ4	ZC3	ZC4		A	A
PLOMB	3	PC1	PC2	CP1	CP2	PZ1	PZ2	
	24	PC3	PC4	CP3	CP4	PZ3	PZ4	

1) le taux de mortalité et son corrolaire, la DL-50 ; ils ont été déterminés pour les adultes et les jeunes individus (fragments) qui peuvent avoir une sensibilité différente (Römbke & Knacker 1989) ;

2) les effets sublétaux sur la fragmentation (exprimée par le taux de fragmentation) et sur la croissance de la population (exprimée par le taux d'accroissement).

3. Résultats

3.1. Effets à court terme

Mortalité

Dans le cas du cadmium, du zinc et du cuivre la mortalité de la population totale (adultes + fragments) est une fonction plus ou moins exponentielle de la concentration (Fig. 1) ; elle est complète pour la plus forte concentration testée de cadmium et de cuivre et pour les deux plus fortes de zinc. En présence de plomb, la mortalité d'*E. variatus* est faible (Fig. 1 Pb).

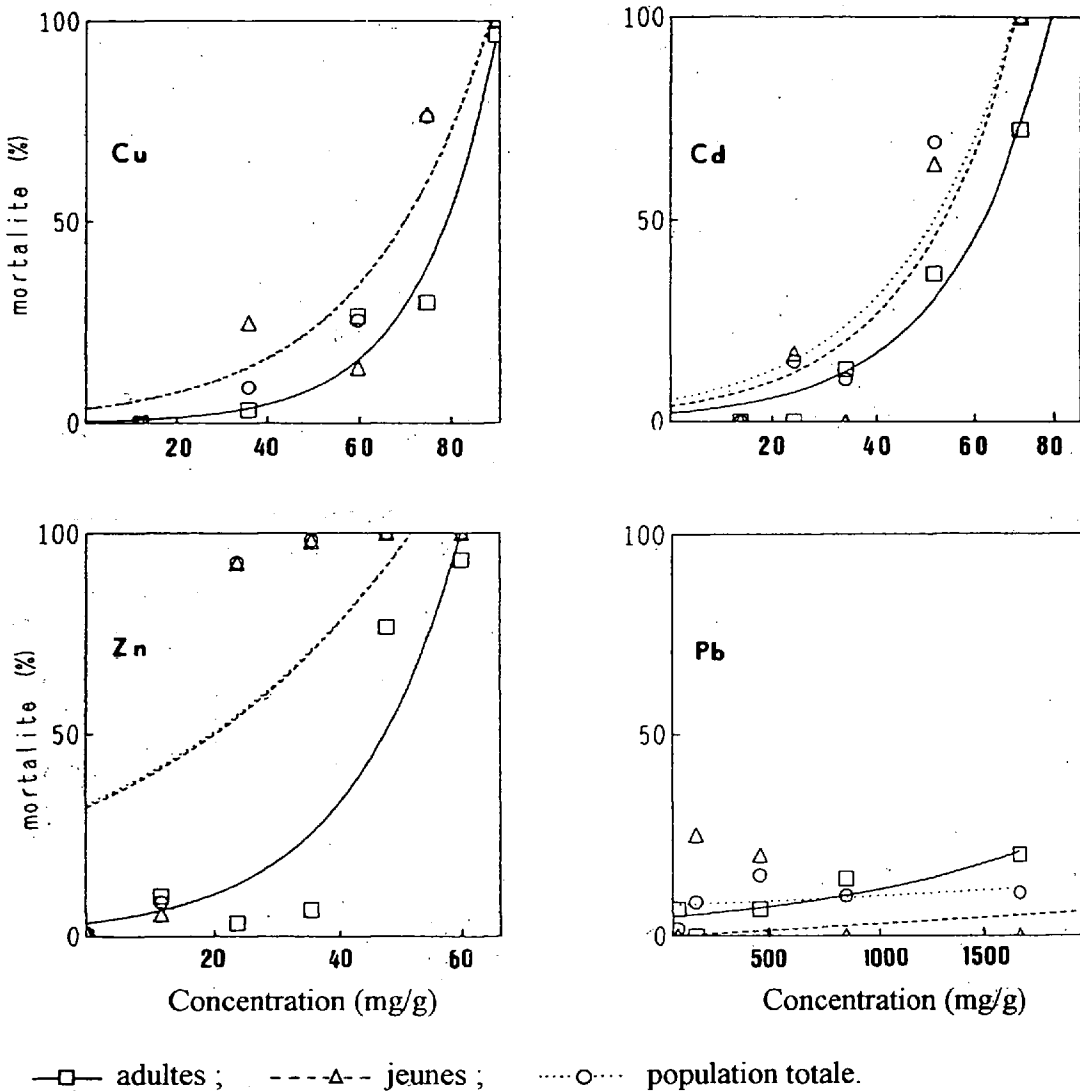


Fig. 1. Mortalités (en %) d'*E. variatus* observées après 72 heures en présence de concentrations croissantes en Cd, Cu, Pb et Zn.

Fig. 1. % mortality of *E. variatus* after 72 h-exposure to high concentrations of Cd, Cu, Pb and Zn.

Excepté avec le cuivre, le seuil de concentration qui entraîne une mortalité globale significative diminue avec le temps (Tableau 3). Ces seuils sont du même ordre de grandeur pour le cuivre et pour le cadmium ; seul le zinc entraîne une mortalité aux plus faibles concentrations testées (11,5 mg/g).

Tableau 3. Concentrations seuils (en mg/g de poids sec) entraînant une mortalité significative pour *E. variatus*.

