

Comparaison de la sensibilité de deux crustacés : *Gammarus gauthieri* et *Daphnia magna*, à la toxicité létale des extraits de sédiments de quatre cours d'eau marocains

A. Maarouf¹
S. Mazlani²
J.-C. Pihan³
E. Belkhadir⁴

Mots clés : *Gammarus gauthieri*, *Daphnia magna*, toxicité létale, extraits de sédiments, Maroc.

Deux crustacés d'eau douce : *Gammarus gauthieri* et *Daphnia magna* sont utilisés pour évaluer la toxicité létale des extraits aqueux de sédiments. Quatorze échantillons de sédiments provenant de 4 cours d'eau marocains sont étudiés.

Seuls les sédiments des stations situées en aval des rejets des eaux usées se sont révélés toxiques. Les CL50 24h montrent la grande sensibilité du test « *G. gauthieri* ». Ce dernier a permis de classer les cours d'eau selon leur degré de contamination :

Oued Boufekrane > O. Tensift > O. Martil > O. Sebou.

Le dosage de trois métaux (Cu, Mn et Zn) par Spectrophométrie d'Absorption Atomique dans les extraits de sédiments de l'O. Boufekrane montre une augmentation significative en Cu et en Zn dans les extraits toxiques. Dans les sédiments de ces stations, nous avons constaté également de fortes augmentations de la matière organique et de la conductivité.

Le test *G. gauthieri* est une méthode utile pour comparer et classer la toxicité des extraits de sédiments contaminés.

Comparison of the sensitivity of two crustaceans : *Gammarus gauthieri* and *Daphnia magna* to lethal toxicity of sediment extracts from four Moroccan freshwater rivers

Keywords : *Gammarus gauthieri*, *Daphnia magna*, lethal toxicity, sediment extracts, Morocco.

Two freshwater crustaceans : *Gammarus gauthieri* and *Daphnia magna* were used to evaluate the lethal toxicity of sediment water extracts. Fourteen sediment samples taken from four freshwater rivers were tested.

Only the sediments of stations located downstream of the waste-water effluents showed toxic effects. The LC50 for 24h demonstrated the great sensitivity of the « *Gammarus gauthieri* test ». This latter test has led to a classification of rivers based on their degree of contamination Boufekrane > Tensift > Martil > Sebou.

Three metals (Cu, Mn and Zn) analyzed by Atomic Absorption Spectrophotometry in the sediment extracts of Boufekrane river showed a significant increase of Cu and Zn concentrations in the toxic extracts. In the sediments of these stations, we have also noticed large increases in the organic matter and conductivity.

G. gauthieri assay is useful as a method of comparing and ranking the toxicity of mineral and organic extracts of contaminated sediments.

1. Département de Biologie, Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech. B.P. 618, Maroc.

2. Département de Biologie, Faculté des Sciences Semlalia de Marrakech, B.P. S 15, Maroc.

3. Centre de Recherches Ecologiques, Université de Metz, Laboratoire d'Ecotoxicologie, 1, rue des Récollets, B.P. 4116, 57040 Metz Cedex 01, France.

4. Laboratoire d'Hydrobiologie, Faculté des Sciences de Meknès, Maroc.

1. Introduction

De très nombreux auteurs se sont intéressés à l'aspect analytique des micropolluants métalliques dans les sédiments en raison de la capacité de ce compartiment à présenter des teneurs élevées de micropolluants chimiques (Lesouef et al. 1979, Weltes et al. 1983). Les sédiments constituent donc un biotope privilégié pour rechercher l'état de pollution d'un écosystème aquatique. L'analyse chimique des polluants dans les sédiments constitue le moyen d'investigation habituel. Toutefois, elle ne rend pas compte de l'effet réel de la pollution car elle n'est jamais exhaustive ; tous les polluants ne peuvent être pris en compte. En outre, la fixation des micropolluants dans les sédiments contaminés n'est jamais définitive. Sous l'influence des conditions physico-chimiques (pH, dureté, force ionique, dégradation de la matière organiques,...), ils peuvent passer dans la phase aqueuse créant ainsi une pollution intense et accidentelle (Meguellati 1982).

L'emploi des bioessais est une nécessité complémentaire aux analyses physico-chimiques (Giesy et al. 1988a, Lacaze & Paquet 1989). Ces tests doivent répondre à certains critères telles la rapidité, la simplicité, la fiabilité, la sensibilité et ils doivent être réalisables durant toute l'année. Plusieurs espèces peuvent répondre à ces critères : le test de bioluminescence chez *Photobacterium phosphoreum* (Schiewe et al. 1985, Giesy et al. 1988b), le test d'inhibition de la

croissance chez *Chlorella vulgaris* (Brauwiers 1982, Férard 1987), le test d'inhibition de la mobilité chez *Daphnia magna* (Attar & Maly 1982, Pommery et al. 1985). D'autres auteurs ont utilisé plusieurs espèces d'amphipodes pour tester la toxicité létale ou sublétales des sédiments (Ankley et al. 1989, Borgmann & Munawar 1989, Bonsdorff et al. 1990).

C'est dans ce cadre que se place notre étude portant sur l'évaluation de la toxicité des extraits de sédiments chez deux crustacés d'eau douce : *Gammarus gauthieri* Pinkster (1971) (Amphipode) et *Daphnia magna* Strauss (1820) (Cladocère). L'objectif est d'évaluer le degré de contamination des sédiments de quatre cours d'eau du Maroc en comparant la sensibilité respective de *Gammarus* et de *Daphnia* aux extraits aqueux de ces sédiments.

2. Matériel et méthodes

2.1. Présentation des stations et qualité physico-chimique globale

Présentation des stations

Pour comparer la sensibilité du test « *G. gauthieri* » à celle du test « *D. magna* », nous nous sommes intéressés, dans un premier temps, à l'étude de la toxicité des extraits de huit échantillons de sédiments qui proviennent de quatre cours d'eau dont chacun reçoit des rejets d'eaux usées urbaines (Tableau 1 et Fig. 1) :

Tableau 1. Localisation des huit stations de prélèvement des sédiments des quatre cours d'eau douce du Maroc (Date de prélèvement : avril 1989).

