

Effets des métaux lourds - Cu, Hg, Cd - sur les larves de trois espèces de moustiques (Diptera : Culicidae)

S. Bouallam¹
A. Nejmeddine¹

Mots-clés : moustiques, Culicidae, agents chimiques, métaux lourds, toxicité, Maroc.

Les effets de trois métaux lourds (Cu, Hg, Cd) sur le développement d'*Anopheles hispaniola*, vecteur potentiel du paludisme, de *Culex pipiens* et *Culex hortensis* ont été étudiés dans l'oued N'fis près de la station Agadir Tachraft, dans les bassins expérimentaux de traitement des eaux usées de Marrakech (Maroc) et dans un bassin d'élevage des grenouilles.

Les effets varient selon l'espèce, en fonction du développement et selon la nature et la dose du métal. *A. hispaniola* au stade L₄ se montre le plus sensible aux trois métaux Cu, Hg, Cd. La CL50 (24h) est respectivement de 3,78, 1,52 et 4,81 mg.L⁻¹, plus faible que celle de *C. hortensis* (5,02, 3,1 et 9,91 mg.L⁻¹) et de *C. pipiens* (5,91, 4,43 et 17,48 mg.L⁻¹). Par contre, la sensibilité au Cd ne diffère pas significativement chez *A. hispaniola* et *C. hortensis* au stade L2 selon le test de Newman - Keuls.

Cette étude montre qu'*A. hispaniola* qui a un cycle de vie relativement court et qui est facile à élever au laboratoire, présente une sensibilité 2 fois plus élevée pour le Hg, 3,4 fois plus élevée pour le Cd et 8,6 fois plus importante pour le Cu que *Aedes aegypti*. Cette dernière est proposée comme espèce-test pour les mêmes propriétés pour étudier les effets biologiques des métaux lourds sur les insectes aquatiques.

Effects of heavy metals - Cu, Hg, Cd - on three species of mosquitoes larvae (Diptera : Culicidae)

Keywords : mosquitoes, Culicidae, chemical agents, heavy metals, toxicity, Morocco.

The effects of three heavy metals (Cu, Hg, Cd) on the development of *Anopheles hispaniola*, a potential vector of malaria, *Culex pipiens* and *Culex hortensis* have been studied in oued N'fis near Agadir Tachraft, in the Marrakech (Morocco) experimental wastewater treatment lagoons and in a pond used to rear frogs.

The effects varied with the species, related to instar stage, metal type and concentration. The L4 stage of *A. hispaniola* is more sensitive to Cu, Hg and Cd, with 24hr LC50 values of 3.78, 1.52 and 4.81 mg.L⁻¹ respectively, in comparison with the lower LC50 values for *C. hortensis* (5.02, 3.1 and 9.91 mg.L⁻¹) and *C. pipiens* (5.91, 4.43 and 17.48 mg.L⁻¹). However, sensitivity to Cd is not significantly different in the L2 instar of *A. hispaniola* and *C. hortensis* based on a the Newman - Keuls test.

This study shows that *A. hispaniola*, which has a relatively short life cycle and is easy to rear in the laboratory, is twice as sensitive to mercury, 3.4 times as sensitive to cadmium and 8.6 times as sensitive to copper in comparison with *Aedes aegypti*. This latter species has been suggested as a test species for the same parameters to study the biological effects of heavy metals on aquatic insects.

1. Introduction

Les insectes aquatiques connus pour leur sensibilité aux micropolluants chimiques, et aux métaux lourds en particulier, ont été étudiés en tant que bioindicateurs potentiels de pollution (Hare 1992, Cain et al. 1992, Postma et al. 1994 et Suzuki et al. 1988).

Les effets toxiques des métaux lourds rejetés dans l'environnement peuvent être encore insoupçonnés et se révéler dangereux à long terme (Forstner & Wittmann 1981). Dans les écosystèmes aquatiques, les métaux lourds se répartissent dans différents compartiments - eau, sédiment, organismes - qui peuvent parfois provoquer la rupture de certains équilibres biologiques (Campbell 1994, Wong & Dixon 1995).

L'impact biologique des métaux lourds sur les insectes aquatiques a été étudié sur le terrain et au laboratoire (Clements & Kiffney 1994, Dallinger 1994, Dukerschein et al. 1992, Hare 1992, Postma & Davis

¹ Laboratoire d'Hydrobiologie, Département de Biologie, Faculté des Sciences Semlalia, B.P. 2390, 40001 Marrakech, Maroc.

1995, Reynoldson & Metcalfe-Smith 1992, Timmermans et al. 1992).

Les insectes aquatiques peuvent être des indicateurs de contamination du fait de leur exposition à une période très critique de leur développement comme l'embryogenèse, le développement larvaire et la nymphose. En plus d'un effet sur le taux de mortalité, l'exposition des insectes à des métaux lourds peut causer un changement dans la fréquence des éclosions, la locomotion, la nourriture et l'oviposition des populations.

Le moustique *Aedes aegypti* (Linné, 1762) a été proposé comme organisme modèle pour les tests écotoxicologiques des polluants organo-chimiques (Ribeiro et al. 1995, Rayms-Keller et al. 1998).

Dans cette optique, la présente étude a été réalisée sur 3 espèces de moustiques : *A. hispaniola* (Théobald, 1903), vecteur potentiel du paludisme (Guy 1963), *C. pipiens* (Linné, 1758) et *C. hortensis* (Ficalbi, 1889) largement répandus dans les régions tempérées et, en particulier, dans le bassin méditerranéen. Ces trois espèces ont été signalées au Maroc dans la région de Marrakech (Bouallam 1992). Elles ont une durée de vie courte et sont faciles à élever dans des conditions de laboratoire (25°C, 75-80 % d'humidité relative et photopériode 12 :12). La femelle pond ses œufs isolément à la surface de l'eau. L'éclosion des œufs se produit au bout de 2 jours environ et il en sort une larve nageuse mesurant à peine un millimètre de long (stade L1). Les larves passent par 4 stades larvaires avant de se nymphoser.