Table 3. Threshold concentrations (in mg/g dry weight) producing a significant mortality in *E. variatus*.

Métal	Cd	Zn	Cu	Pb
24h	55,2	22,9	56,7	/
48h	55,2	11,5	56,7	1600
72h	25,7	11,5	56,7	400,7

Les mortalités les plus fortes se produisent dans les premières 24 heures (Fig. 2) :

- 55,1 à 84,4 % de la mortalité totale pour le cadmium ($\bar{x} = 71,5$ %) ;
- 25,6 à 87,3 pour le cuivre ($\bar{x} = 69,1$ %) ;
- 24,9 à 92,8 % dans le cas du zinc ($\bar{x} = 75,1$).

Malgré des teneurs élevées, les sels de plomb ne provoquent aucune mortalité significative pendant cette période ; les faibles mortalités observées se produisent au cours des 48 heures suivantes.

Comme pour les adultes, quelle que soit la durée du test, la mortalité des fragments augmente avec la concentration en cadmium, en zinc et en cuivre et le sel de plomb utilisé n'a aucune influence sur la mortalité des diverses fractions de la population. Pour des concentrations équivalentes de métal, le taux de mortalité des adultes est plus faible que celui des jeunes (Fig. 1).

La DL-50

Les DL-50 calculées pour les jeunes et les fragments sont plus basses que celles calculées pour les adultes (Tableau 4). La sensibilité semble plus liée à la taille des individus qu'à l'âge. La plus grande différence entre la DL-50 des juvéniles et des adultes s'observe pour le zinc, la plus petite pour le cadmium.

Fragmentation

Dans nos expériences, les métaux n'influencent pas le nombre de fragments issus d'un individu, préalablement observé en élevage par Bouguenec & Giani (1989). Le taux de fragmentation des adultes diminue globalement, mais de façon très irrégu-

Tableau 4. DL-50 pour le cadmium, le cuivre et le zinc calculées à 24, 48 et 72 heures pour *E. variatus*.

Table 4. LD 50 for cadmium, copper and zinc calculated at 24, 48 and 72 hours for *E. variatus*.

Heures		24	48	72
Cd	Adultes	69,5	60,1	59,4
	Fragments	49,3	63,5	50,4
	Population totale	55,4	58,7	49,6
Cu	Adultes	74,8	69,6	63,4
	Fragments	71,6	34,9	65,7
	Population totale	72,3	85,3	60,8
Zn	Adultes	46,2	39,7	39,7
	Fragments	28,0	16,7	17,3
	Population totale	30,1	17,7	16,6

lière (Fig. 3), lorsque la concentration de chacun des 4 métaux augmente. Les concentrations moyennes en Zn augmentent le taux de fragmentation, contrairement aux plus fortes qui l'inhibent presque totalement (Fig. 4 Zn). En présence de plomb, quelle que soit la concentration, le taux de fragmentation des adultes est très faible au cours des premières 24 heures (Fig. 4 Pb) et il augmente ensuite.

Croissance des populations

Lors des périodes de 72 heures, la croissance de la population résulte de la seule reproduction asexuée par fragmentation. Le cadmium provoque une décroissance importante de la population (voire la disparition totale pour les plus fortes concentrations) à la fois par diminution du taux de fragmentation et augmentation de la mortalité (Fig. 5 Cd). Il en est de même pour le zinc bien que les concentrations moyennes déterminent une augmentation de la fragmentation des adultes : celle-ci ne compense pas la mortalité. Pour les concentrations basses ou moyennes en cuivre, le taux de fragmentation contrebalance la mortalité et la population stagne. Le plomb diminue le taux de fragmentation et entraîne une décroissance rapide des effectifs, suivie généralement d'une stabilisation de la population (Fig. 5 Pb).

3.2. Effets à moyen terme

Les effets à plus long terme que peuvent produire séparément le plomb et le cadmium ajoutés à faibles doses mais à intervalles réguliers, sur la croissance d'une population d'*E. variatus*, ont été étudiés.