Table 1. Location of the eight stations of sediment samples from the four Moroccan freshwater rivers (Sampling date : April 1989).

Cours d'eau et ville concernée	Stations	Sites de prélèvement
Tensift (Marrakech)	1	1 km en amont des rejets de la ville
	2	2 km en aval des rejets de la ville
Boufekrane (Meknès)	3	1 km en amont des rejets de la ville
	4	Au centre de la ville
Sebou (Fès)	5	1 km en amont des rejets de la ville
	6	2 km en aval des rejets de la ville
Martil (Tétouan)	7	5 km en amont des rejets de la ville
	8	2 km en aval des rejets de la ville

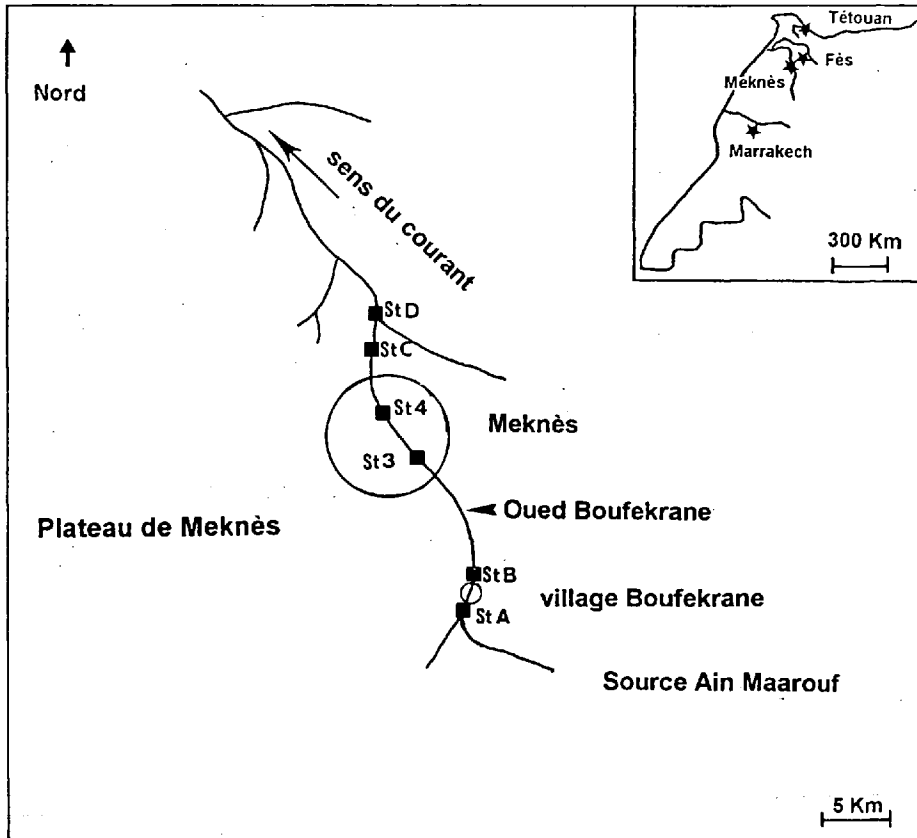


Fig. 1. Localisation des stations de prélèvement des sédiments de l'Oued Boufekrane.

Fig. 1. Location of the stations of sediment samples from Boufekrane river.

Oued Tensift à Marrakech (stations 1 et 2), Oued Boufekrane à Meknès (stations 3 et 4), Oued Sebou à Fès (stations 5 et 6) et Oued Martil à Tétouan (stations 7 et 8). Les prélèvements ont été effectués au mois d'avril 1989, en amont et en aval des rejets issus des agglomérations urbaines. La comparaison de la toxicité létale des différents extraits de sédiments est évaluée à l'aide des CL50 24h et des CI50 24h respectivement chez *Gammarus gauthieri* et *Daphnia magna*.

Pour l'Oued Boufekrane, nous avons fait une deuxième campagne de prélèvements au mois de mai 1989 concernant les stations A, B, C et D (Fig. 1). Dans ce cas, nous avons suivi l'évolution du taux de mortalité causé par les différentes dilutions des extraits de sédiments en fonction du temps d'exposition des gammarus. Ce suivi a duré 96 heures.

Qualité physico-chimique globale

Les travaux de Saädallah (1991) concernant l'Oued Boufekrane montrent que les propriétés physico-chimiques des sédiments des stations A, B, C, D, 3 et 4 diffèrent considérablement. Nos données sur le pH, la matière organique et la conductivité (Fig. 2) montrent que le pH des sédiments des six stations est légèrement alcalin avec un minimum de 7,1 pour la station 4 et un maximum de 8,1 pour la station D. Les valeurs de la conductivité et les teneurs en matière organique sont assez élevées dans les sédiments de la station B et surtout dans ceux des stations 4, C et D. Les valeurs maximales sont toujours obtenues au niveau de la station 4 avec 11 % de matière organique et une conductivité de 880 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

