

Le test comportemental de *Dreissena polymorpha*: un outil biologique de prévision et d'évaluation de la toxicité en milieu d'eau douce

The Dreissena polymorpha behavioural test: a biological tool for predicting and assessing the toxicity in freshwaters

Abdelfattah Mouabad et Jean-Claude Pihan

* Dept. de Biologie, Faculté des Sciences et Techniques, BP 618, Marrakech, Maroc.

** Laboratoire d'Ecologie, BP 4116, Metz cedex 01, France

Résumé. – L'activité de filtration est régie chez les bivalves par le comportement des valves et des siphons. Chez *Dreissena*, ce comportement présente une bonne sensibilité à l'action des micropolluants et des effluents toxiques, ce qui se traduit par la réduction du taux de filtration. Dans la présente note, la réponse comportementale de *Dreissena* à des concentrations sublétales de deux métaux: le cuivre et le mercure est caractérisée par l'enregistrement des courants de filtration en utilisant la technique anémométrique. Considérant sa sensibilité, la réponse comportementale est proposée comme critère pour un protocole d'essai de toxicité en milieu d'eau douce. Les essais de laboratoire concernant quelques métaux ont permis de détecter les seuils suivants: 10 ppb pour le Hg, 15 ppb pour le Cu., 100 ppb pour le Cd, 200 ppb pour le Zn et 400 ppb pour le Pb. Une expérience sur des produits de traitements antisalissures a été entreprise afin de valider la méthode. La performance de l'essai par rapport à d'autres méthodes est discutée.

Mots-clés. – Comportement - Filtration - *Dreissena* - Toxicité - Test biologique - Métaux - Dioxyde de chlore.

Abstract. – Pumping activity in bivalves is monitored by the valve and siphon behaviour. In *Dreissena*, this behaviour is sensitive to the effect of pollutants and effluents and as a result the filtration rate may decrease. In the present work, the behavioural response of *Dreissena* to sublethal concentrations of Cu and Hg is analysed by recording the pumping flow pattern using the anemometric technic. Considering its sensitivity, the behavioural response is proposed a criterium for a toxicity screening test in freshwater.

Laboratory assays allowed to set the following detection limits for metals: 10 ppb for Hg, 15 ppb for Cu, 100 ppb for Cd, 200 ppb for Zn and 400 ppb for Pb. Two antifouling compounds have been tested in a validation experiment. The usefulness of the proposed test is discussed in regard to other screening methods.

Key words. – Behaviour - Filtration - Dreissena - Toxicity - Biological test - Metals - Chlorine dioxide.

INTRODUCTION

Un intérêt particulier est porté actuellement sur les études comportementales dans le domaine de l'évaluation de la toxicité (Little, 1990).

En effet, le comportement est intéressant à étudier parce qu'il intègre plusieurs processus physiologiques et qu'il est essentiel pour la viabilité de l'organisme et de la population.

Le critère d'évaluation dans une telle étude représente la capacité de l'animal à interagir normalement avec son environnement (Sindermann, 1988). Plusieurs méthodes d'essai basées sur le comportement ont été mises au point pour la visualisation de la toxicité en milieu aquatique (revues par Kramer et Botterweg, 1991). Les premiers essais utilisaient notamment les poissons (comportement de la toux, mouvements operculaires, nage contre le courant). Plus récemment, les études sur l'activité valvaire des lamellibranches ont montré la sensibilité de ce critère et ont donné lieu à l'élaboration de systèmes de détection de la pollution utilisant les modifications de cette activité sous l'effet des toxiques (Slooff *et al.*, 1983; Salanki et Balogh, 1989; Kramer *et al.*, 1989).

Cependant, outre la réaction valvaire, la réponse comportementale du bivalve comprend une modification de l'activité du siphon dont les répercussions sur le taux de filtration peuvent être négatives.

Dans la présente étude, notre objectif est de caractériser cette réponse chez le bivalve d'eau douce *Dreissena polymorpha* et de proposer un protocole d'essai de toxicité ayant comme base le comportement de filtration.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

1. Principe de la technique

L'activité de pompage est visualisée en niveau du siphon par la technique anémométrique qui rend compte du mode d'écoulement de l'eau filtrée par le bivalve.

