

Étude de la pollution par les métaux lourds de la zone industrialo-portuaire du golfe de Fos-sur-Mer (Méditerranée, France), à l'aide de bio-indicateurs (moules et oursins)

*Study of heavy metal contamination in harbour-industrial zone of the gulf of Fos-sur-Mer
(Mediterranean, France), using biological indicators (mussels and sea urchins)*

Henry Augier^{*,**}, Rémy Desmerger^{*,**}, Martine Egèa^{*,**}, Eric Imbert^{*,**}, Won Kyan Park^{*,**},
Georges Ramonda^{**,***}, Marius Santimone^{**,***}

* 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 Départemental d'Hygiène Alimentaire et d'Epidémiologie Vétérinaire, 13005 Marseille, France

Mots clés : Fos, indicateurs biologiques, industries, Méditerranée, métaux, moules, oursins, pollution, ports

Key-words: biological indicators, Fos, harbours, industries, Mediterranean Sea, metals, mussels, pollution, urchins

RÉSUMÉ

Augier H., R. Desmerger, M. Egèa, E. Imbert, W.K. Park, G. Ramonda, M. Santimone, 1994 - Étude de la pollution par les métaux lourds de la zone industrialo-portuaire du golfe de Fos-sur-Mer (Méditerranée, France), à l'aide de bio-indicateurs (moules et oursins). Mar. Life, 4 (2) : 59-67.

Les teneurs en cadmium, cuivre, mercure, plomb et zinc ont été déterminées par spectrophotométrie d'absorption atomique sur des lots d'oursins (*Paracentrotus lividus*) et de moules (*Mytilus galloprovincialis*) prélevés dans 10 stations réparties sur l'ensemble du complexe industrialo-portuaire du golfe de Fos-sur-Mer. Ces deux organismes se sont révélés être d'excellents indicateurs de la pollution métallique à condition de réaliser un échantillonnage approprié. Ils ont permis de caractériser la pollution métallique en fonction des particularités industrielles et portuaires de chaque station. Il a été mis en évidence notamment des différences significatives entre les ports de plaisance et les grandes darses et entre les darses elles-mêmes. Il a également été constaté une diminution des teneurs en cadmium, cuivre, mercure et plomb au niveau de trois des sites étudiés.

ABSTRACT

Augier H., R. Desmerger, M. Egèa, E. Imbert, W.K. Park, G. Ramonda, M. Santimone, 1994 - [Study of heavy metal contamination in harbour-industrial zone of the gulf of Fos-sur-Mer (Mediterranean, France), using biological indicators (mussels and sea urchins)]. Mar. Life, 4 (2) : 59-67.

A scheme employing atomic absorption spectrophotometry has been developed for the determination of cadmium, copper, lead, mercury and zinc in edible sea urchins (*Paracentrotus lividus*) and mussels (*Mytilus galloprovincialis*) in ten sites of the harbour-industrial complex of the gulf of Fos-sur-Mer. The results show that the two marine organisms are excellent indicators of metallic pollution under suitable sampling condition. They made possible characterization of metallic pollution according to harbour and industrial features of each site, especially revealing a significant difference between yacht harbours and large docks, and between the large docks themselves. It was also confirmed that there was a decrease of cadmium, copper, mercury and lead content in three of the studied sites.

INTRODUCTION

Situé à une trentaine de kilomètres à l'ouest de Marseille, le golfe de Fos s'étend sur 15 km, de l'embouchure du Rhône jusqu'à la pointe de Carro. Il reçoit, dans sa partie septentrionale, par l'intermédiaire du canal de Caronte, les eaux de l'étang de Berre et celles de la Durance, détournées dans

l'étang pour les besoins d'une usine hydroélectrique.

Il s'y est développé un important complexe industrio-portuaire axé sur la création d'un grand port pétrolier comportant trois immenses darses et un quai d'appontement des super-pétroliers. Ces installations ont entraîné le développement de l'industrie pétrolière (raffineries et pétrochimie) et

l'installation de la métallurgie, d'usines de produits chimiques et de diverses autres activités industrielles (construction aéronautique, cartonnerie, huilerie, etc.). A la pollution issue de ce complexe industriel et portuaire s'ajoutent la pollution urbaine non négligeable, la pollution des ports de plaisance et l'effluent d'une centrale thermique. La plupart de ces rejets sont vecteurs de polluants métalliques.

Compte tenu de l'importance de ce complexe industriel et portuaire et du cadre naturel remarquable qui l'entoure, la zone a, dès l'origine, fait l'objet d'une surveillance rigoureuse et d'actions exemplaires. Il a été ainsi mis en oeuvre une politique de contrôle, de lutte et de prévention des nuisances par les pouvoirs publics, au sein d'un organisme de coordination : le Secrétariat Permanent pour les Problèmes de la Pollution Industrielle, créé en février 1972 (S.P.P.P.I. 1972, 1973, 1977).