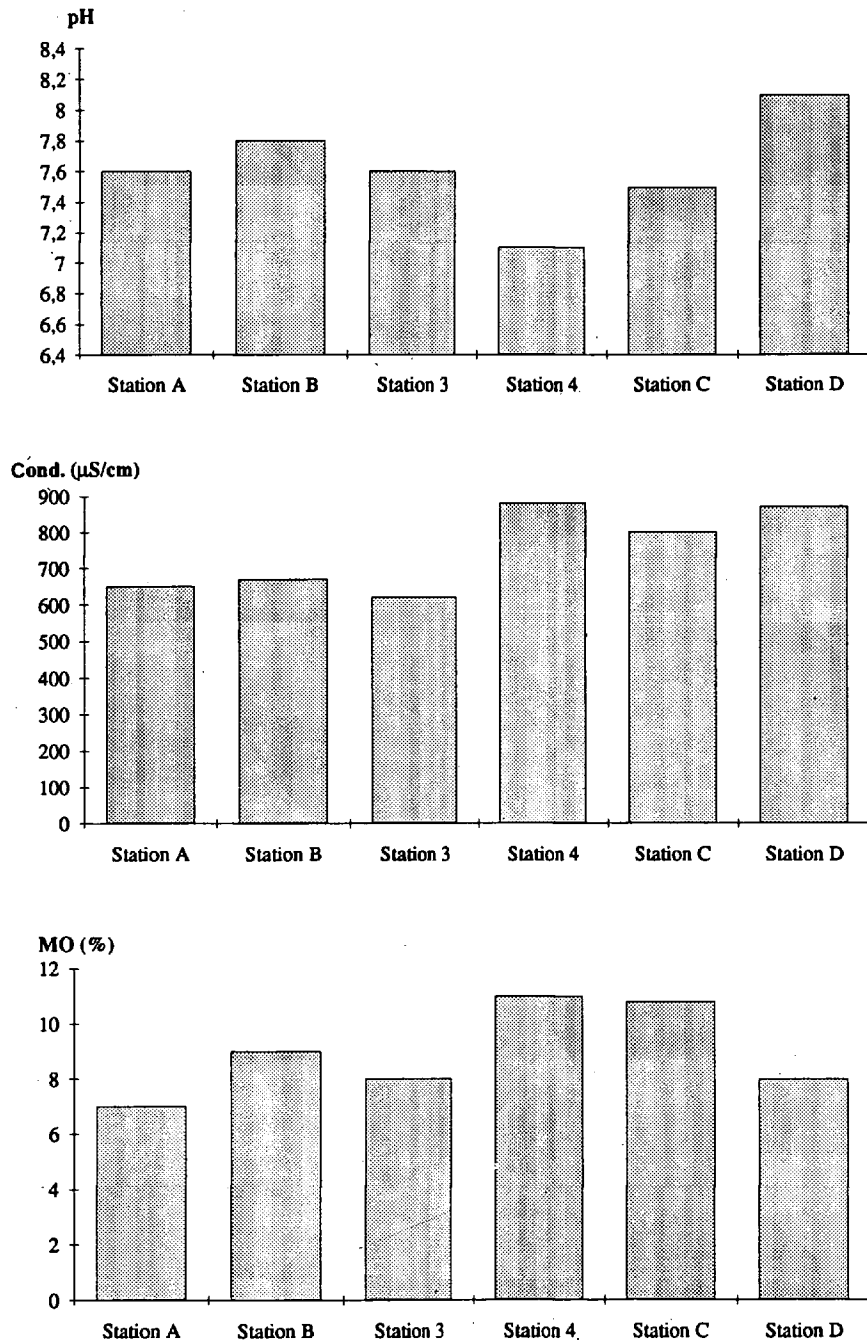


Fig 2. Evolution du pH, de la conductivité et de la matière organique des sédiments de l'Oued Boufekrane.

Fig. 2. Evolution of pH, conductivity and organic matter in the sediments of Boufekrane river.

2.2. Préparation des extraits de sédiments

Les échantillons de chaque station sont séchés pendant 48 h à 85°C puis tamisés sur une toile Inox. Seule la granulométrie inférieure à 63 μm est retenue pour cette étude car c'est la fraction qui absorbe la plus grande quantité de micropolluants (Robbe 1981, Weltes et al. 1983).

L'extrait est préparé à l'aide de la technique standard de l'EPA (1977) légèrement modifiée. Vingt grammes de sédiment sont mélangés à 200 ml d'eau prélevée dans une source de la ville de Meknès (Maroc). Le mélange acidifié à pH 4 par ajout d'acide nitrique (HNO_3 - Normapur 18N) est agité pendant 15 mn à 150 t/mn, puis centrifugé pendant 10 mn à 2 000 t/mn. Pendant l'agitation, le pH du surnageant devient légèrement basique. Il est ajusté à pH 7, avant son utilisation dans les essais, par ajout d'acide nitrique dilué (HNO_3 - 1,8 N). Dans les extraits (surnageants), nous avons dosé trois métaux lourds (Cu, Mn et Zn) qui comptent parmi les plus abondants dans les eaux usées rejetées dans l'Oued Boufekrane (Abdellaoui 1990). Le dosage est effectué à l'aide du Spectrophotomètre d'Absorption Atomique de type Philips, modèle Pye Unicam 90 000.

2.3. Mode opératoire

— Test « *G. gauthieri* »

Les gammarés utilisés sont récoltés à la source Vitel située à 3 km de la ville d'Ifrane au Moyen Atlas (1 500 m d'altitude). Ils sont acclimatés au laboratoire pendant 3 jours dans l'eau de la même source, dans une salle climatisée à $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Le test consiste à déterminer la dilution de l'extrait de sédiment qui entraîne 50 % de mortalité d'un lot de gammarés après 24 h d'exposition. Dans chaque bécher en verre de 100 ml, nous introduisons successivement le volume de l'extrait de sédiment pour obtenir la concentration souhaitée, puis nous complétons à 100 ml avec l'eau de source. Après homogénéisation, nous introduisons rapidement 5 gammarés dans chaque bécher.

Le test « *G. gauthieri* » est réalisé dans des conditions très proches du test « *G. pulex* » pratiqué par Sloof et al. (1983) pour l'évaluation de la toxicité létale à court terme (CL 50 24h) des polluants organiques et minéraux. Les récipients sont placés à $20 \pm 2^\circ\text{C}$ sous une photopériode de

16 heures de lumière et 8 heures d'obscurité. Le milieu expérimental n'est pas oxygéné. Après 24 heures, nous déterminons le nombre d'individus « morts », c'est-à-dire ceux qui sont totalement immobiles après une légère agitation du milieu.