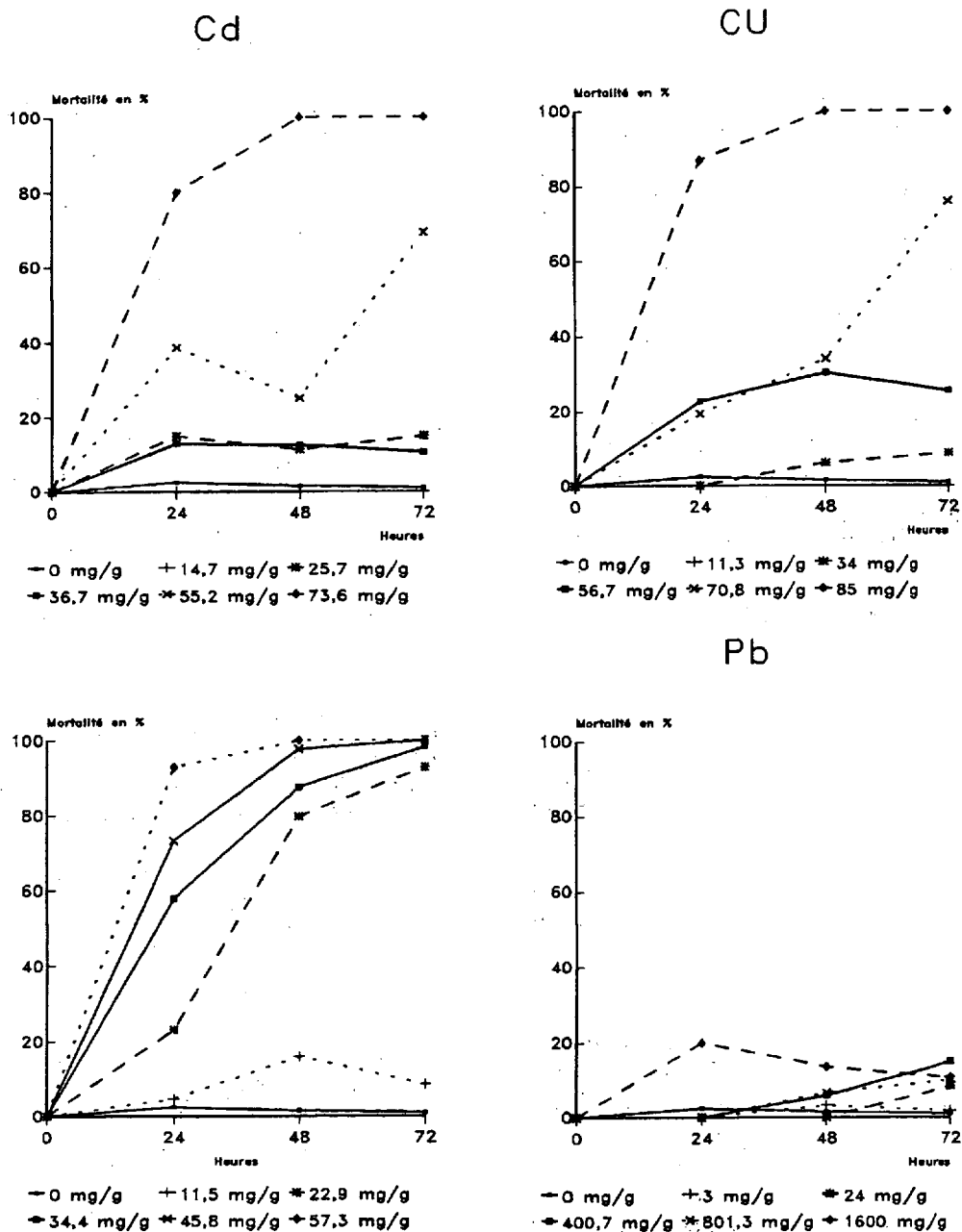


Fig. 2. Evolution de la mortalité d'*E. variatus* en fonction du temps pour différentes concentrations en Cd, Cu, Pb et Zn.

Fig. 2. Temporal changes in the mortality of *E. variatus* for different concentrations of Cd, Cu, Pb and Zn.

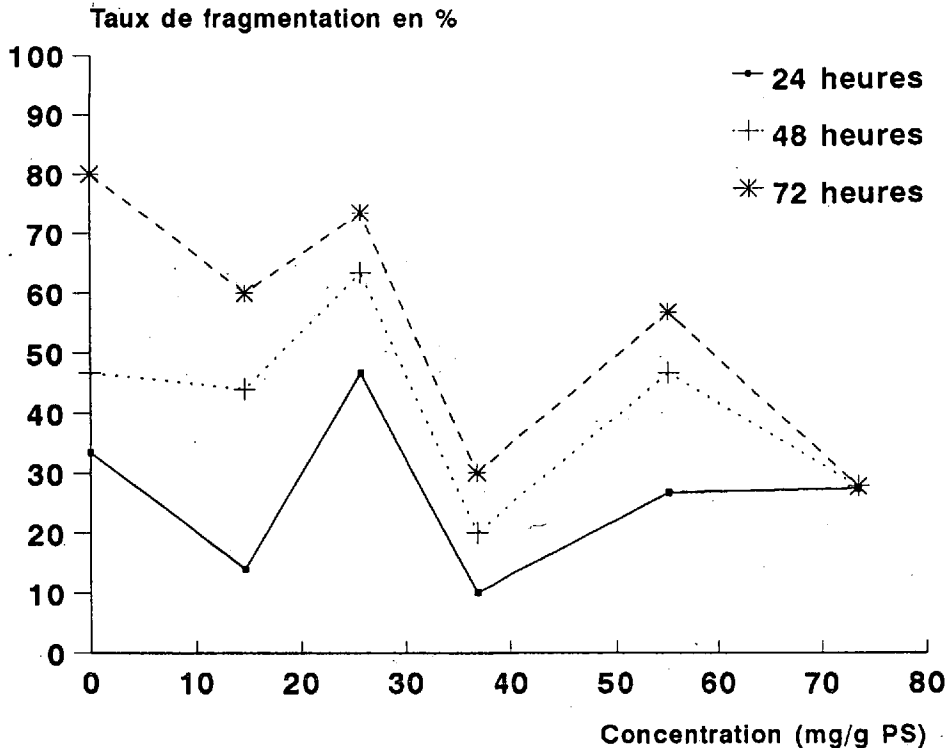


Fig. 3. Variation du taux de fragmentation d'*E. variatus* observé après 24, 48 et 72 heures en fonction de la concentration en métal : exemple du cadmium.

Fig. 3. Variation in the fragmentation rate of *E. variatus* after 24, 48 and 72 hours as a function of metal concentration : cadmium as the example.

Pour des concentrations en cadmium de 0,3 mg/g PS et en plomb de 1,2 mg/g PS, l'évolution des populations est identique à celle du témoin durant les 7 premiers jours. Au-delà, en présence de plomb, la biomasse augmente légèrement alors qu'en présence de Cd toute la population disparaît au cours de la 2^e semaine (Fig. 6A). Pour des concentrations plus faibles, l'évolution de la biomasse du témoin et celle des populations mises en présence de métaux sont identiques pendant 25 jours (Fig. 6B). En présence de cadmium la biomasse de la population diminue significativement au cours de la sixième semaine. A ce moment là, du fait des apports réguliers en métaux, 3,5 mg/g PS de plomb et 0,7 mg/g PS de cadmium ont été introduits dans le milieu.