Il était donc intéressant, vingt ans après les premières investigations du S.P.P.P.I. (1972, 1973) d'examiner la situation actuelle en ce qui concerne la pollution métallique et en fonction des diverses activités industrielles.

La moule *Mytilus galloprovincialis* L. et l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* Lamarck étant d'excellents indicateurs de la pollution métallique (Augier 1987, Augier, Gilles, 1978, Burden *et al.*, 1979, Satsmadjis *et al.*, 1983, Niencheski, 1982, Delmas, 1984, Delmas, Régis, 1985, Augier *et al.*, 1987, 1992, 1994, Park, 1992), nous les avons utilisés pour mener à bien notre étude. Leur exploitation commerciale le long de la côte méditerranéenne française constitue un intérêt supplémentaire, en particulier avec l'existence d'un établissement de mytiliculture dans la partie ouest du golfe de Fos (anse de Carteau).

MÉTHODE

Stations de prélèvement

Les récoltes des moules et des oursins ont été réalisées en novembre 1992, dans dix stations à une profondeur variant de 1 à 2 mètres (Figure 1). Le choix de leur emplacement a tenu compte des sources de pollution les plus caractéristiques du golfe :

- A : La Couronne, prise à l'origine comme zone de référence.
- B : L'Auguette situé à proximité de la raffinerie de la BP.
- C : Port-de-Bouc, port pétrolier (les moules et les oursins, absents à l'intérieur du port, ont été récoltés à proximité de sa sortie).
- D et E : Intérieur (D) et extérieur (E) du port à vocation plaisancière de Saint-Gervais.
- F : Appontements pétroliers.
- G : Darse Sud, à proximité de l'industrie sidérurgique (la Sollac).
- H : Darse I, à proximité de l'établissement d'Air liquide.
- I : Darse II, recevant les effluents d'Arcochimie (produits chimiques).
- J : Anse de Carteau, caractérisée par la présence d'une exploitation mytilicole.

Les stations B, F, et J correspondent intentionnellement aux points de prélèvement de l'Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes (Thibaud et Alzieu, 1978).

Echantillonnage

Nous nous sommes efforcés de récolter des moules et des oursins dans chaque site. Cependant,

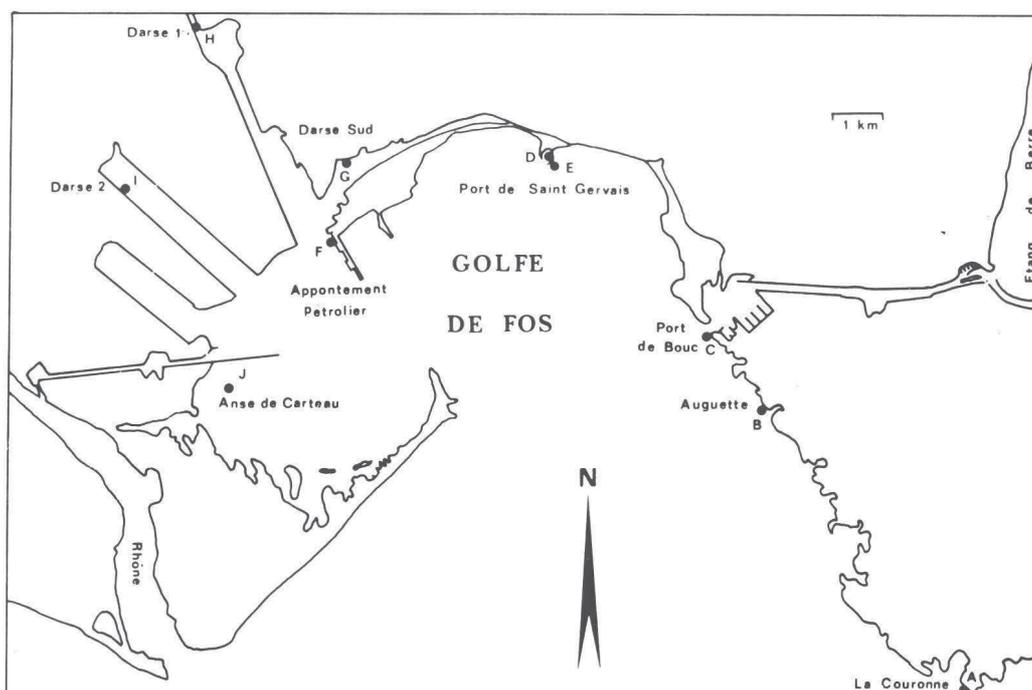


Figure 1 - Localisation des zones de prélèvement des moules et des oursins dans le golfe de Fos-sur-Mer. Localisation of sampling sites of mussels and sea urchins in the gulf of Fos-sur-Mer.

dans certains cas, seule la moule a été trouvée. Ceci explique le nombre plus réduit de stations étudiées avec l'oursin comestible. Nous ne connaissons d'ailleurs pas la raison exacte de cette absence d'oursins.

