

# LE PORT DE PORQUEROLLES (ILES D'HYERES, MEDITERRANÉE, FRANCE) II. - CONTAMINATION PAR LES METAUX LOURDS

H. AUGIER\*, D. CHABERT\*\* et N. VICENTE\*\*

*Résumé* : La présente étude du port de Porquerolles concerne la pollution du plan d'eau, des organismes (algues, phanérogames marines, animaux benthiques et poissons) et du sédiment par divers métaux lourds : cadmium, cuivre, mercure, nickel, plomb et zinc.

Les analyses montrent des teneurs relativement importantes de ces éléments au niveau des appontements fréquentés par les embarcations à moteur. Elles sont en général plus élevées que celles habituellement rencontrées dans les régions à l'abri de la pollution ou peu affectées par celle-ci.

La contamination des sédiments et des organismes dépasse même parfois les seuils habituellement proposés par divers auteurs.

Les recherches sur les origines de cette pollution n'ont pas permis de déterminer pour l'instant la part de responsabilité exacte revenant aux rejets domestiques sauvages, aux effluents déversés exceptionnellement par la canalisation de secours du réseau d'égout du village de Porquerolles, aux eaux de ruissellement, aux déchets liquides et gazeux des embarcations, aux peintures anti-salissures et enfin aux conditions de confinement du port.

*Summary* : The following study of the port of Porquerolles deals with the pollution of the sea water, the organisms and the sediments by various heavy metals : cadmium, copper, mercury, nickel, lead and zinc.

Analysis show slightly important concentrations of these elements, particularly in the vicinity of the wharf frequented by motor boats. These concentrations are generally higher than those usually found in countries sheltered from pollution or slightly affected by it.

---

\* U.E.R. des Sciences de la Mer et de l'Environnement. Centre Universitaire de Luminy - 13288 Marseille cedex 2.

\*\* Laboratoire de Biologie Marine, Faculté des Sciences et Techniques de St-Jérôme - 13397 Marseille cedex 4.

Contamination of sediments and organisms sometimes overtakes the thresholds usually propounded by many authors.

The researches about the origin of this pollution do not make it possible yet to allot the shares of exact responsibility reverting to illicit domestic throws, to the effluents exceptionally sloped by the stand-by canalization of the village sewage system, to running waters, to liquid and gaseous wastes of the boats, to antifouling paints, and lastly to the confined condition of the port.

## 1. — INTRODUCTION

Dans le cadre de cette étude, le port de Porquerolles a déjà fait l'objet de deux publications : l'une consacrée à son histoire, à ses installations et à ses activités commerciales ainsi qu'à l'inventaire de ses sources de pollution (AUGIER et SEILLER 1978) et l'autre à sa contamination par les composés du mercure (AUGIER *et al.* 1978 a). La présente étude, axée sur la pollution par les autres métaux lourds, constitue donc le troisième volet de cette série de recherches.

Il nous a paru, en effet, intéressant d'étudier en détail ce port qui offre l'avantage d'être relativement éloigné des grandes zones industrielles, agricoles et urbaines du littoral provençal. Il convient cependant de signaler l'existence, sur l'île, d'un vignoble exploité de longue date. Cette situation privilégiée est un élément favorable à une meilleure appréciation du degré d'impact d'une pollution restreinte et locale par rapport à celle d'autres régions du littoral soumises à des nuisances de plus grande envergure et d'origines multiples.

Le trafic du port de Porquerolles a pris une telle ampleur au cours de la dernière décennie que des travaux importants ont dû être entrepris pour augmenter la capacité du plan d'eau et améliorer sa protection face à la pleine mer. Sous cet aspect, le port de Porquerolles illustre bien la destinée de ces nombreuses petits criques du littoral méditerranéen qui ont été, avant lui, progressivement modifiées et détériorées par les aménagements intempestifs et l'accélération démesurée du trafic portuaire. L'inventaire sommaire des sources de nuisances (AUGIER et SEILLER, 1978) a montré que la pollution provient en grande partie des activités maritimes et de l'avitaillement. En effet, la modernisation du réseau d'égout ainsi que la construction d'une station d'épuration ont eu pour conséquence la suppression, en 1972, des rejets directs des effluents du village dans le port. Il existe néanmoins encore des déversements de type urbain dus à une catégorie peu scrupuleuse de plaisanciers pratiquant encore le « tout à la mer » (eaux fécales, détergents, etc...). On peut facilement mesurer l'ampleur et la variété de ces rejets en observant, en plongée, les fonds et la tranche d'eau au niveau des appontements et des autres secteurs du plan d'eau les plus fréquentés. Il convient toutefois de préciser qu'en cas d'engorgement des conduites ou de panne de la station de refoulement, le réseau d'égout comprend deux canalisations de secours dont une peut débiter dans le port. Une enquête auprès des Porquerollais a révélé que cette conduite a déjà servi plusieurs fois depuis l'achèvement des travaux d'assainissement du village.

Par ailleurs, la construction de la grande jetée qui s'étend sur une longueur de 515 m, a barré la crique de Porquerolles du Nord-Est au Nord-Ouest en laissant seulement, au Nord-Ouest - Ouest, une passe de 120 m de large empruntée par les embarcations. Si cet ouvrage assure une protection efficace du plan d'eau contre les assauts de la mer, il perturbe, en contre partie, les échanges entre les eaux portuaires et les eaux du large. Cette entrave générale au renouvellement des eaux de la crique de Porquerolles est particulièrement évidente dans la zone comprise entre la jetée et le mole des appontements où les eaux stagnent créant ainsi, par endroits, des zones de décantation et d'accumulation. Cette perturbation des échanges d'eau entre le milieu portuaire et la pleine mer par l'installation d'ouvrages artificiels mal conçus est une caractéristique quasi générale des ports bien protégés ayant pour conséquence essentielle d'amplifier la pollution du milieu, parfois dans des proportions considérables. Il en résulte inmanquablement une augmentation de la turbidité, une concentration des polluants, un accroissement de la charge en matières organiques et minérales et un appauvrissement en oxygène pouvant conduire à l'eutrophisation du milieu avec les conséquences néfastes que l'on connaît sur la vie marine.

## 2. — METHODES

### 2.1. Récolte et préparation des échantillons

Les récoltes sont réalisées en plongée en scaphandre autonome. Les plantes et les animaux sont prélevés entiers pour les garder intacts et vivants jusqu'au laboratoire. Une boîte de polystyrène de forme spéciale permet de prélever, par écrémage, la couche superficielle du sédiment.

Au laboratoire, les échantillons vivants, transportés dans des récipients remplis d'eau de mer prélevée sur place, sont triés, mesurés et débarrassés des épiphytes ou des épizoïtes s'il y a lieu. Les sédiments et les organismes vivants sont ensuite lyophilisés et micropulvérisés selon une technique précédemment décrite (AUGIER, 1970).

### 2.2. Analyse des métaux lourds

Outre le mercure cité en référence et qui a déjà fait l'objet d'une précédente étude (AUGIER *et al*, 1978 a), les éléments suivants ont été analysés : le cuivre, le zinc, le nickel, le plomb et le cadmium.

#### 2.2.1. Minéralisation.

- 0,5 g de matière biologique lyophilisée est traitée par l'addition de trois gouttes d'une solution de chlorure de sodium (30 g/100 ml) et ensuite minéralisée à l'aide d'un mélange d'acide perchlorique et d'acide nitrique concentrés (10 : 2). L'attaque est poursuivie pendant une nuit dans un bain-marie à 70° C. Trois gouttes d'une solution de chlorure d'hydroxyle d'ammonium (50 g/100 ml) sont ajoutés, puis l'échantillon est porté à 50 ml avec de l'eau distillée déminéralisée (JOHANSSON, 1975).

— 1 g de sédiment lyophilisé subit une minéralisation totale par enlèvement de la silice en utilisant de l'acide fluorhydrique concentré. Après complète destruction de la matière organique par un mélange d'acide perchlorique et nitrique, le résidu est repris par de l'acide chlorhydrique 1 N (CHARLOU, 1976).

Il convient de préciser que chaque lot analysé est composé par les échantillons de plusieurs individus différents récoltés dans la même aire d'étude : au moins 3 dans le cas des codium, des holothuries et des oursins et souvent plus de 10 en ce qui concerne les autres organismes végétaux et animaux. La poudre lyophilisée correspondante est homogénéisée avec grand soin et les dosages sont effectués sur au moins trois prélèvements de cette poudre, quelquefois plus si les valeurs obtenues par les trois premiers dosages ne coïncident pas parfaitement.

### 2.2.2. Dosages.

Les analyses sont effectuées à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique avec flamme (IL 251), par comparaison avec des étalons préparés simultanément dans les mêmes conditions.

## 3. — RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats obtenus ont été portés dans les tableaux I (sédiments), II (Algues), III (phanérogames marines), IV (échinodermes) et V (poissons). L'emplacement exact des prélèvements figure sur une carte des stations d'étude (fig. 1). La présentation des résultats est complétée par des histogrammes indiquant la concentration en métaux lourds dans les diverses stations et les divers maillons (fig. 2, 3 et 4).

### 3.1. Cadmium

Les concentrations en cadmium s'échelonnent de 0,7 à 3,8 ppm dans les sédiments, de 0,8 à 16,2 ppm dans les algues, de 4,9 à 8,6 ppm dans les phanérogames marines, de 8,6 à 43,7 ppm dans les échinodermes et de 3,7 à 6,1 ppm dans les poissons (tableaux I à V, fig. 2, 3 et 4).

Sur le plan de sa répartition, on peut dire que la pollution par le cadmium s'étend à l'ensemble du plan d'eau du port de Porquerolles mais avec des différences locales. Les stations 6, 8, 9 et 10 situées au cœur du mole des appontements principaux et les stations 2 et 4, localisées sur le trajet des embarcations, sont parmi les plus polluées du port. Les échantillons prélevés au niveau de la station 1, située à l'extérieur du port mais dans le prolongement de sa sortie, est également contaminée par le cadmium, mais les concentrations y sont plus faibles. Il convient également de remarquer qu'il existe des différences de concentration selon la nature du sédiment et également selon l'espèce considérée.

### 3.1.1. Sédiments.

Les taux de cadmium relevés dans les sédiments du port de Porquerolles présentent des valeurs plus élevées que celles habituellement rencontrées dans les zones non polluées (tableau VI). Dans les stations 2 et 8, les concentrations dépassent même les seuils de contamination proposés par LAURENT et FERNEX en 1977 pour la Méditerranée (tableau VI).