3.3. Effets des associations de métaux

L'action de l'association deux par deux des métaux à des concentrations variables (24 combinaisons testées, Tableau 2) a été comparée à l'action

individuelle de chacun de ces métaux pour des concentrations identiques.

Effets sur la mortalité

L'association de métaux peut :

- augmenter significativement le taux de mortalité totale (Fig. 7C) par rapport à celui obtenu par addition des effets des deux métaux pris séparément (synergie additive). C'est le cas lors de l'association du plomb avec du cadmium à forte concentration, de cadmium avec du zinc lorsque les teneurs en zinc sont élevées ou de l'association cuivre-cadmium ;

- n'entraîner aucune modification significative de la mortalité totale (Fig. 7A). Les mélanges plomb-cuivre, cuivre-zinc, cadmium-zinc et plomb-cadmium à faible concentration n'entraînent aucun effet de synergie.

- abaisser le taux de mortalité totale (Fig. 7B) ; c'est le cas pour le mélange plomb/zinc, surtout pour les fortes concentrations de zinc.

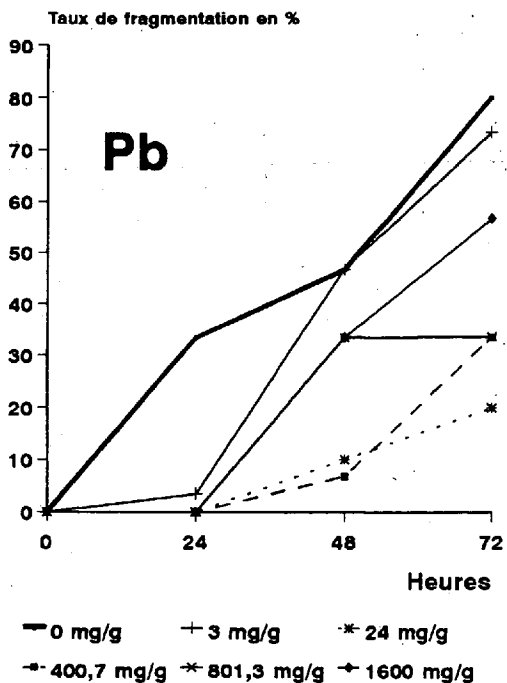
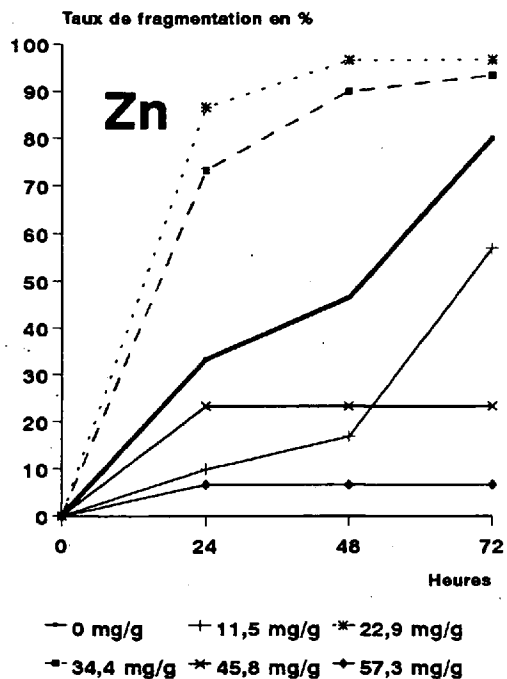


Fig. 4. Evolution dans le temps du taux de fragmentation d'*E. variatus* en fonction de la concentration en zinc (Zn) et en plomb (Pb).

Fig. 4. Temporal changes in the fragmentation rate of *E. variatus* as a function of the concentration of zinc (Zn) and lead (Pb).

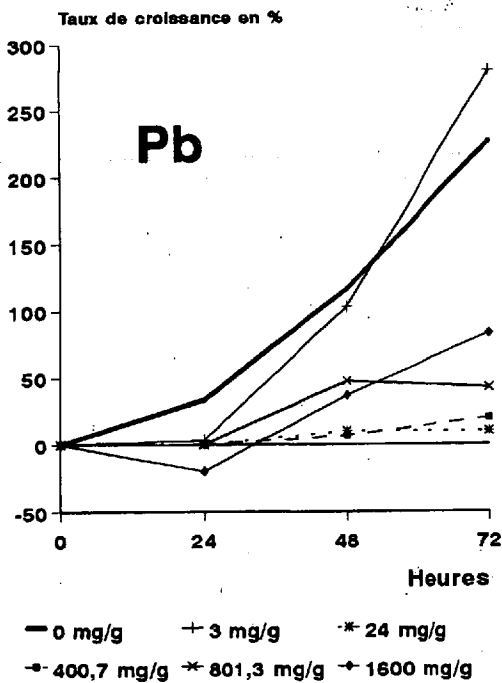
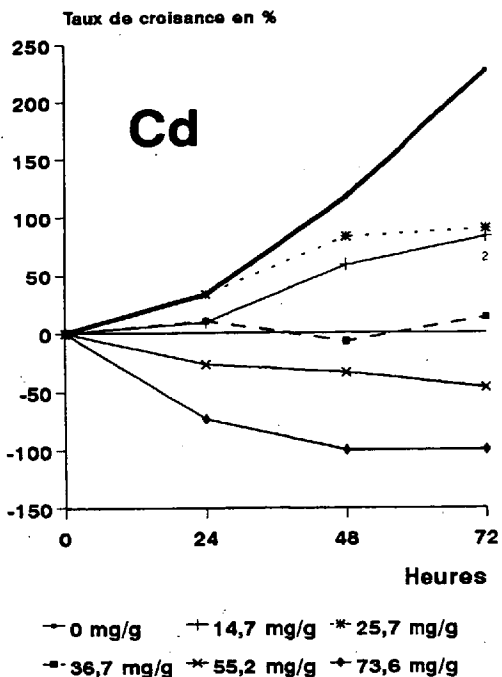


Fig. 5. Evolution dans le temps du taux de croissance de la population d'*E. variatus* en fonction de la concentration en cadmium (Cd) et en plomb (Pb).