Moules

Afin de réduire les risques d'erreur liés à l'échantillonnage, nous avons opté pour l'analyse de quatre lots de douze moules sur chaque site.

Dans une précédente étude, nous avons démontré qu'il existe une corrélation inverse entre les concentrations en métaux et la taille des moules au même endroit et au même moment (Augier *et al.*, 1990). Aussi, pour que les comparaisons entre les différentes stations soient fiables, nous avons, dans la mesure du possible, prélevé des moules de taille identique, entre 5 et 6 cm, ce qui constitue la dimension conseillée (Satmadjis *et al.*, 1983).

Les moules sont ouvertes, la totalité des parties molles vivantes conservées, tandis que les deux valves de la coquille sont éliminées.

Il n'est pas tenu compte de l'appartenance sexuelle des individus car il ne paraît pas exister de différence fondamentale dans la concentration des métaux en fonction du sexe (Renzoni *et al.*, 1981).

Oursins

Les populations d'oursins étant moins denses que celles de moules, nous avons dû nous contenter de récolter 10 oursins de taille similaire (entre 6 et 8 cm avec les piquants) par station. Les oursins de

chaque lot sont disséqués pour obtenir cinq parties distinctes : piquants, tests, appareil masticateur (lanterne d'Aristote), gonades et intestins. Nous appelons intestin l'intestin lui-même et les matières fécales, la partie oesophagienne du tube digestif qui traverse la lanterne d'Aristote restant en place lors de la dissection.

Préparation des échantillons et dosages

Les échantillons sont congelés, puis lyophilisés. Les lyophilisats sont ensuite micropulvérisés au broyeur Dangoumeau à boîtier en téflon et billes en agate. La poudre sèche obtenue est passée sur tamis Prolabo 05019190 pour les oursins et 05019246 pour les moules. Ce tamisage permet d'obtenir une bonne homogénéisation des poudres pour les prises d'échantillons d'analyse.

Les échantillons de poudre sont minéralisés selon la méthode de Malaiyandi et Barette (1970), par l'acide nitrique concentré 1 N, puis par l'acide sulfurique concentré 1 N, en utilisant l'oxyde de vanadium comme catalyseur.

Les dosages sont faits par spectrophotométrie d'absorption atomique à l'aide d'un appareil IL457 de Lexington Company, d'une sensibilité de 0,03 µg/ml, avec une limite de détection de 0,004 µg/ml. Les dosages sont réalisés sans flamme pour le mercure, avec flamme pour les autres métaux. Le laboratoire a reçu l'agrément du ministère de l'Agriculture et de la Pêche ; il participe aux exercices d'intercalibration avec le laboratoire central d'hygiène alimentaire de Paris, sous l'égide du C.N.E.V.A. (Centre National d'Etudes Vétérinaires et Alimentaires).

Tableau I - Principales caractéristiques des échantillons de moules et d'oursins récoltés dans le golfe de Fos-sur-Mer./ *Principal characteristics of samples of mussels and sea urchins collected in the gulf of Fos-sur-Mer.*

STATIONS	<i>Mytilus galloprovincialis</i>		<i>Paracentrotus lividus</i>	
	Nombre de lots et d'individus par lots	Taille moyenne (cm)	Nombre de lots et d'individus par lots	Taille moyenne (cm) avec et sans piquants
A La Couronne	4 (12)	4,9	1 (10)	7,9 - 4,6
B L'Auguette	4 (12)	5,4	1 (12)	7,7 - 5,0
C Port de Bouc	4 (12)	5,6	absent	absent
D et E Port de Saint Gervais	3 (12)	4,9	absent	absent
Ext E	4 (12)	5,3		
F Appontement pétrolier	4 (12)	6,1	absent	absent
G Darse Sud	4 (12)	5,5	1 (10)	8,2 - 4,6
H Darse 1	4 (12)	5,6	absent	absent
I Darse 2	4 (12)	5,4	1 (12)	6,1 - 3,6
J Anse de Carteau	4 (12)	5,6	1 (12)	6,4 - 4,0

Analyse des données

Les données obtenues ont fait l'objet d'une étude statistique à l'aide du test non paramétrique de Mann-Whitney, dit test U (*in* Schwartz, 1969 et Caperra, Van Cussten, 1988).

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les renseignements concernant les échantillons ont été portés dans le tableau I et les résultats des analyses dans les tableaux II (moules) et III (oursins). Le tableau IV permet de comparer nos résultats avec ceux obtenus dans d'autres secteurs géographiques de la Méditerranée et de l'Atlantique. Le tableau V facilite les comparaisons avec les résultats obtenus par Thibaud et Alzieu en 1978, dans trois stations communes aux deux études.

