

**RECHERCHE SUR LA POLLUTION
MERCURIELLE EN RADE D'HYÈRES
ET DANS L'ARCHIPEL DES
STOECHADES
(MÉDITERRANÉE, FRANCE)**

**III. - TENEUR EN MERCURE DE LA
PHANÉROGAME MARINE POSIDONIA
OCEANICA EN FONCTION DE LA
PROFONDEUR ET DE LA POLLUTION
DANS L'ILE DE PORT-CROS.
COMPARAISON AVEC D'AUTRES
RÉGIONS DU LITTORAL
MÉDITERRANÉEN FRANÇAIS**

H. AUGIER *, G. GILLES ** et G. RAMONDA **

Résumé : La spectrophotométrie d'absorption atomique sans flamme a été utilisée pour déterminer la teneur en mercure des racines, des rhizomes et des feuilles de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* en fonction de la profondeur et du degré de la pollution.

Des analyses effectuées sur les échantillons prélevés dans un secteur à l'abri de la pollution ont servi à déterminer la teneur "naturelle" en mercure des posidonies. Les résultats obtenus avec les échantillons prélevés dans la baie de Port-Cros amènent à attirer l'attention sur la contamination mercurielle de cette baie qui s'étend au-delà des limites du port et de la zone de déversement des

* Laboratoire de Biologie végétale marine, U.E.R. des Sciences de la Mer et de l'Environnement, Faculté des Sciences de Luminy. 13009 Marseille.

** Laboratoire Vétérinaire, 13252 Marseille Cédex 2, France.

eaux usées du village. Les feuilles de posidonies présentent, par exemple, dans cette baie, des taux en mercure quatre fois plus élevés que la teneur en milieu sain.

Les résultats obtenus à Port-Cros et dans d'autres secteurs du littoral méditerranéen français permettent d'envisager l'utilisation des feuilles de posidonies comme indicateur biologique de la contamination mercurielle du littoral.

Summary : The utilization of atomic absorption spectrophotometry without flame allowed the determination of mercury concentration into the roots, the rizoms and the leaves of the marine phanerogame *Posidonia oceanica* in relation with depth and pollution.

Analysis performed on the samples collected in an aera under shelter of pollution allowed to settle the "natural" mercuric rate of *Posidonia oceanica*. The results with the samples harvested in the bay of Port-Cros allowed to draw the mind on the mercuric contamination of this bay which spread beyond the port and the way out of sewer waters of the village. In this bay, for instance, the mercuric rate of *Posidonia* leaves can go till 4 times more than the "normale" value settled in an impolluted area of the island.

The results obtained with the samples harvested in Port-Cros National Parc and others places of the french mediterranean littoral allow to consider the use of the leaves of *Posidonia oceanica* as a biological test of the littoral mercuric contamination.

1. — INTRODUCTION

Cette étude constitue le troisième élément d'un ensemble de recherches réalisées dans le Parc National de Port-Cros ou dans son voisinage et présentées sous le titre général : « Recherche sur la pollution mercurielle en rade d'Hyères et dans l'archipel des Stoechades » (AUGIER *et al.* 1976 a, 1977 c). Les précédentes expériences ont permis de souligner l'intérêt fondamental des travaux menés dans le milieu de référence que constitue le Parc National de Port-Cros qui se distingue par son éloignement des grandes sources de pollution ; elles ont également permis d'établir d'utiles comparaisons avec d'autres secteurs de la Méditerranée profondément pollués par les activités industrielles, agricoles, urbaines et touristiques.

De nombreux travaux (cf. MOLINIER *et al.* 1951 et 1952, PICARD 1953, PERES *et al.* 1958, 1964 et 1975, HARMELIN *et al.* 1964, AUGIER *et al.* 1969 a et b, 1970 a et b, 1971, 1975, MAGGI 1973, ASTIER 1975) ont montré, par ailleurs, l'importance fondamentale de l'herbier de posidonies dans la richesse et l'économie des fonds marins méditerranéens en même temps que l'exceptionnelle fragilité de cette formation climatique qui constitue actuellement le peuplement benthique méditerranéen le plus menacé par les nuisances littorales.

Il nous a donc paru intéressant, dans le cadre d'un programme général d'études des phanérogames marines (AUGIER *et al.* 1976 b), de faire le point sur le comportement des posidonies en fonction du degré de pollution mercurielle, depuis les secteurs non pollués, peu pollués ou moyennement pollués de la rade et des îles d'Hyères jusqu'aux régions de grande pollution de Marseille et Fos caractérisées par la dégradation et l'extinction progressives des herbiers de posidonies.