L'anémomètre à température constante (CTA) est un pont de Wheatstone alimenté par un courant continu (fig. 1) dont l'une des résistances est la sonde à film chaud (R_p). La partie sensible de la sonde (film chaud) est maintenue à température constante, supérieure à la tempéra-

ture ambiante, par un système d'asservissement électronique. La détection du courant est basée sur le fait que la quantité de chaleur cédée par le film chaud au fluide ambiant dépend de la vitesse d'écoulement de ce dernier. Les variations de vitesse du fluide modifient le niveau des échanges thermiques entre la sonde

et le milieu et, de ce fait, modifient également la tension qu'il faut fournir au film pour maintenir sa température constante.

L'enregistrement, en sortie, de ces variations de tension correspond aux variations de vitesse du fluide au niveau de la sonde.

2. Dispositif expérimental

Le dispositif de mesure de l'activité de filtration comprend une sonde DISA 55A 76, placée devant le siphon exhalant, perpendiculairement à son axe (fig. 2). Elle est reliée à un anémomètre DISA 56C 16 dont la tension de sortie est préalablement réglée à 5V. Un enregistreur potentiométrique relié à l'anémomètre permet l'enregistrement en continu de l'activité.

3. Prélèvement et maintenance des moules

Les moules sont récoltées à la station de Villey-le-sec sur la rivière Moselle (Nord-Est de la France). Elles sont acclimatées aux conditions de labora-

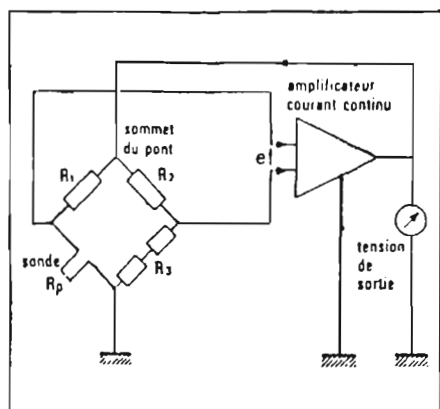


Fig. 1. — Schéma du montage de l'anémomètre CTA.

Fig. 1. — Diagram of the CTA anemometer.

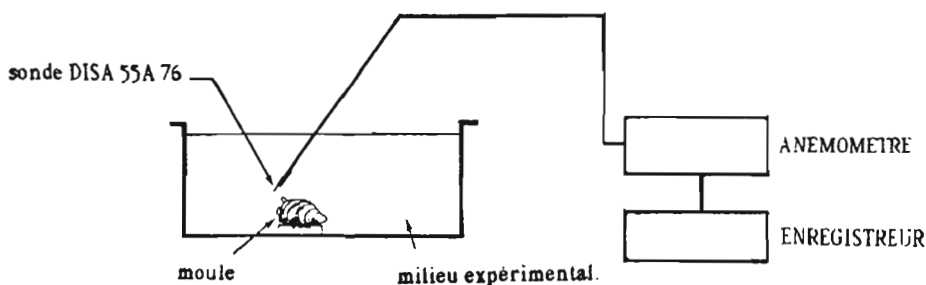


Fig. 2. — Schéma du dispositif d'enregistrement de l'activité de filtration.

Fig. 2. — Schematic presentation of the recording set-up for the filtration activity.

toire pendant au moins une semaine. Le milieu est constitué de l'eau de conduite déchlorée avec un apport algal (*Chlorella*) comme nourriture. La température est amenée à 20°C à partir de celle du site de prélèvement par variation quotidienne de 3°C au maximum. Les moules ne s'étant pas fixées par le byssus au troisième jour sont éliminées, la fixation étant considérée comme l'expression d'une bonne condition physiologique.

4. Exposition aux toxiques

L'animal choisi pour l'essai d'exposition est collé sur un bloc de verre et placé dans le milieu.

Avant l'introduction du toxique, un enregistrement à blanc de quelques heures est effectué afin de contrôler la conformité de l'activité de l'animal avec celle du témoin. La moule est validée pour l'essai si elle ne présente aucune fermeture ni activité de stress (voir ci-après). Le toxique est alors introduit directement dans le milieu à la concentration désirée.

Une légère agitation permet d'homogénéiser rapidement la concentration. L'enregistrement commence dès que le milieu redevient calme. Les essais d'exposition se font en absence de nourriture.

