AquaDocs

Structure trophique des peuplements de nématodes libres marins dans un milieu expérimentalement enrichi en cadmium et/ou en hydrocarbures (diesel)

Item Type	Journal Contribution
Authors	Mahmoudi, E.; Essid, N.; Beyrem, H.; Hedfi, A.; Boufahja, F.; Aissa, P.; Vitiello, P.
Citation	Bulletin de l Institut national des sciences et technologies de la Mer, 32. p. 59-67
Publisher	INSTM
Download date	06/02/2023 12:11:10
Link to Item	http://hdl.handle.net/1834/3740

STRUCTURE TROPHIQUE DES PEUPLEMENTS DE NEMATODES LIBRES MARINS DANS UN MILIEU EXPERIMENTALEMENT ENRICHI EN CADMIUM ET/OU EN HYDROCARBURES (DIESEL)

Ezzeddine MAHMOUDI[1*], N. ESSID, H. BEYREM[1], A. HEDFI[1], F. BOUFAHJA[1], P. AISSA et P. VITIELLO[2]

1-Laboratoire de Biosurveillance de l'Environnement, Faculté des Sciences de Bizerte, Zarzouna 7021 Bizerte, Fax : 216 72 590 566.

2-Centre d'Océanologie de Marseille, Case 901, 13288 Marseille Cedex 9, France.

* ezzeddine.mahmoudi@laposte.net

ملخص

التركيبة الغذائية لتجمعات الديدان الخيطية الحرة في وسط تجريبي مثر بالكادميوم و/أو المحروقات (ديازال) : أجرينا دراسة في وسط تجريبي لمعرفة تأثير معدن ثقيل (الكادميوم) و/أو أحد المحروقات (ديازال) على التركيبة الغذائية لتجمعات الديدان الخيطية الحرة المتأتية من بحيرة غار الملح.

لمعرفة تأثير مختلف الجرعات من هذه الملوثات وقع استعمال ثلاث جرعات مختلفة من الكادميوم (ضعيفة و متوسطة و قوية) و جرعة واحدة من الديازال كما تم المزج، في وسط تجريبي آخر، بين الجرعة القوية من الكادميوم و الجرعة المستعملة من الديازال.

بينت نتائج التحليل الأحادية المتحصل عليها بعد 90 يوما وجود فوارق غير معبرة لأغلبية المؤشرات بين الوسط التجريبي الشاهد و الأوساط المعالجة. حيث أن المؤشر الغذائي ($\Sigma\theta^2$) لم يتأثر إلا بالجرعة الضعيفة من الكادميوم بينما تقلص الكسر 1B/2A في الأوساط المعالجة بجرعة متوسطة من الكادميوم أو بجرعة الديازال و سجل زيادة معبرة في تلك المعالجة بالمزيج "كادميوم- ديازال".

أظهرت التحاليل المتعددة المتعلقة بكثافة الأنواع الغذائية للديدان الخيطية الحرة أن هذه الأخيرة لم تتأثر بالكادميوم بمختلف جرعاته و لا حتى بالجرعة المستعملة من الديازال بمفردها بينما سجلت تغيرات عميقة في التركيبة الغذائية لتجمعات الديدان الخيطية الحرة داخل الوسط المعالج بمزيج الجرعة القوية من الكادميوم و الديازال أين لوحظت هيمنة الديدان الخيطية الكالشة المفترسة (2B) التي مثلت كثافتها % 53,05 و التي من أهمها *Oncholaimus Campylocercoïdes* (19,56%). أما الوسط الشاهد و كذلك الأوساط المعالجة بمختلف الجرعات من الكادميوم و الوسط المعالج بالديازال بمفرده فقد طغت عليها آكلات الأبيسترات (2A) مثل *Marylynnia Stekhoveni* (12,61 %) .

كلمات مفاتيح : وسط تجريبي، رواسب، الديدان الخيطية الحرة، معادن ثقيلة، كوبالت.

RESUME

Une étude en microcosme a été entreprise pour examiner l'influence d'un métal lourd (le cadmium) et/ou du diesel sur la structure trophique d'une communauté de nématodes libres provenant de la lagune de Ghar El Melh (Tunisie). Trois doses en cadmium [faible : 0,54 mg Cd kg^{-1} (poids sec, *ps*), moyenne : 0,90 mg Cd kg^{-1} (*ps*) et forte : 1,40 mg Cd kg^{-1}(*ps*)], une dose de diesel de 0,25 mg kg^{-1} (*ps*) et un mélange de cadmium et de diesel [1,40 mg Cd kg^{-1}(*ps*) + 0,25 mg kg^{-1} de diesel (*ps*)] ont été testées pour évaluer les effets de ces polluants après 90 jours d'exposition. Les résultats des analyses statistiques univariées n'ont montré aucune différence significative pour la plupart des indices des communautés traitées par rapport à l'assemblage témoin. Ainsi, l'index trophique ($\Sigma\theta^2$) n'a augmenté que dans les microcosmes contaminés par la faible dose en cadmium. Par ailleurs, le rapport 1B/2A a été significativement réduit ($p<0,05$) dans les replicats traités avec une dose moyenne en cadmium ou en diesel à 0,25 mg kg^{-1} (*ps*) et au contraire significativement plus élevé avec le mélange cadmium-diesel. Les analyses statistiques multivariées ont révélé que seul le mélange cadmium-diesel entraîne une modification profonde de la structure trophique des peuplements de nématodes. Ainsi, la communauté exposée à ce mélange binaire a été dominée par les omnivores-prédateurs (2B) (53,50%) représentés essentiellement par les espèces *Oncholaimus campylocercoïdes* (19,56%), *Enoploïdes sp*. (12,38%), *Mesacanthion hirsutum* (8,88%), *Bathylaimus australis* (5,65%) et *Oncholaimellus mediterraneus* (4,11%). Par contre, les assemblages de nématodes du microcosme témoin et de ceux contaminés seulement par du cadmium ou du diesel ont été dominés par les mangeurs d'épistrates (2A) (>47%). *Marylynnia stekhoveni* (12,61%), *Calomicrolaimus honestus* (12,44%), *Hypodontolaimus colesi* (9,65%), *Neochromadora trichophora* (5,05%) et *Odontophora wieseri* (3,74%) ont été les principaux représentants de cette catégorie trophique.