Comparaison avec d'autres secteurs géographiques

Ces comparaisons ne doivent pas être considérées à la lettre. En effet, l'article de Thibaud et Alzieu, (1978) ne mentionne pas la taille des moules, et ne précise pas si l'échantillonnage a été homogène, alors que l'on sait que ce paramètre peut être un facteur important de variation (Augier *et al.*, 1990).

Mytilus galloprovincialis

- Cadmium

Les taux de cadmium varient de valeurs inférieures à 0,3 à 0,9 µg/g, ce qui est à peu près semblable aux concentrations trouvées dans les stations du golfe de Fos et de la baie de Marseille par le R.N.O. (1985). Ces taux sont, en revanche, inférieurs aux concentrations les plus élevées du réseau trouvées dans les stations du Petit Rhône (3 µg/g) et de l'étang de Thau (2,5 µg/g) et, pour l'Atlantique, à ceux des stations des baies de Seine (6,63 µg/g) et de Loire (3,2 µg/g).

- Cuivre

Les teneurs en cuivre varient de 4,8 à 26,5 µg/g ; elles sont semblables à celles de la station de Toulon (0 à 30 µg/g), mais supérieures à celles des autres stations méditerranéennes (valeurs maximales : 12 µg/g à Banyuls et au Petit Rhône).

- Mercure

Les taux de mercure s'échelonnent de 0,03 à 0,65 µg/g. Les valeurs concernant les échantillons de Port-de-Bouc (0,52 à 0,65 µg/g) dépassent celles de toutes les stations du R.N.O. en Méditerranée et en Atlantique. Ce résultat n'est pas surprenant, car les échantillons ont été récoltés dans un port et aucune station du R.N.O. n'est portuaire. La même remarque peut d'ailleurs être faite pour le cuivre et le zinc.

- Plomb

Les concentrations en plomb varient de valeurs inférieures à 0,5 à 3,3 µg/g ; elles sont inférieures à

celles de toutes les stations du R.N.O. de Méditerranée, mais peu différentes de celles de la station du golfe de Fos (0,5 à 6 µg/g).

- Zinc

Les taux s'échelonnent de 185 à 594 µg/g ; ils sont supérieurs à ceux des stations de Méditerranée, sauf pour la station de Toulon (valeur maximale : 817 µg/g).

Paracentrotus lividus

Nous avons réuni dans le tableau IV, les résultats obtenus dans diverses zones de Méditerranée en ce qui concerne les intestins et les gonades de façon à mieux situer nos résultats (Tableau III).

- Cadmium

Il est difficile de situer les valeurs concernant le cadmium car 3 seulement sur 25 sont supérieures au seuil de détection du spectrophotomètre.

- Cuivre

Les teneurs en cuivre varient de 3,5 à 6,9 µg/g dans les gonades. Ces valeurs sont semblables à celles de la baie de Marseille et du parc national de Port-Cros ; elles sont, en revanche, inférieures à celles de Beyrouth et à celles de la zone de rejet, dans les calanques, des eaux usées de la ville de Marseille. Les concentrations dans les intestins s'échelonnent de 11,5 à 25,2 µg/g ; elles sont semblables à celles des calanques de Marseille.

- Mercure

Les taux varient de 0,09 à 1,37 µg/g dans les gonades et de 0,15 à 1,31 µg/g dans les intestins ; ils sont supérieurs à ceux de la baie de Marseille, du parc national de Port-Cros et d'Alghero en Sardaigne.

- Plomb

Les concentrations varient de <0,5 à 3,3 µg/g dans les gonades. Ces valeurs sont semblables à celles de la baie de Marseille, inférieures à celles des calanques de Marseille, de Naples et de Beyrouth, mais supérieures à celles d'Alghero et du parc national de Port-Cros (à l'exception de l'échantillon analysé par Delmas). Les taux s'échelonnent de <0,5 à 12,7 µg/g dans les intestins ; ils sont inférieurs à ceux de Naples, de la baie et des calanques de Marseille, mais supérieurs à ceux du parc national de Port-Cros (sauf l'échantillon analysé par Delmas).

- Zinc

Les teneurs en zinc varient de 275 à 795 µg/g pour les gonades, ce qui est supérieur aux résultats obtenus à Carry-le-Rouet (40 à 296 µg/g) et inférieurs à ceux de la zone de rejet de Marseille, dans les Calanques (90 à 1335 µg/g) par Park, (1992). Les concentrations dans les intestins s'échelonnent de 108 à 534 µg/g ; elles sont inférieures à celles trouvées par Park, (1992) dans la zone des calanques (70 à 161 µg/g) et supérieures ou semblables à celles de Carry (44 à 709 µg/g).