ÉTUDE PRÉLIMINAIRE: Les différentes phase de l'activité

1. L'activité normale (A.N.)

La description précise de l'activité de pompage normale (témoin) de *Dreis-*

sena est importante puisque c'est par rapport à elle que sera jugé l'effet des toxiques.

L'activité de plusieurs individus, filtrant dans des conditions de bonne acclimatation, a été enregistrée et analysée. La description a été complétée par l'observation directe à la loupe binoculaire des mouvements des valves et des siphons.

Un animal filtrant normalement se présente avec des valves largement ouvertes et les siphons protractés. Le mode de pompage est de type continu sur plusieurs minutes avec une vitesse d'écoulement variable. L'écoulement est de temps en temps interrompu par des fermetures instantanées du siphon (fig. 3). Durant l'activité normale il n'y a pas d'interruption prolongée du courant exhalant.

2. L'activité de stress (A.S.)

L'A.S. se manifeste quand l'animal est exposé à des conditions défavorables (stress chimique ou physique) et est profondément différente de l'A.N. Elle se caractérise par un mode de pompage intermittent (fig. 4). L'écoulement est fréquemment interrompu par des fermetures prolongées du siphon (de quelques secondes à plusieurs minutes).

L'animal en activité de stress présente un état d'ouverture incomplète de la coquille; les siphons pouvant même être pincés entre les valves en cas de fort stress. Des fermetures valvaires instantanées dues à de brusques contractions des muscles adducteurs peuvent accompagner cet état d'activité de stress.

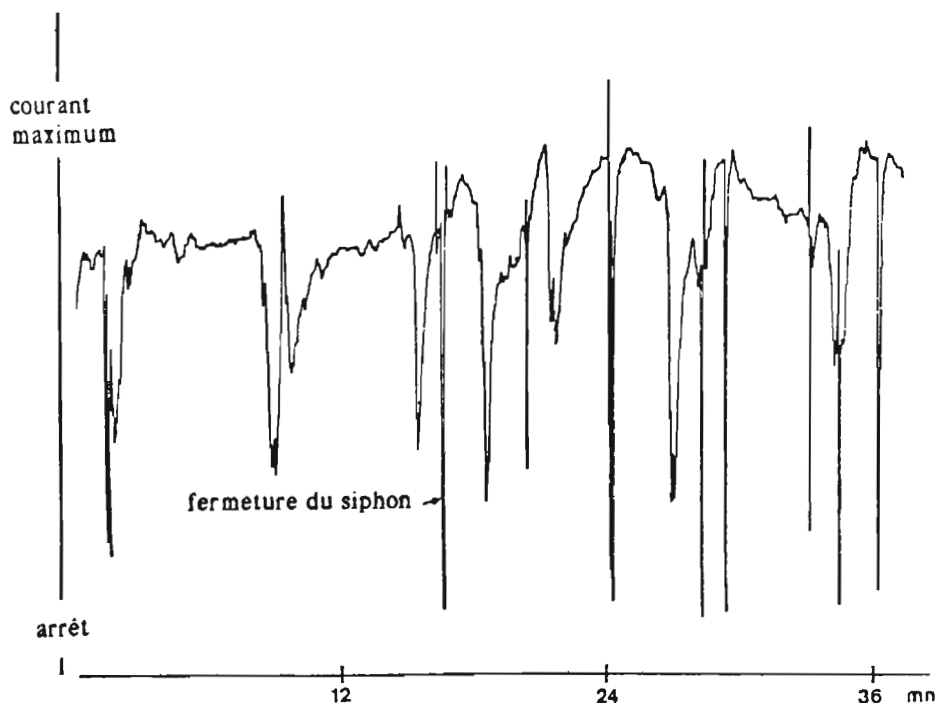


Fig. 3. – Exemple d'enregistrement de l'activité normale (A.N.) de *Dreissena*.
 Fig. 3. – Typical recording of the normal activity of *Dreissena*.

3. Analyse du cycle de 24 heures chez les témoins

L'analyse est faite en comptabilisant les durées des différentes phases d'activité enregistrées sur 24 heures, c'est-à-dire l'activité normale, l'activité de stress et la durée totale de fermeture des valves.