— Test « *D. magna* »

Les daphnies sont issues d'un élevage dans une eau de source dans une salle climatisée à $20 \pm 2^\circ\text{C}$ sous une lumière artificielle. La photopériode est de 16 heures de lumière et 8 heures d'obscurité. Leur alimentation est constituée de *Chlorella vulgaris* (algue unicellulaire) cultivée dans un milieu Lefevre-Czarda (milieu LC) modifié par incorporation d'oligo-éléments selon les normes AFNOR (1980).

Une série de dilution croissante des extraits à tester est préparée à l'aide de l'eau de la même source qui a servi à l'élevage des daphnies. Le test consiste à déterminer la dilution de l'extrait de sédiment entraînant 50 % d'immobilisation des daphnies après 24 heures d'exposition (CI50 24 h). Il est effectué selon le protocole décrit par la Norme OCDE 202 (1984) avec des jeunes daphnies âgées de moins de 24 h et issues de multiplication parthénogénétique. Le volume total de chaque essai, réalisé dans des tubes en verre pyrex, est de 10 ml. Les tubes sont placés à l'obscurité à $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Après 24 h, nous déterminons le nombre d'individus « morts », c'est-à-dire ceux qui sont immobiles après une légère agitation du milieu. Les daphnies sont considérées « mortes » même si elles agitent leurs antennes.

Pour mieux déterminer la valeur de la CI50 24h chez les daphnies (ou la CL50 24h chez les gammarés), un essai préliminaire est réalisé avant chaque essai définitif. Ce dernier est répété deux fois, simultanément à deux essais témoins. Dans ces essais témoins, le pourcentage d'immobilité ou de mortalité ne doit pas dépasser les 10 %. Le contrôle de la sensibilité des daphnies est effectué également avec une solution de bichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$). Parallèlement à chaque essai définitif, la CI50 24h de cette substance de référence est déterminée. Une CI50 24h comprise entre 0,9 et 1,5 mg $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/1$ permet de conclure à la conformité du réactif utilisé et à la validité des résultats obtenus.

Les CI50 24h (pour le test daphnie) et les CL50 24h (pour le test gammare) sont déterminées à l'aide de la méthode des probits.

3. Résultats

— Etude comparative des quatre rivières

La toxicité des extraits de sédiment est évaluée par les valeurs des CL50 de l'extrait de chaque sédiment. Selon le test « *Gammarus* », les CL50 24h (Tableau

2) montrent que seuls les extraits de sédiments de trois stations aval (2, 4 et 8) se sont révélés toxiques selon l'ordre décroissant suivant :

Ouest Boufekrane (Meknès, St. 4) > O. Tensift (Marrakech, St. 2) > O. Martil (Tétouan, St. 8).

Tableau 2. Toxicité létale des extraits de sédiments chez *G. gauthieri* et *D. magna*.

Table 2. Lethal toxicity of sediment extracts on *G. gauthieri* and *D. magna*.

Station	<i>G. gauthieri</i>		Droite de régression	<i>D. magna</i>	
	CL50 24h exprimée en % de dilution de l'extrait de sédiment	Intervalle de confiance (à 95 %)		CL150 24h exprimée en % de dilution de l'extrait de sédiment	
1	> 100	-		> 100	
2	21,1	(21,83 ; 22,43)	$Y = 2,00 X + 2,300$	> 100*	
3	> 100	-	-	> 100	
4	< 10	-	-	> 100*	
5	> 100	-	-	> 100	
6	> 100*	-	-	> 100	
7	> 100	-	-	> 100	
8	46,0	(45,75 ; 46,15)	$Y = 2,723 X + 0,473$	> 100*	

* Les différences de mortalité entre chaque groupe et son témoin sont significatives pour les CL50 (CI50) supérieures à 100 % (test t au seuil de 5 %).

* Significant differences of dead animals for comparisons between each group and control are significant for CL50 (CI50) higher than 100 % (test t at 5 % level).

Par contre, les sédiments de la station 6 (O. Sebou) n'ont montré aucune toxicité, même s'ils sont prélevés à 2 km en aval des rejets des eaux usées de la ville de Fès.

Chez *D. magna*, la CI50 n'a pu être déterminée ; en effet, aucun extrait brut testé n'a provoqué de taux d'immobilité supérieur à 50 %. Ceci montre que la concentration des substances toxiques biodisponibles dans les extraits n'est pas suffisante pour causer une toxicité immobilisant plus de 50 % des individus. Nous en déduisons que dans nos

conditions expérimentales *G. gauthieri* est beaucoup plus sensible que *D. magna*.

— Etude spécifique de l'Oued Boufekrane

Au niveau de six stations de l'Oued Boufekrane (Fig. 3 et 4), le suivi de l'évolution de la mortalité de *G. gauthieri* montre que les extraits des sédiments des stations 4 et D sont les plus toxiques ; les taux de mortalité atteignent 100 % dès les premières 24 heures d'exposition. Par contre, la mortalité obtenue avec les sédiments des stations A, B et 3 ne dépasse pas 20 % à la fin du test.