Mots-clés : groupes trophiques, nématodes libres marins, métaux lourds, cadmium, diesel.

ABSTRACT

Response of a free living nematode community to a heavy metal (cadmium) and/or diesel contamination: results from microcosm experiments : A microcosm experiment was carried out to study the influence of cadmium and/or diesel on the trophic structure of a free living nematode community of a Tunisian lagoon. Sediments were contaminated by three cadmium concentrations (low (0.54 mg kg^{-1} (*dw*)), medium (0.90 mg kg^{-1} (*dw*)) and high (1.4 mg kg^{-1} (*dw*)), and effects were examined after 90 days. Univariate analysis showed that most univariate indices did not change significantly neither at all the levels of cadmium contamination nor at 0.25 mg kg^{-1} (*dw*) diesel concentration. Thus, the trophic index($\Sigma\theta^2$) was only affected by the cadmium low dose [Cd (L)] and the 1B/2A ratio was reduced in the microcosms treated with a medium cadmium concentration [Cd (M)] and also in the replicates contaminated with diesel at 0.25 mg kg^{-1} (*dw*) but this index (1B/2A) significantly increased in the microcosms treated with the cadmium-diesel mixture [Cd (H) + Dies 0.25]. Multivariate analyses of the feeding group abundance data demonstrated that the community trophic structure was not affected neither at all the levels of cadmium contamination nor at 0.25 mg kg^{-1} (*dw*) diesel concentration. But, at the cadmium-diesel mixture significant differences were recorded between nematode assemblages from uncontaminated sediment control microcosm and those from cadmium-diesel mixture amended sediment treatments. The replicates contaminated with the mixture of cadmium and diesel were dominated by predators (2B) (53,50%). The most abundant species of this group (2B) were *Oncholaimus campylocercoïdes* (19,56%), *Enoploïdes sp.* (12,38%), *Mesacanthion hirsutum* (8,88%), *Bathylaimus australis* (5,65%) and *Oncholaimellus mediterraneus* (4,11%). The control microcosme (C), those contaminated by increasing levels of cadmium [Cd (L), Cd (M), Cd (H)] and the treated with diesel [Dies 0,25] were dominated by epistrate feeders (2A) (>47%). This group (2A) was mainly represented by *Marylynnia stekhoveni* (12,61%), *Calomicrolaimus honestus* (12,44%), *Hypodontolaimus colesi* (9,65%), *Neochromadora trichophora* (5,05%) and *Odontophora wieseri* (3,74%).
***Key words*:** feeding groups, free living nematodes, heavy metals, cadmium, diesel

INTRODUCTION

Les plus importants contaminants des écosystèmes aquatiques sont les métaux lourds [cuivre (Cu), cadmium (Cd), nickel (Ni), plomb (Pb) et zinc (Zn)] (Hagopian-Schlekat *et al.*, 2001), l'arsenic, les Polychlorobiphényles (PCBs), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (Babut et Perrodin, 2001), les perturbateurs endocriniens (Halling-Sørensen *et al.*, 1998) et les pesticides (Peris *et al.*, 2005 ; Yang *et al.*, 2005).

Parmi les métaux traces, le cadmium est considéré comme cancérigène pour l'Homme par l'Agence de la Protection de l'Environnement (EPA) (Merril *et al.*, 2001). La plupart des travaux sur la toxicité de ce contaminant sont concentrés sur son impact au niveau cellulaire (Boscolo *et al.*, 1985 ; Fotakis *et al.*, 2005) ou sur des espèces isolées (George et Pirie, 1979 ; Moraïtou-Apostolopoulou et Verriopoulos, 1982 ; Etexeberria *et al.*, 1994). Toutefois, quelques approches ont été faites pour évaluer les risques potentiels de certains métaux lourds sur des communautés de méiofaune (Warwick *et al.*, 1988 ; Sundelin et Elmgren, 1991 ; Austen *et al.* 1994 ; Austen et McEvoy, 1997 ; Austen et Somerfield 1997 ; Gyedu-Ababio et Baird, 2006). Plusieurs de ces études ont conduit à des résultats conflictuels. Le cadmium, par exemple, semble inoffensif pour le méiobenthos et ceci même à forte dose (Austen *et al.*, 1994). Selon Austen et McEvoy (1997), le zinc et le plomb seraient plus toxiques pour les communautés de nématodes marines, à faibles doses qu'à fortes concentrations. La contamination par les métaux lourds altère significativement la composition des associations de méiofaune (Burton *et al.*, 2001 ; Mahmoudi *et al.*, 2002 ; Gyedu-Ababio et Baird, 2006).

Même si les sédiments aquatiques contiennent le plus souvent des mélanges complexes de contaminants, y compris des métaux traces et des hydrocarbures (Daskalakis et O'Conner, 1995 ; Kennicutt *et al.*, 1996), l'influence de la pollution mixte sur les communautés n'est que très peu connue (Breitburg *et al.*, 1999) et rares sont les informations relatives à l'action combinée des contaminants sur la méiofaune (Millward *et al.*, 2004 ; Gyedu-Ababio et Baird, 2006).

Il est bien connu que les sédiments de la Méditerranée sont contaminés aussi bien par des hydrocarbures (Sellali *et al.*, 1992 ; Aboul-Kassim et Simoneit, 1996 ; Lipiatou *et al.*, 1997 ; Dachs *et al.*, 1999 ; Louati *et al.*, 2001) que par des métaux lourds (Bernhard 1978, Donazzolo, 1984 ; Martincic *et al.*, 1989; Palanques et Diaz, 1994 ; Rouibah, 2001; Mulsow *et al.*, 2001; Yoshida *et al.*, 2004) mais nous disposons de très peu de documents sur l'impact de ces polluants sur les communautés benthique. En effet, aucune étude *in vivo* n'a été conduite sur les effets combinés des hydrocarbures et des métaux traces sur les communautés benthiques de la

Méditerranée ; les études sur le terrain (Beyrem et Aïssa, 2000; Mahmoudi *et al.*, 2001; Mahmoudi *et al.*, 2002; Mahmoudi *et al.*, 2003) se sont limitées à rechercher des corrélations entre les concentrations en polluants et la composition des peuplements de nématodes.