La contamination des sédiments du port de Porquerolles par le cadmium est ainsi légèrement plus élevée que celle signalée par FRIGNANI *et al.* (1976) dans l'Adriatique, entre le delta du Pô et Ancona (0,01 à 2,02 ppm). Elle est comparable avec celle de la rade de Port-Cros observée par VICENTE et CHABERT, en 1979, (1,6 à 2,4). Elle est par contre plus faible que celle enregistrée dans plusieurs secteurs d'Espagne et du Portugal par STENNER et NICKLESS, en 1975 (0,9 à 4,1 ppm), du golfe du Mexique par TREFRY et PRESLEY en 1976 (0,02 à 10,7 ppm) et des golfes de Marseille et de Fos-sur-Mer par le laboratoire d'Hydrobiologie de la Faculté de Pharmacie de Marseille (1979) qui montre que ces teneurs varient de 0 à 11,5 ppm dans la fraction inférieure à 2 mm et de 0 à 22,7 ppm dans la fraction inférieure à 63  $\mu$ .

### 3.1.2. Végétaux.

Chez les algues, les teneurs les plus élevées ont été enregistrées chez *Padina pavonica* (16,2 ppm), *Codium bursa* et *C. vermilara* (11,2 ppm) et *Stypocaulon scoparium* (10,6 ppm). Ces valeurs paraissent élevées si on les compare à celles données par FUGE et JAMES (1973) en baie de Cardigan (Angleterre) chez *Fucus vesiculosus* (4,30 ppm) et *Fucus serratus* (6,73 ppm) ainsi qu'à celles enregistrées par STENNER et NICKLESS (1975) en divers points des côtes d'Espagne, chez *Enteromorpha sp.* (0,8 à 7,4 ppm), *Ulva lactuca* (0,5 à 4,1 ppm), *Chorda filum* (0,7 ppm), *Fucus sp.* (0,8 à 7,4 ppm), *Chondrus crispus* (4,9 ppm), *Delesseria sanguinea* (4,1 ppm) et *Corallina officinalis* (4,4 à 6,2 ppm). Elles ne dépassent cependant pas les valeurs les plus élevées enregistrées sur les côtes anglaises par PRESTON *et al* en 1972 (20,8 ppm chez *Fucus sp.*).

Les concentrations en cadmium enregistrées chez les phanérogames marines (tableau III) sont plus faibles que chez les algues, ce qui est dû, en grande partie au fait qu'elles ont disparu dans la zone trop polluée du port. Les valeurs sont assez semblables à celles données par STENNER et NICKLESS, en 1975, pour les côtes de la péninsule ibérique chez *Zostera sp.* (2 à 5,3 ppm) et plus faibles que dans les échantillons de *Cymodocea nodosa* (2 à 13,9 ppm) et de *Zostera noltii* (<0,8 à 14,4 récoltés par CHABERT (1979) au Brusuc (côte varoise).

### 3.1.3. Animaux.

Les échinodermes présentent des concentrations en cadmium très élevées, notamment chez l'étoile *Echinaster sepositus* (43,7 ppm) et les oursins *Sphaerechinus granularis* (22 ppm) et *Paracentrotus lividus* (20,6 ppm). Ces valeurs dépassent celles enregistrées pour les mou-

les par FOWLER et OREGIONI (1976) en Méditerranée N.W. (0,4 à 5,9 ppm), par CAPELLI *et al.* (1976) dans divers ports des côtes italiennes (0,2 à 4,7 ppm), par NICKLESS *et al.* (1972) sur le littoral espagnol (1,7 à 3,6 ppm). Sur les côtes espagnoles, STENNER et NICKLESS (1975) ont trouvé des concentrations en cadmium variant de 0,6 à 12 ppm chez l'étoile *Asterias rubens*. Par rapport aux concentrations rencontrées chez *Holothuria forskali* (8,6 à 13,7 ppm) une espèce voisine *H. tubulosa* étudiée dans le port de Carry-le-Rouet par CRISTIANI (1979) montre des concentrations nettement supérieures (7,3 à 44,7 ppm).

La contamination des poissons capturés dans le port de Porquerolles est plus faible que celle des échinodermes puisque les taux de cadmium varient de 3,7 à 6,1 ppm dans les extraits totaux des trois espèces analysées (tableau V). Il est certain que ces organismes vagiles ne peuvent pas caractériser le milieu où ils ont été prélevés car, contrairement aux organismes benthiques, il est difficile de déterminer le temps pendant lequel ils ont subi l'influence des conditions ambiantes. Sur les côtes de la péninsule ibérique STENNER et NICKLESS (1975) ont trouvé des concentrations en cadmium dans la chair de diverses espèces de poissons variant de 0,08 à 7,8 ppm. En mer Egée, les taux sont inférieurs à 0,3 ppm d'après GRIMANIS *et al.* (1976) chez *Gobius niger* et *Sargus annularis*.

Dans le golfe de Fos la bogue (*Boops boops*) capturée à l'Est du They de la Gracieuse (ISTPM 1979) peut renfermer des concentrations de l'ordre de 1,4 ppm qui sont relativement faibles par rapport à celles observées à Porquerolles chez la même espèce (4,9 à 6,1 ppm).

## 3.2. Cuivre

Les concentrations en cuivre varient de 1,05 à 68,9 ppm dans les sédiments, de 3,9 à 123,2 ppm dans les algues, de 12,5 à 26,9 ppm dans les phanérogames marines, de 0,8 à 27,1 ppm dans les échinodermes et de 4,8 à 23,1 ppm dans les poissons (tableaux I à V, fig. 2, 3 et 4).

Sur le plan de sa répartition, on constate que la pollution par le cuivre s'étend à l'ensemble du port mais avec des différences locales. Les stations 4, 6, 7 et 8, les plus centrales sont parmi les plus contaminées de l'enceinte portuaire.

### 3.2.1. Sédiment.

Les concentrations en cuivre relevées dans les sédiments du port de Porquerolles présentent des valeurs en général plus élevées que celles habituellement rencontrées dans les zones non polluées, à l'exception des stations 1 et 3 (tableaux I et VI). Dans les stations 6 et 8, les concentrations dépassent même les seuils de contamination proposés par LAURENT et FERNEX en 1977 (tableau VI).

La contamination des sédiments du port de Porquerolles par le cuivre est supérieure à celle du Port de Port-Cros où les valeurs enregistrées s'échelonnent de 15,3 à 32 ppm (VICENTE et CHABERT, 1980).

Elle est semblable à celle des sédiments de la mer Adriatique, entre Ancona et le delta du Pô (0,4 à 68,8 ppm, d'après FRIGNANI *et al.* 1976), mais elle est inférieure à celle de nombreux échantillons prélevés dans le golfe du Mexique (1,6 à 157 ppm, d'après TREFRY et PRESLEY 1976), sur le littoral espagnol (2 à 1 400 ppm, d'après STENNER et NICKLESS, 1975) et dans le S.O. de l'Angleterre (44 à 3 020 ppm, d'après BRYAN et HUMMERSTRONE, 1973).

### 3.2.2. Végétaux.

Chez les algues les teneurs les plus élevées ont été enregistrées chez *Stypocaulon scoparium* (123,2 ppm), *Cladophora sp.* (68,2 ppm), *Udotea petiolata* (67,3 ppm) et *Dictyota dichotoma* (65,4 ppm).

Ces valeurs comparées à celles indiquées par FUGE et JAMES (1974) et PRESTON *et al.* (1972) en Angleterre chez les *Fucus* (1,7 à 28,4 ppm), par STENNER et NICKLESS (1975) chez les espèces précédemment citées pour le cadmium (5,5 à 31 ppm) sont particulièrement élevées.

Chez les phanérogames marines, les valeurs enregistrées sont comparables à celles trouvées par CHABERT (1979) chez *Cymodocea nodosa* (9 à 16,5 ppm) et *Zostera noltii* (11 à 26 ppm) dans la Lagune du Brusco (Var) et par VICENTE et CHABERT (1980) à Port-Cros chez *Cymodocea nodosa* (22,5 à 30,5 ppm) et *Posidonia oceanica* (12,6 à 17,4 ppm) et elles sont inférieures à celles de STENNER et NICKLESS (1975) chez *Zostera sp.* (0 à 1 350 ppm) de la péninsule ibérique.

### 3.2.3. Animaux.

Les concentrations les plus élevées chez les échinodermes concernent :

— *Echinaster sepositus* : 27,1 ppm

— *Hoothuria forskali* : 17,3 ppm

Chez d'autres échinodermes des côtes méditerranéennes et d'Europe ces concentrations sont variables :

— Pour *Holothuria tubulosa* à Carry-le-Rouet (Bouches-du-Rhône), CRISTIANI (1979) observe des concentrations qui s'étagent de 27,1 à 117,8 ppm.

— Dans les parties molles d'*Arbacia lixula* du golfe de Naples, SHEPPARD et BELLAMY (1974) indiquent des concentrations de 7 à 16 ppm et de 7,6 à 13,8 ppm pour *Paracentrotus lividus*.

— STENNER et NICKLESS (1975), notent chez *Asteria rubens* de la péninsule ibérique, des concentrations de 6 à 8 ppm.

Il est intéressant de comparer ces valeurs à celles rencontrées chez la moule largement utilisée comme indicateur biologique de pollution. Ainsi dans le Golfe de Fos la chair de *Mytilus galloprovincialis* présente des concentrations en cuivre variant de 7,3 à 35,8 ppm (ISTPM, 1978).

Sur les côtes N.O. de la Méditerranée, FOWLER et OREGIONI (1976) indiquent chez la même espèce des valeurs de 2,4 à 154 ppm et STENNER et NICKLESS (1975) de 6,5 à 14 ppm.

En ce qui concerne les poissons les concentrations en cuivre sont importantes :

*Boops boops* : 14,4 - 23,1 ppm

*Puntazzo puntazzo* : 15,4 ppm

*Oblada melanura* : 4,8 ppm.

Par comparaison les valeurs trouvées en d'autres secteurs sont les suivantes :

— pour le golfe de Fos (ISTPM, 1979)

*Boops boops* : 7,7 ppm.

Pour les autres espèces les valeurs sont comprises entre 3,1 à 10,3 ppm ce qui est inférieur aux valeurs trouvées pour Porquerolles. Il faut préciser cependant que les pêches effectuées dans le Golfe de Fos ont eu lieu très au large par rapport aux sources de pollutions ce qu'il s'agit d'espèces vagiles.

— Mer Egée (GRIMANIS *et al*, 1976).

Pour un sar de l'espèce *Sargus annularis* la concentration en cuivre est de 1,7 ppm, et pour *Gobius niger* de 1,3 ppm.

### 3.3. Le Mercure

Les concentrations en mercure s'échelonnent de 0,03 à 0,97 ppm dans les sédiments, de 0,05 à 0,76 ppm dans les algues et de 0,07 à 0,29 ppm chez les phanérogames marines, et enfin de 0,12 à 0,86 ppm chez les échinodermes et de 0,12 à 0,38 ppm chez les poissons (tableau I à V, fig. 2 à 4).

