

# Étude à l'aide de bio-indicateurs (oursins et moules) de la pollution des ports de plaisance par les métaux traces sur le littoral provençal

*Study with the help of bio-indicators (urchins and mussels)  
of the heavy metals pollution of pleasure harbours of the Provence seashore*

H. Augier<sup>\*/\*\*</sup>, R. Desmerger<sup>\*/\*\*</sup>, M. Egèa<sup>\*/\*\*</sup>, E. Imbert<sup>\*/\*\*</sup>, W.K. Park<sup>\*/\*\*</sup>,  
G. Ramonda<sup>\*\*/\*\*</sup>, M. Santimone<sup>\*/\*\*</sup>

\*Laboratoire de Biologie marine fondamentale et appliquée, Faculté des Sciences de Luminy,  
13288 Marseille Cedex 9, France

\*\*Centre d'Etudes, de Recherches et d'Informations sur la Mer (CERIMER), Faculté des Sciences de Luminy,  
13288 Marseille Cedex 9, France

\*\*\*Laboratoire vétérinaire départemental des Bouches-du-Rhône, 13005 Marseille, France

**Mots clés :** pollution, ports, métaux lourds, moules, oursins.

**Key-words:** pollution, harbours, heavy metals, mussels, urchins.

## RÉSUMÉ

Augier H., R. Desmerger, M. Egèa, E. Imbert, W.-K. Park, G. Ramonda, M. Santimone, 1997 - Étude à l'aide de bio-indicateurs (oursins et moules) de la pollution des ports de plaisance par les métaux traces sur le littoral provençal. Mar. Life, 7 (1-2) : 67-81.

La teneur en cadmium, cuivre, mercure, plomb et zinc de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* et de la moule *Mytilus galloprovincialis* utilisés comme bio-indicateurs a été étudiée dans huit ports de plaisance du littoral provençal. La détermination du degré de contamination des moules et des oursins installés dans les ports de petite à moyenne importance a été complétée par une étude de contamination expérimentale in situ en plaçant les organismes tests dans des cages suspendues dans les ports de moyenne à grande capacité. La moule s'est révélée comme un indicateur plus fiable que l'oursin, mais ce dernier apporte des renseignements complémentaires intéressants. Chez l'oursin, les teneurs les plus élevées en métaux traces ont été trouvées dans le tube digestif et les gonades. Le degré de contamination des organismes n'est pas toujours lié à la taille des ports, mais peut être modifié par des agents extérieurs. Des présomptions importantes de responsabilité concernent les peintures antisalissures et les anodes de zinc. Enfin, l'étude expérimentale à l'aide de cages s'est révélée une méthode de substitution dans les ports où les organismes tests ont disparu à cause de la trop forte pollution.

## ABSTRACT

Augier H., R. Desmerger, M. Egèa, E. Imbert, W.-K. Park, G. Ramonda, M. Santimone, 1997 - [Study with the help of bio-indicators (urchins and mussels) of the heavy metals pollution of pleasure harbours of the Provence seashore]. Mar. Life, 7 (1-2): 67-81.

The pollution of eight pleasure harbours on the Provençal seashore by cadmium, copper, mercury, lead and zinc has been studied using edible urchins *Paracentrotus lividus* and mussels *Mytilus galloprovincialis* as bio-indicators. The determination of the degree of contamination of the mussels and urchins in harbours from small to average size was completed by a in situ study of experimental contamination of test animals placed into suspended cages in harbours from average to high capacity. Mussels have turned out to be more reliable indicators than urchins but these latter bring interesting and complementary information. The most contaminated organs of the urchins are the digestive tube and the gonads. The study has shown that the degree of contamination of the animals is not always linked to the size of the harbour, but can be modified by outside factors. The responsibility of antifouling paints and zinc anodes is highly probable. Finally, the study with the help of cages proved to be a good method in the harbours where the test animals have disappeared because of a very high degree of pollution.

## INTRODUCTION

La pollution des ports de plaisance par les métaux a surtout été étudiée aux U.S.A. Les recherches ont porté principalement sur la pollution par l'étain et ses dérivés recherchés dans l'eau et (ou) les sédiments (Grovhoug *et al.*, 1986, 1987 ; Anderson *et al.*, 1989 ; Fortman, Crecelius, 1989 ; Krone *et al.*, 1989) et dans les organismes marins (Hall, 1988 ; Grovhoug *et al.*, 1989 ; Saavedra, Ellis, 1990). La pollution des ports américains par d'autres métaux a été étudiée essentiellement à l'aide des sédiments et des huîtres (Marcus, Thompson, 1986 ; Adair, 1987 ; Marcus *et al.*, 1988, 1989). Mentionnons également, en dehors des Etats-Unis d'Amérique, les travaux de Mac Mahon (1989), en Australie sur la contamination métallique des organismes portuaires et para-portuaires. Pour l'Europe, citons les études de Langston *et al.* (1987) sur la contamination de l'eau, des sédiments et des invertébrés par l'étain, en Angleterre et de Senten (1989) sur la contamination des sédiments, en Atlantique.

Pour la France, il n'existe qu'un petit nombre d'études sur la pollution des ports de plaisance. Citons, à ce sujet, les travaux de Frenet-Piron et Alliot (1987) qui ont étudié la pollution métallique de l'eau du port de Pornichet et la Trinité-sur-Mer sur la côte Sud de la Bretagne. Citons également les études de L'Hopitault et Delatre (1983) sur le littoral de la mer du Nord et de Robbe (1987, 1988) dans quatorze ports atlantiques et treize ports méditerranéens, axées uniquement sur l'analyse des sédiments. Les investigations de Carruesco *et al.* (1986) ont porté, par contre, sur la contamination des organismes marins (l'algue *Fucus spiralis*, la phanérogame *Zostera noltii* et les mollusques *Littorina littoralis* et *Cerastoderma edule*). Les échantillons ont été récoltés à proximité du port du bassin d'Arcachon et non pas dans le port lui-même. Enfin, Monniot *et al.* (1986) ont astucieusement utilisé les ascidies portuaires comme indicateurs biologiques pour caractériser la pollution métallique dans quelques ports du littoral de la Manche, de l'Atlantique et de la Méditerranée.

De l'examen de l'ensemble de ces travaux, il ressort nettement que la pollution métallique des ports de plaisance constitue un problème écotoxicologique préoccupant pour le milieu marin. Aussi, face à l'importance des connaissances actuelles à ce sujet et notamment en France, nous avons engagé une série d'études sur la contamination métallique des ports de plaisance du littoral méditerranéen à l'aide de bio-indicateurs.

Les premiers travaux ont été réalisés dans le Parc national de Port-Cros choisi, à l'origine, comme zone de référence (Chabert, Vicente, 1983 ; Augier *et al.*, 1984, 1987, 1995a ; Park, 1992) et dans le port de Porquerolles (Augier *et al.*, 1980). D'autres investigations ont porté sur le littoral pollué par des rejets urbains, portuaires et industriels de l'agglomération marseillaise (Augier *et al.*, 1989,

1992, 1994, 1995 b). Ces études ont servi de base de comparaison : les îles d'Hyères en raison de leur éloignement des sources de pollution métallique du continent, les stations du littoral marseillais parce qu'extérieures aux ports de plaisance mais pas tellement éloignées de ceux-ci.

Un total de neuf ports de plaisance, échelonnés le long du littoral allant de Marseille au golfe de Fos, ont été étudiés à l'aide de deux techniques différentes : l'analyse des organismes trouvés sur place dans le port et l'analyse des oursins et des moules immergés dans des cages en matière plastique.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Choix des bio-indicateurs

Nous ne reviendrons pas sur les nombreux avantages que présente l'utilisation des bio-indicateurs pour caractériser la pollution de la mer par les métaux en lieu et place de l'analyse fastidieuse et aléatoire d'échantillons d'eau et de sédiments. L'analyse chimique permet de suivre les variations de concentration dans le milieu ou dans les sédiments. L'intérêt des bio-indicateurs est qu'ils sont souvent plus "sensibles" que les techniques d'analyse. Néanmoins, il ne faut pas les opposer... Cette question a été suffisamment développée dans de précédents articles (Burden *et al.*, 1979 ; Satsmadjis *et al.*, 1983 ; Niencheski, 1987 ; Augier, 1987 ; Augier *et al.*, 1987, 1989 ; Cossa, Lassus, 1989). En ce qui concerne la moule, elle a donné lieu à des programmes de surveillance (Phillips, 1978 ; Cossa, Bourget, 1980 ; Arnoux *et al.*, 1980, 1993 ; Claisse, 1989) inspirés de travaux américains connus sous le nom de "Mussel Watch" (Goldberg, 1980). L'utilisation conjointe des moules et des oursins offre les avantages suivants :

- la moule concentre directement les polluants à partir de l'eau de mer. Elle est capable, non seulement de capter les polluants en solution, mais également ceux qui sont en suspension, véhiculés par les particules retenues par les branchies, ou par les micro-organismes ;
- l'oursin, essentiellement herbivore, offre un intérêt complémentaire de celui de la moule. Sa contamination peut être directe à partir de l'eau qui le baigne extérieurement et intérieurement ; elle peut aussi provenir d'un transfert alimentaire par l'intermédiaire des algues dont il se nourrit, de même que des matières organiques dissoutes absorbées par voie tégumentaire (Régis, 1978 ; Delmas, 1984, 1992).

### Échantillonnage

Chaque lot d'organismes prélevés est constitué de douze individus de même taille (50 mm de longueur de coquille pour les moules, 80 mm de diamètre avec les piquants pour les oursins), ceci afin d'éviter les erreurs, la contamination des individus étant en rapport direct avec leur âge (Augier *et al.*, 1990).