Parmi les organismes benthiques, les associations de nématodes libres sont idéales pour les études en microcosmes car les nématodes libres passant la plupart de leur court cycle de vie dans le sédiment sont petits, abondants, faciles à maintenir en élevage (Suderman et Thistle, 2003) et sensibles à plusieurs produits toxiques (Guo *et al.*, 2001 ; Coull et Chandler, 1992 ; Long, 1992). Leur utilisation permet également de réduire la taille des enceintes sans que ces animaux perdent leur aptitude à répondre très rapidement aux perturbations environnementales.

Dans le présent travail, nous présentons les résultats d'une étude en microcosme réalisée pour évaluer les effets du cadmium et du diesel, séparés ou en mélange, sur une communauté de nématodes libres provenant d'une lagune côtière (la lagune de Ghar El Melh, Tunisie). Les investigations portent sur la comparaison de la structure trophique au niveau des microcosmes traités par du cadmium et/ou du diesel par rapport à un contrôle.

MATERIEL ET METHODES

1 - Site d'échantillonnage

Du sédiment avec sa méiofaune naturelle a été collecté dans la lagune de Ghar El Melh (Tunisie). Des carottiers de 10 cm² de section ont été introduits à une profondeur de 10 cm avant de transférer leur contenu dans des seaux en plastique. A noter que l'écosystème de Ghar el Melh a fait l'objet d'une étude ayant permis de déterminer les facteurs clés qui règlent la distribution de la méiofaune (Mahmoudi *et al.*, 2003). Dans le site de prospection (37° 09.10' N 10° 13.01' E), la profondeur a été de 1,30 m et la salinité a atteint 41.00 g l^{-1}. Le sédiment avec une médiane de 39 µm a été composé principalement de silt (40%) et d'argile (21%) et sa teneur en carbone organique a été de 1,32%.

Dès retour au laboratoire, le sédiment a été manuellement homogénéisé avec une large spatule avant d'être utilisé pour le remplissage des microcosmes.

2 - Contamination du sédiment avec du cadmium et/ou du diesel

Le sédiment destiné à être contaminé a été tout d'abord congelé et décongelé à trois reprises pour détruire sa méiofaune (Austein *et al.*, 1994), puis tamisé sur un tamis de 63 µm pour enlever les grosses particules. Ensuite, des quantités de 100 g de sédiment sec ont été préalablement contaminées avec des doses appropriées de chlorure de cadmium en solution dans le but d'obtenir après mélange avec 200 g de sédiment lagunaire naturel des concentrations finales en ce métal correspondant à des doses faible (0,54 mg Cd kg^{-1}), moyenne (0,90 mg Cd kg^{-1}) et forte (1,4 mg Cd kg^{-1}). Avant que les microcosmes ne soient installés, les 100 g de sédiment contaminés ont été conservés pendant une semaine à 5°C pour stabilisation.

3 - Démarrage de l'expérience

Les microcosmes consistent en des bouteilles en verre de 567 ml. Tous, sauf les témoins, ont été remplis, tout d'abord avec 300 g de sédiment [200 g de sédiment naturel + 100 g (poids sec) de sédiment contaminé] puis avec de l'eau lagunaire préalablement filtrée sur un tamis de 1 µm. Dans les microcosmes témoins, 100 g (poids sec) de sédiment dépourvu de méiofaune sont ajoutés à 200 g de sédiment naturel. Chaque microcosme fonctionne comme un système fermé avec une aération continue assurée par une pompe d'aquarium. La fiabilité d'un tel dispositif expérimental a été vérifiée par plusieurs auteurs (Austein *et al.*, 1994 ; Schratzberger et Warwick, 1998). Au total, il a été utilisé six types de microcosmes dont un témoin et cinq traités soit à l'une des trois doses de cadmium testées, soit au diesel, soit au mélange cadmium-diesel. Pour chaque type de microcosme, quatre replicats ont été considérés. Toutes les expériences ont été achevées après 90 jours et le sédiment de chaque microcosme a été conservé dans du formol à 4% en vue d'étudier la méiofaune.

4 - Techniques d'étude de la méiofaune

Les nématodes, taxon de méiofaune prédominant, ont été colorés au rose bengale, séparés par la méthode de lévigation-tamisage (Vitiello et Dinet, 1979) et comptés sous la loupe binoculaire pour le calcul de leur densité moyenne. La détermination de la structure spécifique des peuplements de nématodes a été réalisée en se basant sur les clés de Platt et Warwick (1983, 1988) et Warwick *et al.* (1998). Les catégories alimentaires des nématodes ont été déterminées en se basant sur la structure de leur cavité buccale et en adoptant la classification de Wieser (1953) qui distingue 4 groupes trophiques :

- les consommateurs sélectifs de dépôts (1A) à cavité buccale absente ou virtuelle, ces animaux avalant de petits particules grâce aux capacités de succion de leur oesophage.
- les consommateurs non sélectifs de dépôts (1B) à cavité buccale conique ou cylindrique, sans dents. Ces individus peuvent avaler de grandes particules comme des diatomées.
- les mangeurs d'épistrates (2A) à cavité buccale, pourvue de petites dents, qui leur permet de gratter ou sucer l'aliment consommé après perforation.

- les omnivores-prédateurs (2B) ayant une cavité buccale pourvue de grosses et puissantes dents, la proie étant entièrement aspirée ou perforée pour sucer son liquide nutritif.