Les zones les plus affectées par la pollution mercurielle sont situées au niveau des stations 4, 6, 7 et 8 au voisinage des appointements.

#### 3.3.1. Sédiments.

Les taux de mercure relevés dans les sédiments du port de Porquerolles présentent des valeurs plus importantes que celles habituellement rencontrées dans les zones non polluées (tableau VI).

Par rapport au seuil de contamination proposé par LAURENT FERNEX (1977) qui se situe à 0,1 ppm, nous constatons que seule la station 1 située à l'extérieur du port présente une valeur inférieure (0,05 ppm).

La comparaison avec les résultats obtenus dans le port de Port-Cros montre que le taux maximum de Hg enregistré est presque 3 fois plus élevé à Porquerolles (0,15 et 0,25) qu'à Port-Cros (AUGIER *et al*, 1977 a). Cette contamination mercurielle plus forte est certainement en relation avec la densité du trafic maritime et le confinement des inst

lations portuaires. Les résultats obtenus par ARNOUX *et al.* (1975) montrent que la concentration en Hg varie de 0,01 à 0,64 ppm dans les sédiments de l'embouchure du Rhône. A Fos dans la fraction inférieure à 2 mm on a noté des concentrations échelonnées de 0,17 à 4,4 ppm et dans la fraction inférieure à 63  $\mu$  de 0,19 à 4,72 ppm (laboratoire d'hydrologie, 1979). A Cortiou, la teneur en Hg des sédiments passe de 16,5 à 0,78 ppm dans un rayon de 4 km à partir de la sortie du grand collecteur d'égout de Marseille (ARNOUX *et al.*, 1974). Les valeurs les plus élevées ont été trouvées dans la baie de Minamata au Japon avec des valeurs comprises entre 12 et 2 010 ppm (KURLAND *et al.*, 1960).

### 3.3.2. Végétaux.

Chez les algues les valeurs les plus élevées ont été enregistrées chez *Stypocaulon scoparium* (0,76 ppm), *Padina pavonica* (0,38 ppm), *Dictyota dichotoma* (0,35 ppm) et *Codium vermilara* (0,28 ppm).

Si on compare ces chiffres à ceux obtenus dans d'autres secteurs du littoral méditerranéen, on constate qu'il existe aussi au niveau de la flore du port de Porquerolles une contamination mercurielle indéniable bien que les taux de mercure restent en général dans des limites jusqu'ici tolérables (tableau VII) (AUGIER *et al.* 1977 a, 1977 c, 1979 b).

Par exemple, la phéophycée *Stypocaulon scoparium* — qui constitue un bon indicateur biologique de la pollution mercurielle — montre des concentrations en mercure faibles dans le voisinage de l'entrée du port (0,05 à 0,09 ppm) mais beaucoup plus fortes au niveau des installations portuaires (0,24 à 0,76 ppm). Pour mieux situer ces valeurs il a été trouvé chez cette espèce des concentrations en Hg de l'ordre de 0,09 ppm au niveau de la plage de Bandol, 0,10 à 0,20 ppm dans la baie de Port-Cros, 0,38 ppm au Cap d'Antibes et 3,96 ppm dans le golfe de Fos (tableau VIII). Ces conclusions sont encore confirmées par les résultats obtenus sur d'autres espèces d'algues en d'autres lieux et par d'autres auteurs : 0,05 à 0,08 ppm en milieu exempt de pollution et 0,05 à 20 ppm en milieu pollué en Norvège (HAUG *et al.*, 1974), 1,03 à 15,4 ppm à proximité des rejets industriels à Rosignano en Italie (FERRI et GIACCONI, 1973).

Les posidonies ont été récoltées seulement devant l'entrée du Port (station 1, fig. 1), c'est-à-dire dans un secteur où l'on a enregistré les taux mercuriels les plus bas pour l'eau et les sédiments (AUGIER *et al.*, 1978 a). Malgré cela les concentrations enregistrées dans les rhizomes et surtout dans les feuilles sont plus élevées que celles déterminées chez la même espèce en baie de Port-Cros, dans la calanque de Sormiou et dans la baie du Grand Soufre par AUGIER *et al.*, 1978 b (tableau VIII). Les concentrations en mercure de *Zostera noltii* varient de 0,07 à 0,23 ppm et il est probable que si cette phanérogame avait pu être prélevée dans le voisinage immédiat des installations portuaires des concentrations plus élevées auraient été enregistrées. Malgré cela la contamination des zostères du Port de Porquerolles est plus marquée que chez celles de la lagune de la baie de Port-Cros (0,19 ppm dans les feuilles, 0,17 ppm dans les parties souterraines) ; elle est même assez voisine de celle des zostères de Port-Saint-Louis-du-Rhône qui accusent 0,25 ppm

de mercure dans les feuilles et 1,71 ppm de mercure dans les rhizomes et les racines (AUGIER *et al.*, 1976 a et b).

### 3.3.3. Animaux.

Les concentrations en mercure des échantillons d'échinoderme sont comprises entre 0,12 et 0,86 ppm (*Echinaster sepositus*). Les échinodermes présentent des concentrations notables (0,18 à 0,26 ppm) et il convient de remarquer que l'oursin comestible (*Paracentrotus lividus*), est plus contaminé que l'oursin violet (*Sphaerechinus granularis*) : 0,14 contre 0,26 ppm. L'importance de la contamination des échinodermes apparaît nettement par comparaison avec les résultats obtenus sur les mêmes espèces dans des secteurs diversement pollués du littoral méditerranéen (AUGIER *et al.*, 1979 b ; tableau IX).

Pour les Poissons les concentrations se rapprochent de la moyenne des résultats obtenus par différents auteurs (CUMONT *et al.*, 1975 ; AUBERT, 1975 ; PERNA *et al.*, 1972 ; RENZONI *et al.*, 1973).

## 3.4. Le Nickel

Les concentrations en nickel se situent entre 2,6 et 14 ppm dans les sédiments, entre 4,2 et 80,8 ppm dans les Algues, entre 8,8 et 32,1 ppm dans les phanérogames marines, entre 48,2 et 107 ppm chez les échinodermes et entre 8,8 et 70,2 ppm dans les poissons.

La pollution par le nickel se manifeste comme pour les autres métaux surtout dans les zones confinées (Stations 6 et 8), mais elle se singularise par des concentrations importantes à l'extérieur du môle des appontements.

Ainsi la station 5 présente une pollution homogène qui affecte aussi bien le sédiment que les organismes.

On note également une contamination non négligeable au niveau des stations 4 et 3.

### 3.4.1. Sédiments.

Les teneurs en nickel sont semblables à celles indiquées par les auteurs (MATHIS et CUMMINS, 1973 ; TAYLOR 1974 à 1976) pour les sédiments non pollués (de 4,2 à 22 ppm) et sont très en deçà du seuil de contamination (50 ppm) proposé par LAURENT et FERNEX (1977).

Elles sont également inférieures à celles enregistrées par FRIGNANI *et al.* (1976) pour la Mer Adriatique (7,8 à 96 ppm) et par TREFLER et PRESLEY (1976) pour le golfe du Mexique (0,6 à 63 ppm).

### 3.4.2. Végétaux.

Chez les Algues les valeurs les plus élevées ont été trouvées chez *Codium vermilara* (80,8 ppm), *Dictyota dichotoma* (74,4 ppm), *Stylocaulon scoparium* et *Padina pavonica* (68,2 ppm).

Ces valeurs sont supérieures à celles trouvées par PRESTON *et al.* 1972 sur les côtes anglaises chez *Fucus sp.* (1,8 à 18 ppm) et chez *Por*

*phyra* sp. (0,2 à 9,7 ppm) ainsi qu'à celles trouvées par FUGE et JAMES 1974 dans le chenal de Bristol chez *Fucus vesiculosus* (10,47 à 29,60 ppm).

Les phanérogames marines présentent également une contamination notable par le nickel (tableau III).

#### 3.4.3. Animaux.

Les concentrations les plus fortes relevées chez les échinodermes concernent *Echinaster sepositus* (107 ppm) et *Holothuria forskali* (73,7 mm).

Ces valeurs sont plus élevées que celles signalées par SHEPPARD et BELLAMY (1974) dans le golfe de Naples dans les parties molles (gônades et tractus digestif) de *Paracentrotus lividus* (8,5 à 10,6 ppm) et *Arbacia lixula* (10,8 à 15,5 ppm).

Une comparaison avec les concentrations chez les moules (*Mytilus galloprovincialis*) des ports italiens (CAPELLI *et al.*, 1976) montre que celles-ci sont nettement inférieures à celles rencontrées chez les échinodermes (2,6 à 11,5 ppm).

Les poissons sont également contaminés par le nickel, les concentrations étant comprises entre 8,8 et 70,2 ppm.

### 3.5. Le Plomb

En ce qui concerne cet élément les concentrations s'échelonnent entre 5,5 et 60,3 ppm dans les sédiments, 2 à 165 ppm chez les algues, 8,1 à 18,8 ppm chez les phanérogames marines, 2,7 à 147 ppm chez les échinodermes et 2,7 à 8,1 ppm chez les poissons.

La plus forte contamination est enregistrée au niveau du môle des embarquements (Stations 8, 6, 7) et également au centre du port (Station 4).

#### 3.5.1. Sédiments.

Pour les sédiments non pollués les teneurs en plomb oscillent de 11,5 à 65,7 ppm (tableau I). Il apparaît donc que les concentrations à Porquerolles se situent dans cette tranche et ne dépassent pas le seuil de contamination proposé par LAURENT et FERNEX (1977). Cette constatation est confirmée par les teneurs beaucoup plus élevées relevées dans le golfe de FOS par le laboratoire d'Hydrologie de la Faculté de Pharmacie (1979) dans les fractions inférieures à 2 mm (6,5 à 3 343 ppm) et dans la fraction inférieure à 63  $\mu$  (16,5 à 210 ppm).

Par ailleurs il est à noter qu'à Port-Cros, dans le fond de la baie, les concentrations sont plus fortes qu'à Porquerolles (VICENTE et CHABERT, 1980), les teneurs rencontrées se situent entre 98,8 et 208 ppm. Dans un autre secteur de la côte varoise (Lagune du Brusç), par contre, elles sont comparables (3,3 à 64,7 ppm), d'après CHABERT (1979).

Dans le golfe de Trieste MAJORI *et al.* (1976) ont trouvé des valeurs comprises entre 100 et 400 ppm, STENNER et NICKLESS (1975), pour leur part, observent des teneurs de 6 à 1 600 ppm sur les côtes espagnoles, et enfin BRYAN et HUMMERSTONE (1973), 12,5 à 359 ppm dans le S.O. de l'Angleterre.

### 3.5.2. Végétaux.

Chez les algues les teneurs les plus élevées ont été enregistrées chez *Dictyota dichotoma* avec 165 ppm, puis chez *Stypocaulon scoparium* (104 ppm) et enfin chez *Cladophora sp.* (92 ppm). Il s'avère que ce sont les algues des stations proches des appontements qui sont les plus contaminées.