Les résultats (tableau 1) montrent que les valves sont en moyenne ouvertes 20,7 h (soit 86% du temps) et

Tableau 1. – Durées relatives (en h) des différents types d'activité sur un cycle de 24 h.

Table 1. – Relative duration (in h) of activity phases on a 24 h cycle.

	Moyenne	Ecart-type
Activité normale (AN)	19,6 h	2,9
Activité de stress (AS)	1,1 h	0,9
Durée de fermeture	3,3 h	2,6
Nombre de fermeture	1,3	1,1
Répétitions	15	

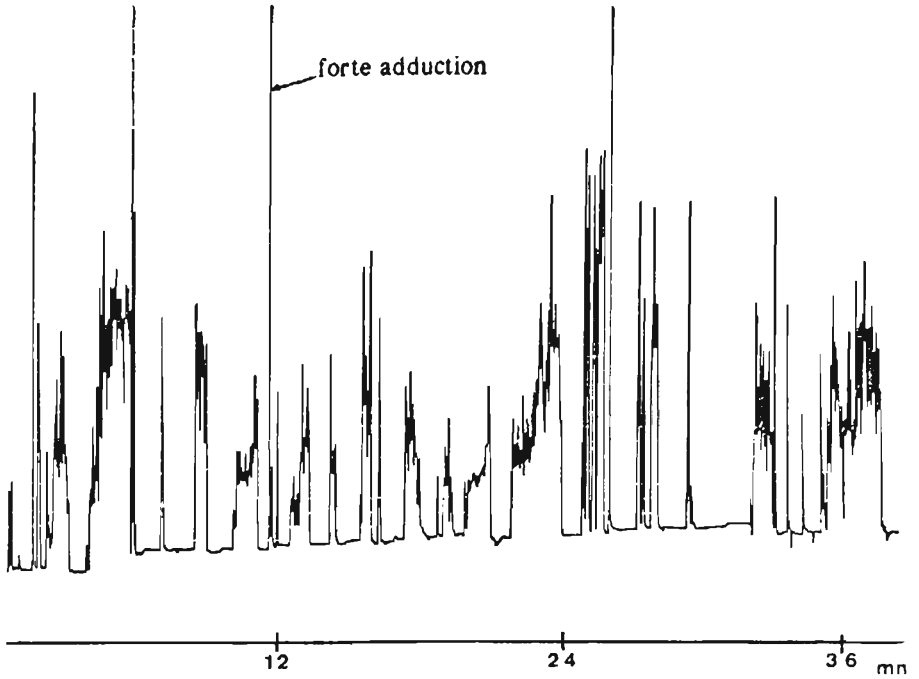


Fig. 4. - Exemple d'enregistrement de l'activité de stress (A.S.) de *Dreissena*.
 Fig. 4. - Typical recording of the stress activity of *Dreissena*.

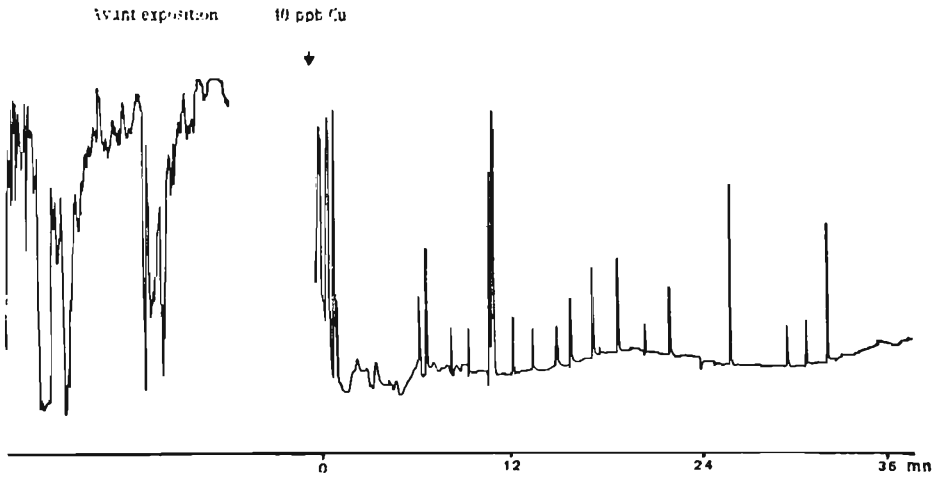


Fig. 5. - Activité de filtration avant et après exposition à 40 ppb de Cu.
 Fig. 5. - Filtration activity before and after exposure to 40 ppb of Cu.