La durée du développement larvaire est de 11 à 13 jours chez *A. hispaniola* et de 7 à 9 jours chez *C. pipiens* et *C. hortensis*. La nymphe apparaît respectivement entre les 12^{ème} et 14^{ème} jour (durée 1,5 à 2 j) et entre les 8^{ème} et 10^{ème} jour (durée 1 à 1,5 j). La durée de vie du stade L1 jusqu'au stade adulte est de 13 à 15 jours chez *A. hispaniola* et de 8 à 11 jours chez *C. pipiens* et *C. hortensis*. La croissance chez *A. hispaniola* est plus lente que celle de *C. pipiens* et de *C. hortensis* car ces dernières sont des espèces polyvoltines. Les larves d'*Anophelinae* sont très voraces et se nourrissent de bactéries, de micro-organismes animaux (infusoires) et végétaux (algues). *A. hispaniola* se nourrit préférentiellement d'algues, surtout de spirogyres (Euchlorophycées) (Bouallam 1992).

Sur la base de ces caractéristiques, il nous est apparu intéressant de déterminer et de comparer les effets des métaux lourds sur le développement biologique de ces trois espèces afin de chercher d'éventuels bioindicateurs de pollution.

Cette étude, réalisée pour la première fois au Maroc, contribue au développement et à l'amélioration des tests écotoxicologiques des polluants chimiques, tels les métaux lourds, sur les Culicidae.

2. Matériel et méthodes

2.1. Milieux de récoltes

Les expérimentations ont été réalisées au laboratoire. Les moustiques proviennent de trois stations situées près de Marrakech.

- *A. hispaniola* a été récolté sur l'oued N'fis dans la station Agadir Tachraf. La température de l'eau y varie entre 13°C en hiver et 31,5°C en été. Le pH reste faiblement alcalin, il varie entre 6,7 et 8,1. La conductivité oscille entre 0,3 et 4,5 mS.cm⁻¹. Les teneurs en chlorures sont comprises entre 71 mg.L⁻¹ en période de crues et 601 mg.L⁻¹ en période d'étiage. La salinité varie entre 117 et 421,2 mg.L⁻¹. La dureté totale de l'eau et le pourcentage d'oxygène dissous varient respectivement entre 95-276 mg.L⁻¹ et 33-180 %. La concentration des orthophosphates reste toujours inférieure à la limite de détection < 1 mg.L⁻¹. (Tableau1).

- *C. pipiens* a été récolté dans le deuxième bassin de lagunage expérimental installé dans la zone d'épandage des eaux usées de Marrakech. La température de l'eau du bassin varie entre 13 et 32°C. Le pH est basique (7,5 à 8,4). Le taux d'oxygène varie de 6,2 à 400 % (Tableau1). La conductivité montre que les eaux de ce bassin sont très minéralisées, de 1,1 à 2 mS.cm⁻¹. L'analyse des facteurs liés à la pollution organique montre que l'eau du bassin de lagunage est très riche en composés azotés comparée à l'eau d'Agadir Tachraft.

- *C. hortensis* a été récolté dans le bassin d'élevage des grenouilles de la Faculté des Sciences Semlalia de Marrakech. La température de l'eau de cette station varie entre 10,5°C en janvier et 30°C en juillet, le pH entre 7,5 et 8,3 et la conductivité entre 2,4 et 2,6 mS.cm⁻¹ (Tableau 1).

En plus de ces trois stations et pour les expérimentations au laboratoire, l'eau a été prélevée dans un puits de la Faculté des Sciences Semlalia Marrakech (Bouallam 1998). L'eau de ce puits se caractérise par un pH légèrement basique (6,5 à 7,7), une température comprise entre 11 et 30,5°C et un taux d'oxygène entre 45 et 61 % (Tableau1).

2.2. Effet léthal des métaux lourds

Ce test a été réalisé pour calculer la concentration létale pour 50 % des individus (CL50). La méthode des

Tableau 1. Facteurs physico-chimiques et métaux lourds (min. et max.) dans les eaux des stations étudiées.

Table 1. Physico-chemical parameters and heavy metals (min. and max.) of water from the studied stations.

Paramètres physico-chimiques et métaux lourds	Agadir Tachraft	Deuxième bassin de lagunage	Bassin de la Faculté	Puits de la Faculté
T° eau °C	13-31,5	13-32	10,5-30	11-30,5
pH	6,7-8,1	7,5-8,39	7,5-8,28	6,5-7,66
O ₂ %	33-180	6,2-400	10,2-38	45-61
Cd mS/cm	0,3-4,5	1,1-2	2,4-2,6	0,6-2
MES mg/l ⁻¹	0,005-1240	0,05-700	0,9-38	0,4-25
Cl ⁻ mg/l ⁻¹	71-601	298-609,5	355-426	127-395
NaCl mg/l ⁻¹	117-421,2	491,4-585	585-702	210,6-327,6
Dureté Tot. mg/l ⁻¹	95-276	128-520	780-920	168-526
Ca ²⁺ mg/l ⁻¹	51,3-67,3	59,3-96,2	144,3-155,5	64,13-86,57
Mg ²⁺ mg/l ⁻¹	155,5-204,1	179,8-291,6	437,4-471,4	194,4-262,4
PO ₄ ³⁻ mg/l ⁻¹	0,005-0,5	0,5-7	2,8-2,62	0,002-0,32
NH ₄ ⁺ mg/l ⁻¹	0,005-0,25	0,23-15	0,23-0,29	0,086-0,23
Cu µg/l ⁻¹	0,54-4,14	2,49-2,98	0,77-3,60	0,55-1,72
Pb µg/l ⁻¹	0,57-1,8	0,96-2,58	0,24-1,28	0,25-0,94
Cd µg/l ⁻¹	0,08-1,6	0,08-0,6	0,6-2,8	0,08-1