Toutes ces valeurs sont très supérieures à celles rencontrées habituellement dans la littérature. Ainsi BRYAN et HUMMERSTONE (1973), pour des estuaires du S.O. de l'Angleterre, signalent des valeurs de 6 à 31 ppm pour *Fucus vesiculosus* et toujours pour les côtes anglaises PRESTON *et al.* (1972) indiquent 0,5 à 9,0 ppm pour *Fucus sp.*, 0,8 à 10,5 ppm pour *Porphyra sp.* Sur les côtes d'Espagne et du Portugal STENNER et NICKLESS (1975) donnent des valeurs de 5 à 13 ppm pour *Fucus sp.*, de 4 à 22 ppm pour *Enteromorpha sp.* et de 10 ppm pour *Ulva lactuca*.

Par contre, des teneurs très nettement supérieures sont rencontrées dans la zone portuaire de Marseille par AUBERT *et al.* (1975) pouvant aller jusqu'à 809 ppm dans les algues vertes.

Chez les phanérogames marines, *Zostera noltii* de la station 4 présente les plus fortes valeurs (18,8 ppm).

En ce qui concerne *Posidonia oceanica*, ce sont les feuilles qui montrent les plus fortes concentrations avec 10,7 ppm alors que les racines n'en renferment que 8,1 ppm. En d'autres secteurs ces teneurs sont plus élevées. Ainsi à Port-Cros les Cymodocées du fond de la baie contiennent de 18,2 à 45 ppm de plomb et les posidonies de la baie de Port Man en renferment de 31,8 à 100 ppm (VICENTE et CHABERT, 1980). Dans la lagune du Brusco, *Zostera noltii* contient de 5 à 59,6 ppm et *Cymodocea nodosa* de 1 à 35 ppm (CHABERT 1979).

Les valeurs indiquées pour les côtes espagnoles et portugaises par STENNER et NICKLESS (1975) chez *Zostera sp.* sont encore plus élevées puisqu'elles s'étagent de 6 à 1 800 ppm.

### 3.5.3. Animaux.

Les échinodermes ont des concentrations en plomb très élevées, notamment chez *Echinaster sepositus* (59 à 147 ppm) et chez *Paracentrotus lividus* (88 à 96 ppm).

Ces teneurs sont encore très notables chez *Holothuria forskali* (11 à 69 ppm). Par comparaison une holothurie voisine *H. tubulosa* du port de Carry-le-Rouet en renferme de 3,5 à 128,7 ppm (CRISTIANI, 1979).

Chez *Arbacia* et *Paracentrotus* du golfe de Naples (gonades et in-

testin) SHEPPARD et BELLAMY (1974) donnent des valeurs légèrement inférieures 21 à 58,6 ppm pour *Arbacia* et 20, à 43,3 ppm pour *Paracentaletus*.

Si l'on se réfère, pour comparaison, à des bivalves filtreurs comme les moules, on constate qu'elles sont très contaminées au voisinage de Toulon avec 66,5 ppm en moyenne ainsi qu'à Marseille avec 60 ppm (FOWLER et OREGIONI, 1976).

Pour les poissons les teneurs sont plus faibles : de 5,4 à 8,1 chez *Boops boops*, 5,4 chez *Puntazzo puntazzo* et < 2,7 ppm chez *Oblada melanura*.

Les valeurs les plus fréquemment rencontrées chez les poissons se situent entre 0,3 et 6 ppm (GIPM, 1973).

### 3.6. Le Zinc

Le zinc est également présent en grande quantité à Porquerolles puisque les concentrations s'échelonnent de 7 à 270,5 ppm dans les sédiments, de 6,6 à 358 ppm dans les algues, de 37,2 à 116,5 ppm dans les phanérogames marines, de 27,3 à 91,9 ppm chez les échinodermes et enfin de 91,3 à 121,5 chez les poissons.

En ce qui concerne la répartition, il ressort que la pollution par le zinc s'étend à l'ensemble du port de Porquerolles mais avec des différences locales. Là encore il s'avère que les stations les plus fréquentées par la navigation à moteur sont les plus polluées (stations 8 et 6).

#### 3.6.1. Sédiments.

Les teneurs en zinc observées dans les sédiments du port de Porquerolles sont assez voisines de celles rencontrées dans les zones non polluées à l'exception des stations 6 et 8. Dans ces deux stations les concentrations dépassent de très loin les seuils de contamination proposés par LAURENT et FERNEX (1977) pour la Méditerranée.

Ces concentrations sont voisines de celles indiquées par FRIGNANI *et al.* (1976) pour la mer Adriatique entre Ancona et le delta du Pô qui s'étagent entre 14,1 et 237,5 ppm et elles sont inférieures à celles signalées par BRYAN et HUMMERSTONE (1973) pour quatre estuaires du S.O. de l'Angleterre : de 70 à 2 240 ppm, ou celles des côtes d'Espagne et du Portugal observées par STENNER et NICKLESS (1975) avec des valeurs pouvant atteindre 3 100 ppm.

#### 3.6.2. Végétaux.

Dans les algues les concentrations les plus élevées se rencontrent chez *Stypocaulon scoparium* (358 ppm), *Dictyota dichotoma* (198 ppm) et *Cladophora sp.* (115 ppm).

Ces valeurs sont du même ordre que celles trouvées par FUGE et JAMES (1974) chez *Fucus vesiculosus* (72,1 à 330,5 ppm) et chez *Porphyra sp.* par PRESTON *et al.* (1972) sur les côtes anglaises (35 à 177

ppm) et par STENNER et NICKLESS (1975) sur les côtes espagnoles et portugaises, chez *Enteromorpha sp.* (75 à 130 ppm).

Elles sont inférieures à celles indiquées par BRYAN et HUMMERSTONE (1973) pour *Fucus vesiculosus* des côtes anglaises avec des valeurs comprises entre 199 et 1 240 ppm.

Pour les phanérogames marines les concentrations sont également assez élevées avec des valeurs maximales de 116,5 ppm chez *Zostera noltii* et 111 ppm chez *Posidonia oceanica* mais ces valeurs sont cependant inférieures à celles indiquées par STENNER et NICKLESS (1975) pour *Zostera sp.* des côtes du Portugal et de l'Espagne qui atteignent 1 480 ppm.

### 3.6.3. Animaux.

Les échinodermes renferment des teneurs en zinc assez élevées et pour cet élément c'est encore *Echinaster sepositus* qui montre les plus fortes concentrations avec 91,9 ppm, puis *Holothuria forskali* avec 58 ppm et ensuite *Paracentrotus lividus* avec 36 ppm. Pour cet oursin comestible les teneurs sont inférieures à celles indiquées par SHEPPARD et BELLAMY (1974) dans le golfe de Naples (55,6 à 122 ppm) ou chez *Arbacia* (76 à 120 ppm).

Pour les poissons les valeurs trouvées sont comparables chez les 3 espèces étudiées (*Boops salpa*, *Puntazzo puntazzo* et *Oblada melanura*). Ils se situent au voisinage de 108 ppm mais ces valeurs sont supérieures à celles rencontrées chez *Sargus annularis* par exemple (37 à 70 ppm) en mer Egée (GRIMANIS *et al.*, 1976).

## 4. — CONCLUSION

L'étude de divers échantillons se sédiments, d'algues, de phanérogames marines, d'animaux benthiques et de poissons prélevés dans le port de Porquerolles révèle des concentrations en cadmium, cuivre, mercure, nickel, plomb et zinc en général plus élevées que celles habituellement rencontrées dans les régions à l'abri de la pollution ou peu affectées par celle-ci.

Les teneurs en métaux lourds des sédiments dépassent quelquefois les seuils de contamination proposés par LAURENT et FERNEX (1977) pour la Méditerranée :

- pour le cadmium : les stations 2 et 8 dépassent le seuil de contamination.
- pour le cuivre : les stations 6 et 8 dépassent largement ce seuil.
- pour le mercure : toutes les stations dépassent le seuil sauf la 1 située à la sortie du port ; les concentrations sont même inquiétantes dans les stations 6 et 8.
- pour le plomb : la station 8 atteint le seuil, la station 6 l'approche, les autres se situant au-dessous du seuil.

— pour le zinc : les stations 6 et 8 sont nettement au-dessus du seuil de contamination et la station 8 apparaît considérablement contaminée.

Si l'on compare la pollution des sédiments du port de Porquerolles avec des rades de Port-Cros et de Port Man, dans l'île voisine, on constate que la contamination par le cuivre, le plomb et le cadmium est assez semblable. On relève néanmoins que la baie de Port-Cros est plus contaminée par le plomb et la baie de Port Man moins polluée par le cuivre et le cadmium. Enfin le taux maximum de mercure enregistré est presque trois fois plus élevé à Porquerolles qu'à Port-Cros.

L'examen des résultats obtenus dans la lagune du Brusç (Var) permet de constater que les concentrations en métaux lourds y sont bien inférieures à celles des sédiments des ports des îles d'Hyères sauf pour le cadmium. Il est vrai que la lagune du Brusç est peu fréquentée par la navigation à moteur à cause de sa faible profondeur, seules de légères embarcations pouvant y accéder.

Un phénomène particulier est à signaler à Porquerolles : la contamination par le cuivre au fond de la rade, dans le voisinage immédiat de l'embouchure de la Garonne. Cette pollution est sans doute à attribuer aux traitements de protection des vignobles de l'intérieur de l'île qui, par temps de pluie, sont lessivés et les effluents amenés au port par ce petit cours d'eau temporaire. Une étude cyclique de l'embouchure de ce ruisseau permettrait certainement de vérifier cette hypothèse.

En ce qui concerne les algues, ce sont elles qui présentent les plus fortes teneurs en cuivre et des teneurs relativement élevées en nickel et en plomb. *Stypocaulon scoparium* — qui constitue un bon indicateur de pollution mercurielle — montre des concentrations faibles en mercure dans le voisinage de l'entrée du port (0,05 à 0,09 ppm) mais beaucoup plus fortes au niveau des installations portuaires (0,24 à 0,76 ppm). Pour mieux situer ces valeurs, rappelons qu'il a été trouvé, chez cette espèce, des taux de mercure de l'ordre de 0,09 ppm au niveau de la plage de Bandol, 0,10 à 0,20 ppm dans la baie de Port-Cros, 0,38 ppm dans la zone de rejet des effluents de l'anse du Crouton au Cap d'Antibes et 3,96 ppm dans le complexe industrialo-portuaire de Fos-sur-Mer (AUGIER *et al.*, 1979 b).