Fig. 5. Temporal changes in the growth rate of the population of *E. variatus* as a function of the concentration of cadmium (Cd) and lead (Pb).

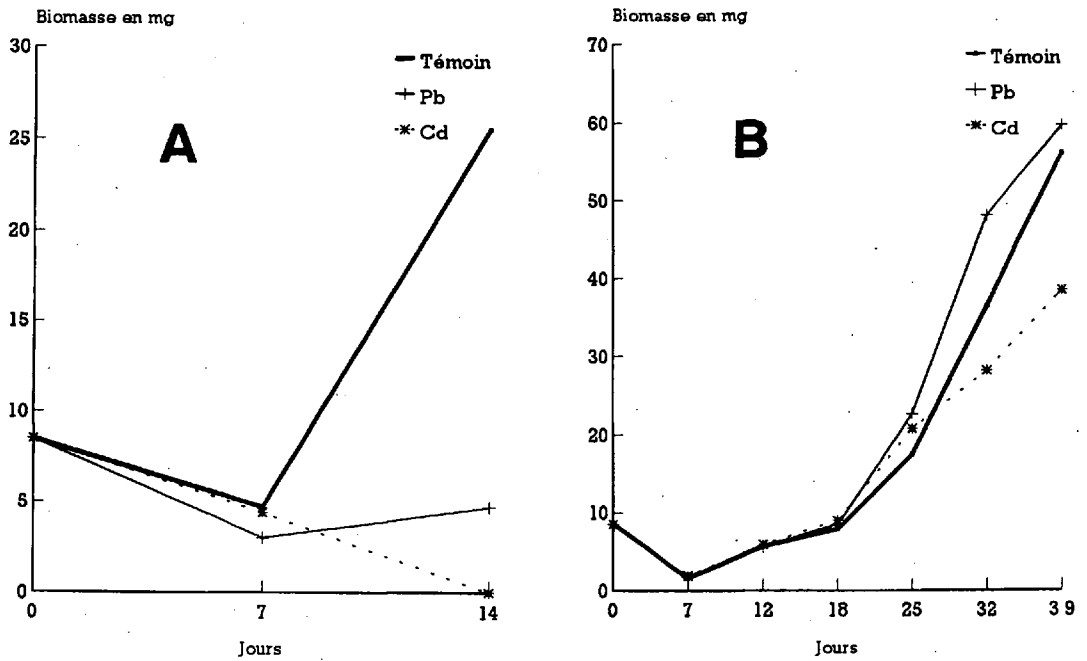


Fig. 6. Evolution dans le temps de la biomasse de populations d'*E. variatus* en présence d'un apport régulier de Pb ou de Cd comparé à celui d'une population témoin. A. — Pb : 1,2 mg/g PS ; Cd : 0,3 mg/g PS. B. — Pb : 0,5 mg/g PS ; Cd : 0,1 mg/g PS.
 Fig. 6. Temporal changes in the biomass of populations of *E. variatus* in the presence of a regular application of Pb or Cd compared to that of a control population. A. — Pb : 1.2 mg/g dry weight ; Cd : 0.3 mg/g dry weight. B. — Pb : 0.5 mg/g dry weight ; Cd : 0.1 mg/g dry weight.