probits a été utilisée pour valider ce test. La mortalité chez le témoin doit être inférieure ou égale à 10 %. Dans nos expériences, le taux de mortalité n'a jamais dépassé 6 %. Trois tests préliminaires ont été effectués pour mettre au point les conditions de réalisation du test définitif.

Avant chaque expérience, les larves ont été acclimatées 24 heures dans l'eau du puits à la température ambiante du laboratoire (entre 20 et 23°C) afin d'éliminer les individus fragilisés pendant le transport (Bouallam 1997).

L'effet des métaux lourds qui entrent dans la composition chimique de plusieurs pesticides (insecticides) organiques a été testé sur les larves des trois espèces aux stades L2 et L4 jeune à des taux différents afin de déterminer la CL50 pendant un temps d'exposition déterminé préalablement. Les solutions mères de Cu, Hg

et Cd utilisées pour étudier la toxicité sont toutes des produits pour analyse et contiennent respectivement du sulfate de cuivre (CuSO₄ · 5H₂O, Janssen Chimica, Belgique), du chlorure de mercure (Hg₂Cl₂, Prolabo, France) et du nitrate de cadmium (Cd(NO₃)₂ · 4H₂O, Riedel-De Haën AG Seelze-Hannover, Allemagne).

Les différentes concentrations testées sur les 3 espèces sont récapitulées dans le tableau 2.

Les expériences ont été réalisées sur des lots de 5 larves placées dans un pilulier en verre de 95 ml. Le test est répété 3 fois. Les dilutions sont réalisées avec de l'eau du puits, dont on connaît les caractéristiques physico-chimiques. Le volume final de la solution est de 50 ml et les piluliers ont été placés dans un bain-marie à 25°C. Après 24 h d'exposition, on dénombre les individus morts dans chaque pilulier pour calculer la CL50.

Tableau 2. Concentrations du Cu, Hg et Cd en mg.L⁻¹ testées sur les trois espèces étudiées.Table 2. Concentrations of Cu, Hg and Cd (mg.L⁻¹) in three species studied.

Conc.(mg.L ⁻¹)		Cu							Hg					Cd					
		1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	0,5	1	1,5	2	2,5	3
<i>Anopheles hispaniola</i>	Stade L2	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	0,5	1	1,5	2	2,5	3
	Stade L4	3,6	3,7	3,8	3,9	4	4,1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5	1	2	3	4	5	6
<i>Culex pipiens</i>	Stade L2	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	2,5	3	3,5	4	4,5	5
	Stade L4	5,6	5,7	5,8	5,9	6	6,1	3,5	4	4,5	5	5,5	6	16	16,5	17	17,5	18	18,5
<i>Culex hortensis</i>	Stade L2	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,5	1	1,5	2	2,5	3
	Stade L4	4,6	4,8	5	5,2	5,4	5,6	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	8	10	12	14	16

Les tests de toxicité réalisés pour le calcul de la CL50 ont été répétés 3 fois pour obtenir la moyenne des probits et leur écart-type.

3. Résultats

Les résultats sont récapitulés dans le tableau 3 et dans les figures 1 à 3. Il apparaît que la CL50(24h) chez *A. hispaniola* est plus faible que chez *C. hortensis* et *C. pipiens* pour le stade L₄, elle est de 3,78, 1,52 et 4,81 mg.L⁻¹ pour Cu, Hg et Cd, respectivement. Au stade L2, *C. hortensis* est l'espèce la plus sensible pour le Cu et le Hg, la CL50(24 h) est respectivement de 0,02 et 0,13 mg.L⁻¹. Chez *C. pipiens*, la CL50(24h) pour le stade L4 est la plus élevée, elle est de 5,91, 4,43 et 17,48 mg.L⁻¹ pour Cu, Hg et Cd, respectivement.

Les courbes figurant la moyenne des Probits en fonction du Log des différentes concentrations en Cu, Hg et Cd (Figs. 1, 2, 3) montrent que :

- chez les trois espèces au stade L₄, il n'y a pas de différence importante dans les résultats des tests de toxicité et le pourcentage de mortalité observé est presque toujours le même au cours des expériences ;

- par ailleurs, au stade L2, on observe une très légère différence entre les résultats des tests, comme le montrent les écarts - types des moyennes.

Une différence est sensible à la concentration 3 mg.L⁻¹ de Cd chez *A. hispaniola* au stade L2 (Fig. 1 : 3a). Elle est notée à la concentration 0,25 mg.L⁻¹ de Hg chez *C. pipiens* (Fig.2 : 2a).

Chez *C. hortensis*, la différence est notée aux concentrations 0,05 et 0,06 mg.L⁻¹ de Cu et à la concentration de 3 mg.L⁻¹ de Cd (Figs. 3 : 1a, 3 : 3a).

La reproductibilité des tests de toxicité du Cu, Hg et Cd sur les stades L2 et L4 des trois espèces étudiées est de plus de 96 % d'après le test de Coefficient de Variation.

La sensibilité au Cd ne diffère pas significativement chez les deux espèces *A. hispaniola* et *C. hortensis* au stade L2 d'après le test de Newman - Keuls.