### Organismes en place

Des oursins de 80 mm de diamètre avec les piquants et des moules de 50 mm de longueur de coquille ont été prélevés en octobre 1989 dans cinq ports (figure 1) :

- Cap Croisette (Marseille), avec 10 bateaux au sec (environ 40 m<sup>2</sup>) ;
- Callelongue (Marseille), avec 20 bateaux à l'eau et 20 au sec (environ 2 000 m<sup>2</sup>) ;
- Niolon (Côte Bleue), avec 6 bateaux à l'eau et 30 au sec (environ 3 200 m<sup>2</sup>) ;
- La Redonne (Côte Bleue), avec 34 bateaux à l'eau et 63 au sec (environ 7 000 m<sup>2</sup>) ;
- Saint-Gervais, avec environ 550 bateaux (environ 50 000 m<sup>2</sup>).

Les ports choisis sont de faible importance car sinon les organismes étudiés seraient absents du site.

Le port de Saint-Gervais constitue un cas particulier il a un nombre plus élevé de bateaux que les autres, les récoltes de moules ont été effectuées dans le port et à l'extérieur, les oursins y sont absents.

### Contamination expérimentale *in situ*

Les oursins et les moules ont été choisis de façon à ce qu'ils aient la même taille que ceux ayant fait l'objet de la première partie de ce travail (cf. Organismes en place). Ils ont été récoltés en totalité au Grand Mornas, près de Carry-le-Rouet ; ce site pris comme zone de référence a été caractérisé par le prélèvement d'un lot témoin.

L'expérimentation *in situ* a débuté au même moment dans les quatre ports (1<sup>er</sup> novembre).

Dans chaque station, les lots de moules et les lots d'oursins ont été placés séparément dans des paniers perforés en matière plastique fermés par un couvercle également perforé. Les perforations sur cinq faces favorisaient à la fois la pénétration de la lumière et la circulation de l'eau de mer. Les paniers étaient accrochés à deux mètres de profondeur sous un bateau ou sous un ponton. Les prélèvements ont été effectués tous les cinq jours pendant trois semaines. De la nourriture constituée par l'algue brune *Stypocaulon scoparium* récoltée au Grand Mornas, sur la Côte Bleue (zone de référence) a été apportée aux oursins en début d'expérience. Les teneurs en métaux de l'algue ont été contrôlées au début et à la fin de l'expérience (tableau I).

Les quatre ports étudiés sont les suivants (figure 1) :

- Le Vieux Port en plein centre de Marseille qui accueille 3 500 bateaux (environ 280 000 m<sup>2</sup>) ;
- Le port de la Pointe Rouge, dans le sud de Marseille, avec une capacité de 1 200 places (environ 70 000 m<sup>2</sup>) ;
- Le port de l'I.N.P.P. (Institut National de Plongée Professionnelle) qui est un diverticule du port de la Pointe Rouge (environ 50 m<sup>2</sup>) ;
- Le port de Carry-le-Rouet (Côte Bleue) qui abrite 490 bateaux de plaisance et 10 bateaux de pêche (environ 10 000 m<sup>2</sup>).

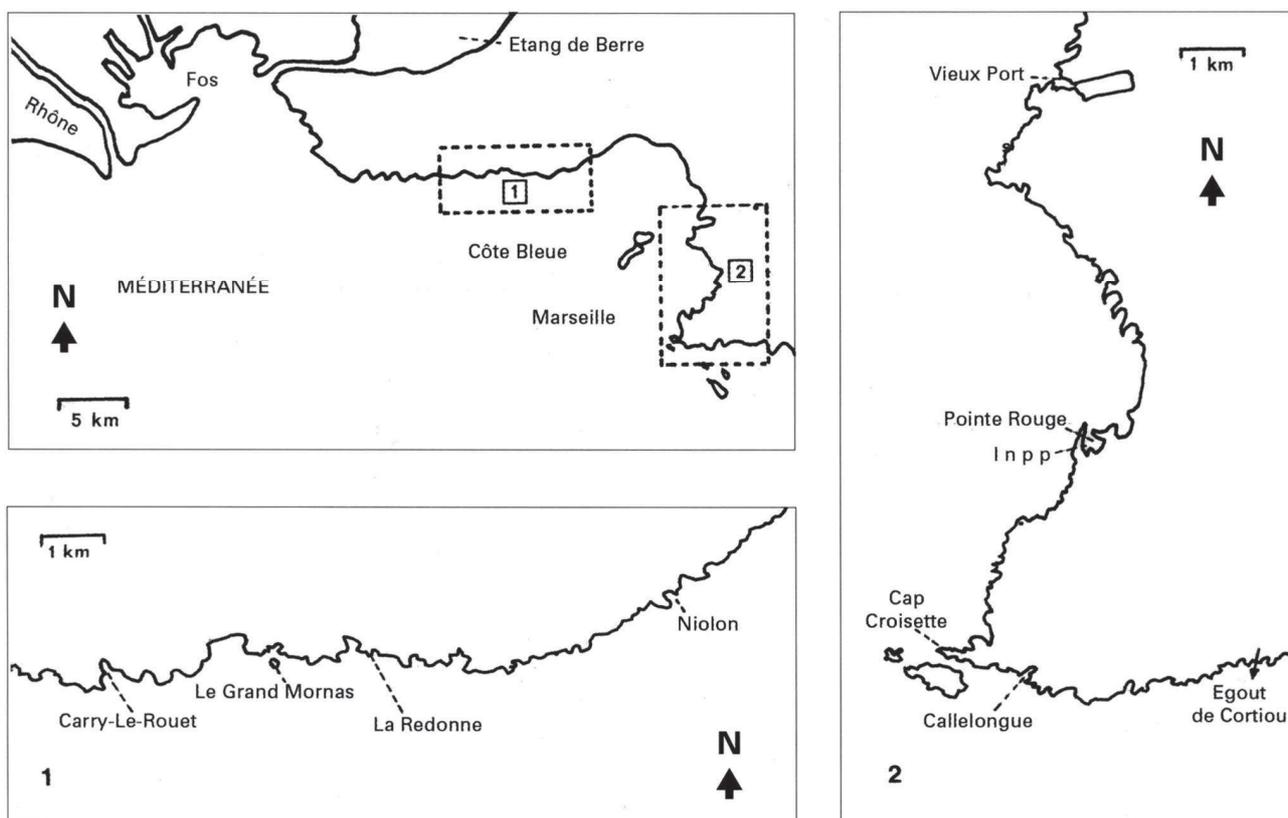


Figure 1 - Localisation des secteurs de prélèvement des oursins et des moules sur la Côte Bleue (1) et à Marseille (2). / *Localisation of sampling sites of sea urchins and mussels in the Côte Bleue (1) and in Marseilles (2).*

Tableau I - Teneurs en métaux lourds ( $\mu\text{g/g}$  de poudre lyophilisée) de l'algue *Stypocaulon scoparium* utilisée dans les expériences *in situ* pour la nourriture des oursins. / *Metal contents ( $\mu\text{g/g}$  of lyophilised powder) in the alga Stypocaulon scoparium used in in situ experiments for sea urchins feeding.*

Temps de l'expérience	Localisation	Cadmium	Cuivre	Mercuré	Plomb	Zinc
Début	Zone de Référence du Grand Mornas	<0,3	1,0	<0,03	<0,5	5,4
	Pointe Rouge	<0,3	1,8	0,09	<0,5	21,4
Fin	Institut National de la Plongée Professionnelle	<0,3	1,9	0,12	0,8	23,2
	Vieux-Port	0,5	2,1	0,40	0,9	28,4

#### Préparation des échantillons et dosage

Les échantillons sont rincés sur place avec l'eau qui les baignait.

Après élimination des coquilles, la totalité des parties molles et organiques des moules est conservée.

Les oursins sont disséqués et répartis en cinq lots différents : piquants, tests, mâchoires (lanterne d'Aristote), intestins et gonades. Nous appelons "intestins", l'intestin lui-même et les matières fécales ; la partie oesophagienne du tube digestif, qui traverse la lanterne d'Aristote étant difficilement prélevable. De même, le contenu intestinal n'a pas été enlevé sous peine de dilacérer les parois très fines de l'intestin.

Les échantillons, préalablement congelés, sont lyophilisés puis micropulvérisés. La poudre sèche obtenue est tamisée sur tamis Prolabo 05019190 (diamètre = 0,063 mm) pour les oursins et 05019246 (diamètre = 0,200 mm, normes AFNOR) pour les moules. Les refus sont micropulvérisés autant de fois qu'il le faut de façon à ce qu'il n'y ait plus de matière retenue par le tamis. Ce tamisage permet d'obtenir une bonne homogénéisation des poudres pour les prises d'échantillons à analyser.

Les échantillons de poudre sont minéralisés selon la méthode de Malaiyandi et Barette (1970), par l'acide nitrique (Merck 441) pour le mercure et de Feinberg et Ducauze (1978) pour les autres métaux.

Les dosages sont réalisés par spectrophotométrie d'absorption atomique à l'aide d'un appareil IL 457 de Lexington company. Les dosages sont réalisés sans flamme pour le mercure, avec flamme pour les autres métaux.

Les données obtenues ont fait l'objet d'une étude statistique à l'aide des coefficients de corrélation de Spearman (*in* Caperaa, Van Cutsem, 1988).

#### RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

##### Degré de contamination des organismes en place (tableau II)

##### Oursins

L'analyse des résultats est assez complexe car le raisonnement doit englober trois facteurs de variation : les métaux, les organes et les stations.

Au plan général, on peut déjà noter que l'ensemble des échantillons des quatre ports ne contient pratiquement pas de cadmium. On remarque aussi que pour le cuivre et le mercure les taux les plus élevés sont toujours trouvés dans les échantillons d'intestins, puis de gonades, pour le zinc, dans les gonades, puis les intestins et pour le plomb dans les intestins, puis les mâchoires.

En ce qui concerne la distribution du Zn, il peut y avoir des inversions de facteur de concentration entre les gonades et le tube digestif. Ce métal intervient probablement dans les phénomènes de calcification (Delmas, 1992). D'après Fenaux (*in* Delmas, 1992) dans la maladie dite de "l'oursin chauve" : "Le zinc s'accumule dans les zones nécrosées du test", ce qui laisse penser à une fonction physiologique de ce métal.