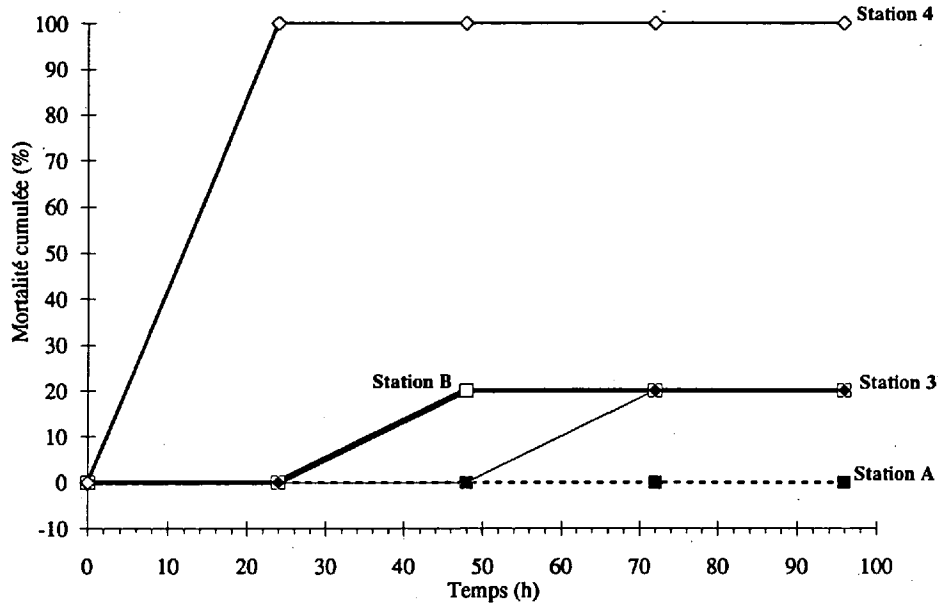


Fig. 3. Toxicité létale des extraits des sédiments de l'Oued Boufekrane chez *G. gauthieri*, dans les stations A, B, 3 et 4.

Fig. 3. Lethal toxicity of sediment extracts of Boufekrane river on *G. gauthieri* in the stations A, B, 3 and 4.

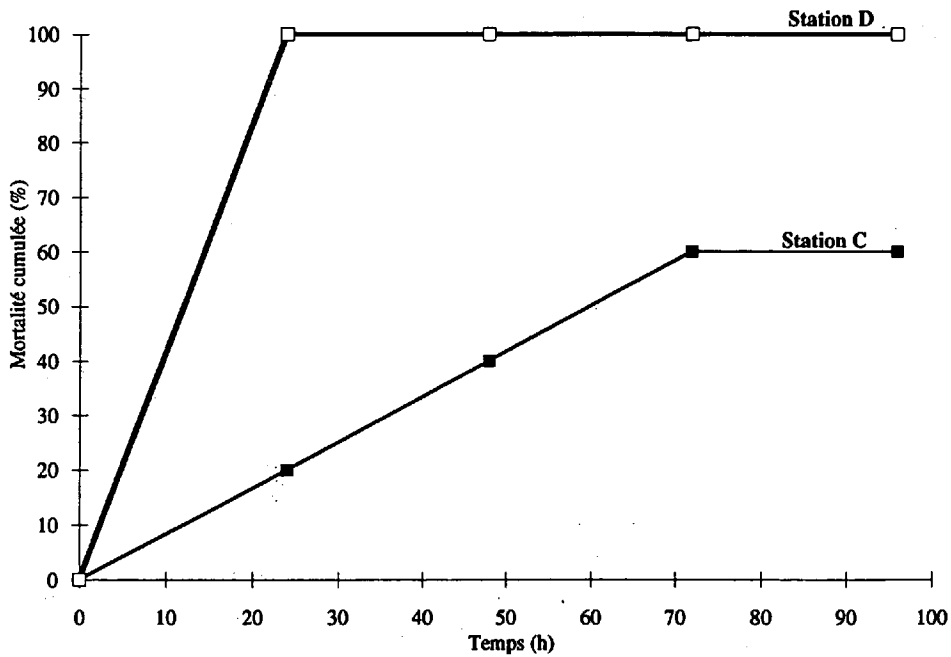


Fig. 4. Toxicité létale des extraits des sédiments de l'Oued Boufekrane chez *G. gauthieri*, dans les stations C et D.

Fig. 4. Lethal toxicity of sediment extracts of Boufekrane river on *G. gauthieri* in the stations C and D.

Les eaux usées du village de Boufekrane, rejetées entre la station A et B n'entraînent pas une dégradation significative de la qualité du sédiment du milieu récepteur. Les eaux usées qui proviennent de ce petit village sont d'origine domestique et le débit de l'Oued Boufekrane qui varie entre 460 et 870 l/s s'avère largement suffisant pour une dilution efficace des rejets du village.

En amont de la station 4, l'Oued Boufekrane reçoit les rejets domestiques et de nombreux effluents industriels de la ville de Meknès qui provoquent une pollution chimique importante du sédiment des stations situées en aval. Ainsi, 2 kilomètres en aval des rejets de cette ville, les sédiments de la station C provoquent encore 60 % de mortalité en 72 h chez les gammarès. Le phénomène de dilution est largement insuffisant pour une amélioration significative de la qualité des sédiments des stations en aval de la ville.

Il faut noter que les résultats des tests peuvent varier d'une campagne à l'autre. La figure 5 montre une comparaison de la mortalité cumulée après 96 h d'exposition aux extraits des sédiments des mêmes stations prélevés aux mois d'avril et mai de la même année (1989). Seuls les sédiments des stations B, 4 et C présentent une toxicité létale identique pour les deux campagnes. Par contre, on remarque une différence de 20 % entre les tests de deux

essais pour les stations A et 3 et de 40 % pour la station D. Les résultats des tests de la deuxième campagne confirment le classement de la toxicité des sédiments des stations selon l'ordre suivant : 4 > D > C > A > B > 3.

4. Discussion et conclusion

La toxicité des extraits est l'expression des teneurs en polluants absorbés sur les sédiments ; celles-ci varient rapidement avec les quantités de polluants rejetés dans les eaux usées et la physico-chimie de la colonne d'eau (Robbe 1975). C'est pour cette raison que de nombreux auteurs ont essayé de corréler les résultats des biotests sur les extraits avec les résultats analytiques des polluants chimiques dans les sédiments ou dans les extraits testés (Dewitt et al. 1989, Lacaze & Paquet 1989).