4. Discussion

Une étude de la toxicité des métaux lourds sur les larves d'*Aedes aegypti* au stade L3 a donné une CL50 (24h) de 3,1, 16,5 et 33 ppm pour Hg, Cd et Cu (Rayms-Keller et al. 1998).

Pour le Hg et le Cd, nos résultats sont proches de ceux obtenus pour *A. aegypti*, en revanche pour le Cu, les deux résultats diffèrent nettement. Ceci peut être dû au fait qu'*A. aegypti* (moustique vecteur de la fièvre jaune) est une espèce domestique sténotope qui colonise les milieux sub-littoraux marécageux ou les creux de rocher en front de mer riches en nitrates (6 ppm) et en orthophosphates (0.5 ppm) (Metge 1986, Metge & Alaoui 1987).

A. hispaniola se montre plus sensible aux trois métaux étudiés que *C. hortensis* et *C. pipiens* pour le stade L4. Au stade L2, *C. hortensis* est l'espèce la plus sensible pour le Cu et le Hg. Par contre, *A. hispaniola* et *C. hortensis* présentent la même sensibilité vis-à-vis du Cd selon le test de Newman - Keuls.

Tableau 3. Valeurs évaluées des CL50 (24 h) en mg.L⁻¹ de métaux lourds (cuivre, mercure et cadmium) sur les stades larvaires d'*A. hispaniola*, de *C. pipiens* et de *C. hortensis*.

Table 3. 24-hour LC50 values for Cu, Hg, and Cd (mg.L⁻¹) in larval instars of *A. hispaniola*, *C. pipiens* and *C. hortensis*.

CL50 (24h) en mg.L ⁻¹		Cu	Hg	Cd
<i>A. hispaniola</i>	Stade L2	1,04 ± 0,01	0,78 ± 0,02	0,83 ± 0,02 a
	Stade L4	3,78 ± 0,03	1,52 ± 0,03	4,81 ± 0,07
<i>C. pipiens</i>	Stade L2	0,50 ± 0,01	0,91 ± 0,03	3,65 ± 0,03
	Stade L4	5,91 ± 0,01	4,43 ± 0,01	17,48 ± 0,02
<i>C. hortensis</i>	Stade L2	0,02 ± 0,00	0,13 ± 0,00	0,81 ± 0,03 a
	Stade L4	5,02 ± 0,01	3,10 ± 0,12	9,91 ± 0,05

Les chiffres ayant les mêmes lettres ne sont pas significativement différents à 5 % (test de Newman - Keuls).

The numbers followed by the same letter are not significantly different at 5 % (Newman - Keuls test).