fermées 3,3 h (14% du temps) avec en moyenne 1,3 fermetures par 24 h. Pendant le temps d'ouverture, l'animal filtre en mode normal (A.N.) 19,6 h (soit 95% du temps d'ouverture). Pendant le reste du temps, il présente une filtration de type discontinu (A.S.); ces périodes courtes d'A.S. précèdent les fermetures valvaires. L'observation directe montre que cette activité est le plus souvent liée à la présence de fèces accrochées au siphon et que l'animal tente d'expulser par des contractions répétitives.

LA RÉPONSE COMPORTEMENTALE AU STRESS TOXIQUE DU CUIVRE ET DU MERCURE

1. La réponse au cuivre

Trois lots de moules sont exposés pendant 24 h à des concentrations de cuivre sous forme de sulfate de 20 ppb (4 moules), 40 ppb (3 moules) et 80 ppb (3 moules).

L'analyse des résultats (tableau 2) montre que l'effet du cuivre est concentration-dépendant. La concentration de 20 ppb provoque une réaction immédiate pour trois animaux sur quatre. Cette réaction se caractérise par la modification du mode de filtration qui devient intermittent (A.S.). La durée totale de fermeture augmente par rapport au témoin ainsi que le nombre de fermetures. Pendant les phases d'ouvertures, des mouvements de fortes adductions valvaires accompagnent l'A.S.

Pour 40 ppb et 80 ppb, les effets sont accentués et on n'observe plus aucune période d'A.N. (fig. 5).

2. La réponse au mercure

Trois lots de trois moules sont exposés dans les mêmes conditions que pour le cuivre à 20,50 et 100 ppb de mercure sous forme de chlorure (tableau 2).

Les enregistrements de 24 heures montrent des figures similaires à celles obtenues avec le cuivre, les animaux réagissent immédiatement à

Tableau 2. – Durées relatives (en h) des différents types d'activité durant l'exposition au Cu et au Hg (valeurs moyennes).

Table 2. – Relative duration (in h) of activity phases during exposure to Cu and Hg (mean values).

	Cuivre (ppb ou µg/l)			Mercure (ppb ou µg/l)		
	20	40	80	20	50	100
AN	9,5 h	0	0	7,1	1,9	0
AS	7,6 h	11,2	3,2	8,4	9	6,5
Durée de fermetures	6,9 h	11,3	20,8	8,6	13,1	17,6
Nombre de fermetures	2,8	3,7	7	2,7	3,3	4,7
Répétitions	4	3	3	3	3	3

la présence du mercure en adoptant une filtration de type discontinu (A.S.). La durée de fermeture et leur nombre augmentent par rapport aux valeurs témoins.

La comparaison des effets montre qu'ils sont concentration-dépendant.

DÉFINITION D'UN PROTOCOLE D'ESSAI DE TOXICITÉ

1. *Pertinence du critère comportemental*

La bonne sensibilité de la réponse comportementale est confirmée par les résultats concernant des métaux: Zn, Cd et Pb ainsi que des molécules organiques telles que le Lindane et un détergent (Mouabad, 1991). Cette réponse se révèle utile comme critère de toxicité pour un test en milieu d'eau douce. Sa pertinence écologique réside dans le fait que la modification du comportement de filtration provoque une réduction de la quantité d'eau filtrée par l'animal (taux de filtration) ce qui réduit la nourriture ingérée et par conséquent constitue un risque d'altération pour la capacité de l'animal à croître et à se reproduire. Les conséquences au niveau de la population sont évidentes.