La figure 6 montre les teneurs en cuivre, manganèse et zinc dosés par spectrophotométrie d'absorption atomique dans les extraits de sédiments de l'Oued Boufekrane (campagne de mai 1989). Ces teneurs varient énormément entre les stations et sont liées aux différences de comportements de chaque élément métallique. Ainsi, les plus fortes concentrations en Mn sont observées au niveau des stations amont A, B et 3. Par contre, elles diminuent progressivement au niveau des autres stations. En

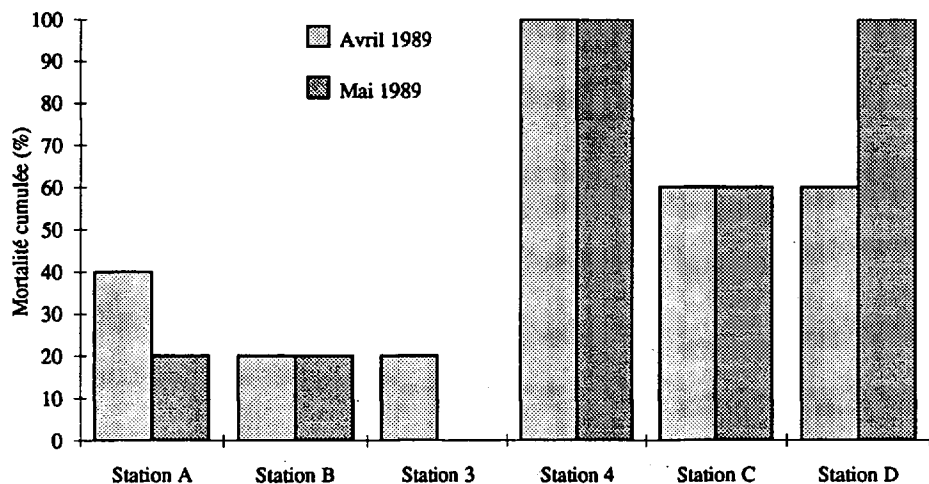


Fig. 5. Variation de la toxicité létale des extraits de sédiments de l'Oued Boufekrane chez *G. gauthieri* (96 h d'exposition).

Fig. 5. Lethal toxicity variation of sediment extracts of Boufekrane river on *G. gauthieri* (96 h exposure).

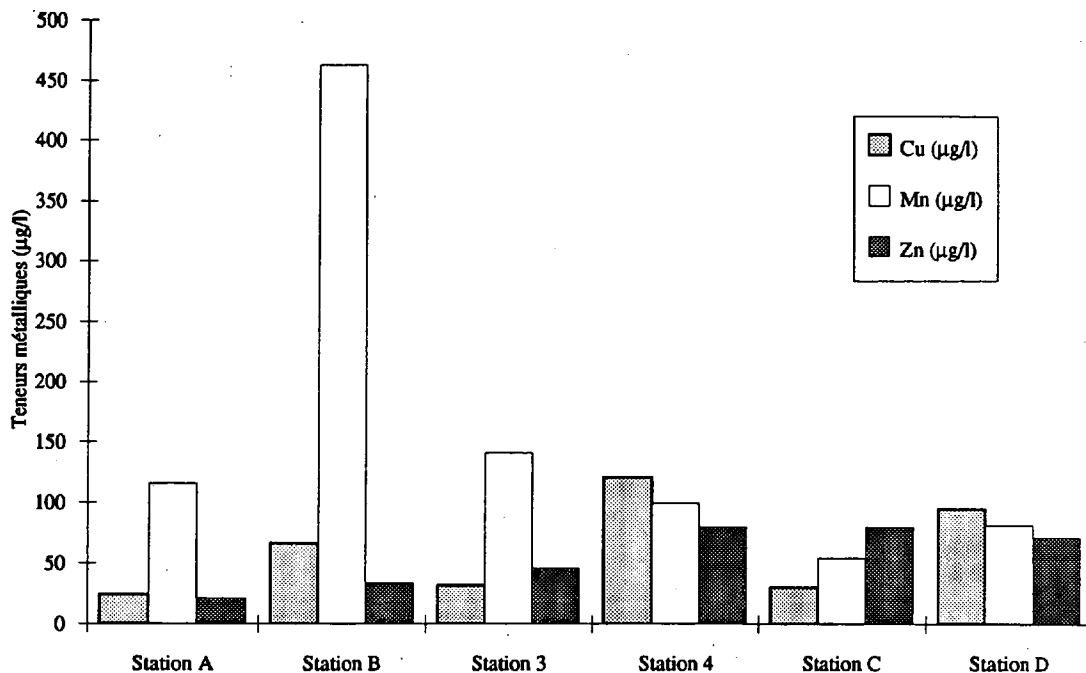


Fig. 6. Teneurs métalliques des extraits des sédiments de l'Oued Boufekrane en fonction des stations (en $\mu\text{g/l}$).

Fig. 6. Metallic contents of sediment extracts of Boufekrane river according to the different stations ($\mu\text{g/l}$).

effet, le Mn est un métal endogène très abondant dans les eaux souterraines et dans les eaux de source (Robbe 1981). C'est un oligo-élément très peu toxique pour les organismes aquatiques (Martin & Holdich 1985). Par contre, les teneurs en Cu détectées dans les extraits des stations 4 et D sont assez importantes pour causer une augmentation significative de la mortalité des gammarès. Ce métal est un oligo-élément hormétique doué d'une forte toxicité létale et sublétale (Watling 1981). Les teneurs en Zn augmentent progressivement de la station A à la station D et participent ainsi à l'élaboration de la toxicité globale des extraits. Chez *G. gauthieri*, ces trois métaux (Mn, Cu et Zn) exercent un effet létal qui varie en fonction de chaque élément et selon l'ordre décroissant suivant : $\text{Cu} \gg \text{Zn} > \text{Mn}$ (Maarouf 1993). Les CL50 24h respectives sont de l'ordre de 28,2 $\mu\text{g/l}$, 1,5 mg/l et 30,7 mg/l.