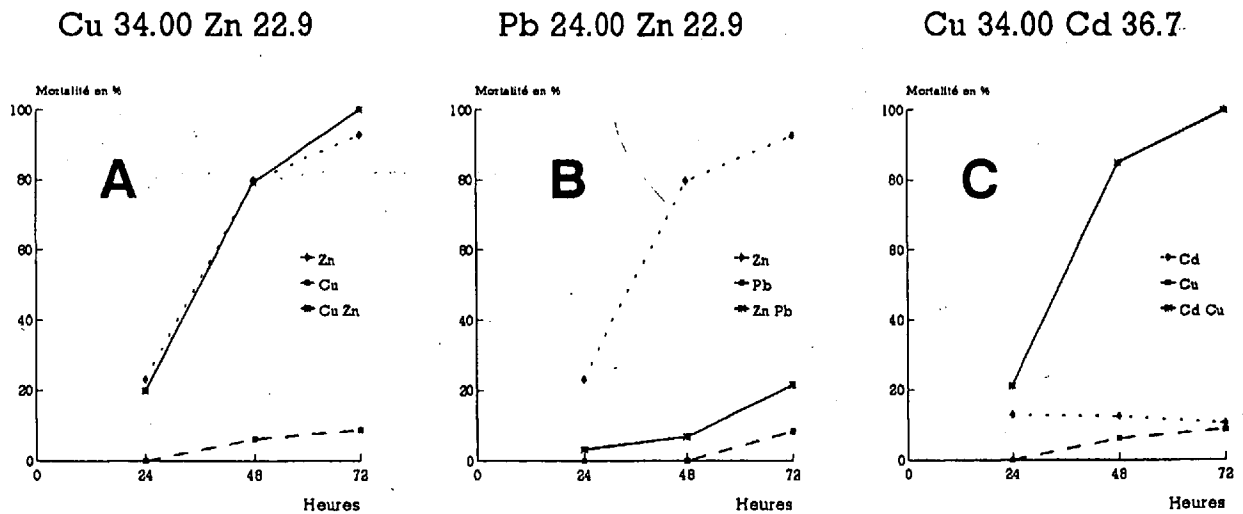


Fig. 7. Mortalité d'*E. variatus* en présence d'un mélange de sels de deux métaux comparée à celle obtenue par l'action isolée de chacun des sels de ces mêmes métaux. Exemples des effets observés: A : pas d'effet ; B : effet antagoniste ; C : synergie.
 Fig. 7. Mortality of *E. variatus* in the presence of a mixture of salts of two metals compared to that obtained with the separate action of each of the salts of the same metals. Examples of different effects: A : no effet ; B : antagonistic effect ; C : synergy.

Effets sur la fragmentation

On observe une hausse du taux de fragmentation avec les mélanges plomb/cuivre. Les autres associations (plomb/zinc, plomb/cadmium, cadmium/zinc, cuivre/cadmium et cuivre/zinc) provoquent des taux de fragmentation inférieurs à la somme des effets des 2 métaux pris séparément (Tab. 5).

3.4. Influence des facteurs environnementaux

La température n'a pas de conséquences sur la dynamique des populations étudiées excepté pour le cadmium dont la toxicité à 30°C s'est avérée beaucoup plus forte qu'à 10 ou 20°C (Fig. 8A).

C'est pour les plus faibles teneurs (13,5 %) en matière organique des sédiments que la toxicité des métaux est la plus forte ; l'action des métaux diminue lorsque la teneur en matière organique augmente et dans le cas du cadmium la relation est même linéaire (Fig. 8B).

Les valeurs de pH testées ne semblent pas avoir d'influence significative sur l'action du plomb et du cadmium vis-à-vis d'*E. variatus* : l'évolution du nombre d'individus est parallèle à celle du témoin (Fig. 8C) ; les plus faibles valeurs traduisent seulement la mortalité inhérente à la présence des métaux.

4. Discussion

Les métaux lourds ont des effets variables selon l'espèce animale considérée (Sloff 1983). Par exemple, le cuivre est plus toxique que le zinc pour *Nais* sp. (Rehwoldt et al. 1973) et pour plusieurs espèces de Polychètes (Reish & Carr 1978, Reish & Gerlinger 1984, Reish 1985). Pour *E. variatus*, quelles que soient la durée de l'expérience et la fraction de population considérée, le zinc est le plus toxique des quatre métaux testés, suivi par le cadmium puis le cuivre.

Tableau 5. Taux de fragmentation mesuré et théorique (en %) d'*E. variatus* après 24 h en présence d'une association de métaux. Taux théorique = somme des taux de fragmentation pour chacun des métaux considérés isolément. Pour la nature des associations, voir la signification des codes dans le tableau 2.

Table 5. Measured and theoretical (in %) fragmentation rate of *E. variatus* after 24 h exposure to a metals association. Theoretical rate = sum of the fragmentation rates for each of the metals considered singly. See the codes in Table 2 for the different associations.

Association	Pb/Cu	CP1	CP2	CP3	CP4
Taux	Mesuré	6,7	10,1	13,4	10,1
	Théorique	3,4	6,8	0	3,4
Association	Pb/Zn	PZ1	PZ2	PZ3	PZ4
Taux	Mesuré	0	10	3,4	20
	Théorique	13,4	90,1	10	86,7
Association	Cu/Cd	CC1	CC2	CC3	CC4
Taux	Mesuré	6,7	6,7	6,7	3,4
	Théorique	14	10,1	17,4	13,5
Association	Cu/Zn	ZC1	ZC2	ZC3	ZC4
Taux	Mesuré	16,7	6,7	33,4	43,4
	Théorique	10	13,4	86,7	90,1
Association	Cd/Zn	CZ1	CZ2	CZ3	CZ4
Taux	Mesuré	20	13,4	60	13,4
	Théorique	24	20,1	100	96,8