5 - Traitement statistique des données

La plupart des analyses statistiques des données suivent les méthodes standards d'analyse des communautés décrites par Clarke (1993) et Clarke et Warwick (2001). Deux indices d'analyses univariées ont été considérés : l'index trophique $\Sigma\theta^2$ (Heip *et al.*, 1985 ; Donavaro *et al.*, 1995), égal à la somme des carrés des proportions de chaque catégorie trophique, sa valeur étant plus élevée quand prédomine un groupe alimentaire et le rapport des catégories trophiques 1B/2A (Warwick et Price, 1979 ; Lambshead, 1986) pour montrer la plus ou moins grande dominance des détritivores non sélectifs par rapport aux mangeurs d'épistrates. Ces deux indices ont été calculés pour chaque microcosme. Le test de Kruskall-Wallis d'ordre 1 (Test de la médiane) a été utilisé pour tester l'hypothèse nulle (Ho) selon laquelle les groupes sont superposables (même valeur de leurs médianes). Une fois l'Ho rejetée, le test de la différence significative de Tukey (Tukey HSD) a été utilisé dans des comparaisons multiples entre le contrôle et les microcosmes traités dans le but d'identifier les traitements qui montrent des différences significatives dans leurs indices par rapport au microcosme témoin. Dans tous les traitements statistiques considérés précédemment, le seuil de signification a été établi à 5%.
Les analyses multivariées ont été effectuées avec le logiciel PRIMER (Clarke et Gorley, 2001).
L'ordination des groupes trophiques selon la méthode MDS (non-parametric multi-dimensional scaling), réalisée en considérant les valeurs transformées (racine carrée) des abondances de chaque catégorie alimentaire, a été utilisée pour déterminer si les communautés de nématodes répondent à l'exposition au cadmium et /ou au diesel par des modifications de leur structure trophique. Le coefficient de similarité de Bray-Curtis (Bray-Curtis, 1957) a été utilisé pour construire la matrice de similarité entre les différents microcosmes. Le test d'analyse de similarités (ANOSIM) (Clarke, 1993) a été employé pour mettre en évidence l'existence d'éventuelles différences significatives entre les communautés dans les différents microcosmes traités. La procédure SIMPER (similarity percentage) (Clarke, 1993) a été utilisée pour déterminer la contribution de chaque groupe trophique à la dissimilarité de Bray-Curtis moyenne entre le contrôle et les microcosmes traités.
Dans le texte, les codes présentés dans le tableau I sont utilisés pour identifier les différents microcosmes.

Tableau 1 : Codes utilisés pour identifier les différents microcosmes.

Traitement	**Code**
Sédiment non contaminé	C
Sédiment à une concentration finale en cadmium égale à 0,54 mg kg^{-1} (*ps*)	Cd (L)
Sédiment à une concentration finale en cadmium égale à 0,9 mg kg^{-1} (*ps*)	Cd (M)
Sédiment à une concentration finale en cadmium égale à 1,4 mg kg^{-1} (*ps*)	Cd (H)
Sédiment à une concentration finale en cadmium égale à 0,25 mg kg^{-1} (*ps*)	Dies 0,25
Sédiment contaminé par un mélange de cadmium [1,4 mg kg^{-1} (*ps*)] et de diesel [(0,25 mg kg^{-1} (*ps*)]	Cd (H) + Dies 0,25

RESULTATS

Analyses univariées
La représentation graphique sommaire des valeurs prises par les indices des analyses univariées, considérés pour décrire la structure trophique de chaque communauté de nématodes (Fig. 1), montre leur nette fluctuation d'un microcosme à un autre.

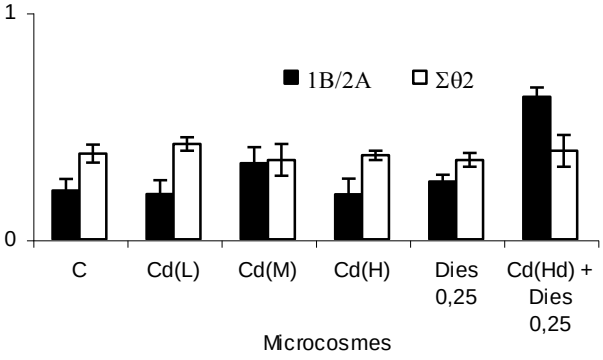


Figure 1 : Valeurs des indices des analyses univariées calculés pour la communauté des nématodes libres du microcosme témoin (C) et de celles des microcosmes contaminés par du cadmium [Cd (L), Cd (M), Cd (H)] et/ou par du diesel [Dies 0,25, Cd (H) + Dies 0,25]. 1B/2A = rapport des groupes trophiques 1B/2A, $\Sigma\theta^2$ = index trophique.

Les résultats d'analyse statistique par le test de Kruskall-Wallis d'ordre 1 (Test de la médiane) indiquent que la contamination par le cadmium et/ou le diesel entraîne des modifications significatives des paramètres descripteurs de la structure trophique des communautés nématologiques ($p<0,05$). Les résultats des analyses statistiques par le test de la différence significative de Tukey (Tukey HSD), utilisé dans des comparaisons multiples entre le contrôle et les microcosmes traités, montrent qu'il n'y a pas de

différences significatives pour la plupart des indices des microcosmes traités par rapport au microcosme témoin ($p<0,05$). Ainsi, l'index trophique ($\square\ \square^2$) n'a été affecté que par la faible dose de cadmium. Par ailleurs, la valeur du rapport 1B/2A n'a été significativement plus faible que dans les microcosmes traités avec une moyenne dose en cadmium [Cd (M)] et du diesel [Dies 0,25] et n'a augmenté significativement que dans les microcosmes traités par le mélange cadmium-diesel [Cd (H) + Dies 0,25].

Analyses multivariées

Les résultats de l'ordination des groupes trophiques selon la méthode MDS (Fig. 2) indiquent que seule la contamination par le mélange cadmium-diesel affecte les associations de nématodes. Celles de tous les microcosmes traités à l'exception de celle du mélange cadmium-diesel sont groupées avec le témoin.

D'après les résultats de l'analyse de similarité (ANOSIM), seules les communautés de nématodes des microcosmes contaminés par le mélange cadmium-diesel sont significativement affectées ($p<0,05$).

Les résultats de la procédure SIMPER (similarity percentages) montrent que les valeurs les plus élevées (>25%) de la dissimilarité moyenne entre les différentes communautés sont celles des microcosmes traités par le mélange cadmium-diesel comparées au contrôle ou à celles des autres traitements (Tableau II).