Pour chacun des métaux, les concentrations les plus élevées sont trouvées :

- pour le cuivre : dans les intestins des oursins de Callelongue et du Cap Croisette ;
- pour le mercure : dans les intestins des oursins de Callelongue et du Cap Croisette et les gonades des oursins de Niolon et du Cap Croisette ;
- pour le plomb : dans les intestins et les mâchoires des oursins de Callelongue et du Cap Croisette ;

- pour le zinc : dans les gonades des oursins de Niolon et du Cap Croisette et dans les intestins des oursins de Niolon et de Callelongue.

Si l'on considère maintenant les ports, ils se caractérisent de la façon suivante :

- Les oursins du port de Callelongue contiennent dans leurs tubes digestifs les plus forts taux de cuivre, de mercure et de plomb ; dans leurs gonades, les plus fortes teneurs en cuivre (équivalentes à celles du port du Cap Croisette) ; dans les tests, les plus forts taux de cuivre et de zinc ; et dans les piquants, les plus fortes teneurs en zinc.
- Les oursins du port de Niolon présentent les gonades qui contiennent le plus de mercure, de plomb et de zinc. Les tubes digestifs possèdent les plus fortes teneurs en zinc ; les lanternes d'Aristote, le plus fort taux de zinc ; les piquants et les tests, les plus fortes teneurs en cuivre.
- Les oursins du port du Cap Croisette montrent les concentrations les plus élevées en cuivre dans les

gonades et les lanternes. Les intestins et les lanternes contiennent presque autant de plomb que ceux de Callelongue.

- Les oursins du port de la Redonne présentent les taux les plus faibles en cuivre et en plomb pour tous les organes sauf les piquants, également pour le zinc et le mercure, mais avec trois exceptions qui concernent les tests pour le zinc et les tests, les mâchoires et les piquants pour le mercure.

Il ressort finalement que le port le plus pollué est celui de Callelongue ; viennent ensuite derrière lui, les ports de Niolon et du Cap Croisette qui montrent une spécificité différente vis-à-vis des métaux. Enfin, le port de la Redonne est indubitablement le moins pollué et c'est pourtant celui qui abrite le plus de bateaux.

Si on tient compte uniquement du nombre de bateaux (10 sur la berge), le port du Cap Croisette devrait présenter les valeurs les plus faibles. Nous comptons d'ailleurs en faire le petit port de référen-

Tableau II - Teneurs en métaux lourds ( $\mu\text{g/g}$  de matière sèche) des moules et des oursins prélevés dans la Zone de Référence du Grand Mornas (Z.R.) et dans les ports du Cap Croisette (C.C.), de Callelongue (C.L.), de Niolon (N.) et de la Redonne (R.).  
*Metal contents ( $\mu\text{g/g}$  of dry weight) in mussels and sea urchins taken from the Grand Mornas reference zone (Z.R.) and from the port of Cap Croisette (C.C.), Callelongue (C.L.), Niolon (N.), and La Redonne (R.).*

	Ports	Cadmium	Cuivre	Mercure	Plomb	Zinc	
MOULES	Z.R.	0,4	4,2	0,12	1,0	109	
	C.C.	<0,3	6,6	0,18	<0,5	336,9	
	C.L.	0,6	7,2	0,16	1,4	281,4	
Gonades	Z.R.	<0,3	1,8	0,03	0,6	193,0	
	C.C.	<0,3	3,7	0,17	<0,5	500,8	
	C.L.	<0,3	3,8	0,11	<0,5	233,7	
	N.	<0,3	2,9	0,29	<0,5	817,0	
	R.	<0,3	2,6	0,04	<0,5	336,5	
Tubes digestifs	Z.R.	0,4	9,5	0,24	3,9	134,7	
	C.C.	<0,3	17,6	0,39	19,2	235,4	
	C.L.	<0,3	22,2	0,52	19,6	306,7	
	N.	<0,3	22,7	0,37	2,4	379,1	
	R.	<0,3	14,9	0,20	<0,5	219,7	
OURSINS	Mâchoires	Z.R.	<0,3	1,0	<0,01	<0,5	6,9
		C.C.	<0,3	1,3	0,02	1,6	19,1
		C.L.	<0,3	1,1	0,08	2,7	17,7
		N.	<0,3	1,2	0,02	<0,5	27,3
		R.	<0,3	1,2	0,18	<0,5	22,7
Piquants	Z.R.	<0,3	0,8	0,45	<0,5	56,6	
	C.C.	<0,3	0,5	0,07	<0,5	54,7	
	C.L.	<0,3	1,7	0,02	<0,5	61,6	
	N.	<0,3	1,9	0,01	<0,5	13,1	
	R.	<0,3	1,4	1,02	<0,5	20,9	
Tests	Z.R.	<0,3	1,4	<0,01	<0,5	5,2	
	C.C.	<0,3	1,0	0,12	<0,5	51,8	
	C.L.	<0,3	2,3	0,07	<0,5	65,5	
	N.	<0,3	2,2	0,01	<0,5	9,8	
	R.	<0,3	1,7	0,19	<0,5	11,0	

ce. Cette contamination anormalement élevée peut être expliquée par le fait que le Cap Croisette est parfois atteint par l'immense nappe de pollution engendrée dans la calanque de Cortiou où sont rejetés les effluents de la ville de Marseille après passage dans une station d'épuration aux performances médiocres vis-à-vis des métaux (Lavergne *et al.*, 1989 ; Rancoule *et al.*, 1989 ; Delmas, 1992). C'est aussi de cette façon que l'on peut expliquer la contamination importante du port de Callelongue qui est encore plus près de Cortiou (4 km).

Il convient cependant de signaler que les bilans plus récents (Delmas, 1992 et Arnoux *et al.*, 1993) font état d'un meilleur rendement de la station d'épuration. L'abattement en métaux s'échelonne de 50 à 90 % selon l'élément, les rendements les plus élevés étant obtenus pour le plomb et le zinc. Cela explique les résultats obtenus par Arnoux *et al.* (1993), tel par exemple la diminution de 30 % de la concentration en plomb dans les moules depuis la mise en service de la station d'épuration en 1987. Des problèmes subsistent liés à la pollution pluviale et aux dépôts existants accumulés au fond jusqu'en 1987.

Dans le cas présent, l'importance de la contamination métallique ne suit pas l'importance du port. D'autres facteurs doivent intervenir comme les rejets polluants au littoral dans le cas de Marseille ; mais il doit en exister d'autres tels que les courants, la configuration et la profondeur du port.

#### Moules

Les moules étant absentes des ports de Nionon et de La Redonne, l'étude comparative ne peut se faire que sur les deux ports restants.

Dans le port de Cap Croisette, la présence de cuivre, de mercure et de zinc, ainsi que l'absence de cadmium sont confirmées. Par contre, la présence de plomb ne l'est pas. Les taux de mercure, de zinc et de cuivre sont peu différents de ceux du port de Callelongue.

Dans le port de Callelongue, on détecte la présence de cadmium dans les moules, alors que ce n'était pas le cas pour les oursins. La présence de cuivre, de mercure, de zinc et de plomb est confirmée.

#### Contamination expérimentale *in situ*

Nous avons regroupé dans les tableaux III et IV les données tirées de la littérature afin de disposer de valeurs comparatives. Il convient cependant d'utiliser ces valeurs avec prudence car les auteurs ne donnent pas l'âge ou la taille des organismes et l'on sait que c'est un facteur de variation non négligeable (Augier *et al.*, 1990).

La première remarque concerne globalement la zone témoin : choisie conventionnellement à l'origine pour récolter les moules et les oursins nécessaires aux expériences, elle s'est révélée, en fait, comme étant elle-même polluée d'une façon non négligeable. Il est finalement difficile de trouver sur le littoral provençal une moulière dans une zone de référence exempte de pollution.

#### Oursins (tableaux V et VI)

Les concentrations en métaux des oursins récoltés dans la zone témoin de référence sont du même ordre de grandeur que celles obtenues avec les oursins du Parc national de Port-Cros, sauf pour la teneur en mercure dans l'intestin qui est quatre fois plus élevée que la valeur maximale à Port-Cros (tableau III). Les teneurs en zinc ne peuvent pas être situées par manque de référence.

En ce qui concerne les stations d'expérimentation, on peut faire les remarques suivantes :

- le cadmium s'accumule préférentiellement dans les intestins, plus particulièrement dans les oursins de Carry-le-Rouet et surtout dans ceux du Vieux-Port. Au Vieux-Port, un pic énorme de cadmium apparaît vers le cinquième jour, puis la teneur diminue au cours du temps ; tandis qu'à Carry-le-Rouet, le taux s'accroît en fonction du temps ( $r_s = 0,9$ , significative au seuil du risque de 0,05) jusqu'au 14<sup>e</sup> jour, puis il se produit une légère décroissance ;
- pour le cuivre, c'est également l'intestin qui présente le facteur de concentration le plus élevé et ceci pour l'ensemble des quatre stations. L'accumulation se fait en fonction du temps ( $r_s = 0,90$  à la Pointe Rouge et au Vieux-Port,  $r_s = 1$  à l'I.N.P.P., toutes significatives au seuil du risque de 0,05). Par rapport aux témoins, les piquants captent généralement plus de cuivre. Il existe une corrélation entre l'accumulation du cuivre dans les piquants et le temps d'installation dans le port ( $r_s = 0,80$  à la Pointe Rouge,  $0,90$  à l'I.N.P.P.,  $r_s = 1$  au Vieux-Port, toutes significatives au seuil de 5 % d'erreur). A Carry-le-Rouet, la teneur en cuivre des piquants diminue à partir du 10<sup>e</sup> jour. Dans les gonades ( $r_s = 0,83$  pour Carry-le-Rouet,  $0,83$  pour le Vieux-Port, toutes significatives au seuil de 5 % d'erreur), l'accumulation ne commence à se produire qu'entre le 5<sup>e</sup> et le 10<sup>e</sup> jours. Les teneurs maximales sont généralement inférieures à celles que l'on détecte dans les intestins (de 7 à 9 fois) et équivalentes à celles des piquants. Dans les tests et les lanternes d'Aristote, l'accumulation est faible (de 1,3 à environ 2 fois la teneur du témoin), elle se fait en fonction du temps (pour les lanternes d'Aristote de Carry-le-Rouet et du Vieux-Port  $r_s = 0,70$  significative au seuil de 10 % d'erreur; pour celles de la Pointe Rouge,  $r_s = 0,90$  significative au seuil du risque de 0,05). Les taux de cuivre dans les tests sont légèrement plus élevés que ceux des lanternes d'Aristote (de 1,5 à 2,5 fois);
- le mercure a tendance à s'accumuler en fonction du temps (sauf pour les piquants pour lesquels la corrélation est négative), bien qu'on observe souvent un pic le 5<sup>e</sup> ou le 10<sup>e</sup> jour, parfois suivi d'une remontée. Les organes cibles sont, par ordre d'affinités, les intestins, les gonades et les lanternes d'Aristote. Les teneurs en mercure des piquants sont plus faibles que celles du témoin. Dans le port de l'I.N.P.P. et dans celui de la Pointe Rouge, les tests accumulent plus le mercure que les piquants.