Ce sont les phanérogames marines qui sont relativement les moins contaminées par les métaux lourds ; mais elles le doivent en grande partie au fait qu'elles sont situées dans les zones les moins polluées, notamment *Posidonia oceanica* prélevée seulement à la sortie du port. Malgré cela, les concentrations en zinc et en cadmium sont assez élevées.

Ce qui est plus inquiétant, c'est la contamination des échinodermes et notamment d'*Echinaster sepositus* et de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus*. Ces animaux présentent les plus fortes teneurs en nickel, plomb et cadmium ainsi que des concentrations relativement élevées en mercure. Ils renferment, par contre, de faibles quantités de cuivre et de zinc qui sont par ailleurs des éléments intervenant dans le métabolisme de ces animaux.

Les poissons, enfin, sont les organismes qui renferment en moyenne le plus de zinc, les autres éléments étant présents à des teneurs plus

faibles par comparaison avec les autres organismes. Il est certain que ces organismes vagiles ne peuvent pas caractériser avec précision le milieu où ils ont été prélevés car, contrairement aux organismes benthiques, il est difficile d'estimer le temps pendant lequel ils ont subi l'influence des conditions ambiantes. Malgré cela, les teneurs peuvent paraître encore assez élevées par rapport à d'autres secteurs méditerranéens précédemment signalés.

Ainsi la contamination du port de Porquerolles par les métaux lourds affecte, tout à la fois, le plan d'eau, les sédiments et les organismes vivants. Cette pollution peut paraître, à certains égards, assez paradoxale puisque les sources de contamination massive d'origine industrielle, urbaine et agricole du littoral continental sont trop éloignées pour contaminer l'archipel des Iles d'Or par les métaux lourds. Il n'est pas possible également d'incriminer les effluents domestiques du village qui ne se déversent plus dans le port depuis l'installation, en 1972, d'un réseau unitaire et d'une station d'épuration dont les effluents secondaires sont rejetés dans une calanque diamétralement opposée au port. Il existe cependant encore une pollution d'origine domestique non négligeable due à la pratique du « tout à la mer » de certains plaisanciers encore trop nombreux ainsi qu'aux évacuations espacées et intermittentes d'une canalisation de secours qui débite directement dans le port en cas de surcharge ou d'avarie dans le réseau d'égout. Il est cependant difficile d'attribuer la responsabilité principale de la pollution par les métaux lourds à ces déversements domestiques occasionnels, surtout fréquents en pleine période estivale.

L'examen de la répartition des fortes concentrations en métaux lourds et l'analyse de plusieurs échantillons d'une même espèce prélevés dans des secteurs différents montrent que la pollution se localise électivement au niveau du môle des appointements et en particulier dans les bassins les plus fréquentés par les bateaux à moteur. Les stations à l'entrée du port et au fond de la baie (moins fréquentée à cause de son faible tirant d'eau) sont moins polluées que celles des embarcadères. Les stations 1 et 3 sont les moins affectées et les stations 6 et 8 les plus gravement contaminées. Les stations 4 et 5 sont moyennement polluées, de même que la station 10 qui bien que localisée au fond de l'embarcadère reçoit moins d'embarcations et présente un trafic plus réduit que les stations 6 et 8.

Il apparaît donc nettement que la pollution par les métaux lourds est directement liée aux activités maritimes. Les données actuelles ne permettent pas encore de faire la part de responsabilité qui incombe aux rejets liquides et gazeux des embarcations à moteur. Il en est de même des peintures anti-salissures des coques de navires dont certaines sont encore à base de métaux lourds (mercure, cadmium et cuivre notamment). Il n'est pas exclu aussi que cette concentration en métaux lourds soit favorisée par le milieu portuaire qui présente des conditions hydrologiques, écologiques et bactériennes nettement différentes des autres portions du littoral et plus particulièrement à Porquerolles où les échanges avec les eaux vives du large sont considérablement perturbés par un confinement très important.

## BIBLIOGRAPHIE

- ARNOUX A., GILLES G., AUCLAIR D., 1974. — Indice de pollution chimique dans les sédiments de la zone de rejet en mer d'un effluent urbain (Marseille). *Bull. Soc. Pharm. Ouest*, 16 : 385-92.
- ARNOUX A., GILLES G., RAMONDA G., 1975. — Pollution par le mercure des sédiments superficiels du golfe du Lion. *C.r. hebd. Seanc. Acad. Sci. Paris*, 281 : 743-746.
- AUBERT M., 1975. — Le problème du mercure en Méditerranée. *Rev. Intern. Océanogr. med.*, 37-38 : 215-231.
- AUBERT M., AUBERT J., BREITTMAYER J., PETIT L., PUEL D., 1975. — Etude générale de la diffusion des polluants en mer. Tome II : Méditerranée. *CERBOM - INSERM. Edit. Nice* : 52 p.
- AUGIER H., 1970. — La lyophilisation, son utilisation en phycologie. *Bull. Mus. Hist. Nat.*, Marseille, 30 : 229-251.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1976 a. — Recherche sur la pollution mercurielle en rade d'Hyères et dans l'archipel des Stoéchades (Méditerranée, France). I. - Teneur en mercure des eaux, des sédiments et des phanérogames marines de milieu lagunaire dans l'anse de Port-Cros (Parc National). *Trav. Sci. Parc Nation. Port-Cros*, 2 : 23-28.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1976 b. — Recherche sur la pollution par le mercure dans le golfe de Fos : comportement des phanérogames marines de deux stations-tests par rapport à celles du Parc National de Port-Cros. *XXV<sup>e</sup> Congrès-Assemblée Plén., Comm. Intern. Et. Sci. Mer Médit., Split* (Yougoslavie), 22-30 octobre 1976 : 93-94.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1977 a. — Recherches sur la pollution mercurielle en rade d'Hyères et dans l'archipel des Stoéchades (Méditerranée, France). II. - Teneur en mercure des eaux, des sédiments des algues et des animaux benthiques du port de Port-Cros. *Trav. Sci. Parc Nation. Port-Cros*, 3 : 9-26.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1977 b. — Recherches sur la pollution mercurielle en rade d'Hyères et dans l'archipel des Stoéchades (Méditerranée, France). III. - Teneur en mercure de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* en fonction de la profondeur et de la pollution dans l'île de Port-Cros. Comparaison avec d'autres régions du littoral méditerranéen français. *Trav. Sci. Parc Nation. Port-Cros*, 3 : 27-38.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1977 c. — Utilisation de la phanérogame marine *Posidonia oceanica*. Delille pour mesurer le degré de contamination mercurielle des eaux littorales méditerranéennes. *C.R. Acad. Sci. D*, 285 : 1557-1560.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1978 a. — Recherches sur la pollution mercurielle en rade d'Hyères et dans l'archipel des Stoéchades (Méditerranée, France). 4. Le port de Porquerolles. *Trav. Sci. Parc Nation. Port Cros*, 4 : 237-269.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1978 b. — Recherche sur la pollution mercurielle du milieu maritime dans la région de Marseille (Méditerranée France). 1. Degré de contamination par le mercure de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* Delille à proximité du complexe portuaire et dans la zone de rejet du grand collecteur d'égouts de la ville de Marseille. *Environm. Pollut. G.B.*, 14 : 269-286.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1978 c. — Recherche sur la pollution mercurielle dans le golfe de Fos (Méditerranée, France) : Degré de contamination par le mercure des phanérogames marines *Posidonia oceanica* Delille, *Zostera noltii* Horneman et *Zostera marina* L. *Rev. Intern. Océan Med.*, LI-III : 55-69.

- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1979 a. — Recherche sur la pollution mercurielle du milieu maritime dans la région de Marseille (Méditerranée, France). 3. Degré de contamination des Echinodermes récoltés dans l'herbier de posidonies à proximité du complexe portuaire et dans la zone de rejet du grand collecteur d'égouts de la ville de Marseille. *Environm. Pollut., G.B.*, 18, 3 : 179-186.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1979 b. — Première estimation de la pollution mercurielle du littoral méditerranéen français (Provence - Côte d'Azur) par l'étude du degré de contamination des sédiments et des organismes benthiques. International Association on Water Pollution Research Specialised conference on Mediterranean Pollution, Palma of Majorque, 24-27 septembre 1979. *Prog. Wat. Tech.*, 12, 1 : 97-108.
- AUGIER H., SEILLER A., 1978. — Le port de Porquerolles (Méditerranée, France). I. Historique, description générale des installations, bilan des activités portuaires, inventaire des sources de nuisances. *Trav. Sci. Parc Nation. de Port-Cros*, 4 : 177-236.
- BRYAN G.W., HUMMERSTONE L.G., 1973. — Brown seaweed as an indicator of heavy metals in estuaries in south-west England. *J. mar. biol. ass. U.K.*, 53 : 705-720.
- CAPELLI R., CONTARDI V., ZENICCHI G., 1976. — Ecologie et biologie des ports de la mer Ligurienne et Haute Tyrrhénienne. III. *Journ. Etud. Pollut., comm. Intern. Et. Sci. Medit., Split* : 83-88.
- CHABERT D., 1979. — Pollution chimique par les métaux lourds et les composés organochlorés d'un milieu lagunaire (Lagune du Brusac - Méditerranée). Thèse 3<sup>e</sup> cycle. *Univ. Aix-Marseille III* : 1-145.
- CHARLOU J.L., 1976. — Analyse des traces métalliques par spectrophotométrie d'absorption atomique dans les sédiments marins. Manuel des méthodes de prélèvements et d'analyses. 2. Micropolluants organiques et minéraux. *Res. Nation. Observ. qual. Mil. mar.* : 85-101.
- CRISTIANI G., 1979. — Espèces indicatrices de pollution littorale par les métaux lourds au débouché d'un émissaire urbain. *Vie Marine*, 1 : 38-51.
- CUMONT G., GILLES G., BERNARD F., BRIAND M.B., STEPHAN G., RAMONDA G., GUILLOU G., 1975. — Bilan de la contamination des poissons de mer par le mercure à l'occasion d'un contrôle portant sur trois années. *Ann. Hyg. L. Fr. Med. et Nutr.*, 11, 1 : 17-25.
- FERRI G., GIACCONI V., 1973. — Indagine sull'inquinamento da mercurio in un tratto di mare antistante Rosignano Marittimo in provincia di Livorno. *Riv. Ital. Ig., Ital.*, 33, 1-3 : 3-28.
- FOWLER S.W., OREGIONI B., 1976. — Trace metals in mussels from the N.W. Mediterranean. *Mar. Pollut. Bull.*, 7, 2 : 26-29.
- FRIGNANI M., FRASCARI F., GIORDANI P., GUERZONI S., MARABINI F., POLETTI R., 1976. — Heavy metal distribution related to sedimentological features in bottom sediments of the Adriatic sea between Ancona and the S.O. river delta. III<sup>e</sup> *Journ. Etud. Pollut., comm. Intern. Et. Sci. Medit., Split* : 81-82.
- FUGE R., JAMES K.H., 1973. — Trace metal concentrations in brown seaweeds, cardigan Bay, wales. *Mar. Chem.*, 1 : 281-291.
- FUGE R., JAMES K.H., 1974. — Trace metal concentrations in *Fucus* from the Bristol Chanel. *Mar. Pollut. Bull.*, 5, 1 : 9-12.
- G.I.S.M., 1973. — Pour une politique de lutte contre la pollution des mers. Groupe Interministériel d'Etude des Problèmes de Pollution de la Mer. *La Docum. Fr. Edit. Paris*. : 1-44.