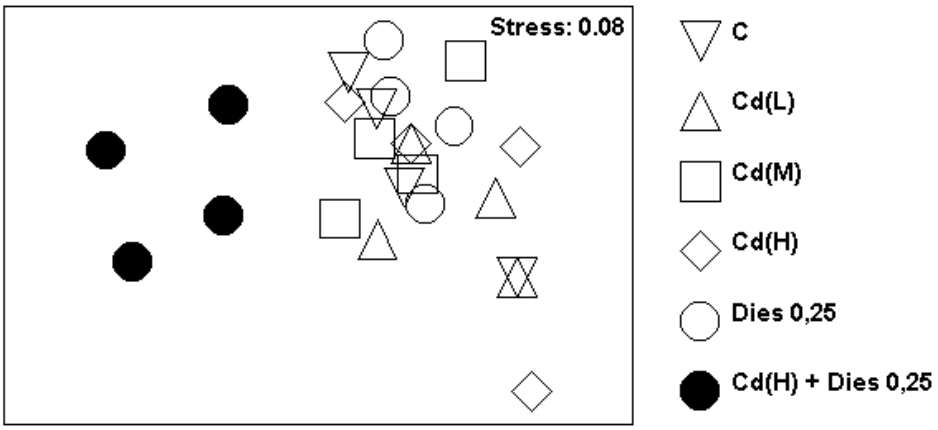


Figure 2 : Ordination des groupes trophiques nématologiques selon la méthode MDS (*non-parametric multi-dimensional scaling*), réalisée en considérant les valeurs transformées (racine carrée) des abondances de chaque groupe trophique calculées pour le microcosme témoin (C) et pour les microcosmes enrichis en cadmium [Cd (L), Cd (M), Cd (H)] et/ou en Diesel [Dies 0,25, Cd (H) + Dies 0,25].

Tableau II : Dissimilarité moyenne entre les différentes communautés de nématodes.

Dissimilarité moyenne %	C	Cd (L)	Cd (M)	Cd (H)	Dies 0,25	Cd (H) + Dies 0,25
C						
Cd (L)	12,73					
Cd (M)	11,86	12,92				
Cd (H)	13,33	12,23	13,30			
Dies 0,25	11,36	12,93	9,70	12,65		
Cd (H) + Dies 0,25	27,83	32 ,39	25,68	30,83	27,53	

Le microcosme témoin (C), ceux contaminés par le cadmium [Cd (L), Cd (M), Cd (H)] et celui traité avec du diesel [Dies 0,25] ont été dominés par les mangeurs d'épistrates (2A) (>47%), essentiellement représentés par *Marylynnia stekhoveni* (12,61%), *Calomicrolaimus honestus* (12,44%), *Hypodontolaimus colesi* (9,65%), *Neochromadora trichophora* (5,05%) et *Odontophora wieseri* (3,74%).

Le microcosme traité par le mélange cadmium-diesel a été dominé par les omnivores-prédateurs (2B) (53,50%) dont les espèces les plus abondantes ont été *Oncholaimus campylocercoïdes* (19,56%), *Enoploïdes sp.* (12,38%), *Mesacanthion hirsutum* (8,88%), *Bathylaimus australis* (5,65%) et *Oncholaimellus mediterraneus* (4,11%).

Les différences significatives relevées entre la structure trophique des communautés de nématodes des microcosmes traités et celle du témoin sont le résultat de modifications de l'abondance des groupes trophiques dominants (Tableau III). Ainsi, la réduction des abondances des consommateurs non sélectifs de dépôts (1B) et des omnivores-prédateurs (2B) et l'augmentation de celles de consommateurs sélectifs de dépôts (1A) et des mangeurs d'épistrates (2A) ont été responsables de la différence significative observée entre le microcosme traité par le mélange cadmium-diesel et le témoin (C) ainsi que ceux contaminés avec le cadmium [Cd (L), Cd (M), Cd (H)] et celui enrichi en diesel [Dies 0,25].

Tableau III : Contribution de chaque groupe trophique à la dissimilarité de Bray-Curtis moyenne entre la communauté traitée par un mélange de cadmium et de diesel et celle du contrôle ou celles exposées au diesel ou au cadmium en se basant sur la procédure SIMPER (similarity percentage). (+) : groupe plus abondant ; (-) : groupe moins abondant. Les groupes trophiques sont classés par ordre de contributions décroissantes à cette dissimilarité.

C	Cd (L)	Cd (M)	Cd (H)	Dies 0,25
2A (+)	2A (+)	2B (-)	2A (+)	2B (-)
2B (-)	2B (-)	2A (+)	2B (-)	2A (+)
1B (-)	1B (-)	1B (-)	1B (-)	1A (+)
1A (+)	1A (+)	1A (+)	1A (+)	1B (-)

DISCUSSION

La structure trophique des communautés de nématodes de la lagune de Ghar El Melh semble être peu affectée par l'enrichissement sédimentaire en cadmium. En effet, les analyses multivariées ont montré que les trois doses en cadmium testées n'entraînent pas de modifications significatives dans les abondances relatives des groupes trophiques par rapport au microcosme témoin. Des résultats comparables ont été obtenus par Austen et McEvoy (1997) pour les abondances et la structure spécifique des associations de nématodes libres marins. Toutefois, des corrélations négatives entre les biomasses bactériennes et le niveau de contamination par le cadmium ont été rapportées par Sundelin et Elmgren (1991) et par Fabiano *et al.* (1994). Ceci suggère que ce métal aurait des effets directs plus prononcés sur les communautés bactériennes associées que sur le méiobenthos. Ses effets sur la microflore se répercuteraient indirectement sur la méiofaune par suite de l'altération des processus de décomposition de la matière organique qui limiteraient les ressources trophiques des nématodes libres (Austen et McEvoy, 1997). Le fait que les abondances des 4 groupes trophiques des nématodes présents dans la lagune de Ghar El Melh n'aient pas été affectées par le cadmium, quelle que soit la dose testée, pourrait indiquer que la flore bactérienne du sédiment dans cet écosystème est peu affectée par ce métal. La non sensibilité des nématodes libres marins au cadmium pourrait également s'expliquer par le fait que la biodisponibilité du cadmium est étroitement dépendante de la granulométrie, des tests de toxicité menés sur des espèces méiobenthiques isolées (Swartz *et al.*, 1986) ayant montré que les effets néfastes du cadmium sont réduits par son adsorption à la fraction fine.