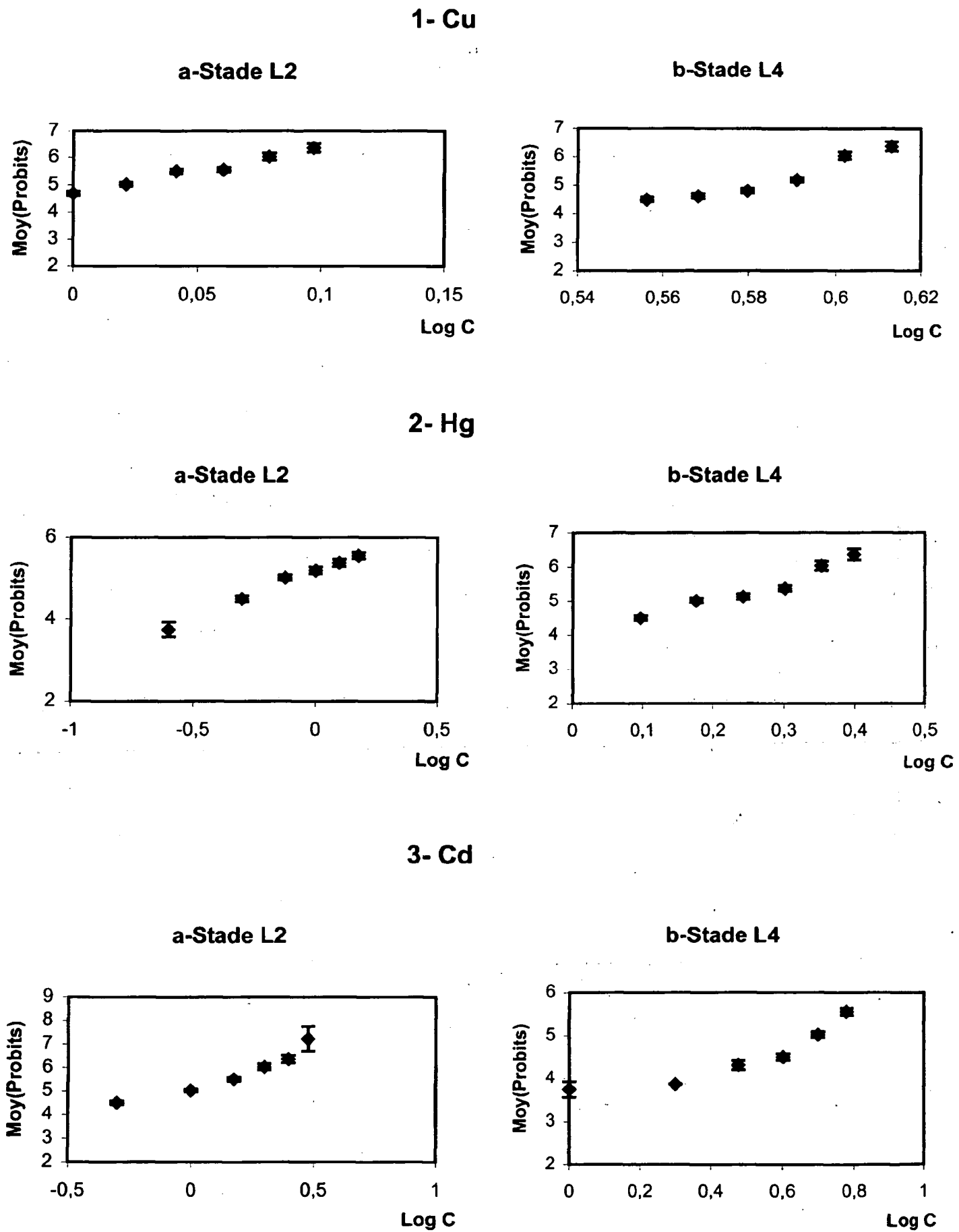


Fig. 1. Moyenne des probits exprimant la toxicité létale des métaux lourds cuivre, mercure et cadmium sur les stades larvaires L2 et L4 d'*A. hispaniola*. C : Concentration du métal. n=3.

Fig. 1. Average lethal toxicity of heavy metals copper, mercury and cadmium on L2 and L4 larval instars of *A. hispaniola*. C : Concentration of metal. n=3.

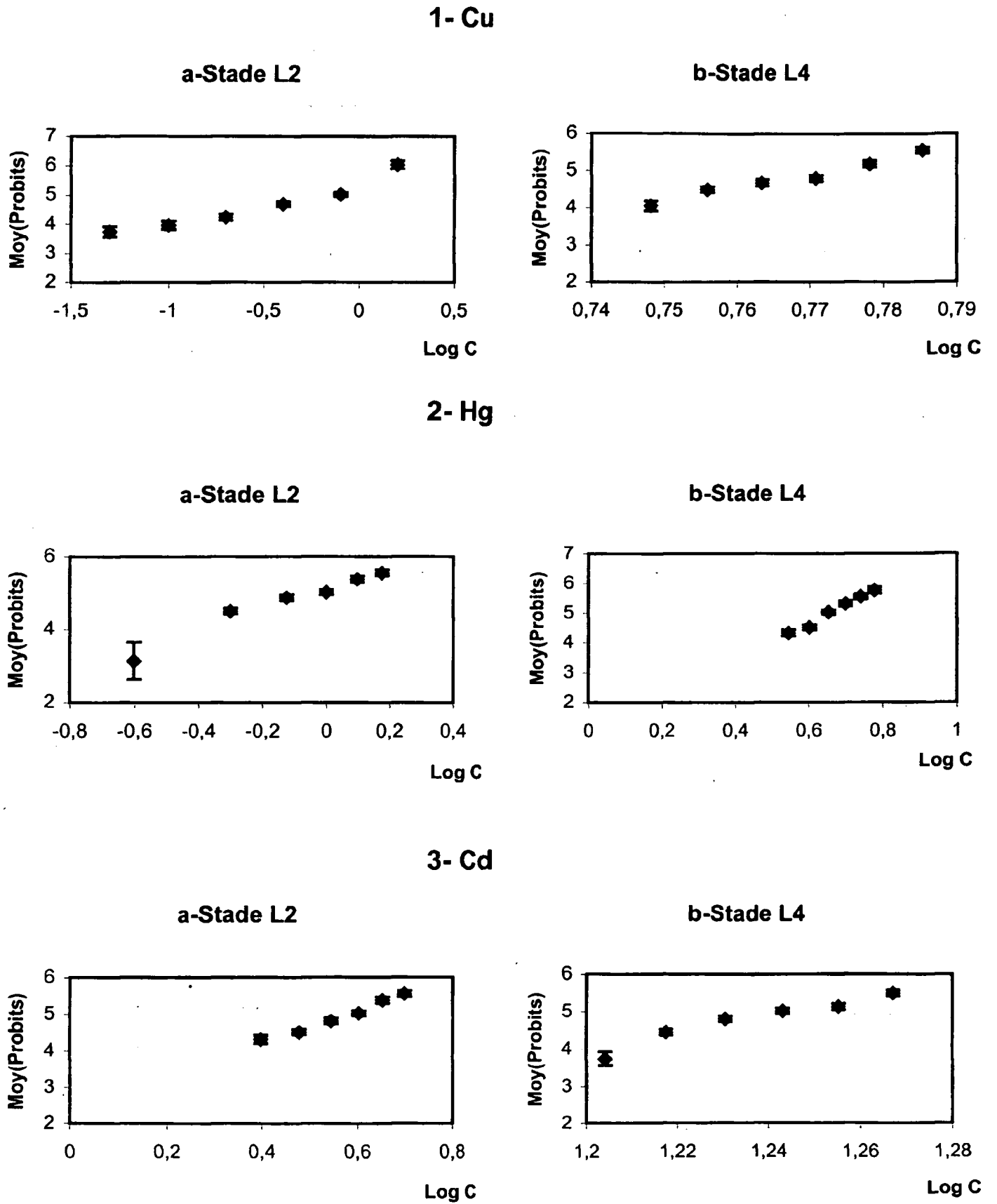


Fig. 2. Moyenne des probits exprimant la toxicité létale des métaux lourds cuivre, mercure et cadmium sur les stades larvaires L2 et L4 de *C. pipiens*. C : Concentration du métal. n=3.

Fig. 2. Average lethal toxicity of heavy metals copper, mercury and cadmium on L2 and L4 larval instars of *C. pipiens*. C : Concentration of metal. n=3.