## BIO-INDICATEURS DE LA POLLUTION / BIO-INDICATORS OF POLLUTION

Tableau III - Concentration en métaux lourds ( $\mu\text{g/g}$  de matière sèche) de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* dans certaines zones du littoral méditerranéen (G. = Gonades, T.D. = Tubes Digestifs). Le premier chiffre représente la valeur minimale enregistrée, le second la valeur maximale. Delmas a dosé un seul échantillon à Port-Cros. Les échantillons analysés par Sheppard et Bellamy étaient constitués par l'ensemble des gonades et des tubes digestifs des oursins. / *Metal concentration ( $\mu\text{g/g}$  of dry weight) in the edible sea urchin Paracentrotus lividus in several mediterranean coastal zones (G. = gonads, T.D. = digestive tracts). The first and second numbers represent the lowest and highest quantities measured, respectively. Delmas only analysed one sample in Port-Cros. The samples analysed by Sheppard and Bellamy were made up of all the sea urchins' gonads and digestive tracts.*

Lieu de récolte	Cadmium		Cuivre		Mercure		Plomb		Auteurs
	G.	T.D.	G.	T.D.	G.	T.D.	G.	T.D.	
Baie de Marseille, France	0,10 0,67	0,73 1,99	4,02 6,34	13,9 22,9	0,09 0,09	0,31 0,37	0,30 3,14	7,21 28,10	Augier <i>et al.</i> 1989
Calanques de Marseille, France	5,64 6,89	6,80 8,02	18,64 38,37	66,25 75,65			24,84 53,82	60,04 66,25	Delmas 1988
Parc national  de Port-Cros,  France	0,52 2,31	1,01 1,67	1,67 5,42	1,70 8,18	0,03 0,04	0,04 0,06	0,33 1,17	1,90 5,95	Augier <i>et al.</i> 1987
	4,38	4,89	1,09	12,06			16,56	24,84	Delmas 1988
							2,2 6,9	3,4 13,0	Valère 1984
Alghero, Sardaigne Italie					0,001 0,011		0,01 0,07		Chessa <i>et al.</i> 1984
Naples, Italie			7,6 38,0				20 42		Sheppard et Bellamy 1974
Beyrouth, Liban	0,4 4,9		3,8 38,0				11,3 313,0		Shiber 1979

Tableau IV - Concentration en métaux lourds ( $\mu\text{g/g}$  de matière sèche) de la moule *Mytilus galloprovincialis* dans différentes zones du littoral français. Les valeurs du R.N.O. correspondent à une moyenne des résultats obtenus en 1979 pour l'ensemble du littoral français. Ces valeurs sont données sous toutes réserves afin de servir de repères très généraux. Pour la Baie de Marseille et le golfe de Fos, le premier chiffre représente la valeur minimale enregistrée, le second la valeur maximale. / *Metal concentration ( $\mu\text{g/g}$  of dry weight) in the mussel Mytilus galloprovincialis in various french coastal zones. The R.N.O. numbers represent the overall average of results from the year 1979 on the entire french coast. The numbers given are to be used as references as they are subject to change. For the Bay of Marseilles (Baie de Marseille) and the Gulf of Fos (Golfe de Fos), the first and second numbers represent the lowest and highest quantities measured, respectively.*

Lieu de récolte	Cadmium	Cuivre	Mercure	Plomb	Zinc	Auteurs
Ensemble du littoral français	1,7	8,0	0,25	4,1	140	R.N.O. (1979)
Golfe de Fos	0,96 1,80	6,50 16,0	0,26 2,49	0,90 5,00	85 390	I.S.T.P.M. (1978)
Golfe de Fos	0,4 1,9	5,2 10,5	0,07 0,20	0,4 1,0	100 245	IFREMER
Baie de Marseille	0,6 1,1	4,5 8,5	0,10 0,25	2,5 7,0	110 230	(1993)

Tableau V - Teneurs en métaux lourds ( $\mu\text{g/g}$  de matière sèche) des oursins utilisés dans les expériences *in situ* réalisées dans le port de la Pointe Rouge (P.P.R) et de l'Institut National de Plongée Professionnelle (I.N.P.P.) à Marseille (Z.R. = Zone de Référence du Grand Mornas). / *Metal contents ( $\mu\text{g/g}$  of dry weight) in sea urchins used in in situ experiments performed in the port of La Pointe Rouge (P.P.R.) and the National Institute of Professional Diving (I.N.P.P.) in Marseilles (Z.R. = reference zone Grand Mornas).*

Échantillon	Localisation et nombre de jours	Cadmium	Cuivre	Mercure	Plomb	Zinc	
Gonades	Z.R.	<0,3	1,8	0,03	0,6	193,0	
	P.P.R.	5	<0,3	1,4	0,27	<0,5	243,1
		10	<0,3	1,4	0,13	<0,5	588,4
		15	<0,3	3,4	0,20	<0,5	894,0
		21	<0,3	3,0	0,83	<0,5	313,2
		I.N.P.P.	5	<0,3	1,9	0,23	<0,5
	10	<0,3	1,6	0,09	<0,5	572,6	
	21	<0,3	4,4	0,52	<0,5	829,2	
	Tubes digestifs	Z.R.	0,4	9,5	0,24	3,9	134,7
P.P.R.		5	0,4	17,6	1,07	<0,5	155,7
		10	<0,3	22,1	1,30	<0,5	154,0
		15	<0,3	22,0	1,63	<0,5	168,3
		21	<0,3	28,3	0,32	<0,5	237,1
		I.N.P.P.	5	<0,3	12,6	0,37	3,5
10		<0,3	15,7	0,55	4,9	260,3	
15		<0,3	19,3	0,35	5,7	256,5	
21		<0,3	37,7	0,65	5,5	476,9	
Mâchoires	Z.R.	<0,3	1,0	<0,01	<0,5	6,9	
	P.P.R.	5	<0,3	1,3	0,12	<0,5	24,3
		10	<0,3	1,6	0,03	<0,5	48,6
		15	0,5	1,6	0,28	<0,5	45,8
		21	0,4	1,6	0,08	<0,5	31,6
		I.N.P.P.	5	2,1	1,9	0,93	<0,5
	10	<0,3	1,5	0,09	<0,5	22,1	
	15	<0,3	2,2	0,07	<0,5	33,3	
	21	<0,3	1,8	0,04	<0,5	32,9	
Piquants	Z.R.	<0,3	0,8	0,45	<0,5	56,6	
	P.P.R.	5	<0,3	2,7	0,17	<0,5	9,2
		10	0,3	2,0	0,04	<0,5	39,2
		15	<0,3	3,2	0,10	<0,5	25,7
		21	<0,3	3,1	0,12	<0,5	38,4
		I.N.P.P.	5	<0,3	2,0	1,06	<0,5
	10	<0,3	2,8	0,07	<0,5	22,4	
	15	<0,3	4,1	0,36	<0,5	30,3	
	21	<0,3	3,8	0,35	0,8	24,8	
Tests	Z.R.	<0,3	1,4	<0,01	<0,5	5,2	
	P.P.R.	5	<0,3	2,2	0,53	<0,5	32,7
		10	0,8	2,9	0,18	<0,5	13,9
		15	0,9	3,2	0,39	<0,5	14,1
		21	<0,3	2,6	0,89	<0,5	8,5
		I.N.P.P.	5	<0,3	1,5	0,08	<0,5
	10	1,2	2,4	2,30	<0,5	18,9	
	15	0,4	2,6	0,90	<0,5	13,6	
	21	<0,3	2,5	0,09	<0,5	41,5	

BIO-INDICATEURS DE LA POLLUTION / *BIO-INDICATORS OF POLLUTION*

Tableau VI - Teneurs en métaux lourds ( $\mu\text{g/g}$  de matière sèche) des oursins utilisés dans les expériences *in situ* réalisées dans le port de Carry-le-Rouet (P.C.R.) et le Vieux-Port (V.P.M.) de Marseille (Z.R. = Zone de Référence du Grand Mornas). / *Metal contents ( $\mu\text{g/g}$  of dry weight) in sea urchins used in in situ experiments performed in the port of Carry-le-Rouet (P.C.R.) and the Vieux-Port (V.P.M.) in Marseilles (Z.R. = reference zone Grand Mornas).*