La toxicité globale des extraits testés peut être le résultat d'un effet combiné de plusieurs polluants minéraux ou/et organiques biodisponibles et de leurs produits de dégradation. Ces interactions synergiques, antagonistes ou additives sont très complexes et difficiles à prévoir (Foulquier & Baudin-Jaulent

1981, Lalande & Pinet-Alloul 1986). Plusieurs travaux ont montré une forte contamination de la colonne d'eau et du compartiment « sédiment » des quatre cours d'eau (Boufekrane, Tensift, Martil et Sebou) par divers polluants minéraux et organiques (Rada 1985, Abdellaoui 1990, Saädallah 1991).

Les propriétés physico-chimiques des sédiments agissent également sur la toxicité de leurs extraits. Elles peuvent agir sur la spéciation chimique des polluants en modifiant leur solubilité, leur dégradabilité ou/et leur biodisponibilité (Saädallah 1991). Ces modifications peuvent les rendre ainsi plus toxiques. Au niveau des sédiments de l'Oued Boufekrane, nous avons montré que le pH, la conductivité et la matière organique diffèrent d'une station à l'autre (Fig. 2). Ces trois facteurs donnent une idée globale de la pollution minérale et organique de la colonne d'eau et du compartiment « sédiment ».

Les différences entre les potentiels toxiques des différentes stations sont donc en relation directe avec :

- la présence d'une source de pollution minérale et/ou organique ;

- les propriétés physico-chimiques de l'eau ou/et des sédiments de chaque station ;
- la capacité d'absorption du sédiment. En effet, la contamination de ce dernier est favorisée par une teneur élevée en matière organique et une granulométrie fine (Robbe 1975, Saädallah 1991) ;
- les différents types de contaminants extraits et les conditions d'extraction (Lacaze & Paquet 1989). En effet, ces conditions ne permettent pas un relargage de la totalité des polluants chimiques absorbés sur les sédiments. Dans le cas d'une extraction aqueuse par exemple, la toxicité des polluants chimiques non hydrosolubles n'est pas prise en considération. Les méthodes optimales d'extraction diffèrent d'un polluant à l'autre et certaines méthodes ne conviennent pas aux conditions de validité des biotests ;
- la biodisponibilité des polluants contenus dans l'extrait ; la toxicité des polluants chimiques et surtout des métaux lourds dépend en effet de leur nature chimique (Maarouf 1993).

Dans ce travail, nous avons montré également que *G. gauthieri* est beaucoup plus sensible que *D. magna*. Il s'agit de deux crustacés d'eau douce, mais qui occupent des niches écologiques et des niveaux trophiques différents. Les gammarus sont des organismes détritivores épibenthiques doués d'une grande activité natatoire au niveau de l'interface eau/sédiment, alors que les daphnies sont des organismes microphages planctoniques.

Il faut noter que le nombre des extraits testés est limité, mais la différence de sensibilité entre les deux crustacés a été confirmée en testant la toxicité létale de trois métaux lourds (Cr, Cu et Zn) et de trois effluents industriels (huilerie, textile et tannerie) (Maarouf 1993). C'est pour leur grande polluosensibilité que différentes espèces de gammarus ont constitué un matériel biologique de choix pour le « screening » de la toxicité létale et sublétales des polluants chimiques (Bluzat & Seugé 1978, Butler et al. 1982, Slooff 1983).

Au terme de ce travail, on peut conclure que dans nos conditions expérimentales, *Daphnia magna* est moins sensible que *Gammarus gauthieri*. Cette dernière espèce a permis le classement du niveau de contamination des cours d'eau et des stations étudiés selon l'ordre suivant :

Oued Boufekrane > O. Tensift > O. Martil > O. Sebou et plus spécialement au niveau des stations de l'Oued Boufekrane : 4 > D > C > A > B > 3.

G. gauthieri se prête bien aux tests de toxicité pour différencier la toxicité des extraits des sédiments des stations contaminées. L'évaluation de la toxicité létale par la méthode des biotests est d'un intérêt certain pour la surveillance de l'environnement, mais il est difficile, voire impossible, de déterminer la cause exacte des effets observés. De plus, l'analyse chimique, difficilement exhaustive, ne rend pas toujours compte de l'effet réel de la pollution des sédiments. L'utilisation des biotests est donc une nécessité complémentaire aux analyses physico-chimiques, comme l'ont souligné les auteurs précités.

Travaux cités

- Abdellaoui A. 1990. — Contribution à l'étude de la pollution des cours d'eau marocains par les métaux lourds. Cas de l'Oued Boufekrane. Thèse 3ème cycle, Fac. Sc. Meknès (Maroc), 281 p.
- AFNOR 1980. — Essais des eaux. Détermination de l'inhibition de croissance de *Scenedesmus subspicatus* par une substance. Norme expérimentale T90-304, 6 p.
- Ankley G.T., Hoke R.A., Giesy J.P. & Winger P.V. 1989. — Evaluation of the toxicity of marine sediments and dredge soils with the Microtox bioassay. *Chemosphere*, 18 (9/10) : 2069-2075.
- Attar E.N. & Maly E.J. 1982. — Acute toxicity of cadmium, zinc and cadmium-zinc mixtures to *Daphnia magna*. *Arch. Environ. Contamin. Toxicol.*, 11 (3) : 291-296.
- Bluzat R. & Seugé J. 1978. — Toxicité aiguë comparée de 5 produits détersifs sur 4 espèces d'invertébrés habitant les eaux douces. *C.R. Acad. Sc. Paris*, t. 286, Série D : 1391-1394.
- Bonsdorff E., Bakke T. & Pedersen A. 1990. — Colonization of amphipods and polychaetes to sediments experimentally exposed to oil hydrocarbons. *Marine Pollution Bulletin*, 21 (7) : 355-358.
- Borgmann U. & Munawar M. 1989. — A new standardized sediment bioassay protocol using the amphipod *Hyalella azteca* (Saussure). *Hydrobiologia*, 188/189 : 425-431.
- Brauwiers J. 1982. — Comparaison de la toxicité du zinc et du cadmium chez *Chlorella pyrenoidosa*. *Bull. Soc. R. Bot. Belg.*, 15 : 78-90.
- Butler R.G., Trivelpiece W. & Miller D.S. 1982. — The effects of oil, dispersant and emulsions on the survival and behavior of an estuarine Teleost and an intertidal amphipod. *Environ. Resear.*, 27 : 266-276.
- Dewitt T.H., Swartz R.C. & Lamberson J.O. 1989. — Measuring the acute toxicity of estuarine sediments. *Environ. Toxicol. and Chem.*, 8 : 1035-1048.
- Environmental Protection Agency (EPA) 1977. — Army Corps of Engineers, Misc. Paper D-76-17, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station Vicksburg. MS.
- Férard J.F. 1987. — Aspects de la toxicité et de la biosorption du cadmium chez l'algue *Chlorella vulgaris*. Thèse d'Etat, Univ. Metz, 222 p.