2. *Principe*

La sensibilité et la pertinence du critère comportemental nous a incité à l'utiliser comme base d'un essai de visualisation et de détection de la toxicité. Le principe de l'essai est le suivant: dans les conditions de qualité du milieu satisfaisantes et en

absence de tout stress environnemental (physique ou chimique), la moule zébrée *Dreissena polymorpha* se présente avec une coquille ouverte la plupart du temps pour la filtration (prise de nourriture) et la respiration (Kramer *et al.*, 1989; Mouabad, 1991). Le processus de pompage se fait selon un mode continu avec, de temps en temps, des interruptions instantanées régies par des contractions du siphon exhalant. En présence d'une substance toxique, la moule réagit par une modification de l'activité de pompage dans le sens de la réduction, ce qui limite ou supprime le contact avec le toxique. Cette activité de stress se caractérise par un mode de pompage intermittent avec l'apparition de périodes de fermetures prolongées et/ou fréquentes selon le toxique et sa concentration.

L'objectif de l'essai est de visualiser cette réponse par enregistrement en continu grâce à la technique anémométrique.

3. *Durée et critères d'appréciation de l'essai*

Les résultats concernant le *cuivre* et le *mercure* ainsi que d'autres métaux (Mouabad, 1991) ont permis de fixer la durée de l'essai à 10 heures au maximum avec 6 répétitions par concentration. Les conditions sont celles décrites dans le chapitre des matériels et méthodes. L'essai peut être arrêté avant son terme quand il s'agit d'une détection et que la réponse est obtenue rapidement.

Une répétition est considérée comme positive si:

— L'A.S. de l'animal exposé > A.S. maximum chez le témoin,

— et/ou la durée totale de fermeture > durée maximum de fermeture chez le témoin.

L'essai est considéré positif si au moins 5 répétitions sur les 6 exécutées sont positives.

LIMITES DE DÉTECTION POUR QUELQUES SUBSTANCES TOXIQUES

Afin d'évaluer les performances de l'essai proposé, nous avons tenté d'approcher les concentrations seuils détectables pour les métaux Cu, Hg, Pb, Zn et Cd ainsi que pour deux molécules organiques. La procédure consistait à tester des concentrations de plus en plus faibles jusqu'à atteindre la plus faible provoquant une réponse positive selon les critères préétablis. Le tableau 3 résume les résultats de ces essais.

UTILISATION DU TEST COMPORTEMENTAL POUR DÉTERMINER LE SEUIL DE RÉPONSE À DES SUBSTANCES UTILISÉES DANS LE TRAITEMENT DES EAUX INDUSTRIELLES

A l'occasion d'une étude effectuée sur des produits antisalissures (Khalanski 1993), des essais ont été réalisés sur de l'eau de Moselle traitée avec deux

produits ayant une activité biocide: le dioxyde de chlore – ClO_2 – et le produit organique connu sous la dénomination commerciale Mexel 432 (mélange comprenant des polyols).

1. Dioxyde de chlore

Les résultats, rapportés dans le tableau 4, concernent de l'eau traitée à 0,5 mg/l – 1,0 mg/l – 2,0 mg/l et 4,0 mg/l. En eau de Moselle à l'aval de Thionville, le dioxyde de chlore disparaît dans un laps de temps variant de 1 minute à 20 minutes dans cette gamme de concentrations initiales. On observe cependant la persistance de composés oxydants dosables par la méthode colorimétrique à la DPD, qui décroissent lentement. Les réactions comportementales ne sont observées que dans les échantillons traités à 2 et 4 mg/l dans lesquels il a été conservé un résiduel de dioxyde de chlore d'au moins 0,5 mg/l dans la première minute, avec une concentration en oxydants résiduels totaux (DPD) équivalente en chlore à environ 0,15 mg/l au bout de 60 minutes. En revanche, les échantillons traités à 0,5 mg/l et 1,0 mg/l, dans lesquels le résiduel de dioxyde de chlore ne persiste pas plus d'une minute et où les oxydants résiduels totaux sont rapidement inférieurs à 0,1 mg/l, ne montrent pas de réaction comportementale. Une dilution de l'eau traitée à 2 mg/l au bout de 65 minutes, qui a abouti à réduire les oxydants résiduels totaux à moins de 0,1 mg/l, a éliminé la réaction au test. Ces essais laissent supposer que le traitement au dioxyde de chlore d'eau de rivières

Tableau 3. – Limites de détection de l'essai *Dreissena* pour quelques substances toxiques.**Table 3.** – Detection limits of the *Dreissena* test for some toxic substances.