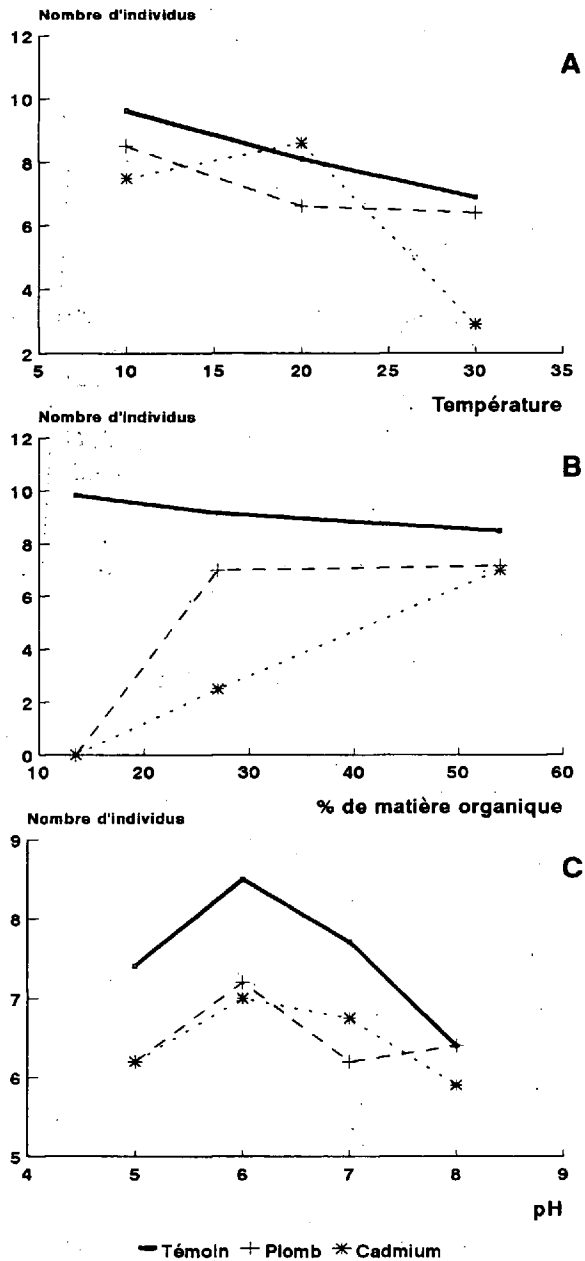


Fig. 8. Influence de la température (A), de la teneur en matière organique (B) et du pH (C) du sédiment sur la toxicité du cadmium et du plomb pour *E. variatus*, exprimée par le nombre de vers vivants au bout de 72 h.

Fig. 8. Influence of temperature (A), of organic matter content (B) and of pH (C) of the sediment on the toxicity of cadmium and lead for *E. variatus*, expressed as the number of worms still living after 72 h.

Le plomb est, parmi les métaux lourds couramment testés, le métal le moins toxique à court terme (Biesinger & Christensen 1972, Reish & Carr 1978, Reish 1985). Nos expériences n'ont pas permis de mettre en évidence d'effet significatif du citrate et du carbonate de plomb, sur la mortalité, à court terme, d'*E. variatus*. Ces sels ont un produit de solubilité très faible et se dissocient peu dans l'eau. Nous avons donc testé le nitrate de plomb ($Pb(NO_3)_2$) dont le produit de solubilité est plus élevé et qui a été choisi par Jones (1938) pour évaluer la sensibilité au plomb de plusieurs espèces aquatiques. Sous cette forme le plomb présente une toxicité aiguë pour *E. variatus*.

L'effet des métaux lourds varie aussi en fonction des conditions de milieu : leur nocivité peut dépendre de la température, du pH, de la dureté de l'eau ou de la salinité (Mathis & Cumming 1973, Chapman & Brinkhurst 1984). La toxicité des métaux utilisés dans ce travail a peu varié avec la température sauf pour le cadmium qui s'est avéré plus toxique à 30°C. Elle s'est révélée indépendante du pH, dans la gamme des valeurs testées (entre pH 5 et 8) avec *E. variatus* qui correspond à celle où une espèce voisine, *E. albidus*, ne manifeste aucun signe de gêne (Römbke & Knacker 1989). Par contre la toxicité a diminué avec l'augmentation de la teneur en matière organique du substrat. Les métaux lourds de l'eau interstitielle sont fixés ou complexés par la matière organique et leur toxicité, essentiellement due aux ions métalliques libres, diminue (Nebeker et al. 1986, Hamilton et al. 1987). Les conditions de milieu d'un éventuel test utilisant *E. variatus* amoindriront ce problème car les sédiments aquatiques ont une teneur en matière organique beaucoup plus faible que le terreau utilisé dans nos essais. Subsistera l'inconvénient d'utiliser un sédiment partiellement déshydraté (pas d'eau surnageante) qui atténuera la toxicité des métaux par rapport aux sédiments *in situ* : la majorité des toxiques sont 2000 fois moins toxiques dans le sol que dans l'eau (Römbke & Knacker 1989).

Parmi les Oligochètes, les DL-50 observées pour un même métal sont très variables : pour le cadmium elles vont de 3,5 mg/l à 12,9 mg/l pour diverses espèces de Tubificidae (Chapman & Brinkhurst 1984). De même la toxicité du sulfate de cuivre varie pour des espèces aussi proches que *Nais communis* et *N. variabilis* (Learner & Edwards 1963). Si l'on compare les DL-50 observées, il semble qu'*E. variatus*

soit, par exemple, beaucoup plus résistant au cadmium que *L. hoffmeisteri* ou *Tubifex tubifex*, 2 espèces aquatiques étudiées par Chapman & Brinkhurst (1984). Mais les différences peuvent aussi résulter de différences de toxicité en fonction des conditions expérimentales, telle celle que nous avons observée pour le plomb. Les DL-50 obtenues pour le cuivre avec cette espèce sont 100 à 300 fois plus élevées que celles pour *Nais* sp. et 3 fois plus élevées pour le cadmium ; les DL-50 pour le zinc sont équivalentes. On peut donc conclure qu'*E. variatus* est une espèce peu ou moyennement sensible.

Dans le cas d'*E. variatus*, le zinc, le cadmium et le cuivre provoquent une mortalité significative des adultes et des fragments. Le taux de mortalité des adultes est plus faible que celui des jeunes et des fragments : la sensibilité varie donc selon les stades et semble liée à la taille. La mortalité est généralement un paramètre peu sensible (Dean-Ross 1983, Wiederholm 1987) et c'est pour cela que plusieurs auteurs ont proposé d'utiliser des paramètres sublétaux portant notamment sur le taux de reproduction (Wiederholm 1987, Westheide & Bethke-Beilfuss 1991). Chez *E. variatus*, la toxicité se manifeste aussi par certains effets sublétaux, par exemple sur la fragmentation. Les métaux, y compris le plomb qui n'a pas d'effet sur la mortalité, entraînent généralement une baisse du taux de fragmentation des adultes dans les premières 24 heures ; celle-ci est d'autant plus forte que la concentration augmente mais le nombre de fragments que donne un individu est indépendant de la présence des métaux. Notons que l'augmentation importante du taux de fragmentation observée pour des concentrations moyennes en zinc et en cuivre semble pouvoir être interprétée comme une réaction ultime des individus avant la mort. Le phénomène de fragmentation, peu courant chez les Enchytraeidae, pose des problèmes dans le déroulement des tests et complique l'interprétation des résultats. Il semble très difficile d'établir un critère prenant en compte la fragmentation comme l'avaient déjà noté Dermott & Medawar (1992) avec *Lumbriculus variegatus*.