- GRIMANIS A.P., ZAFIROPOULOS D., VASSILAKI-GRIMANIS M., 1976. — Trace elements in *Sargus annularis* and *Gobius niger* from polluted and unpolluted areas of the Aegen Sea. *III<sup>e</sup> Journ. Et. Pollut., Comm. Intern. Etud. Sci. Médit., Split* : 55-61.
- HAUG A., MELSON S., OMANG S., 1974. — Estimation of heavy metal pollution in two norwegian fjord areas by analysis of the brown alga *Ascophyllum nodosum*. *Environ. Pollut., 7* : 179-192.
- I.S.T.P.M., 1978. — Qualité du milieu dans le golfe de Fos. Rapport préliminaire. *Rapport Inst. Sci. Tech. Pêches Marit.* : 1-22.
- I.S.T.P.M., 1979. — Etude de la qualité du milieu dans le golfe de Fos. Contamination de la matière vivante par les micropolluents rémanents : métaux, composés organochlorés, hydrocarbures. *Rapport Inst. Sci. Tech. Pêches Marit.* : 1-17.
- JOHANSSON, 1975. — Digestion methods for the determination of the total content of heavy metals. Dans : Manual of methods in aquatic environment research. *F.A.O. Fisheries technical paper*, 137 : 1-238.
- KURLAND T.L., FARO S.N., SIEDLER H., 1960. — Minamata disease. The outbreak of a neurologic disorder in Minamata, Japan, and its relationship to the ingestion of seafood contaminated by mercury compounds. *World. Neurol., 1* : 370-391.
- LABORATOIRE D'HYDROBIOLOGIE, 1979. — Etude physicochimique de 25 échantillons de sédiments du golfe de Fos et du canal de Caronte. *Rapport lab. Hydrob., Fac. Pharm. Marseille* : 1-32.
- LAURENT R., FERNEX F., 1977. — Contribution de la géologie sédimentaire à l'étude de la pollution du golfe de la Napoule. *Rev. Intern. Oceanogr. Medic., 47* : 97-100.
- MAJORI L., NEDOCLAN G., MODONUTTI G.B., CAMPELLO C., 1976 a. — Pollution par métaux dans la mer Adriatique du Nord. Note I : Etude sur les sédiments superficiels du golfe de Trieste. *III<sup>es</sup> Journ. Etud. Pollut., comm. Intern. Etud. Sci. Mediter., Split* : 99-101.
- MAJORI L., NEDOCLAN G., MODONUTTI G.B., COMPELLO C., 1976 b. — Pollution par métaux dans la mer Adriatique du Nord. Note II : Etude sur la distribution de quelques éléments traces dans *Mytilus galloprovincialis* Lmk du golfe de Trieste. *III<sup>es</sup> Journ. Etud. Pollut., Comm. Intern. Etud. Sci. Mediter., Split* : 103-105.
- MATHIS B.J., CUMMINS T.F., 1973. — Selected metals in sediments, water and biota in the Illinois River. *J. Wat. Pollut. Control. Fed.* 45 : 1573-1583.
- NICKLESS G., STENNER R.O., TERRILLE N., 1972. — Distribution of heavy metals in the Bristol Channual. *Mar. Pollut. Bull., 3* : 188-191.
- PERNA A., DI SILVESTRO C., CARACCILOLO S., 1972. — La presenza di mercurio totale nella carne dei pesci e di altri prodotti della pesca del Mare Adriatico. *Il Progresso Veterinario* : 1-14.
- PRESTON A., JEFFERIES D.F., DUTTON J.W.R., HARVEY B.R., STEELE A.K., 1972. — British isles coastal waters : the concentrations of selected heavy metals in sea water, suspended matter and biological indicators — a pilot survey. *Environ. Pollut., 32* : 69-82.
- RENZONI A., BACCI E., FACIAL L., 1973. — Mercury concentration in the water sediments and fauna of an area of the Tyrrhenian coast. *Rev. Intern. Oceanogr. Medic., 31-32* : 17-47.
- SHEPPARD C.R.C., BELLAMY D.J., 1974. — Pollution of the Mediterranean around Naples. *Marine Pollut. Bull., 5, 3* : 42-44.

- STENNER R.D., NICKLESS G., 1975. — Heavy metals in organisms of the Atlantic coast of S.W. Spain and Portugal. *Mar. Pollut Bull.*, 6, 6: 89-91.
- TAYLOR D., 1974. — Natural distribution of trace metals in sediments from a coastal environment, Tor Bay, England. *Estuarine and coastal Mar. Sci.*, 2: 417-424.
- TAYLOR D., 1976. — Distribution of heavy metals in the sediment of an unpolluted estuarine environment. *The Science of Total Environment* 6: 259-264.
- TREFRY J.H., PRESLEY B.J., 1976. — Heavy metals in sediments from San Antonio Bay and the North west gulf of Mexico. *Environ. Geol.*, 1: 283-294.
- VICENTE N., CHABERT D., 1980. — La pollution par les métaux lourds dans les rades du Parc National de Port-Cros. I — Etude préliminaire. *Trav. Sci. Parc nation. Port-Cros* (sous presse).

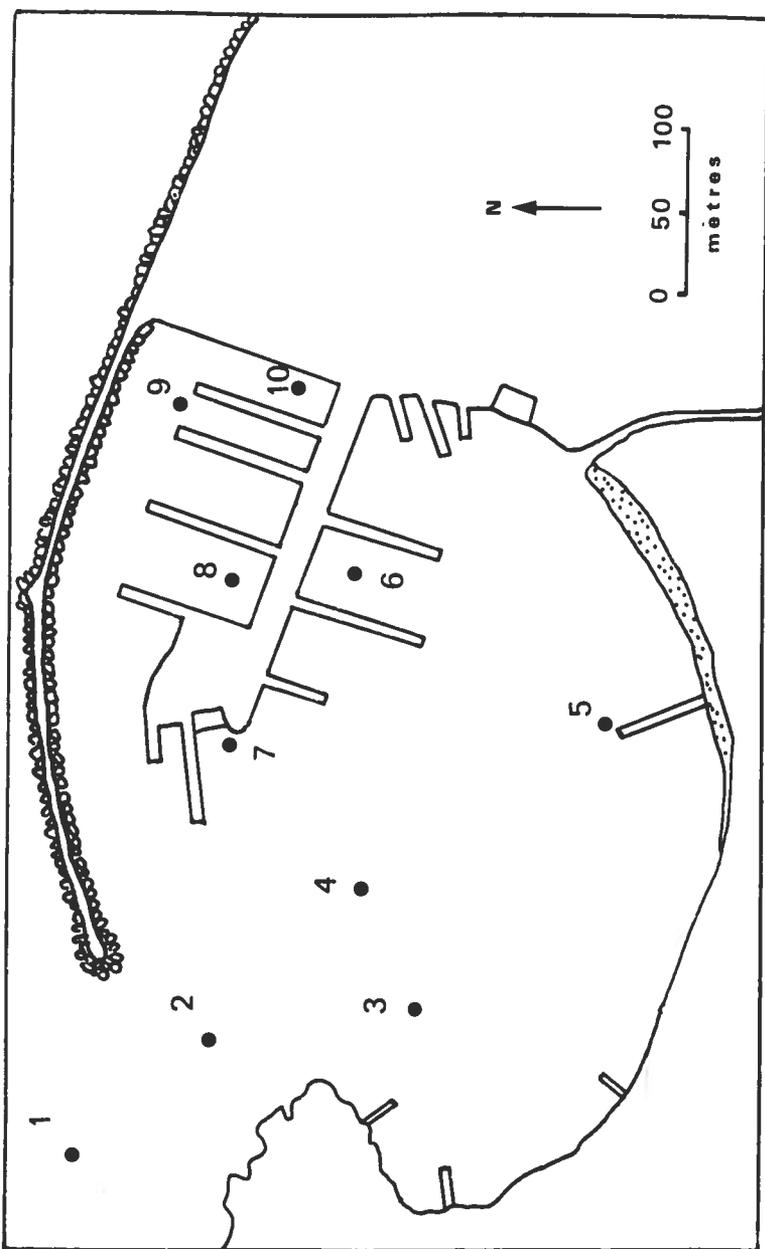


Fig. 1 : Emplacement des stations de prélèvement dans le port de Porquerolles.

Numéro de la station	Profondeur (m)	Nature du sédiment	Concentrations (ppm)						
			Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	
1	— 6	Sable légèrement vaseux avec fins graviers	0,7	1,05	0,03	2,6	5,5	7,0	
2	— 7	Sable vaseux	3,3	10,5	0,14	10,2	17,5	41,4	
3	— 2,5	Vase noire	1,4	7,4	0,31	2,6	9,5	17,2	
4	— 7	Vase légèrement sableuse	2,1	24,7	0,31	7,6	31,7	52,6	
5	— 1,5	Vase grise	1,7	25,8	0,24	5,7	33,3	54,1	
6	— 4,5	Vase gris foncé	2,8	59,8	0,97	13,6	58,2	185,5	
8	— 5,5	Vase noire	3,8	68,9	0,88	14,0	60,3	270,5	
10	— 3,5	Vase noire	1,7	21,0	0,26	5,7	22,2	39,7	

TABLEAU I — Concentrations en métaux lourds dans les lyophilisats de sédiments superficiels prélevés dans le port de Porquerolles, en septembre 1977 (Les concentrations sont exprimées en ppm = 10<sup>-6</sup> de poudre lyophilisée).