Échantillon	Localisation et nombre de jours		Cadmium	Cuivre	Mercure	Plomb	Zinc
Gonades	Z.R.		<0,3	1,8	0,03	0,06	193,0
	P.P.R.	5	<0,3	2,0	0,6	<0,5	819,8
		10	<0,3	3,7	0,17	<0,5	894,3
		15	<0,3	3,1	0,12	<0,5	837,5
		21	<0,3	3,7	0,26	<0,5	751,0
	I.N.P.P.	5	0,5	1,4	0,27	0,5	195,9
		10	0,3	2,4	0,71	2,4	427,1
		15	0,4	1,9	0,59	2,8	503,3
		21	0,3	4,5	0,23	3,3	583,4
Tubes digestifs	Z.R.		0,4	9,5	0,24	3,9	134,7
	P.P.R.	5	1,8	22,7	0,26	<0,5	293,3
		10	2,9	21,4	0,47	<0,5	243,6
		15	3,6	20,1	0,37	<0,5	298,6
		21	3,4	28,0	0,42	<0,5	358,6
	I.N.P.P.	5	36,3	13,5	4,95	4,5	149,6
		10	2,7	11,0	1,26	6,0	136,3
		15	1,8	18,0	0,25	4,0	151,0
		21	1,0	34,6	0,53	2,8	257,4
Mâchoires	Z.R.		<0,3	1,0	<0,01	<0,5	6,9
	P.P.R.	5	0,8	1,2	0,04	<0,5	29,8
		10	1,6	1,8	0,13	<0,5	34,0
		15	0,4	1,3	0,03	<0,5	9,0
		21	<0,3	1,6	0,05	<0,5	28,0
	I.N.P.P.	5	<0,3	1,0	0,02	<0,5	12,1
		10	<0,3	1,2	0,40	<0,5	18,9
		15	<0,3	1,0	0,01	<0,5	8,3
		21	<0,3	1,3	0,03	<0,5	15,0
Piquants	Z.R.		<0,3	0,8	0,45	<0,5	56,6
	P.P.R.	5	<0,3	2,3	0,15	<0,5	36,0
		10	0,3	5,4	0,33	<0,5	152,1
		15	<0,3	4,7	0,13	<0,5	54,1
		21	<0,3	3,1	0,03	<0,5	40,9
	I.N.P.P.	5	<0,3	1,0	0,02	<0,5	5,5
		10	<0,3	2,1	0,07	<0,5	12,8
		15	<0,3	2,7	0,27	1,5	14,5
		21	<0,3	3,1	0,18	<0,5	16,4
Tests	Z.R.		<0,3	1,4	<0,01	<0,5	5,2
	P.P.R.	5	<0,3	2,6	0,08	<0,5	20,8
		10	<0,3	3,0	0,16	<0,5	33,5
		15	<0,3	2,5	0,13	<0,5	17,0
		21	<0,3	2,7	0,12	<0,5	24,5
	I.N.P.P.	5	<0,3	1,2	0,01	<0,5	6,5
		10	<0,3	2,4	0,03	<0,5	14,3
		15	<0,3	2,6	0,11	<0,5	20,8
		21	<0,3	3,1	0,12	<0,5	9,0

Le phénomène est inverse à Carry-le-Rouet et au Vieux-Port ;

- on ne détecte pas de plomb dans les différents organes des oursins de Carry-le-Rouet et de la Pointe Rouge. A l'I.N.P.P., seuls les intestins révèlent des teneurs en plomb, mais l'accumulation est faible par rapport au témoin ; cette dernière se fait en fonction du temps ( $r_s = 0,90$  significative au seuil de 5 % d'erreur) ;
- le zinc s'accumule, par ordre d'importance, dans les gonades et les intestins. Il existe une corrélation entre les teneurs et le temps d'installation dans le port (pour les gonades,  $r_s = 1$  au Vieux-Port, pour les intestins,  $r_s = 0,90$  à Carry-le-Rouet, à la Pointe Rouge et au Vieux-Port, toutes significatives au seuil de 5 % d'erreur). On observe souvent un pic le 5<sup>e</sup> et le 10<sup>e</sup> jours.

#### Moules

La lecture du tableau VII permet de faire les remarques suivantes :

- les taux de cadmium sont peu élevés et peu différents de ceux des témoins, les valeurs pour le Vieux-Port étant cependant un peu plus élevées qu'ailleurs. On n'observe pas d'accumulation de cadmium en fonction du temps. Au Vieux-Port, le cadmium s'accumule durant les cinq jours, puis le taux se stabilise ;
- par contre, le cuivre s'accumule en fonction du temps ( $r_s = 1$  au Vieux-Port, à la Pointe Rouge et à l'I.N.P.P. et 0,90 à Carry-le-Rouet, toutes significatives au seuil de 5 % d'erreur) et de façon importante par rapport au témoin (les teneurs maximales sont de 8 à 20 fois la teneur en cuivre du témoin) ;
- le plomb s'accumule aussi en fonction du temps ( $r_s =$  au Vieux-Port et à l'I.N.P.P., significative au seuil de 5 % d'erreur). A Carry-le-Rouet, il n'y a pratiquement pas de plomb dans les moules jusqu'à la fin de l'expérience ;
- le mercure s'accumule en fonction du temps dans les moules du port de Carry-le-Rouet (mais de façon limitée) et du Vieux-Port (dans les deux ports,  $r_s = 0,90$  significative au seuil de 5 %, d'erreur). En ce qui concerne les ports de la Pointe Rouge et de l'I.N.P.P., on observe un pic au bout de cinq jours puis une décroissance jusqu'au 10<sup>e</sup> jour et enfin une accumulation en fonction du temps du 10<sup>e</sup> au 20<sup>e</sup> jours ;
- le zinc a tendance à s'accumuler avec le temps de façon nette à la Pointe Rouge ( $r_s = 0,90$  significative au seuil de 5 % d'erreur), indéniable aussi pour le Vieux-Port et Carry-le-Rouet ( $r_s = 0,70$  significative au seuil de 10 % d'erreur), mais avec un plateau au douzième jour et une légère chute à la fin de l'expérience. Cela pourrait être en rapport avec son rôle physiologique, notamment dans les systèmes multienzymatiques (Delmas, 1992). Les taux les plus élevés ont été enregistrés dans le port de l'I.N.P.P., puis de Carry-le-Rouet.

#### Corrélations

D'après les coefficients de corrélation de Spearman ( $r_s$ ), ce serait l'accumulation du cuivre qui présenterait le plus de corrélation avec le temps, puis le mercure et le zinc.

Nous avons étudié les éventuelles corrélations pouvant exister entre les organes des oursins et des moules en ce qui concerne l'accumulation du cuivre, du mercure ou du zinc à l'aide des coefficients de corrélation de Spearman ( $r_s$ ). Il ressort que les moules sont de bonnes indicatrices de pollution. En ce qui concerne les oursins : les gonades, les tubes digestifs, les piquants et les tests seraient de bons indicateurs de la contamination pour le cuivre ; les gonades pour le mercure ; et les gonades, les intestins et les tests pour le zinc. Donc, d'après ces résultats, des cinq organes étudiés, les gonades seraient, au plan général, les meilleurs indicateurs de contamination, avec une exception pour le zinc qui peut présenter des inversions de facteur de concentration entre le tube digestif et les gonades (Delmas, 1992).

#### Estimation du niveau de pollution métallique des ports

S'il est relativement aisé de comparer entre eux les résultats obtenus pour chacun des ports étudiés, il est plus difficile d'estimer leur niveau de pollution par rapport à d'autres études. Souvent, en effet, les auteurs n'ont pas réalisé leurs recherches dans les mêmes conditions (dates de prélèvement, sites, méthodologie, etc.) et bien peu ont tenu compte de la variation importante due à la taille et à l'état de maturité (Augier *et al.*, 1990). Sans perdre de vue ces réserves, il est cependant possible de faire les remarques suivantes.

#### Oursins

Les oursins du Vieux-Port de Marseille sont incontestablement les plus contaminés de notre étude, sauf pour la teneur en plomb des intestins où ce sont les échantillons du Cap Croisette et de Calalongue qui présentent les valeurs maximales. Les oursins du Vieux-Port sont également plus contaminés que les oursins du Parc national de Port-Cros sauf en ce qui concerne la teneur en cadmium des intestins.

Par contre, les teneurs en plomb des intestins et gonades et celles en cadmium et en cuivre des gonades sont inférieures à celles observées dans les calanques de Marseille.

Dans un secteur pollué des côtes de Sardaigne, Chessa *et al.* (1984) ont trouvé dans les gonades des oursins des teneurs en mercure et plomb nettement plus faibles qu'au Vieux-Port.

Les oursins de la baie de Naples présentent une contamination cuivrique inférieure à celle du Vieux-Port et une contamination saturnique nettement supérieure, mais les comparaisons sont ren-

Tableau VII - Teneurs en métaux lourds ( $\mu\text{g/g}$  de poudre lyophilisée) des moules utilisées dans les expériences *in situ* réalisées dans le port de Carry-le-Rouet (P.C.R.), le Vieux-Port de Marseille (V.P.M.), le port de la Pointe Rouge (P.P.R.) et de l'Institut National de Plongée Professionnelle (I.N.P.P.) de Marseille (Z.R. = Zone de Référence du Grand Mornas). / *Metal contents ( $\mu\text{g/g}$  of lyophilised powder) in mussels used in in situ experiments performed in the port of Carry-le-Rouet (P.C.R.), the Vieux-Port (V.P.M.) in Marseilles, the port of La Pointe Rouge (P.P.R.) and the National Institute of Professional Diving (I.N.P.P.) in Marseilles (Z.R. = reference zone Grand Mornas).*

Port	Durée (jours)	Cadmium	Cuivre	Mercuré	Plomb	Zinc
Z.R.		0,4	4,2	0,12	1,0	109
P.C.R.	5	<0,3	7,6	0,10	<0,5	538,3
	10	<0,3	34,2	0,15	<0,5	614,2
	15	1,3	23,0	0,17	<0,5	742,9
	21	<0,3	43,6	0,20	<0,5	615,0
V.P.M.	5	<0,3	9,4	0,40	0,5	239,6
	10	<0,3	16,8	0,23	1,9	288,4
	15	<0,3	36,7	0,37	1,9	283,3
	21	<0,3	59,7	0,76	4,5	378,2
P.P.R.	5	<0,3	9,4	0,40	0,5	239,6
	10	<0,3	16,8	0,23	1,9	288,4
	15	<0,3	36,7	0,37	1,9	283,3
	21	<0,3	59,7	0,76	4,5	378,2
I.N.P.P.	5	<0,3	5,8	1,00	2,9	559,1
	10	0,4	12,9	0,21	3,5	550,7
	15	<0,3	29,5	0,33	4,5	441,3
	21	<0,3	33,8	0,58	7,8	772,1

dues difficiles par l'absence de renseignement concernant la taille des échantillons et par la prise en compte de l'ensemble des parties molles de l'oursin, sans distinguer les gonades des intestins. D'une façon globale, les oursins du Vieux-Port sont moins contaminés que ceux de Beyrouth (Shiber, 1979).