Les nématodes libres de la lagune de Ghar El Melh semblent non affectés par le diesel à 0,25 mg kg^{-1} (*ps*). Ce qui n'a pas été le cas à des concentrations plus élevées, pour la méiofaune du même milieu (Mahmoudi *et al.*, 2005).

Ni le diesel à 0,25 mg kg^{-1} (*ps*) ni le cadmium même à la dose de 1,40 mg kg^{-1} (*ps*) n'ont affecté la structure trophique des nématodes libres de la lagune de Ghar El Melh, contrairement au mélange cadmium-diesel. Ainsi, le rapport 1B/2A a significativement augmenté dans le microcosme traité par le mélange binaire. Ce résultat est la preuve d'une modification significative de la composition spécifique de la communauté.

Les analyses multivariées sur nos données ont révélé des différences significatives entre le microcosme traité par le mélange cadmium-diesel et ceux traités par des doses croissantes en cadmium ou une concentration en diesel égale à 0,25 mg kg^{-1}. Ceci confirme que la structure trophique des communautés de nématodes libres marins n'a été affectée que par l'exposition au mélange cadmium-diesel.

Dans le graphe de l'ordination des groupes trophiques nématologiques selon la méthode MDS (Fig. 2), les communautés des microcosmes traités par le mélange cadmium-diesel se sont distinguées de celles traitées par le cadmium ou le diesel, ce résultat attestant là encore d'une modification significative de la structure trophique dans les sédiments contaminés à la fois par le cadmium et le diesel. Par comparaison aux microcosmes traités avec le cadmium seul ou par le

diesel seul, il a été observé une augmentation significative des abondances des groupes trophiques 1B et 2B et une réduction de celles des catégories alimentaires 1A et 2A au sein de l'association exposée au mélange binaire.

Par ailleurs, les analyses multivariées de nos données n'ont révélé de différences significatives qu'entre le microcosme traité par le mélange cadmium-diesel et ceux contaminé seulement par le cadmium ou le diesel. Ce résultat plaide en faveur d'un phénomène de synergie entre le cadmium et le diesel ; ces deux contaminants, administrés séparément, n'ayant provoqué aucune modification notable de la structure trophique nématologique et s'étant révélés au contraire très toxiques en combinaison. Cette interaction pourrait s'expliquer par le fait que le diesel stimule la production de muco-exopolymères provenant des blooms algaux typiques des sédiments contaminés par cet hydrocarbure (Carman *et al*., 1997). Or, ces exopolymères consommés par plusieurs organismes benthiques (Decho et Lopez, 1993) montrent une grande affinité pour plusieurs métaux lourds (Decho, 1990). De plus, la complexation des métaux avec les exopolymères augmente la biodisponibilité du cadmium.

Les groupes trophiques 1A et 2A, affectés par le mélange cadmium-diesel n'ont pas été totalement éliminés, ces deux catégories alimentaires pouvant être considérées comme "cadmium-diesel sensitives" alors les groupes 1B et 2B dont les dominances ont augmenté dans le sédiment enrichi en ce mélange binaire peuvent être définis comme " cadmium-diesel résistants".

CONCLUSION

Les résultats de la présente étude ont révélé que le cadmium et le diesel, administrés séparément, ne provoquent aucune modification notable de la structure trophique des nématodes libres. Au contraire, ces deux contaminants en combinaison apparaissent très toxiques. Ceci plaide en faveur d'un phénomène de synergie entre les deux polluants.

BIBLIOGRAPHIE

Aboul-Kassim T. A. T. et Simoneit B. R. T., 1996. Lipid geochemistry of surficial sediments from the coastal environment of Egypt I. Aliphatic hydrocarbons characterization and sources. *Mar. Chem.*, 54 : 135-158.

Austen M. C. et McEvoy A. J., 1997. The use of offshore meiobenthic communities in laboratory microcosm experiments: response to heavy metal contamination. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 211 : 247-261.

Austen M. C. et Somerfield P. J., 1997. A community level sediment bioassay applied to an estuarine heavy metal gradient. *Mar. Environ. Res.*, 43 : 315-328.

Austen M. C., McEvoy A. J. et Warwick R. M., 1994. The Specificity of Meiobenthic Community Responses to Different Pollutants: Results from Microcosm Experiments. *Mar. Pollut. Bull.*, 28 : 557-563.

Babut M. et Perrodin Y., 2001. Evaluation écotoxicologique de sédiments contaminés ou de matériaux de dragages (I) : Présentation et justification de la démarche. *Rapport d'une étude financé par le Ministère de l'Equipement (Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques) et Voies Navigables de France* : 47 p.

Beyrem H. et Aïssa P., 2000. Les nématodes libres , organismes-sentinelles de l'évolution des concentrations d'hydrocarbures dans la baie de Bizerte (Tunisie). *Cah. Biol. Mar.*, 41 : 329-342.

Bernhard M., 1978. Heavy metal and chlorinated hydrocarbons in the Mediterranean. *Ocean Manag.*, 3 : 253-313

Breitburg D. L., Seitzinger S. et Sanders J. G., 1999. Preface. *Limnol. Oceanogr.*, 33 : 737-738.

Boscolo P., Logroscino-Sacchettoni G., Ranelletti O. F., Gioia A. et Carmignani M., 1985. Effects of long-term cadmium exposure on the testis of rabbits: ultrastructural study. *Toxico. Lett.*, 24 : 145-149.

Bray J. B. et Curtis J. T., 1957. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecol. Monogr.*, 27 : 325-3 49.

Burton S. M., Rundle S. D. et Jones M. B., 2001. The relationship between trace metal contamination and stream meiofauna. *Environ. Pollut.*, 111 : 159-167.

Carman K. R., Fleeger J. W. et Pomarico S. M., 1997. Response of a benthic food web to hydrocarbon contamination. *Limnol. Oceanogr.*, 42 : 561-571.