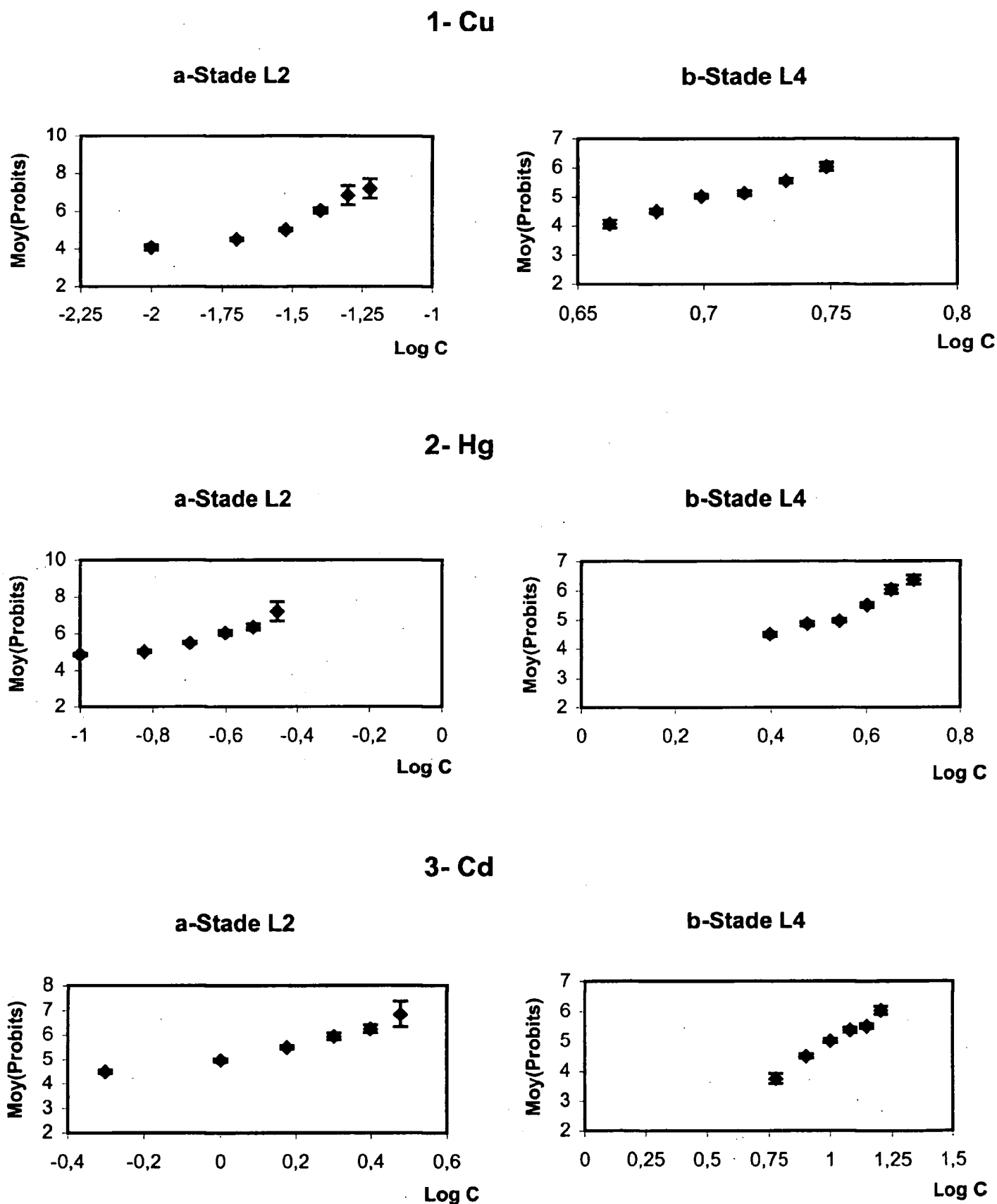


Fig. 3. Moyenne des probits exprimant la toxicité létale des métaux lourds cuivre, mercure et cadmium sur les stades larvaires L2 et L4 de *C. hortensis*. C : Concentration du métal. n=3.

Fig. 3. Average lethal toxicity of heavy metals copper, mercury and cadmium on L2 and L4 larval instars of *C. hortensis*. C : Concentration of metal. n=3.

Les résultats montrent qu'*A. hispaniola* qui présente un cycle de vie relativement court et qui peut s'élever facilement au laboratoire, présente une sensibilité 2 fois plus élevée pour le Hg, 3,4 fois plus forte pour le Cd et 8,6 fois plus importante pour le Cu qu'*Aedes aegypti* qui présente les mêmes propriétés et a été proposée par Rayms-Keller et al. (1998) comme espèce-test pour étudier les effets biologiques des métaux lourds sur les insectes aquatiques.

La légère différence dans les tests de toxicité au stade L2 signifie vraisemblablement que ce stade est d'autant plus sensible aux métaux lourds que la mortalité y est plus grande et sa maintenance en vie est plus difficile qu'au stade L4. Ceci pourrait être dû à une résistance acquise progressivement au cours de la croissance larvaire.

Les métaux lourds qui peuvent contaminer l'eau et la nourriture, pénètrent chez les organismes aquatiques (larves de Culicidés et de Chironomidés) par ingestion (Salanki et al. 1982). Le micropyle qui est un canal servant d'entrée au sperme peut aussi être une voie d'entrée pour les métaux lourds présents au voisinage de l'œuf (Rayms-Keller et al. 1998).

Ces effets des métaux lourds sur le développement et la mortalité des larves ne doivent pas surprendre car des résultats similaires ont été observés chez d'autres diptères (Hare 1992). En général, ces effets sont directement proportionnels aux concentrations des métaux.