Les prélèvements d'échantillons ont été réalisés dans deux secteurs bien différents du littoral de l'île de Port-Cros. Le premier (Pointe de la Galère), à l'abri de la pollution, a permis d'étudier la variation de la teneur "naturelle" en mercure des posidonies en fonctions de la profondeur exclusivement, et en complément d'une étude semblable sur les pigments photosynthétiques (AUGIER *et al.* 1977 d). Le deuxième secteur (baie de Port-Cros) a été choisi pour étudier comparativement le comportement des posidonies dans un gradient de pollution à partir de la limite Ouest du port de Port-Cros.

La charge polluante de la baie de Port-Cros provient essentiellement des effluents domestiques du village déversés à une profondeur de 3 mètres par un collecteur situé sur la face Nord de la baie, des eaux usées du "Manoir" rejetées, sans canalisation, dans la lagune et enfin des rejets de diverses natures apportés par le trafic portuaire et touristique, surtout intense en été.

L'analyse d'échantillons d'eau de mer et de sédiments prélevés au niveau du village et dans le port (carte 1) a permis d'évaluer le degré de contamination mercurielle du port de Port-Cros. Les résultats obtenus montrent que la pollution mercurielle du port reste dans des limites tolérables en général sauf pour quelques organismes plus aptes que d'autres à concentrer les polluants et chez lesquels les taux de mercure enregistrés sont inquiétants ; c'est le cas de la moule, par exemple, chez laquelle on a trouvé jusqu'à 2,61 ppm de mercure total (AUGIER *et al.* 1977 c).

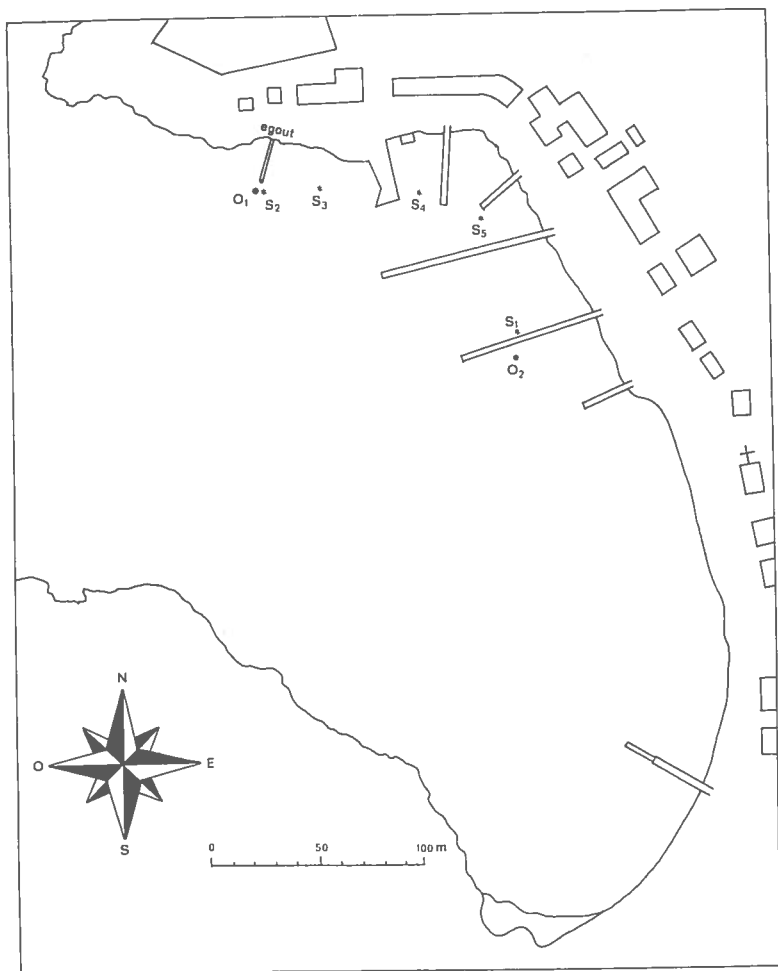
2. — METHODE

Le prélèvement des posidonies est réalisé en plongée, à l'aide du scaphandre autonome (*), dans la partie la plus homogène et la plus caractéristique de la biocénose à *Posidonia oceanica*. Les plantes sont prélevées entières et avec grand soin pour les garder vivantes jusqu'au laboratoire.