Tableau II - Teneurs en métaux ($\mu\text{g/g}$ de matière sèche) des moules *Mytilus galloprovincialis* récoltées dans le golfe de Fos-sur-Mer (concentrations minimales, maximales et moyennes). / Metals content ($\mu\text{g/g}$ dry matter) in mussels *Mytilus galloprovincialis* sampled in the gulf of Fos-sur-Mer (minimum, maximum and mean concentrations in four samples).

Stations	Cadmium	Cuivre	Mercure	Plomb	Zinc
A La Couronne	0,5	6,4	0,12		310
	0,7	6,7	0,14	< 0,5	367
	0,6	6,5	0,13		341
B L'Auguette	< 0,3	5,2	0,15	0,28	185
		6,4	0,30	1,20	232
		5,7	0,25	0,90	208
C Port de Bouc	0,7	8,3	0,52	1,00	478
	0,9	9,5	0,65	1,60	594
	0,8	8,9	0,60	1,20	534
D Port de Saint Gervais intérieur	< 0,3	18,6	0,20	2,60	368
		26,5	0,24	3,30	425
		22,7	0,22	2,80	400
E Port de Saint Gervais estérieur	0,6	5,0	0,19		335
	0,9	5,8	0,24	< 0,5	381
	0,8	5,4	0,22		359
F Apointement pétrolier	0,5	4,8	0,0	2,40	302
	0,2	6,2	0,2	1,80	328
	0,3	5,0	0,1	2,10	313
G Darse Sud	< 0,3	6,3	0,06		307
		7,7	0,08	< 0,5	384
		6,9	0,07		338
H Darse 1	< 0,3	5,4	0,16		203
		7,4	0,25	< 0,5	266
		6,2	0,21		230
I Darse 2	< 0,3	4,6	0,11		198
		7,3	0,15	< 0,5	328
		6,1	0,13		262
J Anse de Carteau	< 0,3	5,0	0,10		236
		6,0	0,12	< 0,5	312
		5,6	0,11		275

Tableau III - Teneurs en métaux ($\mu\text{g/g}$ de matière sèche) des oursins *Paracentrotus lividus* récoltés dans le golfe de Fos-sur-Mer (Ap. mast. = Appareil masticateur). / Metals content ($\mu\text{g/g}$ matter) in sea urchins *Paracentrotus lividus* sampled in the gulf of Fos-sur-Mer (Ap. mast. = masticatory system).

Stations	Organes	Cadmium	Cuivre	Mercure	Plomb	Zinc
A La Couronne	Gonades	< 0,3	6,9	0,08	0,8	403
	Intestins	0,9	13,3	0,18	3,4	108
	Ap. mast.	< 0,3	1,5	< 0,01	< 0,5	7
	Piquants	< 0,3	2,5	0,07	< 0,5	11
	Tests	< 0,3	2,0	0,43	< 0,5	7
B L'Auguette	Gonades	< 0,3	5,5	1,37	3,3	795
	Intestins	< 0,3	20,3	1,31	8,2	271
	Ap. mast.	< 0,3	1,5	0,03	0,5	12
	Piquants	< 0,3	1,3	0,01	< 0,5	6
	Tests	< 0,3	3,0	0,07	< 0,5	17
G Darse Sud	Gonades	< 0,3	4,0	0,08	< 0,5	275
	Intestins	< 0,3	18,3	0,16	12,7	296
	Ap. mast.	< 0,3	2,0	0,01	< 0,5	26
	Piquants	1,6	1,9	0,13	< 0,5	144
	Tests	2,3	1,4	0,06	< 0,5	69
I Darse 1	Gonades	< 0,3	5,8	0,15	< 0,5	293
	Intestins	< 0,3	25,2	0,15	< 0,5	534
	Ap. mast.	< 0,3	1,0	0,03	< 0,5	10
	Piquants	< 0,3	12,4	0,27	< 0,5	305
	Tests	< 0,3	1,8	0,02	< 0,5	48
J Anse de Carteau	Gonades	< 0,3	3,5	0,09	< 0,5	283
	Intestins	< 0,3	11,5	0,17	< 0,5	196
	Ap. mast.	< 0,3	0,7	0,06	< 0,5	18
	Piquants	< 0,3	1,4	0,06	< 0,5	19
	Tests	< 0,3	1,7	0,01	< 0,5	44

Tableau IV - Concentration en métaux lourds de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* dans différentes zones du littoral méditerranéen (G = Gonades, TD = Tubes Digestifs). Les concentrations sont exprimées en µg/g de poids de matières sèche. 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. / *Concentration of heavy metals in the edible sea urchin Paracentrotus lividus in different areas of the Mediterranean coast (G. = gonads, TD = digestive tract). Concentrations are expressed in µg/g dry weight of matter. The first figure represents the minimum value recorded, the second the maximum value. Delmas analysed one single sample at Port-Cros. The samples analysed by Sheppard and Bellamy consisted of the entire gonads and digestive tracts of the sea urchins.*