Classes	Genre espèce	Numéro station récolte	Dimension des thalles (cm)	Profondeur (m)	Concentration (ppm)								
					Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn			
CHLOROPHYCEES	<i>Cladophora sp.</i>	6	6	6	—	4,5	10,0	68,2	0,22	63,5	92	115	
		1	6	6	—	6	<0,8	4,8	0,07	4,2	<2	6,6	
		4	7	9	—	7	3,0	8,6	0,08	27,6	<2	15,3	
	<i>Codium bursa</i>	7	7	7	—	0,7	3,0	5,7	0,08	29,7	<2	13,2	
		9	8	8	—	3,5	10,6	3,9	0,08	39,3	35	25,7	
		10	9	9	—	3	11,2	3,9	0,09	63,5	53	32,0	
		2	16	16	—	7	3,0	9,9	0,08	66,8	<2	14,5	
	<i>Codium vermicilara</i>	4	16	16	—	7	11,2	4,6	0,14	50,8	31	21,7	
		5	11	11	—	2	3,8	15,3	0,09	80,8	25	35,1	
		6	16	16	—	4,5	3,0	26,9	0,28	63,8	25	49,4	
		4	5,2	5,2	—	7	3,0	28,8	0,08	42,5	25	51,6	
	<i>Udotea petiolata</i>	7	5,4	5,4	—	0,7	2,3	67,3	0,12	29,7	25	60,4	
		7	6,4	6,4	—	0,2	3,0	65,4	0,35	74,4	165	198	
	PHEOPHYCEES	<i>Padina pavonica</i>	1	6,5	6,5	—	6	6,9	6,7	0,12	17,0	<2	35,1
			2	6,2	6,2	—	7	16,2	14,7	0,16	68,2	88	60,6
			5	3,8	3,8	—	1	3,8	19,2	0,22	23,4	20,8	64,8
			7	4,2	4,2	—	0,7	5,4	26,9	0,38	25,5	<2	131
		10	4,0	4,0	—	3	7,2	27,0	0,19	36,5	39	91,8	
<i>Stypocaulon scoparium</i>		2	8,2	8,2	—	7	4,6	39,4	0,05	48,9	104	56,5	
		7	6,5	6,5	—	0,7	10,6	123,2	0,76	68,2	88	276	
		10	5,5	5,5	—	3	10,0	100,0	0,26	50,8	92	358	

TABLEAU II — Concentrations en métaux lourds dans les lyophylisats d'algues prélevées dans le port de Porquerolles en septembre 1977 (les concentrations sont en ppm)

Genre	Numéro de la station	Profondeur (m)	Longueur des feuilles (cm)	Partie analysée	Concentrations (ppm)						
					Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	
<i>Zostera noltii</i>	3	— 2,5	19,5	PE	7,3	25,0	0,07	26,3	8,1	116,5	
	4	— 7	18	PE	6,1	22,1	0,23	32,9	18,8	102,7	
	5	— 1,5	24	PE	4,9	26,9	0,11	8,8	10,7	80,8	
<i>Posidonia oceanica</i>	1	— 6	24	F	8,6	12,5	0,29	30,7	10,7	111,0	
				R	4,9	14,4	0,21	28,5	8,1	37,2	

TABLEAU III — Concentrations en métaux lourds dans les lyophilisats des phanérogames marines *Zostera noltii* et *Posidonia oceanica* prélevées dans le port de Porquerolles en septembre 1977 (Les concentrations sont exprimées en ppm = 10<sup>-6</sup> de poudre lyophilisée. PE = plante entière, F = feuilles, R = rhizomes).

Genre espèce	Numéro station récolte	Dimens on des organismes (cm)	Profondeur (m)	Concentration (ppm)						
				Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	
<i>Paracentrotus lividus</i>	2	6	— 7	20,0	0,8	0,23	63,9	96,0	35,3	
	3	6	— 2,5	20,6	1,5	0,26	63,5	88,0	36,0	
<i>Sphaerochinus granularis</i>	2	8	— 7	22,0	4,8	0,18	48,2	2,7	27,3	
	4	9	— 7	12,5	27,1	0,27	59,0	131	80,1	
<i>Echinaster sepositus</i>	6	9,5	— 4,5	14,3	14,7	0,86	50,8	59	80,9	
	8	8,5	— 5,5	43,7	7,7	0,68	107,0	147	91,9	
<i>Holothuria forskali</i>	1	32	— 6	8,6	15,4	0,12	48,2	11	43,1	
	2	12,5	— 7	13,7	3,9	0,22	54,1	69	38,6	
	3	12	— 2,5	13,1	2,3	0,23	73,7	69	36,0	
	4	24,5	— 7	9,8	17,3	0,24	57,0	16	50,1	
	5	14	— 1,5	13,7	2,3	0,22	59,8	65	29,4	
	6	32	— 4,5	9,8	15,4	0,35	48,2	19	58,0	

TABLEAU IV — Concentrations en métaux lourds dans les lyophilisats d'Echinodermes prélevés dans le port de Porquerolles en septembre 1977 (les résultats sont exprimés en ppm = 10<sup>-6</sup> de poudre lyophilisée).

Genre espèce	Longueur (cm)	Concentrations (ppm)					
		Cd	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
<i>Boops boops</i>	10,5	6,1	14,4	0,12	8,8	5,4	91,3
	17,0	4,9	23,1	0,19	70,2	8,1	121,5
<i>Puntazzo puntazzo</i>	13,6	3,7	15,4	0,12	28,5	5,4	100,7
<i>Oblada melanura</i>	24,5	6,1	4,8	0,38	13,1	<2,7	120,5

TABLEAU V — Concentrations en métaux lourds dans les lyophilisats de poissons prélevés au niveau de la station 7 dans le port de Porquerolles (les concentrations sont exprimées en ppm = 10<sup>-6</sup> de poudre lyophilisée ; les poissons ont été capturés à l'aide d'un piège en septembre 1977).

METAL	MATHIS <i>et al.</i> 1973	TAYLOR 1974	TAYLOR 1976	LAURENT ET FERNEX 1977
Cd	0,4 (0,3 - 0,5)	0,37 (0,2 - 0,7)	0,9 (0,8 - 1,3)	<u>3</u>
Cu	7,7 (3,5 - 11,2)	4,2 (2,6 - 7,6)	6,9 (1,9 - 12,1)	<u>30</u>
Hg	—	0,07 (0,02 - 0,33)	0,07 (0,03 - 0,17)	<u>0,1</u>
Pb	17 (13 - 27)	31,2 (21,3 - 65,7)	21,5 (11,5 - 34,1)	<u>60</u>
Ni	16,0 (10 - 22)	7,2 (4,2 - 15,0)	9,2 (6,1 - 14,3)	<u>50</u>
Zn	30 (18 - 41)	24,8 (17,2 - 42,0)	41,2 (24,8 - 65,0)	<u>60</u>

TABLEAU VI — Taux de métaux lourds dans des sédiments non pollués et seuils de contamination (souligné : seuils de contamination, non souligné : valeur moyenne, entre parenthèses : bornes de variation).

Genres - Espèces	Lieu de prélèvement	Concentration (ppm)
<i>Codium fragile</i>	Baie du Grand Soufre, Iles du Frioul Marseille (Bouches-du-Rhône) (1)	0,07
	Baie de Port-Cros (Var) (1)	0,11
	Port de Bandol (Var) (2)	0,11
	Cap Croisette, Marseille (Bouches-du-Rhône) (3)	0,30
	Calanque de la Mounine, Marseille (Bouches-du-Rhône) (1)	0,45
<i>Codium bursa</i>	Baie de Port-Cros (Var) (1)	0,10
<i>Stypocaulon scoparium</i>	Plage à la sortie de Bandol (Var) (1)	0,09
	Port de Port-Cros (Var) (2)	0,10 à 0,20
	Cap d'Antibes (Alpes-Maritimes) (3)	0,38
	Anse de Ponteau, golfe de Fos (Bouches-du-Rhône) (4)	1,10
	Auguette, golfe de Fos (Bouches-du-Rhône) (5)	3,96
<i>Dictyota dichotoma</i>	Baie de Port-Cros (Var) (2)	0,23
<i>Padina pavonica</i>	Ile St-Honorat (Alpes-Maritimes) (4)	0,25
	Baie de Port-Cros (Var) 1975 (4) 1977 (2)	0,14 0,58

TABLEAU VII — Taux de mercure total dans les lyophilisats de diverses espèces d'algues récoltées dans différentes régions du littoral méditerranéen français (les concentrations sont données en ppm =  $10^{-6}$  de poudre lyophilisée).

(D'après AUGIER et al. 1977 a (1), 1977 (2), 1979 (3 et 4) ).

Localisation géographique	Degré de pollution mercurielle	Taux de mercure	Concentration en mercure (ppm)		
			Racines	Rhizomes	Feuilles
Pointe de La Galère à Port-Cros, Iles d'Hyères (Var) (1)	Exempt	Minimum	0,12	0,05	0,05
		Maximum	0,14	0,12	0,09
Baie de Port-Cros, Iles d'Hyères (Var) (1)	Faible	Minimum	0,12	0,12	0,07
		Maximum	0,21	0,22	0,20
Calanque de Sormiou, Massif des calanques (Bouches-du-Rhône) (1)	Faible	Minimum	0,20	0,12	0,07
		Maximum	0,38	0,20	0,07
Baie du Grand Soufre, Iles Pomègues et Ratonneau, au large de la baie de Marseille (Bouches-du-Rhône) (1)	Faible	Minimum	0,20	0,15	0,11
		Maximum	0,41	0,17	0,12
Baie de Marseille (Bouches-du-Rhône), Ports exceptés (1)	Moyen	Minimum	0,19	0,38	0,15
		Maximum	0,70	0,77	0,43
Golfe de Fos (Bouches-du-Rhône) (2)	Fort	Minimum	0,60	0,42	0,41
		Maximum	0,84	1,26	4,58
Calanques et îles au voisinage du grand collecteur d'égouts de la ville de Marseille (Bouches-du-Rhône) (1)	Faible à Très fort	Minimum	0,32	0,20	0,09
		Maximum	1,07	2,50	51,50

TABLEAU VIII — Taux de mercure total dans les lyophilisats de racines, de rhizomes et de feuilles de *Posidonia oceanica* récoltés dans différentes régions du littoral méditerranéen français (les concentrations sont données en ppm = 10<sup>-6</sup> de poudre lyophilisée. D'après AUGIER et al., 1977 b (1) et 1977 d (2) ).

Groupe	Genres Espèces	Lieu de prélèvement	Concentration (ppm)
HOLOTHURIES	<i>Holothuria forskali</i>	Ilôt des Empereurs, Marseille (Bouches-du-Rhône) (2)	0,19
		Cap d'Antibes (Alpes-Maritimes) (3)	0,30
		Baie de Port-Cros (Var) (4)	0,23 à 0,48
		Calanque Marseilleveyre, Marseille (Bouches-du-Rhône) (2)	1,06
		Calanque des Queyrans, Marseille (Bouches-du-Rhône) (4)	2,90
OURSINS	<i>Paracentrotus lividus</i>	Baie de Port-Cros (Var) (4)	0,05 à 0,17
		Calanque de la Mounine, Marseille (Bouches-du-Rhône) (2)	0,33
		A proximité île Riou, Marseille (Bouches-du-Rhône) (4)	0,47
	<i>Sphaerochinus granularis</i>	Calanque de Callelongue, Marseille (Bouches-du-Rhône) (2)	0,20
		Calanque de la Mounine, Marseille (Bouches-du-Rhône) (2)	0,59
ETOILES DE MER	<i>Echinaster sepositus</i>	Baie de Port-Cros (Var) (4)	0,98 à 1,62

TABLEAU IX — Taux de mercure total dans divers échantillons d'Echinodermes (les concentrations sont exprimées en ppm =  $10^{-6}$  d'organismes lyophilisés (2, 3, 4). D'après AUGIER et al., 1978 (3), 1977 a (4), et AUGIER, GILLES et RAMONDA, 1978 a (2) ).