Les oursins de La Redonne sont les moins contaminés de l'ensemble de notre étude. Si on les compare avec les résultats des études regroupées dans le tableau III, on constate que, globalement, leurs teneurs en métaux toxiques sont inférieures ou équivalentes à ces données, sauf pour la teneur en cuivre et en mercure des intestins qui sont supérieures à celles de Port-Cros et pour la teneur en mercure des gonades qui est nettement supérieure à celle des oursins de Sardaigne.

#### Moules

Les moules du Vieux-Port possèdent les teneurs les plus élevées en cuivre et en plomb. Ces teneurs dépassent largement les moyennes obtenues pour l'ensemble du littoral français et pour le golfe de Fos et la baie de Marseille.

C'est à l'I.N.P.P. que l'on observe des taux importants en mercure et en zinc. La teneur en mercure est supérieure à la moyenne obtenue pour l'ensemble du littoral français ; par contre, elle est 2,5 fois moins importante que la valeur maximale obtenue pour le golfe de Fos.

Quant à la teneur en zinc, elle est très supérieure aux valeurs regroupées dans le tableau IV.

Ce sont les moules de Carry-le-Rouet qui sont les plus contaminées par le cadmium mais les teneurs sont inférieures à la moyenne de l'ensemble du littoral français et à la valeur maximale du golfe de Fos.

## CONCLUSION

Les résultats des deux voies différentes d'investigation montrent que dans les oursins, les organes cibles sont principalement les intestins, puis les gonades, ce qui confirme les résultats antérieurs (Augier *et al.*, 1987, 1989, 1992, 1994 ; Park, 1992) et que ce sont les gonades qui présentent les meilleures caractéristiques d'indicateur biologique. Mais certaines parties dures telles que les piquants et la lanterne d'Aristote peuvent aussi accumuler de façon importante les métaux lourds, dans quelques cas particuliers. Les moules se sont également révélées d'excellentes indicatrices de la pollution métallique, ce qui ne fait que confirmer de nombreux travaux engagés à ce sujet (Burden *et al.*, 1979 ; Shiber, 1979 ; Simpson, 1979 ; Renzoni *et al.*, 1981 ; R.N.O., 1981 ; Satsmadus *et al.*, 1983 ; Chabert, 1984 ; Gendron *et al.*, 1984 ; Martinet, Vicente, 1986 ; Niencheski, 1987 ; Augier, 1987 ; Augier *et al.*, 1987, 1989 ; Delmas, 1992 ; Soto *et al.*, 1995 ; Warneau *et al.*, 1995).

Avec les moules, d'après les résultats obtenus, il existe même une meilleure corrélation entre le temps d'installation dans le port et le degré de contamination. Ceci vient certainement des caractéristiques propres à chacun des organismes. La moule est exclusivement un organisme filtreur benthique et dans notre investigation, elle est prise en totalité après élimination de la coquille. L'oursin est principalement un herbivore benthique que nous avons nourri avec des algues dans le cas des expériences *in situ*. Les algues prélevées sur le littoral ont pu réagir différemment par rapport aux oursins dans les paniers en ce qui concerne la captation des métaux, ce qui peut expliquer les différences par rapport aux moules. Par ailleurs, l'étude de l'oursin était basée non pas sur un extrait total mais sur les différentes parties constitutives de l'animal. Cela présentait l'avantage d'acquérir des données sur les parties comestibles de l'oursin, c'est-à-dire les gonades, mais également les intestins et leur contenu consommés par certains amateurs de ces "fruits de mer".

L'investigation engagée dans ce travail qui cherchait à démontrer l'influence de la taille du port sur le degré de contamination par les métaux toxiques a probablement été perturbée par des influences extérieures telles que les courants, la proximité de sites pollués, le renouvellement des eaux.

A Carry-le-Rouet, la zone prise à l'origine comme zone témoin hors du milieu portuaire s'est révélée également polluée. Ce résultat peut être dû à une influence intermittente des eaux polluées du Rhône chargées en métaux (Agence de Bassin, 1988) ou d'une source locale, comme l'émissaire de Sausset, tout proche, par exemple. Il se peut aussi que les oursins prélevés proviennent de la transplantation des oursins du golfe de Marseille par les professionnels. Nous rappelons que cette pratique consiste à prélever des oursins des milieux pollués du littoral marseillais et à les laisser pendant un temps suffisamment long dans les eaux de la Côte Bleue dans l'espoir qu'ils se décontaminent naturellement. Cependant, étant donné que cette pratique a lieu généralement en mai et que nos récoltes ont été effectuées en octobre, il ne peut guère y avoir d'interférence si on tient compte que les oursins sont capables de se décontaminer en grande partie en 6 mois, d'après Delmas (1988, 1992).

L'étude cinétique de contamination expérimentale *in situ* montre que l'accumulation des métaux toxiques ne se fait pas toujours en fonction du temps d'installation dans le port. Il peut exister des phénomènes d'accumulation suivis de résorption (Chabert, 1984). Dans cette étude, quand il existe des pics, ils apparaissent souvent les 5<sup>e</sup> ou 10<sup>e</sup> jours. Ceci est peut-être dû à une influence des conditions météorologiques. Certains auteurs (Catsiki, Arnoux, 1987) ont émis l'hypothèse que la bioaccumulation des métaux lourds évolue dans le temps en fonction des saisons et aussi suivant les organismes étudiés. Il faut tenir compte aussi des

facteurs physiques comme la température, la salinité, l'oxygène dissous, les courants et le renouvellement des eaux qui jouent un rôle sur la rétention des toxiques par les organismes (Romeril, 1974) en influençant le comportement, l'alimentation et le métabolisme des animaux. Il est possible aussi que les conditions de captivité et de confinement des oursins, et des moules aient une influence sur leur contamination ; une étude complémentaire à ce sujet permettrait de le vérifier. Il convient de préciser que les oursins ne semblaient pas incommodés par leur confinement dans les paniers puisque les gonades avaient un aspect normal et que les piquants n'étaient ni couchés, ni détachés.

Les taux relevés en cuivre, en mercure, plomb et zinc dans tous les ports et parfois en cadmium dépassent globalement les teneurs enregistrées dans le Parc national de Port-Cros (tableau III) qui est une zone éloignée des grands centres de pollution du littoral continental. Malgré cette situation privilégiée, les secteurs à grandes activités touristiques de l'île de Port-Cros présentent une pollution métallique assez paradoxale puisqu'il n'existe sur l'île aucune activité industrielle ou para-industrielle pouvant être rendue responsable de cette pollution. L'origine exacte de ces métaux n'a pas été encore démontrée, mais il existe de fortes présomptions pour rendre responsables les activités maritimes en général (Chabert, Vicente, 1983) et les peintures antisahissures qui recouvrent les coques des bateaux, en particulier (Augier, 1990). Cette hypothèse est confortée par les teneurs élevées en cuivre, ce métal étant l'élément toxique majeur des peintures actuellement commercialisées en France. Elle est également confortée par les taux très importants en zinc, certainement issus des anodes anticorrosion. L'étude de la contamination métallique de l'herbier de posidonies du littoral de Carry-le-Rouet a montré, à ce sujet, qu'il existe un gradient de concentration dégressif, à mesure qu'on s'éloigne du port, notamment pour le cuivre et le zinc (Augier *et al.*, 1993).

On connaît depuis longtemps la grande toxicité de ces métaux sur les organismes marins (Pye-finch, Mott, 1948 ; Calabrese *et al.*, 1973 ; Bouquiaux, 1974 ; Pavicic, 1976 ; Brenko, Alliot, 1977 ; Vicente, 1983 ; Krishnaja *et al.*, 1987 ; Augier *et al.*, 1990 ; Sétac, 1993 ; Beiras, His, 1995 ; Coles *et al.*, 1995) et, par conséquent, les données obtenues nous paraissent préoccupantes. La pollution des ports ne concerne pas seulement l'enceinte portuaire ; elle est entraînée par les courants littoraux et contribue dans de nombreux cas, à la pollution générale du littoral et constitue ainsi une menace pour les organismes marins et pour l'homme consommateur de fruits de mer (Guillon-Cottard, 1997).

Cette méthode de contamination expérimentale *in situ* à l'aide de deux indicateurs biologiques complémentaires mérite d'être étendue à d'autres types d'investigation le long du littoral en complémentarité avec l'analyse des organismes en place.

C'est la seule méthode applicable dans le cas des ports de moyenne et de grande importances dans lesquels les organismes indicateurs de pollution n'existent plus, ayant disparu à cause de la charge polluante trop importante. Mais il convient d'étendre la durée d'expérimentation sur une plus grande période. D'après les observations qui ont été faites, on peut espérer réaliser l'expérience sur au moins un mois et demi mais cela dépend de la capacité de résistance à la pollution des organismes utilisés et du degré de contamination et de confinement du port. Enfin, les expériences devraient être répétées pour tenir compte des saisons.

### REMERCIEMENTS

Il nous est agréable de remercier ici tous ceux qui nous ont apporté leur aide pour la récolte en plongée et, quelquefois, la dissection des moules et des oursins : MM. Alain Gilhi et les plongeurs du Sar Club de Carry-le-Rouet, André Pain et les plongeurs du Club Subaquatique de Lavéra. Nous remercions également M. Gavarry, directeur de l'Institut national de Plongée Professionnelle pour nous avoir autorisés à réaliser une expérience sur les quais de son établissement.