Cette étude met en évidence certaines caractéristiques qui rendent difficile l'utilisation de cette espèce dans un biotest, contrairement à une espèce jumelle (*E. crypticus* Westheide et Graefe, 1992). Certains paramètres relatifs à la reproduction sexuée ont fait de cette dernière espèce un organisme test intéressant (Westheide & Bethke-Beilfuss 1991).

Références

- Bethke-Beilfuss D. 1986. — Auswirkungen von Pestiziden auf den Lebenszyklus verschiedener *Enchytraeus*-Arten (Oligochaeta, Enchytraeidae). Thèse de Doctorat, University of Osnabrück, R.F.A., 101 p.
- Biesinger K.E. & Christensen G.M. 1972. — Effects of various metals on survival, growth, reproduction and metabolism of *Daphnia magna*. *J. Fish. Res. Board. Can.*, 29 (12) : 1691-1700.
- Bouguenec V. 1987. — L'élevage en masse d'Enchytraeidae : étude bibliographique, mise au point expérimentale et tests dans l'alimentation des poissons. Thèse de Doctorat, Université Paul Sabatier, Toulouse, France, 352 p.
- Bouguenec V. & Gianì N. 1989. — Biological studies upon *Enchytraeus variatus* Bouguenec et Gianì, 1987 in breeding cultures. *Hydrobiologia*, 180 : 151-165.
- Chapman P.M. & Brinkhurst R.O. 1984. — Lethal and sublethal tolerance of aquatic oligochaetes with reference to their use as a biotic index of pollution. *Hydrobiologia*, 115 : 139-144.
- Dean-Ross D. 1983. — Methods for the assessment of the toxicity of environmental chemicals to earthworms. *Regulatory Toxic Pharmacol.*, 3 : 48-59.
- Dermott R. & Munawar M. 1992. — A simple and sensitive assay for evaluation of sediment toxicity using *Lumbriculus variegatus* (Müller) ; *Hydrobiologia* 235/236 : 407-414.
- Hamilton R.D., Klaverkamp J.F., Lockhart W.L. & Wagemann R. 1987. — Major aquatic contaminants, their sources, distribution and effects. *Bull. Fish. Aquat. Sci. Can.*, 215 : 357-386.
- Jones J.R.E. 1938. — The relative sensitivity of aquatic species to lead in solution. *J. Anim. Ecol.*, 7 : 287-289.
- Kaufman E.S. 1975. — Certain problems of Phenol intoxication of *Enchytraeus albidus* from the viewpoint of stress. *Hydrobiol. J.*, 11 : 44-46.
- Learner M.A. & Edwards R.W. 1963. — The toxicity of some substances to *Nais* (Oligochaeta). *Proc. Soc. Wat. Treat. Exam.*, 12 : 161-168.
- Mathis B.J. & Cummings T.F. 1973. — Selected metals in sediment water and biota in the Illinois River. *J. Wat. Pollut. Control. Fed.*, 45 : 1573-1583.
- Nebeker A.V., Onjukka S.T., Cairns M.A., Frawczyk D.F. 1986. — Survival of *Daphnia magna* and *Hyalella azteca* in cadmium spikes water and sediment. *Environ. Toxicol. Chem.*, 5 (10) : 933-938.
- Reish D.J. 1985. — The use of the polychaetous annelid *Neanthes arenaceodentata* as a laboratory experimental animal. *Thétys*, 11 (3-4) : 335-341.
- Reish D.J. & Carr R.S. 1978. — The effect of heavy metals on the survival, reproduction, development and life cycles for two species of polychaetous annelids. *Mar. Pollut. Bull.*, 9 : 24-27.
- Reish D.J. & Gerlinger T.V. 1984. — The effects of cadmium, lead and zinc on survival and reproduction of the polychaetous annelid *Neanthes arenaceodentata*. Proceeding of the first International Polychaete Conference, Linnean Society of New South Wales, Sydney, Australia, Hutchings, P.A., ed. : 383-389.

- Rehwoldt R., Lasko L., Shaw C. & Wirhowski E. 1973. — The acute toxicity of some heavy metal ions toward benthic organisms. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 10 (5) : 291-294.
- Römbke J. & Knacker T. 1989. — Aquatic toxicity test for enchytraeids. *Hydrobiologia*, 180 : 235-242.
- Sloof W. 1983. — Benthic macroinvertebrates and water quality assessment : some toxicological considerations. *Aquatic Toxicol.*, 491 : 73-82.
- Wiederholm T. 1987. — Bulk sediment bioassays with five species of freshwater oligochaetes. *Wat. Air Soil Pollut.*, 36 : 131-154.
- Westheide W. & Bethke-Beiffuss D. 1991. — The sublethal enchytraeid test system : guidelines and some results. In Esser E. & Overdieck D. (eds), *Modern Ecology : Basic and applied aspects*. Elsevier, Amsterdam, 497-508.