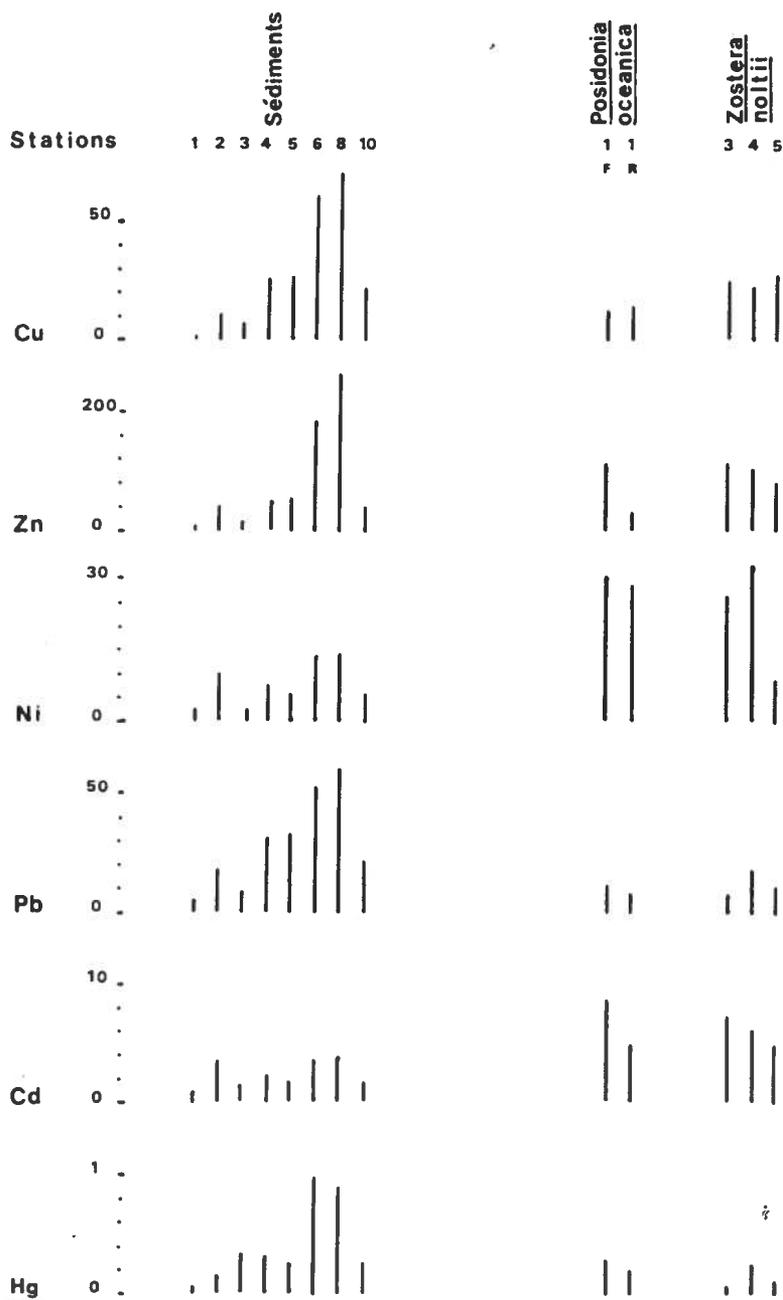


Fig. 2 Histogrammes des concentrations en métaux (exprimées en ppm =  $10^{-6}$  de poudre lyophilisée) dans les sédiments et les phanérogames marines.

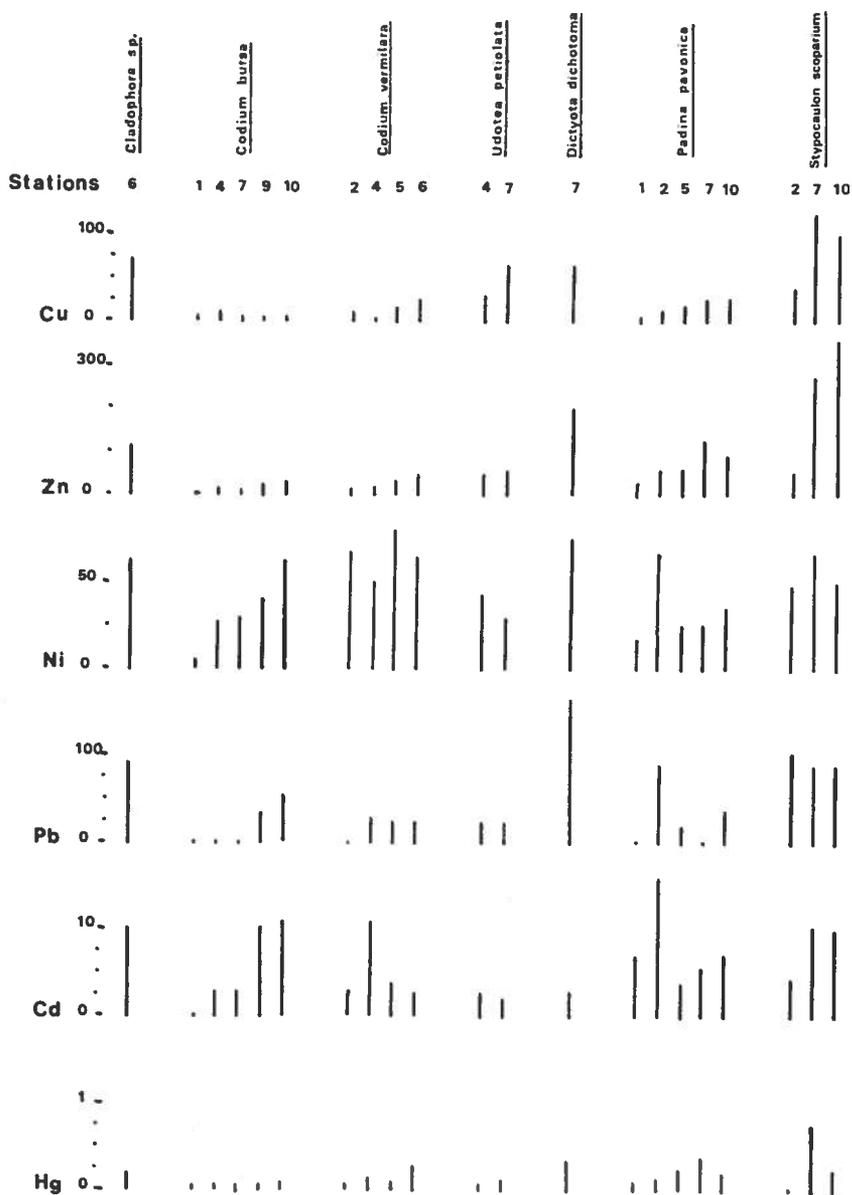


Fig. 3

Histogrammes des concentrations en métaux (exprimées en ppm =  $10^{-6}$  de poudre lyophilisée) dans les Alques.

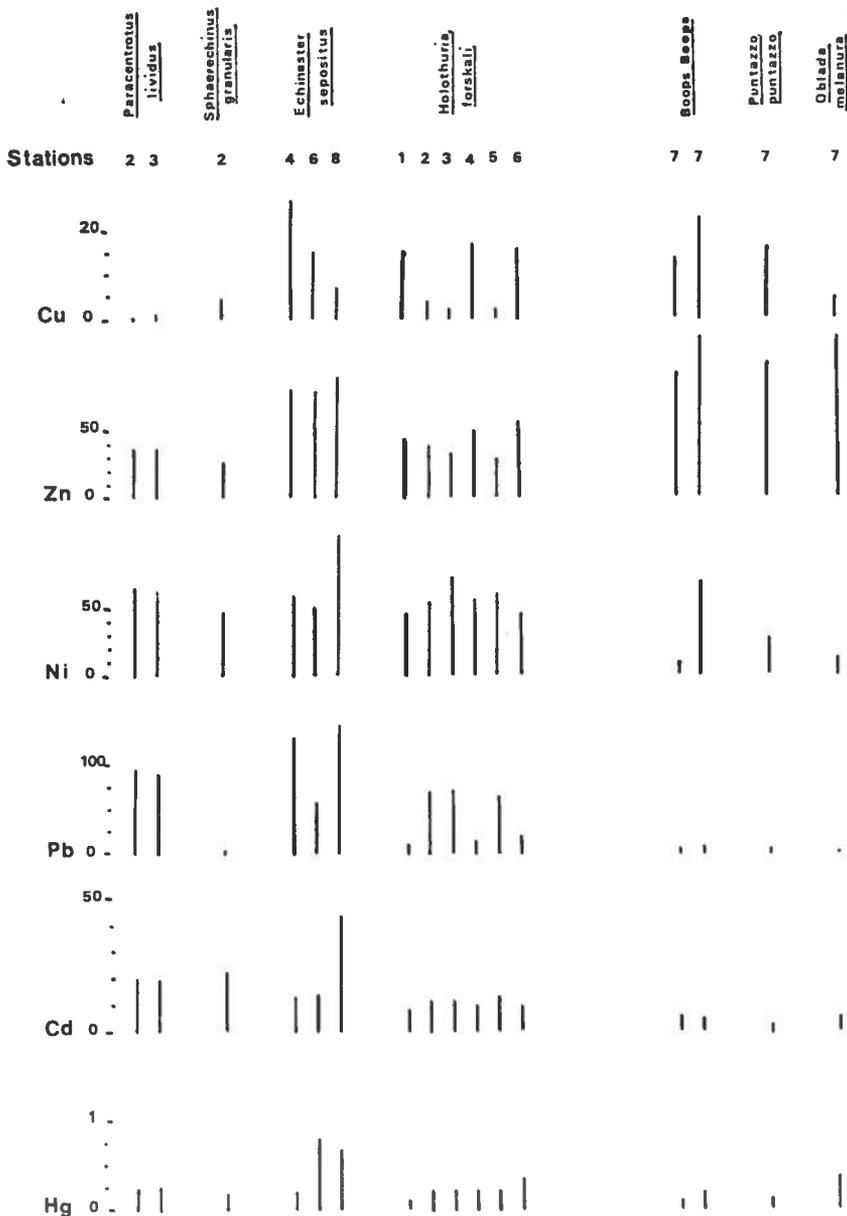


Fig. 4 Histogrammes des concentrations en métaux (exprimées en ppm =  $10^{-6}$  de poudre lyophilisée) dans les Echinodermes et les poissons.