### BIBLIOGRAPHIE

- Adair J., 1987 - Assessment of heavy metal contamination in *Crassostrea virginica* from marina facilities. *NE Gulf Sci.*, **9** (2): 135-142.
- Agence de Bassin, 1988 - *Qualité du fleuve Rhône, synthèse des connaissances*. Agence de Bassin Rhône-Méditerranée-Corse Ed., 251 pp + 2 annexes.
- Anderson J.W., S.M. Bay, B.E. Thompson, 1989 - Characteristics and effects of contaminated sediments from Southern California. In: *The global ocean. 2: Ocean. Pollution*. Mar. Tech. Soc. (ed.), Washington, pp: 449-451.
- Arnoux A., J. Tatossian, J.L. Monod, A. Blanc, 1980 - Etude des teneurs en métaux lourds et composés organochlorés dans les organismes marins prélevés dans le secteur de Cortiou (Marseille). In: *V<sup>e</sup> J. Etud. Pollutions*. Comm. Intern. Etude Sci. Méditerranée, Cagliari, pp : 471-482.
- Arnoux A., C. Diana, J.L. Monod, T. Schembri, 1993 - Evolution de la pollution chimique des moules (*Mytilus galloprovincialis*) dans le secteur de Cortiou. Etat 1992-1993. *III<sup>e</sup> Sympos. Intern. Ville de Marseille, 20-22 octobre 1993 (Actes du Colloque non édités)*.
- Augier H., 1987 - Bio-indicateurs et indicateurs biogéochimiques en pollution marine. Acte 8<sup>e</sup> Colloq. Intern. Océanogr. Médic., 9-12 octobre 1985, Nice. *Revue int. Océanogr. méd.*, 85-86 : 147-150.
- Augier H., 1990 - Les peintures antisaissures. *CERIMER Information*, **1** (1) : 13-14.
- Augier H., D. Chabert, N. Vicente, 1980 - Le port de Porquerolles (îles d'Hyères, Méditerranée, France). II. Contamination par les métaux lourds. *Trav. sci. Parc natl Port-Cros*, **6** : 253-285.
- Augier H., G. Giffes, M. Leal Nascimento, G. Ramonda, 1984 - Recherches sur la pollution mercurielle en rade d'Hyères et dans l'archipel des Stoechades (Méditerranée, France) : 7. Evolution de la contamination de la flore et de la faune marines benthiques de la baie de Port-Cros, de 1976 à 1981. *Trav. sci. Parc natl Port-Cros*, **10** : 37-50.
- Augier H., G. Ramonda, M. Santimone, 1987 - Teneurs en métaux lourds des oursins comestibles *Paracentrotus lividus* Lamarck dans les zones à grande activité touristique de l'île de Port-Cros. In : *Actes Colloque International sur l'oursin comestible Paracentrotus lividus*, 21-22 février 1987, Carry-le-Rouet, Fr., pp : 271-284.
- Augier H., G. Ramonda, J. Rolland, M. Santimone, 1989 - Teneurs en métaux lourds des oursins comestibles *Paracentrotus lividus* Lamarck prélevés dans quatre secteurs tests du littoral de Marseille (Méditerranée, France). VI<sup>e</sup> Séminaire Intern. sur les Echinodermes actuels et fossiles, Ile des Embiez, Fr., 19-22 sept. 1988. *Vie mar.*, hors série, **10** : 226-239.
- Augier H., R. Desmerger, M. Egea, E. Imbert, W.K. Park, G. Ramonda, 1990 - Teneur en métaux et taille de la coquille chez la moule *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, précautions d'utilisation en molysmologie. *Rapp. P.-v. Réun. CIESM*, **32** (1) : L-1114.
- Augier H., W.K. Park, G. Ramonda, 1992. Study of geographical and seasonal metal content variations in different parts of edible sea urchins *Paracentrotus lividus* Lamarck from three Provençal test areas. *Revue int. Océanogr. méd.*, **107-108**: 75-89.
- Augier H., R. Desmerger, M. Egea, E. Imbert, W.K. Park, G. Ramonda, M. Santimone, 1994. - Etude de la pollution par les métaux lourds de la zone industrie-portuaire du golfe de Fos-sur-Mer (Méditerranée, France), à l'aide de bio-indicateurs (moules et oursins). *Mar. Life*, **4** (2) : 59-67.
- Augier H., J.M. Harmand, C. Ronneau, 1995a - Neutron activation study of the natural elementary composition of edible sea urchins (*Paracentrotus lividus* Lamarck) in the National Park of Port-Cros. *Cell. mol. Biol.*, **41** (4): 525-531.
- Augier H., W.K. Park, C. Ronneau, 1995b - Neutron activation study of the elementary composition of edible sea urchins (*Paracentrotus lividus*) in marine creeks areas polluted by town sewage of Marseille (France). *Cell. mol. Biol.*, **41** (4): 533-544.
- Beiras R., E. His, 1995 - Effects of dissolved mercury on embryogenesis, survival and growth of *Mytilus galloprovincialis* mussel larvae. *Mar. Ecol.*, **126** (1-3): 185-189.
- Bouquiaux J., 1974 - Problems of the contamination of man and his environment by mercury and cadmium. *Report n° Eur. 5075, Commiss. Europ. Comm., Luxembourg*: 23-46.
- Brenko M., A. Alliot, 1987 - Antifouling paints and water pollution in two harbours of South Brittany. *Oceanologica Acta*, **10** (1): 73-82.
- Burden K.S., M.V. Krujina, I.B. Savel'Yev, 1979 - Mollusks of the genus *Mytilus* as possible indicators of the content of heavy and transitional metals in sea water. *Oceanol. Acad. Sci. USSR*, **19** (6): 736-738.
- Calabrese A., R.S. Collier, D.A. Nelson, J.R. Mac Innes, 1973 - The toxicity of heavy metals to embryos of the american oyster *Crassostrea virginica*. *Mar. Biol.*, **18** : 162-166.
- Caperaa P., B. Van Cutsem, 1988 - *Méthodes et modèles en statistique non paramétrique*. Edit. Presses de l'Univ. Laval et Dunod, Paris, Fr., 358 pp.
- Carruesco C., Y. Lapaquellerie, P.J. Labourg, D. Prunier, 1986 - The heavy metal impact on an intertidal biotic environment: the Arcachon bay. *Bull. Inst. Geol. Bassin Aquitaine*, **39** : 85-93.
- Catsiki A., A. Arnoux, 1987 - Etude de la variabilité des teneurs en Hg, Cu, Zn, Pb de trois espèces de mollusques de l'étang de Berre (France). *Mar. environ. Res.*, **21** : 175-187.