La résistance de *C. pipiens* peut s'expliquer par la qualité du milieu d'origine de cette espèce. En effet, l'eau du deuxième bassin de lagunage est chargée en Chlorures (298 à 610 mg de Cl⁻. L⁻¹), en ions Ammonium (0,23 à 15 mg.L⁻¹), en Cuivre (2,49 à 2,98 µg.L⁻¹), en Cadmium (0,08 à 0,6 µg.L⁻¹) et en Plomb (0,96 à 2,58 µg.L⁻¹) ; la dureté est de 128 à 520 mg de CaCO₃.L⁻¹ (Tableau 1). Les teneurs dépassent la concentration recommandée par la F.A.O. pour les eaux d'irrigation qui est de 10 µg.L⁻¹. On sait que l'effet de la préexposition aux métaux entraîne une augmentation de la tolérance et de la résistance de l'espèce considérée (Labat et al. 1977, Klaverkamp et al. 1984, Bradley et al. 1985). Cette préexposition répétée semble entraîner une acclimatation des espèces aux métaux.

La résistance aux métaux augmente avec le temps de séjour des larves dans le milieu naturel.

En outre, les résultats présentés par O'grady & Abdullah (1985) montrent que la concentration d'un métal peut être régulée dans les tissus mous. La modification de sa concentration par élimination ou par transfert dans un autre organe dépend de la concentration du métal dans le milieu. Au contraire, les tissus squelet-

tiques présentent généralement des concentrations métalliques irréversibles.

En général, chez les organismes aquatiques, l'absorption des métaux lourds s'effectue par l'intermédiaire de plusieurs vecteurs soit par l'eau - accumulation directe -, soit par les particules en suspension, le sédiment et la nourriture - accumulation indirecte -. Dans ces deux cas, les aspects quantitatif et qualitatif de l'accumulation sont en étroite relation d'une part, avec les conditions physico-chimiques du milieu (température, pH, matières en suspension.....) d'autre part, avec les caractéristiques biologiques de l'espèce considérée (sexe, âge....).

Les métaux lourds agissent sur le métabolisme (respiration, excrétion), la nutrition et la reproduction des animaux (Babu & Rao 1985, Nebeker et al. 1986, Gaudy 1988, Chagnon & Guttman 1989).

5. Conclusion

L'effet des trois métaux lourds Cu, Hg et Cd testés sur les larves de Culicidae est variable selon les stades larvaires. Il varie également selon le métal considéré et sa teneur. En effet, chez les trois espèces étudiées, le stade L2 est plus sensible que le stade L4. Cela peut révéler une résistance acquise au cours de la croissance larvaire. Ceci confirme la recommandation de réaliser les tests de sensibilité sur les stades jeunes des organismes.

Au stade L4, *A. hispaniola* se montre plus sensible aux trois métaux testés que *C. hortensis* et *C. pipiens*. La résistance de *C. pipiens* pourrait être due aux caractéristiques du milieu de vie de cette espèce, déjà riche en métaux lourds.

La connaissance des mécanismes d'action des métaux lourds sur *Anopheles hispaniola*, espèce à cycle vital très court et facile à élever au laboratoire, font envisager cette espèce comme une espèce-test possible pour l'étude des effets des métaux lourds sur les insectes aquatiques. Toutefois, pour valider ce nouveau type de test, il sera important de travailler avec des souches de référence obtenues au laboratoire et dont on peut garantir la sensibilité.

Travaux cités

- Babu G.R. & Rao P.V. 1985. — Effect of copper sulphate on respiration, electron transport and redox potential in the digestive gland of the snail host, *Lymnaea luteola*. *Bull. envir. Contam. Toxicol.*, 34 : 396-402.
- Bouallam S. 1992. — Le Paludisme et les Moustiques dans la région de Marrakech. Ecologie et cycles biologiques des espèces culicidiennes. Thèse de 3^{ème} cycle, Univ. Cadi Ayyad, Fac Sc. Semlalia, Marrakech, Maroc : 127p.