Lieux de récolte	Cadmium		Cuivre		Mercure		Plomb		Auteurs
	G	TD	G	TD	G	TD	G	TD	
Parc national de Port-Cros	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 et al. 1987
France	4,38	4,89	1,09	12,06			16,56	24,84	Delmas, 1988
Baie de Marseille France	0,10 0,67	0,73 1,99	4,02 6,34	13,9 22,9	0,05 0,09	0,31 0,37	0,30 3,14	7,21 28,10	Augier et al. 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
Alghero, Sardaigne, Italie					0,001 0,011		0,01 0,07		Chessa et al. 1984
Naples, Italie			7,6 13,8				20 42		Sheppard et Bellamy, 1974
Beyrouth, Liban	0,4 4,9		3,8 38,0				11,3 313,0		Shiber 1979

Étude comparative de la teneur en métaux en fonction des caractéristiques industrielles et portuaires des diverses zones du golfe de Fos-sur-Mer

Mytilus galloprovincialis

La lecture du tableau II permet de faire les observations suivantes :

- l'anse de Carreau est la zone la moins contaminée, ce qui est un élément favorable pour la mytiliculture, du moins en ce qui concerne les métaux lourds ;

- la Couronne, choisie à l'origine comme station de référence, en raison de l'éloignement des sites industriels et de son ouverture sur le large, se révèle également polluée au même titre que les darses. Toutefois, les valeurs obtenues sont relativement faibles par rapport aux données du Réseau National d'Observation (R.N.O., 1981) ;

- l'Auguette est caractérisée par les valeurs les plus faibles en zinc et les plus élevées en mercure ;

- les ports polluent davantage que les rejets industriels, du moins en ce qui concerne les métaux analysés. L'intérieur du port de Saint-Gervais ainsi que Port-de-Bouc s'avèrent être plus contaminés que les autres zones. Cette situation est en rapport direct avec les peintures anti-salissures des coques des bateaux qui contiennent des quantités importantes de métaux dont la propriété est de diffuser lentement dans l'eau (Augier, 1990, Augier et al., 1993). Il est curieux de noter que Saint-Gervais, qui est un petit port de plaisance, renferme des concentrations en métaux lourds comparables à celles de Port-de-Bouc qui est un grand port pétrolier où le

trafic est dense. L'apport des enceintes portuaires à la charge métallique des eaux est également démontré par les résultats obtenus au niveau du port de Saint-Gervais pour lequel les valeurs sont plus élevées à l'intérieur qu'à l'extérieur du plan d'eau. Le port de Saint Gervais se distingue par les contaminations les plus élevées en cuivre et en plomb et celui de Port-de-Bouc par les plus fortes concentrations en zinc ;

- En ce qui concerne les darses, elles se caractérisent par des valeurs faibles pour le cadmium et le plomb. Les écarts ne sont pas très importants pour les autres métaux. En darse I, les taux sont un peu plus élevés pour le mercure et en darse Sud pour le zinc et le cuivre. La darse II paraît légèrement moins contaminée que les autres.

Paracentrotus lividus

Le fait que les oursins n'aient été trouvés que dans cinq des neuf stations étudiées enlève une partie de l'intérêt pour les comparaisons avec les moules, d'autant plus que cette absence concerne les ports où les moules présentaient les taux les plus élevés.

Il est néanmoins intéressant de noter que, dans les stations où les deux organismes sont présents, les résultats obtenus avec les oursins confirment les conclusions précédentes concernant les moules pour tous les métaux, sauf le zinc. A la station de l'Auguette notamment, les concentrations en zinc dans les moules sont les plus faibles par rapport aux autres stations ; c'est l'inverse pour les oursins. Les données disponibles ne nous permettent pas d'expliquer ce phénomène. Il peut être lié à

plusieurs facteurs tels que le régime alimentaire différent des deux organismes ou le plus gros diamètre des oursins.

Il est, par ailleurs, intéressant de remarquer que la darse Sud présente les taux les plus élevés en cadmium et en plomb, la darse II en cuivre, l'Auguette en mercure et l'Auguette et la darse II en zinc.

Confirmant les travaux antérieurs (Augier *et al.*, 1987, 1989), notre étude a clairement révélé que les intestins et les gonades sont les parties de l'oursin qui accumulent le plus les métaux sauf pour le cadmium chez les oursins de la darse Sud où ce sont les tests et les piquants qui sont les plus contaminés.

Estimation de l'évolution de la contamination métallique des moules de 1978 à 1989

L'étude de Thibaud et Alzieu, qui date de 1978, nous a servi de référence pour estimer l'évolution de la contamination métallique des moules (Tableau IV).