- Chabert D., 1984 - Bioaccumulation du cadmium chez un mollusque bivalve : *Cerastoderma glaucum* Poiret 1789, après contamination. *Vie mar.*, **6** : 57-61.
- Chabert D., N. Vicente, 1983 - La pollution par les métaux lourds dans les rades du Parc national de Port-Cros. II. Contrôle pluriannuel. *Trav. sci. Parc natl Port Cros*, **9** : 17-34.
- Chessa L.A., P. D'Amaddio, R. Ginanneschi, 1984 - A chemical, bacteriological and ecological study of the edible sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lam.). *Nova Thalassia*, **6** suppl.: 411-417.
- Claisse D., 1989 - Chemical contamination of French coasts. *Mar. Pollut. Bull.*, **20** : 523-558.
- Coles J.A., S.R. Farley, R.K. Pipe, 1995 - Alteration of the immune response of the common marine mussel *Mytilus edulis* resulting from exposure to cadmium. *Dis. aquat. Org.*, **21** (4): 59-65.
- Cossa D., E. Bourget, 1980 - Trace element in *Mytilus edulis* L. from the estuary and gulf of St Lawrence, Canada: lead and cadmium concentrations. *Environ. Pollut.*, **23** : 1-8.
- Cossa D., P. Lassus, 1989 - Le cadmium en milieu marin. Biogéochimie et écotoxicologie. *Rapp. sci. tech. IFREMER*, **16** : 111 pp.
- Delmas P., 1984 - *Ecologie de l'Echinoïde Paracentrotus lividus (Lmk) dans la zone littorale de Marseille-Cortiou soumise à une pollution à dominante domestique (distribution, morphométrie, éthologie alimentaire)*. D.E.A. Ecol. Médit., Opt. Ecol., Univ. Aix-Marseille III, Fr., 36 pp.
- Delmas P., 1988 - Dynamique des concentrations en métaux lourds dans les gonades et les contenus digestifs de *Paracentrotus lividus* (Lam.) provenant d'une zone soumise à une pollution à dominante domestique et transplantés dans la réserve sous-marine de Monaco. Données préliminaires. *C.R. des activités 1986-1987, Association Monégasque pour la protection de la Nature Edit.*, pp : 29-32.
- Delmas P., 1992 - *Etude des populations de Paracentrotus lividus (Lmk) (Echinodermata, Echinoidea) soumises à une pollution complexe en Provence Nord-Occidentale : densités, structure, processus de détoxification (Zn, Cu, Pb, Cd, Fe)*. Thèse doct. Univ. Aix-Marseille III, Fr., 205 pp.
- Feinberg M., C. Ducauze, 1978 - Minéralisation du plomb et du cadmium des tissus des animaux en vue de leur dosage par spectrophotométrie d'absorption atomique. *Bull. Soc. chim. Fr.*, **11**, **12** : 3-9.
- Fenaux L., C. Vago, C. Vivares, 1983 - Recherches sur les nécroses dermiques de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Lam). *Rapport Cons. Région. Prov. Alpes-Côte d'Azur*, 32 pp.
- Fortman T.J., E.A. Creelius, 1989 - Tributyltin concentrations in sediments of Puget Sound urban bays, and marinas. In: *The global ocean. 2: Ocean. Pollution*. Mar. Tech. Soc. (ed.), Washington, 696 pp.
- Frenet-Piron M., A. Alliot, 1987 - Antifouling paints and water pollution in two harbours of South Brittany. *Oceanologica Acta*, **10** (1) : 73-82.
- Gendron F., N. Vicente, P. Robert, 1984 - Impact des métaux lourds sur des filières à moules expérimentales de pleine eau dans le parc national de Port-Cros (Var, France). *Haliotis*, **14** : 131-141.
- Goldberg E.D., 1980 - *The international mussel watch*. National Acad. Sci., Washington, U.S.A., 180 pp.
- Grovhoug J.G., P.F. Sehigman, G. Vafa, R.L. Fransham, 1986 - Baseline measurements of butyltin in U.S. harbours and estuaries *Ocean. 86<sup>e</sup> Conference Record : Science-Engineering-Adventure, Organotin symposium*, **4** : 1283-1288.
- Grovhoug J.G., R.L. Fransham, P.F. Sehigman, 1987 - *Butyltin concentrations in selected U.S. harbor systems: A baseline assessment*. Tech. Rep. U.S. Nav. Ocean Syst. Cent., San Diego, 201 pp.
- Grovhoug J.G., P.F. Seligman, A.D. Valkirs, R.L. Fransham, 1989 - Monitoring of tributyltin in the marine environment. In: *The global ocean. 2: Ocean. Pollution*. Mar.Tech. Soc. (ed.), Washington, pp: 525-529.
- Guillon-Cottard I., 1997 - *Les ports de plaisance et leur impact sur l'environnement maritime et terrestre : étude de cas (Provence, Méditerranée, France)*. Thèse Doct. Univ. Aix-Marseille III, Fr., 486 pp.
- Hall L.W., 1988 - Tributyltin environmental studies in Chesapeake Bay. *Mar. Pollut. Bull.*, **19** (9): 431-438.
- IFREMER, 1993 - *La qualité du milieu marin littoral*. IFREMER Edit. Brest, Fr., 241 pp.
- Krishnaja A.P., M.S. Rege, A.G. Joshi, 1987 - Toxic effects of certain heavy metals (Hg, Cd, Pb, As and Se) on the intertidal crab *Scylla serrata*. *Mar. environ. Res.*, **21** : 109-119.
- Krone C.A., D.W. Brown, D.G. Burrows, C. Sin-Lam, U. Varanasi, 1989 - Butyltins in sediment from marinas and waterways in Puget Sound, Wasghinton state, U.S.A. *Mar. Pollut. Bull.*, **20** (10): 528-531.
- Lavergne G., A. Malien, J. Jarosz, F. Bourdon, 1989 - Station d'épuration de Marseille, 300 jours de traitement des eaux usées, l'optimisation du dosage automatique des réactifs. La période d'observation. La mise au point d'un système de pilotage automatique de l'injection des réactifs. *T.S.M. l'eau*: 311-322.
- Langston W.J., G.R. Burt, M.J. Zhou, 1987 - Tin and organotin in water, sediments and benthic organisms of Poole Harbour. *Mar. Pollut. Bull.*, **18** (12): 634-639.
- L'Hopitault J.C., J.M. Delattre, 1983 - *Hydrobios 2. Pollution chimique des sédiments du littoral Nord de la France*. Inst. Pasteur de Lille, Villeneuve d'Ascq Edit., Fr., 24 pp.
- McMahon P.J., 1989 - The impact of marinas on water quality. *Water Sci. Technol.*, **21** (2): 39-43.
- Malaiyandi M., J.P. Barrette, 1970 - Antifouling paints. *Comm. priv. Can. Dep. of Agr., Cent. Exp. Farm.*, pp : 12-28.
- Marcus J.M., A.M. Thompson, 1986 - Heavy metals in oyster tissue around three coastal marinas. *Bull. environ. Contamin. Toxicol.*, **36** (4): 587-594.
- Marcus J.M., G.R. Swearingen, A.D. Williams, D.D. Heizer, 1988 - Polynuclear aromatic hydrocarbon and heavy metal concentrations in sediments at coastal south carolina marinas. *Archs Environ. Contamin. Toxicol.*, **17** (1): 103-113.
- Marcus J.M., G.I. Scott, D.D. Heizer, 1989 - The use of oyster shell thickness and condition index measurements as physiological indicators of no heavy metal pollution around three coastal marinas. *J. Shellfish Res.*, **8** (1): 87-94.
- Martinet P., N. Vicente, 1986 - Filières expérimentales de pleine eau pour la conchyliculture au parc national de Port-Cros (Var, France). Technologie, essais avec *Mytilus galloprovincialis* L.K. (croissance, teneurs en métaux lourds). *Haliotis*, **15** : 369-374.
- Monriot F., P.J. Giannesini, J. Oudot, M.L. Richard, 1986 - Ascidies : "Salissures" marines et indicateurs biologiques (métaux, hydrocarbures). *Bull. Mus. natl Hist. nat. (4<sup>e</sup> Ser.) A. Zool., Biol. Ecol. anim.*, **8** (2) : 215-245.
- Niencheski L.F.H., 1987 - Use of *Mytilus galloprovincialis* L. as pollution indicator in the French mediterranean coast. Chlorinated organic compounds and heavy metals. *Atlantica*, **5** (2): 85-86.

- Park W.K., 1992 - *Variation de la composition élémentaire et de la contamination métallique chez quatre bio-indicateurs (posidonies, moules, oursins, dauphins) le long des côtes provençales (Méditerranée, France)*. Thèse Doct. Fac. Sci. et Techn. de Marseille-Saint-Jérôme, Fr., 294 pp.
- Pavicic J., 1976 - Combined cadmium-zinc toxicity on embryonic development of *Mytilus galloprovincialis*. III<sup>e</sup> Journées Etud. Pollutions, pp: 79-80.
- Phillips D.J.H., 1978 - The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of the trace element in Scandinavian waters. II. Lead, iron and manganese. *Mar. Biol.*, **46** : 147-156.
- Pyefinch K.A., J.C. Mott, 1948 - The sensitivity of Barnacles and their larvae to copper and mercury. *J. expl. Biol.*, **25** : 276-298.
- Rancoule M., J. Ottavioli, A. Mallen, 1989 - Bilan du fonctionnement de la station de traitement des eaux usées de Marseille. *Rapport Stat. Epurat. Marseille, Fr.*, 6 pp.
- Régis M.B., 1978 - *Croissance de deux Echinoïdes réguliers du golfe de Marseille (Paracentrotus lividus Lmk et Arbacia lixula L.) Aspects écologiques de la micro-structure du squelette et de l'évolution des indices physiologiques*. Thèses Doct., Univ. Aix-Marseille III, Fr., 221 pp.
- Renzoni A., E. Bacci, C. Leonzio, 1981 - Trace metal analysis in organisms of the Tyrrhenian Sea. *Quad. Lab. Tec. Pesca Ancona*, **3** (1): 649-665.
- R.N.O., 1981 - *Synthèse des travaux de surveillance 1975-1979 du Réseau national d'observation de la qualité du milieu marin*. Centre Océanologique de Bretagne, Brest, France.
- Robbe D., 1987 - Tin in sediment of sailing harbours. *J. Rech. océanogr.*, **12** (3-4): 97-98.
- Robbe D., 1988 - Heavy metal pollution in sailing harbours. Effect on dredging. *J. Rech. océanogr.*, **13** (1-2): 18-22.
- Romeril M.G., 1974 - Trace metals in sediments and bivalve Mollusca in Southampton water and solent. *Revue int. Océanogr. méd.*, **33**: 31-47.
- Saavedra Alvarez M.M., D.V. Ellis, 1990 - Widespread neogastropod imposex in the Northeast Pacific : implication for TBT contamination surveys. *Mar. Pollut. Bull.*, **21** (5): 244-247.
- Satsmadjis J., Voutsinou, F. Taliadouni, 1983 - *Mytilus galloprovincialis* L. and *Parapenaeus longirostris* as bioindicators of heavy metal and organochlorine pollution. *Mar. Biol.*, **76** : 115-124.
- Senten J.R., 1989 - Pollution of harbour sediments by heavy metals. *Ocean Shoreline Manage.*, **12** : 5-6.
- Setac, 1993 - *Ecotoxicology of Metals in Invertebrates*. R. Dalluger and P.S. Rainbone (Eds.), G.B., 461 pp.
- Sheppard C.R., D.J. Bellamy, 1974 - Pollution around Naples. *Mar. Pollut. Bull.*, **5** (3): 42-44.
- Shiber J.G., 1979 - Heavy metal in Ras Beirut prawns and sea urchin eggs. *J. environ. Sci. Health. (B Pestic. Food Contam. agric. Wastes)*, **14** (1): 73-95.
- Simpson R.D., 1979 - Uptake and loss of zinc and lead by mussels (*Mytilus edulis*) and relationships with body weight and reproductive cycle. *Mar. Pollut. Bull.*, **10**: 74-78.
- Soto M., M. Kortabitarte, I. Marigomez, 1995 - Bioavailable heavy metals in estuarine water as assessed by metal, shell-weight indices in sentinel mussels *Mytilus galloprovincialis*. *Mar. Ecol.*, **125** (1-3): 127-136.
- Thibaud Y., C. Alzieu, 1978 - *Etude de la qualité du milieu dans le golfe de Fos*. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes (Edit.) Sète, Fr., 1-28.
- Valère R., 1984 - *Contribution à l'étude de la pollution saturnique du littoral provençal et de ses conséquences sur la flore et la faune marines benthiques*. Thèse Doctorat 3<sup>e</sup> cycle, Océanologie, 12 juin 1984. Univ. Aix-Marseille II, Fr., 153 pp.
- Vicente N., 1983 - Action des polluants sur les écosystèmes littoraux méditerranéens. *Oceanis*, **9** (6) : 481-492.
- Warneau M., J.L. Teyssie, S.W. Fowler, 1995 - Effect of feeding on cadmium bioaccumulation in the Echinoid *Paracentrotus lividus*. *Mar. Ecol.*, **126** (1-3): 305-309.

Reçu en juillet 1995 ; accepté en juillet 1998.  
Received July 1995; accepted July 1998.