- Foulquier L. & Baudin-Jaulent Y. 1981. — Toxicité du cadmium et du zinc sur les Daphnies. Les colloques de l'INSERM, les tests de toxicité aiguë en milieu aquatique. *INSERM*, 106 : 327-335.
- Giesy J.P., Graney R.L., Newsted J.L., Rosiu C.J. & Benda A. 1988a. — Comparison of three sediments bioassay methods using Detroit River sediments. *Environ. Toxicol. and Chem.*, 7 : 483-498.
- Giesy J.P., Rosiu C.J., Graney R.L., Newsted J.L. & Benda A. 1988b. — Toxicity of Detroit River sediment interstitial water to the Bacterium *Photobacterium phosphoreum*. *J. Great Lakes Res.*, 14 (4) : 502-513.
- Lacaze J.C. & Paquet F. 1989. — Test d'évaluation de la pollution des sédiments marins. Effet sur la reproduction des larves et la consommation d'algues chez les copépodes. *Revue des Sciences de l'Eau*, 2 : 1-12.
- Lalande M. & Pinel-Alloul, 1986. — Acute toxicity of cadmium, copper and zinc to *Tropocyclops prasinus mexicanus* (Cyclopoida, Copepoda) from three Quebec lakes. *Environ. Toxicol. and Chem.*, 5 : 95-102.
- Lesouef A., Belamie B. & Montiel A. 1979. — Un indicateur de pollution à mémoire. L'analyse des métaux dans les sédiments de rivière. *J.F. Hydrobiol.*, 10 (10) : Fasc. 3 : 165-172.
- Maarouf A. 1993. — Toxicité létale et bioaccumulation du zinc respectivement chez deux macroinvertébrés d'eau douce : *Gammarus gauthieri* et *Dreissena polymorpha*. Optimisation de deux biotests : test de toxicité létale chez *G. gauthieri* et test de bioaccumulation à moyen terme chez *D. polymorpha*. Thèse d'Etat, Fac. Sc. Meknès (Maroc), 296 p.
- Martin T.R. & Holdich D.M. 1985. — The acute lethal toxicity of heavy metals on peracarid crustaceans (with particular reference to freshwater asellids and gammarids). *Wat. Resear.*, 20 (9) : 1137-1147.
- Meguelatti N. 1982. — Mise au point d'un schéma d'extractions sélectives des polluants associés aux diverses phases constitutives des sédiments. Thèse 3ème cycle, Univ. Pau, 150 p.
- OCDE (202) 1984. — *Daphnia sp.* Essai d'immobilisation immédiate et essai de reproduction sur 14 j. Ligne directrice de l'OCDE pour les essais des produits chimiques. N° 202 : 17 p.
- Pinkster S. 1971. — Members of the *Gammarus pulex*-group (Crustacea Amphipoda) from North Africa and Spain with description of new species from Morocco. *Bull. Zoo. Mus.*, 21-X : 45-52.
- Pommery J., Imbonette M. & Erb F. 1985. — Relation entre toxicité et formes libres de quelques métaux traces. *Envir. Pollut.*, Série B, 9 : 127-136.
- Rada A. 1985. — Ecotoxicologie des métaux lourds. Contamination métallique de l'Oued Tensift (région de Marrakech (Maroc)). Thèse 3ème cycle, Fac. Sc. Marrakech, 113 p.
- Robbe D. 1975. — Influence des matières minérales en suspension sur la qualité des eaux de surface. Rapport de recherche LPC n° 49 : 85 p.
- Robbe D. 1981. — Pollution métallique du milieu naturel. Guide méthodologique de leur étude à partir des sédiments. Rapport de recherche LPC n° 104 : 83 p.
- Saadallah M. 1991. — Contribution à l'étude de la pollution métallique des sédiments des cours d'eau marocains. Cas de l'Oued Boufekrane. Thèse 3ème cycle, Fac. Sc. Meknès, 182 p.
- Schiewe M.H., Hawk E.G., Actor D.I. & Rkahn M.M. 1985. — Use of bacterial bioluminescence assay to assess toxicity of contaminated marine sediments. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42 (7) : 1244-1248.
- Sloof W. 1983. — Benthic macroinvertebrates and water quality assessment : some toxicological considerations. *Aquat. Toxicol.*, 4 : 73-82.
- Sloof W., Canton J.H. & Hermens J.L.M. 1983. — Comparison of susceptibility of 22 freshwater species to 15 chemical compounds. I (Sub)acute toxicity tests. *Aquat. Toxicol.* 4.
- Walling H. 1981. — The effects of metals on mollusc filtering rates. *Trans. R. Soc. Sci. Afr.*, Vol. 44, Part 3, 441-451.
- Weltes B., Bles N. & Montiel A. 1983. — Etude des différentes méthodes de spéciation des métaux lourds dans les sédiments. II Applications. *Environ. Tech. Letter*, 51 : 223-238.