- Bouallam S, Badri A, Maarouf A, Bouzidi A. 1997. — *Gambusia affinis* (Poecillidae des Khetaras) comme outil de lutte biologique contre les Anophèles vecteurs potentiels du paludisme au Maroc. *Mém. Biospéol.*, 24 : 83-87.
- Bouallam S, Maarouf A, Bouzidi A, Badri A. 1998. — Efficacité des traitements chimique et biologique sur les Culicidae : effet létal du téméphos et taux de consommation par *Gambusia affinis*. *Annls Limnol.*, 34 (1) : 99-105
- Bradley R.W. & Sprague J.B. 1985. — Accumulation of zinc by Rainbow trout as influenced by pH, water hardness and fish size. *Envir. Toxicol. Chem.*, 4 : 685-694.
- Cain D.J., Luoma S.N., Carter J.L. & Fend S.V. 1992. — Aquatic insects as bioindicators of trace element contamination in cobble-bottom rivers and streams. *Can. J. Fish. aquat. Sci.*, 49 : 2141-2154.
- Campbell K.R. 1994. — Concentration of heavy metals associated with urban runoff in fish living in stormwater treatment ponds. *Arch. Envir. Contam. Toxicol.*, 27 : 352-356.
- Chagnon N.L. & Guttman S.I. 1989. — Differential survivorship of Allozyme Genotypes in mosquitofish populations exposed to copper or cadmium. *Envir. Toxicol. Chem.*, 8 : 319-326.
- Clements W.H., & Kifney P.M. 1994. — Integrated laboratory and field approach for assessing impacts of heavy metals at the Arkansas River, Colorado. *Envir. Toxicol. Chem.*, 13 : 397-404.
- Dallinger R. 1994. — Invertebrate organism as biological indicator of heavy metal pollution. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 48 : 27-31.
- Dukerschein J.T., Wieber J.G., Rada R.G. & Steingraeberf M.T. 1992. — Cadmium and mercury in emergent mayflies (*Hexagenia bilineata*) from the upper Mississippi River. *Arch. envir. Contam. Toxicol.*, 23 : 109-116.
- Forstner U. & Wittmann G.T.W. 1981. — *Metal pollution in the aquatic environment*. Springer-Verlag, Berlin : 486 p.
- Gaudy R. 1988. — Action des métaux lourds sur le métabolisme (respiration, excrétion), la nutrition et la reproduction des crustacés. *Océanis*, 9 (8) : 613-625.
- Guy Y. 1963. — Bilan épidémiologique du paludisme au Maroc (données recueillies en 1960, 1961 et 1962). *Ann. Parasit. Hum. Comp.*, 38 : 823-857.
- Hare L. 1992. — Aquatic insects and trace metals : Bioavailability, bioaccumulation, and toxicity. *Crit. Rev. Toxicol.*, 22 : 327-369.
- Klaverkamp J.F., Macdonald W.A., Duncan D.A. & Wagemann R. 1984. — Metallothionein and acclimation to heavy metals in fish : a review. In : *Contaminant Effects on Fisheries*, Cairns, V.W., Hodson P.V. & Niriagu J.O.(eds). Vol. 16, Adv. Envir. Sci. Technol., John Wiley & Sons, Toronto : 320 p
- Labat R., Roqueplo C., Ricard J.M., Lim P. & Burgat M. 1977. — Actions écotoxicologiques de certains métaux (Cu, Zn, Pb, Cd) chez les poissons dulçaquicoles de la rivière Lot. *Annls. Limnol.*, 13 (2) : 191-207.
- Metge G. 1986. — Etude des écosystèmes hydromorphes (Dayas et merjas) de la Méséta marocaine. Typologie et synthèse cartographique à objectif sanitaire appliquée aux populations d'*Anopheles labranchiae* (Falleroni, 1926). Thèse doctorat ès-Sciences, Fac. Sci. St Jérôme. Univ. Aix-Marseille III : 245 p.
- Metge G. & El Alaoui M. 1987. — Etude de la dynamique des populations d'*Aedes echinus* (Culicide dendrolimnique) en écophase aquatique au Maroc. *Annls. Limnol.*, 23 (2) : 129-134.
- Nebeker A.V., Onjukka S.T., Cairns M.A. & Krawczyk D.F. 1986. — Survival of *Daphnia magna* and *Hyalella azteca* in cadmium-spiked water sediment. *Envir. Toxicol. Chem.*, 5 : 933-938.
- Ouazzani N. 1998. — Traitement extensif des eaux usées en vue d'une réutilisation en agriculture. Thèse doctorat ès-Sciences. Univ. Cadi Ayyad. Fac. Sc. Semlalia. Marrakech : 241 p.
- O'grady K.T. & Abdullah M.I. 1985. — Mobility and residence of Zn in Brown Trout *Salmo trutta* : Results of Environmentally Induced change through Transfer. *Environ. Poll. (Serie A)*. 38 : 109-127.
- Postma J.F. & Davids C. 1995. — Tolerance induction and life cycle changes in cadmium-exposed *Chironomus riparius* (Diptera) during consecutive generations. *Ecotoxicol. Envir. Saf.*, 30 : 195-202.
- Postma J.F., Buckert-de jong M.C., Staats N. & Davids C. 1994. — Chronic toxicity of cadmium to *Chironomus riparius* (Diptera : Chironomidae) at different food levels. *Arch. Envir. Contam. Toxicol.*, 26 : 143-148.
- Rayms-Keller A., Olson K.E., Mc Gaw M., Oray C., Carlson J.O. & Beaty B.J. 1998. — Effect of heavy metals on *Aedes aegypti* (Diptera : Culicidae). *Ecotox. Envir. Safety*, 39 : 41-47.
- Reynoldson T.B. & Metcalfe-Smith J.L. 1992. — An overview of the assessment of aquatic ecosystems health using benthic invertebrates. *J. Aquat. Ecosystems Health*, 1 : 295-308.
- Ribeiro R., Lima L.M., Goncalves F. & Soares A.M.V.M. 1995. — Metier (Modular Ecotoxicity Test Incorporating Ecological Relevance) for difficult substances : *Aedes aegypti* initial module test development using dichloroaniline. *Environ. Toxicol. Chem.*, 14 : 1241-1246.
- Salanki J., Licsko I., Laszlo F., Balogh K.V., Varanka I. & Mastala Z. 1992. — Changes in the concentration of heavy metals in the Zala minor Balaton - Zala System (water, sediment, Aquatic life). *Wat. Sci. Tech.*, 25 (11) : 173-180.
- Suzuki T.K., Sunaga H., Aoki Y. Hatakeyama S., Sugaya Y., Sumi Y. & Suzuki T. 1988. — Binding of cadmium and copper in the mayfly *Baetis thermicus* larvae that inhabit a river polluted with heavy metals. *Comp. Biochem. Physiol.*, C 91 : 487-492.
- Timmermans K.R., Peeters W. & Tonkes M. 1992. — Cadmium, zinc, lead and copper in *Chironomus riparius* (Meigen) larvae (Diptera, Chironomidae) : Uptake and effects. *Hydrobiologia*, 241 : 119-134.
- Wong P.T.S. & Dixon D.G. 1995. — Bioassessment of water quality. *Envir. Toxicol. Water Qual.*, 10 : 9-17.