Substance testée	Limite de détection (ppb)	Nombre de répétitions	Répétitions positives
Cu (sulfate)	15	6	6
Hg (chlorure)	10	6	6
Cd (chlorure)	100	6	6
Zn (acétate)	200	6	6
Pb (acétate)	400	6	5
Détergent	100	6	5
Lindane	100	6	5

Tableau 4. – Essais avec de l'eau de Moselle traitée au dioxyde de chlore. ORT : oxydants résiduels totaux dosés à la DPD colorimétrique.**Table 4.** – Results of the toxicity detection assays of ClO₂. ORT : total residual oxidants.

Date	Température de l'eau	Concentration initiale ClO ₂ (mg/l)	Concentration en résiduels		Réponse comportementale
			ClO ₂ (mg/l)	ORT (mg/l)	
11/7/91	26,9°C	0,5	1 mn: 0,00	1 mn: 0,09 1,25 mn: 0,07 6 mn: 0,06 16 mn: 0,04	Négative
11/7/91	27,2°C	1	1 mn: 0,08 1,5 mn: 0,00	50 s: 0,17 6,3 mn: 0,11 15,5 mn: 0,10 80 mn: 0,04	Négative
10/7/91	27,2°C	2	1 mn: 0,48 11 mn: 0,00	5 mn: 0,45 18 mn: 0,20 29 mn: 0,17 50 mn: 0,14	Positive
			Dilution avec de l'eau de Moselle non traitée à 65 mn, 1 volume/ 1 volume		
			65 mn: 0,00	70 mn: 0,06 87 mn: 0,04 125 mn: 0,04	Négative
11/7/91	28,0°C	2	1 mn: 0,48	1,5 mn: 0,43 7 mn: 0,26 12 mn: 0,22 24 mn: 0,18 60 mn: 0,15	Positive
10/7/91	27,2°C	4	7 mn: 0,38 20 mn: 0,00	105 mn: 0,13	Positive

fortement polluées peut générer des produits oxydants, persistants après disparition du dioxyde de chlore, et susceptibles d'entraîner une réponse comportementale.

2. Mexel 432

Ce composé a la propriété de s'adsorber intensément sur les matières en suspension dans l'eau: environ 50% du produit n'est plus dosable dans l'eau de Moselle après mélange. Les essais ont été pratiqués à 1,0-2,0 et 10,0 mg/l en concentration initiale. La réponse au test a été positive pour 2,0mg/l et 10,0mg/l. Ce résultat est à rapprocher des tests de toxicité qui montrent que la dose létale 100% en 20 heures est de 7 mg/l en injection continue (Khalanski 1993) et de l'étude histologique qui a mis en évidence des dommages infligés à la branchie pour une injection continue à 2 mg/l pendant 24 heures (Giamberini *et al.*, 1993).

DISCUSSION

Les résultats présentés montrent que l'étude de la réponse de l'activité de filtration de *Dreissena* offre une méthode d'essai fiable, sensible et pertinente pour l'estimation de la toxicité en milieu d'eau douce. La comparaison de nos résultats avec ceux rapportés pour d'autres méthodes de détection rapide est intéressante pour situer la sensibilité de l'essai *Dreissena* parmi les essais existants. On peut notamment comparer avec les méthodes utilisant comme critère la réponse operculaire du poisson (Morgan, 1977), l'inhibition de la luminescence de la bactérie *Photobacterium phosphoreum* (test Microtox, Elnabarawy *et al.*, 1988) et l'activité valvaire des lamellibranches (Kramer *et al.*, 1989). Ces trois critères sont considérés par l'O.C.D.E. comme étant utiles pour l'estimation de la toxicité. Le tableau 5 compare les données disponibles pour les métaux. Il

Tableau 5. – Données comparatives des sensibilités des essais: Microtox (Elnabarawy *et al.*, 1988), rythme operculaire de *Micropterus salmoides* (Morgan, 1977), activité valvaire de *Dreissena* (Kramer *et al.*, 1989) et réponse comportementale de *Dreissena* (présente étude).

Table 5. – Comparative data of the sensitivity of the tests: Microtox (Elnabarawy *et al.*, 1988), opercular rhythm of *Micropterus salmoides* (Morgan, 1977), valve activity of *Dreissena* (Kramer *et al.*, 1989) and behavioural response of *Dreissena* (present study).