Clarke K. R., 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Aust. J. Ecol.* 18 : 117-143.

Clarke K. R. et Gorley R. N., 2001. PRIMER v5 : User manual/tutorial. PRIMER-E: Plymouth, UK : 91 p.

Clarke K. R. et Warwick R. M., 2001. *Changes in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2nd edition*. PRIMER-E: Plymouth.,UK : 164 p.

Coull B. C. et Chandler G. T., 1992. Pollution and meiofauna: field, laboratory and mesocosm studies. Oceanogr. *Mar. Biol. Ann. Rev.*, 30 : 191-271.

Dachs J., Bayona J. M., Fillaux J., Saliot A. et Albaiges J., 1999. Evaluation of anthropogenic and biogenic inputs into the western Mediterranean using molecular Markers. *Mar. Chem.* 65 : 195-210.

Danovaro R., Fabiano M. et Vincx M., 1995. Meiofauna response to the Agip Abruzzo oil spill in subtidal sediments of the Ligurian Sea. *Mar. Pollut. Bull.* 39 (2) : 133-145.

Daskalakis K. D. et O'Conner T. P., 1995. Distribution of chemical concentrations in US coastal and estuarine sediment. *Mar. Environ. Res.*, 40 : 381-398.

Decho A. W., 1990. Microbial exopolymer secretions in ocean environments – their role(s) in food webs and marine processes. *Oceanogr. Mar. Biol.*, 28 : 73-153.

Decho A. W. et Lopez G. R., 1993. Exopolymer microenvironments of microbial flora: multiple and interactive effects on trophic relationships. *Limnol. Oceanogr.*, 38 : 1633-1645.

Donazzolo R., 1984. Heavy metals content and lithological properties of recent sediments in the Northern Adriatic. *Mar. Pollut. Bull.*, 15 : 93-101.

Essid N., 1999. Contribution à l'étude de la pollution organo-minérale de la lagune de Bizerte : caractérisation géochimique, sédimentologique et impact sur les nématodes libres marins. Diplôme d'Etudes Approfondies, Faculté des Sciences de Bizerte : 189 p.

Fichet D. et Miramand P., 1996. Métaux lourds et méiofaune benthique : indicateurs de pollution des sédiments portuaires (premiers résultats). Actes du 11ème Colloque de l'Union des Océanographes de France. *J. Rech. Océanogr.*, 21: 82.

Etxeberria M., Sastre L., Cajaraville M. P. et Marigomez I., 1994. Digestive lysosome enlargement induced by experimental exposure to metals (Cu, Cd, and Zn) in mussels collected from a zincpolluted site. *Arch. Environ. Cont. Toxico.*, 27 : 338-345.

Fabiano M., Danovaro, R., Magi E. et Mazzucotelli A., 1994. Effects of heavy metals on benthic bacteria in coastal marine sediments: a field result. *Mar. Pollut. Bull.*, 28 : 19-23.

Fichet D., Boucher G., Radenac, G. et Miramand P., 1999. Concentration and mobilisation of Cd, Cu, Pb and Zn by meiofauna populations living in harbour sediment : their role in heavy metal flux from sediment to food web. *Sci. Tot. Environ.*, 243 / 244 : 263-272.

Fotakis G., Cemeli E., Anderson D. et Timbrell J. A., 2005. Cadmium chloride-induced DNA and lysosomal damage in a hepatoma cell line. *Toxico. in Vitro*, 19 : 481-489.

George G. S. et Pirie J. S. B., 1979. The occurrence of cadmium in subcellular particles in the kidney of the marine mussel, *Mytillus edulis*, exposed to cadmium. *Biochem. Bioph. Acta-Protein Structure*, 580 : 234-244.

Gyedu-Ababio T. K. et Baird D., 2006. Response of meiofauna and nematode communities to increased levels of contaminants in a laboratory microcosm experiment. *Ecotox. Environ. Safe.*, 63 : 443-450.

Guo Y., Somerfield P. J., Warwick R. M. et Zhang Z., 2001. Large-scale patterns in the community structure and biodiversity of free living nematodes in the Bohai Sea, China. *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, 81 : 755-763

Hagopian-Schlekat T., Chandler G. T. et Shaw T. J., 2001. Acute toxicity of five sediment-associated metals, individually and in a mixture, to the estuarine meiobenthic harpacticoid copepod *Amphiascus tenuiremis*. *Mar. Environ. Res.*, 51 : 247-264.

Halling-Sørensen B., Nors Nielsen S., Lanzky P. F., Ingerslev F., Holten Lützhøft, H. C. et Jørgensen S. E., 1998. Occurrence, fate and effects of pharmaceutical substances in the environment. *Chemosphere*, 36 : 357-393.

Heip C., Vincx M. et Vranken G., 1985. The ecology of marine nematodes. *Oceanogr. Mar. Biol.*, 23: 399-489.

Kennicutt M. C., Booth P. N., Wade T. L., Sweet S. T., Rezak R., Kelly F. J., Brooks J. M., Presley B. J. et Wiesenburg D. A., 1996. Geochemical patterns in sediments near offshore production platforms. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 53 : 2554-2566.

Lambshead P. J. D., 1986. Sub-catastrophic sewage contamination as revealed by marine nematode faunal analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 29 : 247-260.

Lipiatou E., Tolosa I., Simo R., Bouloubassi I., Dachs J., Matri S., Sicri M. A., Bayona J. M., Grimalt. J. O., Saliot A. et Albaiges J., 1997. Mass budget and dynamics of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Mediterranean Sea. *Deep-Sea Res.*, 44 : 881-905.

Long E. R., 1992. Ranges in chemical concentrations in sediments associated with adverse biological effects. *Mar. Pollut. Bull.*, 24 : 38-45.

Louati A., Elleuch B., Kallel M., Saliot A., Dagaut J. et Oudot J., 2001. Hydrocarbon contamination of coastal sediments from the Sfax area (Tunisia), Mediterranean Sea. *Mar. Pollut. Bull.*, 42 : 445-452.