Dans un précédent travail (Augier *et al.*, 1990), nous avons montré qu'il existe une corrélation inverse entre les concentrations en métaux et la taille des moules prélevées au même endroit et au même moment. Pour éliminer cette source d'erreur, nous avons effectué nos prélèvements dans les mêmes stations que l'I.S.T.P.M., sur des moules de même taille et avec le même nombre (12) d'individus par station.

La lecture du tableau IV montre une diminution quasi générale de la contamination métallique des moules pour l'ensemble des trois stations. Il existe cependant deux exceptions au niveau de la station de l'Auguette où les taux de mercure et de zinc ont légèrement augmenté.

La diminution la plus importante concerne le site de Carteau, les concentrations en mercure, plomb, cadmium et cuivre sont même inférieures aux doses maximales admissibles pour les produits de la mer. Ce résultat est rassurant car l'anse de Carteau abrite une exploitation mytilicole.

L'appontement des pétroliers présente lui aussi une chute importante des concentrations en métaux lourds. Ces valeurs demeurent toutefois supérieures à celles de l'anse de Carteau.

Le seul point négatif que nous pouvons relever de cette comparaison est la faible variance des teneurs en zinc, dont les valeurs oscillent entre 250

et 300 mg/kg, ce qui reste élevé par rapport aux stations du R.N.O. (1981).

CONCLUSION

Les conclusions principales que l'on peut tirer de cette étude sont les suivantes :

- Par leur résistance à la pollution, leur pouvoir élevé de concentration des métaux et leur large distribution, les moules et les oursins constituent de bons indicateurs de la pollution métallique. Compte tenu de leur régime alimentaire différent (suspensivore pour la moule, algovore pour l'oursin), ils peuvent être employés en complémentarité pour l'intégration des différentes voies et formes de contamination. Leur utilisation doit tenir compte de leur taille qui est un facteur relativement important de variation. En ce qui concerne les oursins, nous préconisons d'utiliser surtout les intestins et les gonades qui constituent les organes cibles dans la quasi totalité des cas.

- L'utilisation de ces bio-indicateurs a permis de mettre en évidence les faits suivants :

- les petits ports sont paradoxalement plus contaminés par les métaux étudiés que les énormes darses du port de Fos bordées par les infrastructures industrielles ;

- chaque darse révèle une caractéristique qui lui est propre vis-à-vis des polluants métalliques, en rapport direct avec la nature des activités industrielles riveraines ;

- les plans d'eau situés en bordure des sites industriels présentent des concentrations en métaux lourds peu différentes de celles de la station de référence de la Couronne et inférieur à de nombreux résultats mis en évidence dans d'autres ports français.

- Les teneurs en cadmium, cuivre, mercure, plomb et zinc des moules ont diminué de façon importante dans les zones précédemment étudiées par Thibaud et Alzieu (1978), notamment au niveau de l'établissement de mytiliculture de l'anse de Carteau.

- L'ensemble de ces résultats reflètent bien les efforts de dépollution des industriels. L'abattement le plus remarquable concerne le mercure dont la présence en quantités importantes en 1976 dans les organismes marins était préoccupante (Augier *et al.*, 1978).

Tableau V - Teneurs en métaux ($\mu\text{g/g}$ de matière sèche) des moules *Mytilus galloprovincialis* analysées dans la présente étude (2) et de celles récoltées par Thibaud et Alzieu en 1978 (1) dans les mêmes stations. / Metals content ($\mu\text{g/g}$ dry matter) in mussels *Mytilus galloprovincialis* analysed in the present study (2) and those sampled by Thibaud and Alzieu in 1978 (1) at the same station.

Stations	Ref.	Cadmium	Cuivre	Mercure	Plomb	Zinc
B	1	0,8	9,6	0,2	1,2	192
L'Auguette	2	< 0,3	6,7	0,3	0,9	223
F	1	1,0	15,8	0,6	7,7	457
Appontement pétrolier	2	< 0,3	5,0	0,1	2,1	313
J	1	2,0	24,8	0,6	7,5	324
Anse de Carteau	2	< 0,3	3,6	0,1	< 0,5	254

- Des problèmes qu'il faudra résoudre subsistent néanmoins dans cette région. C'est le cas de la charge élevée en zinc et en cuivre, notamment au niveau des ports de plaisance, comme celui de Saint-Gervais.

- Cette pollution est en rapport direct avec la charge en cuivre des peintures anti-salissures des coques des bateaux et l'électrolyse des anodes de zinc utilisées pour la protection de leurs parties métalliques (Augier, 1990, Augier *et al.*, 1993). Ces résultats montrent, une fois de plus, combien il est urgent de trouver des solutions de remplacement pour ces deux agents de protection des bateaux contre la corrosion, mais également générateurs principaux de cette importante pollution métallique de la mer.

REMERCIEMENTS

Nous remercions très chaleureusement pour leur aide les plongeurs qui nous ont aidés pour la récolte des moules et des oursins : Alain Gilli, André Pain, Patrick Durville et leurs amis du Sar club et du Club subaquatique de Lavéra.