Métal	Microtox, CE50-30 mn (ppb)	Limite de détection (ppb)		
		réponse operculaire de <i>Micropterus</i>	activité valvaire	activité de filtration
Cu	< 250	50	10	15
Hg	29	10	–	10
Cd	–	100	100	100
Pb	5 400	1 000	500	400
Zn	680	–	500	200

apparaît que la sensibilité de l'essai comportemental de *Dreissena* est supérieure à celle du test Microtox pour les métaux testés tandis qu'elle est comparable ou légèrement supérieure à celle de la réponse operculaire de *Micropterus* et de l'activité valvaire chez *Dreissena*. Il faut noter que cette dernière se révèle moins sensible pour le zinc et le plomb. Ceci s'explique par le fait que la réaction du siphon peut précéder celle des valves; Akberali *et al.* (1981) ont montré l'existence d'un réseau nerveux périphérique autonome au niveau des siphons et sensible à des stimuli chimiques ce qui favorise une réponse plus rapide que celle des valves qui fait intervenir le système ganglionnaire principal et la jonction neuromusculaire. La méthode proposée a en outre l'avantage de détecter les forts mouvements d'adduction valvaire.

REMERCIEMENTS :

Ce travail a été réalisé, en partie, grâce au soutien financier reçu dans le cadre des contrats EDF-CNPE-Cattenom (1986-1991) et avec le concours du Département Environnement EDF-DER.

RÉFÉRENCES

- Akberali H.B., Wong T.M. & Trueman E.R., 1981. Behavioural and siphonal tissue responses of *Scrobicularia plana* (Bivalvia) to zinc. *Mar. Environ. Res.*, 5: 251-264.
- Elnabarawy M.T., Robineau R.R. & Beach S.A. 1989. Comparison of three rapid toxicity test procedures: Microtox, Polyttox and activated sludge respiration inhibition. *Toxic. Assess.*, 3: 361-370.
- Giamberini L., Guerold F., Beauvais M.-N. et Pihan J.-C., 1993. Etude histopathologique de la branchie de *Dreissena polymorpha* Pallas exposée à un nouveau molluscicide organique. A paraître dans les CR Acad. Sci.
- Khalanski M., 1993. Testing of five methods for the control of zebra mussels in cooling circuits of power plants located on the Moselle River. Third International Zebra Mussel Conference. Toronto, Ontario, Canada. Rapport EPRi TR-102077, 3.1-3.20.
- Kramer K.J.M. & Botterweg J., 1991. Aquatic biological early warning systems: An overview. *proc. 6th International Bioindicators Symposium*, Dublin, 23-28 Sept. 1990, 95-125.
- Kramer K.J.M., Jenner H. & Dezwart D., 1989. The valve movement response of mussels: a tool in biological monitoring. *Hydrobiol.*, 188/189: 433-443.
- Little E.E., 1990. Behavioural toxicology: stimulating challenges for a growing discipline. *Environ. toxicol. Chem.*, 9: 1-2.
- Morgan W.S.G., 1977. Biomonitoring with fish: an aid to industrial effluent and surface water quality control. *prog. Water Technol.*, 9: 703-711.
- Mouabad A., 1991. Toxicité comportementale et physiologique (filtration, respiration) des métaux lourds (Cu, Zn, Hg, Cd et Pb) chez la moule d'eau douce *Dreissena polymorpha* Pallas. Proposition d'un protocole d'essai pour l'évaluation de la toxicité par la réponse comportementale de *Dreissena* Thèse de Dr. Ecotoxicologie, Univ. de Metz, Metz: 275 p.
- Salanki J. & Balogh K.V., 1989. Physiological background for using freshwater mussels in monitoring copper and lead

pollution. *Hydrobiol.*, 188/189: 445-454.

Sindermann C.J., 1988. Biological indicators and biological effects of estuarine/coastal pollution. *Water Resour. Bull.*, 24: 931-939.

Slooff W., Dezwart D. & Marquenie J.M., 1983. Detection limits of a biological monitoring system for chemical water pollution based on mussel activity. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 30: 400-405.

Adapté d'une communication présentée au colloque international de Besançon (16-19 novembre 1992) « Les acquis de la limnologie et la gestion des systèmes aquatiques continentaux ».