Mahmoudi E., Baccar L., Beyrem H. et Aïssa P., 2001. Abiotic factors limiting the Nematofauna in a Tunisian lagoon. *Proceedings of the Fifth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment*, 2 : 969-977.

Mahmoudi E., Baccar L., Beyrem H. et Aïssa P., 2002. Response of free-living nematodes to the quality of waters and sediments at Bou Ghrara lagoon (Tunisia) during winter 2000. *Medit. Mar. Sci.*, 2 : 133-146.

Mahmoudi E., Beyrem H., Aïssa P. et Vitiello P., 2003. Structure des peuplements de nématodes dans la lagune de Ghar El Melh (Tunisie) en hiver 2000. *Mar. Life*, 13 : 31-43.

Martincic D., Kwokal Z., Stoeppler M. et Branica M., 1989. Trace metals in sediments from The Adriatic Sea. *Sci. Tot. Environ.*, 84 : 135-147.

Mahmoudi E., Essid N., Beyrem H., Hedfi A., Boufahja F., Vitiello P. et Aissa P., 2005. Effects of hydrocarbon contamination on a free-living marine nematode community: Results from Microcosm Experiments. *Mar. Pollut. Bull.*, 50 : 1197-1204.

Merrill J. C., Morton J. J. P. et Soileau S. D., 2001. Metals: cadmium. In *Principles and Methods of Toxicology*, 665-667 pp. Hayes, A.W. (Ed.), London.

Millward R. N., Carman K. R., Fleeger J. W., Gambrell R. P. et Portier R., 2004. Mixtures of metals hydrocarbons elicit complex responses by a benthic invertebrate community. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 310 : 115-130.

Miquel G., 2001. Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé. *Rapport 261 (2000 - 2001) - Office Parlementaire français d'évaluation des choix scientifiques et technologiques* : 327 p.

Moraïtou-Apostolopoulou M. et Verriopoulos G., 1982. Individual and combined toxicity of three heavy metals, Cu, cd and Cr for marine copepod *Tisbe holothuriae*. *Hydrobiologia*, 87 : 83-87.

Mulsow S., Povince P., Wyse E., Benmansour M., Sammir B. et Cahfik A., 2001. Trace elements, heavy metals and Pb isotopic ratios in marine sediments of the South Mediterranean Sea (Morroca). *Rapp. Comm. int. Explr. Scient. Mer Méd.*, 36 : 147.

Palanques A. et Diaz J. I., 1994. Anthropogenic heavy metal pollution in the sediments of the Barcelona continental shelf (Northwestern Mediterranean). *Mar. Environ. Res.* 38 : 17-31.

Peris E., Requena S., Guardia M., Pastor A. et Carrasco J. M., 2005. Organochlorinated pesticides in sediments from the Lake Albufera of Valencia (Spain). *Chemospere*, 60 : 1542-1549.

Platt, H. M. et Warwick R. M., 1983. *Free living marine nematodes. Part I. British Enoplids.* Synopses of the British Fauna no 28. Cambridge University Press, Cambridge : 314 p.

Platt H. M. et Warwick R. M., 1988. *Free living marine nematodes. Part II. British Chromadorids.* Synopses of the British Fauna no 38. E.J Brill, Leiden : 502 p.

Rouibah, M., 2001. Etat de pollution par les métaux lourds dans le port de Djen-Djen et le port de Jijel (Algérie). *Rapp. Comm. int. Explr. Scient. Mer Méd.*, 36 : 160.

Schratzberger M. et Warwick R. M., 1998. Effects of intensity and frequency of organic enrichment on two estuarine nematode communities. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 164 : 83 - 94.

Sellali B., Amarouche N., Debiche S., Chouikri A. et Boudjellal B., 1992. Hydrocarbures polyaromatiques dans le sédiment superficiel des côtes Ouest d'Algérie. *Rapp. Comm. int. Explr. Scient. Mer Méd.*, 33 : 184.

Suderman, K. et Thistle D., 2003. Spills of fuel oil #6 and Orimulsion can have indistinguishable effects on the benthic meiofauna. *Mar. Pollut. Bull.* 46 : 49-55.

Sundelin B. et Elmgren R., 1991. Meiofauna of an experimental soft bottom ecosystem-effects of macrofauna and cadmium exposure. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 70 : 245-255.

Swartz R. C., Ditsworth G. R., Shults D. W. et Lamberson J. O., 1986. Sediment toxicity to a marine infaunal amphipod: cadmium and its interaction with sewage sludge. *Mar. Environ. Res.*, 18 : 133-153.

Vitiello P. et Dinet A., 1979. Définition et échantillonnage du méiobenthos. *Rapp. Comm. int. Explr. Scient. Mer Méd.*, 25 : 279-283.

Warwick R. M. et Price R., 1979. Ecological and metabolic studies on free- living nematodes from an estuarine mud-flut. *Estuar. Coast. Mar. Sci.*, 9 : 257-271.

Warwick R. M., Carr M. R., Clarke K. R., Gee J. M. et Green R. H., 1988. A mesocosm experiment on the effects of hydrocarbon and copper pollution on a sublittoral soft-sediment meiobenthic community. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 46 : 181-191.

Warwick R. M., Platt H. M. et Somerfield P. J., 1998. *Free living marine nematodes. Part III. British Monhysterida*. Synopses of the British fauna n°53. Field Studies Council, Shrewsbury: 296

Wieser W., 1953. Die Beziehung zwischen Mundhoehlengestalt, Ernaehrugsweise und Vorkommen bei freilebenden marinen Nematoden. *Ark. Zool.*, 4 : 439-484.

Yang R. Q., Jiang G. B., Zhou O. F., Yuan C. G. et Shi J. B., 2005. Occurrence and distribution of organochlorine pesticides (HCH and DDT) in sediments collected from East China Sea. *Environ. Inter.*, 31 : 799-804.

Yoshida M., Hamdi H., Abdulnasser I. et Jedidi N., 2004. Contamination of potentially toxic elements (PTEs) in *Bizerte lagoon bottom sediments, surface sediment and sediment repository*. Ghrabi A., Yoshida M. (eds) Study on Environmental Pollution of Bizerte Lagoon. INRST-JICA Publishers : 31-54 p.