BIBLIOGRAPHIE

- Augier H., 1987 - Bio-indicateurs et indicateurs biogéochimiques en pollution marine. *Revue Int. Océanogr. méd.*, **85-86** : 147-151.
- Augier H., 1990 - Les peintures anti-salissures. *Cerimer-Information, Marseille*, **1** : 1-13.
- Augier H., R. Desmerger, M. Égèa, E. Imbert, W. 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) : 4
- Augier H., G. Gilles, 1978 - Recherche sur la pollution mercurielle dans le golfe de Fos. *Rev. Intern. Océanogr. méd.*, **6-7** : 55-69.
- Augier H., J.M. Harmand-Desforges, G. Ramonda, 1993 - Pleasure harbours are responsible for the metallic contamination of *Posidonia oceanica* meadows. In *First Intern. Conf. on the Mediterranean Coastal Environ, Medcoast 93, at Antalya, Turkey*, 2-5 nov. 1993 : 127-141.
- Augier H., J.M. Harmand-Desforges, G. Ramonda, 1994 - Influence du port de plaisance de Carry-le-Rouet sur la contamination des prairies de posidonies par les polluants métalliques. *Actes Journées de la Mer de Carry-Le-Rouet, Cerimer-Information, Marseille*, **3** : 42-55.
- 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 intern. Océanogr. méd.*, **107-108** : 75-89.
- 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). In *Actes VI séminaire intern. sur les Echinodermes*, 19-22 sept. 1988 - *Vie Mar.*, **H.S. 10** : 226-239.
- Augier H., G. Ramonda, M. Santimone, J. Rolland, 1987 - Teneurs en métaux lourds des oursins *Paracentrotus lividus* L. dans les zones à grande activité touristique de l'île de Port-Cros. In *Coll. Intern. sur Paracentrotus lividus L. et les oursins comestibles*, GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 271-284.
- Burdin K.S., M.V. Krujina, 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*, **12** (6) : 736-738.
- Caperra P. et B. Van Cutsem, 1988 - Méthodes et modèles en statistiques non paramétriques. Laval, Dunod (eds), Presses de l'Univ., Paris, 174 pp.
- 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.
- Delmas P., 1984 - Influence d'une pollution complexe, à dominante domestique, sur les populations de l'Echinoïde comestible *Paracentrotus lividus*. *Vie mar.*, **6** : 63-72.
- Delmas P., MB. Régis, 1985 - Impact de la pollution domestique sur la biologie et la morphométrie de l'Echinoïde *Paracentrotus lividus* (Lamarck). *C.r. Acad. Sci., Paris*, **4** : 143-146.
- 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. In *C.R. des activités 1986/1987, Association monégasque pour la Protection de la Nature, Monaco*, pp : 29-32.
- Malaiyandi M., J.P. Barette, 1970 - Antifouling paints - *Comm. Prim. Can. Dep. of Agr., Cent. Exp. Farm., Ottawa, Canada* : 19-28.
- Niencheski L.F.H., 1982 - 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., Univ. Aix-Marseille III, 294 pp.
- Renzoni A., E. Bacci, C. Leonzio, 1981 - Trace metal analysis in organisms of the Tyrrhenian Sea. *Quaderni Lab. 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*, 184 pp.
- R.N.O., 1985 - Dix années de surveillance 1974-1984. *Plaquette des Minist. Environ. et IFREMER*, : 6 pages + 8 fiches.
- Satsmadjis J., Voutsinou, F. Taliadouni, 1983 - *Mytilus galloprovincialis* L. and *Parapenaeus longirostris* as bioindicators of heavy metal and organochlorine pollution. *Marine Biology*, **76** : 115-124.
- Schwartz D. 1969 - *Méthodes statistiques à l'usage des médecins et biologistes*. Flammarion Edit., Paris, 136 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. Waste* **14** (1) : 73-95.

S.P.P.P.I., 1972 - Une région en plein essor industriel. *Brochure du Secrétariat Permanent pour les Problèmes de Pollution Industrielle*, **1** : 1-32.

S.P.P.P.I., 1973 - Commission du golfe de Fos. L'état actuel des eaux. *Brochure du Secrétariat Permanent pour les Problèmes de Pollution Industrielle*, **2** : 1-32.

S.P.P.P.I., 1977 - Commission golfe de Fos-étang de Berre, état de la situation en 1977. *Brochure du Secrétariat*

Permanent pour les Problèmes de Pollution Industrielle, **3** : 1-48.

Thibaud Y., C. Alzieu, 1978 - Étude de la qualité du milieu dans le golfe de Fos. *Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, édit., Sète, Fr.* : 1-28.

*Reçu en février 1994 ; accepté en janvier 1995.
Received February 1994; accepted January 1995.*