Le transport s'effectue dans des récipients en polyéthylène remplis d'eau de mer prélevée sur place. Au laboratoire, les échantillons sont triés, mesurés et débarrassés des épiphytes s'il y a lieu. Les feuilles, les rhizomes et les racines sont isolés à l'aide de ciseaux et réunis en trois lots différents qui sont immédiatement lyophilisés puis micropulvérisés selon une technique précédemment décrite (AUGIER 1970).

Le dosage du mercure est réalisé sur les poudres lyophilisées (préalablement minéralisées), par spectrophotométrie d'absorption atomique, sans flamme, selon la méthode de UTHE *et al.* (1970) perfectionnée par CUMONT (1971) et précédemment décrite (AUGIER *et al.* 1976 c).

* Il nous est agréable de remercier ici nos collègues EUMIG, HARMELIN, LABOREL et VACELET pour leur précieux concours en plongée ainsi que l'équipage de l'Antedon pour son assistance en surface.



CARTE 1. — *Emplacement des stations d'étude de la concentration en mercure de l'eau (O) et des sédiments (S) dans le port de Port-Cros. (D'après AUGIER et al., 1977 c)*

3. — RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats obtenus ont été portés dans le tableau I pour les posidonies récoltées à la Pointe de la Galère et dans le tableau II pour celles prélevées dans la baie de Port-Cros. L'emplacement des récoltes figure sur les cartes 2 et 3.

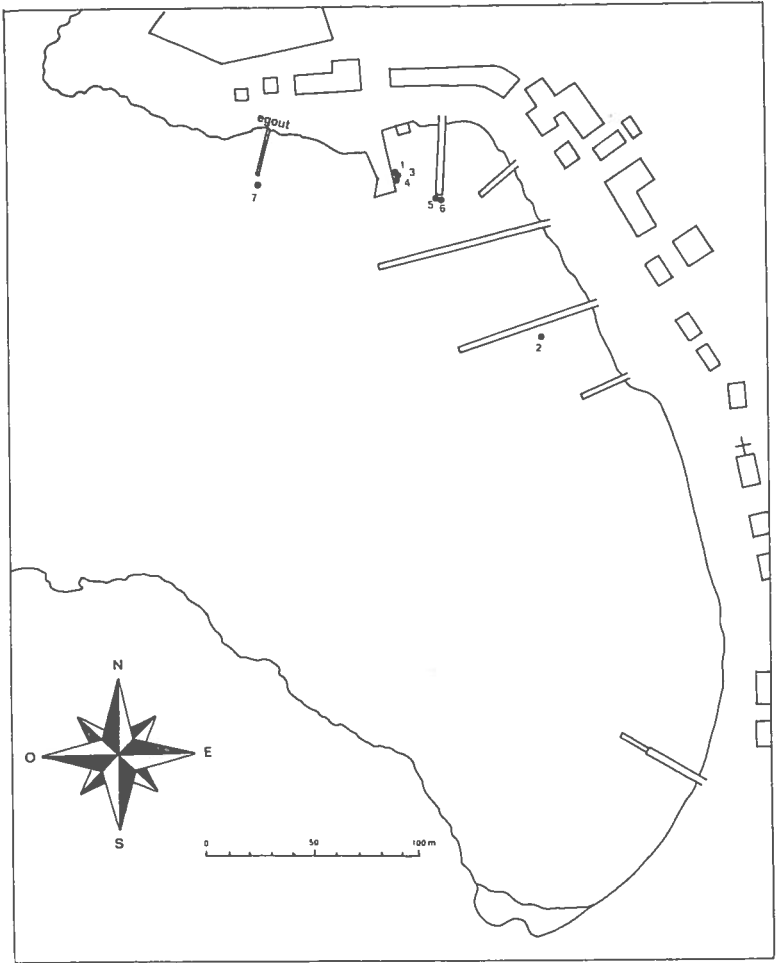
3.1. — Concentration « naturelle » en mercure des posidonies et sa variation en fonction de la profondeur.

Les dosages réalisés sur les échantillons prélevés à la Pointe de la Galère ont permis de déterminer la teneur en mercure des feuilles, des rhizomes et des racines de *Posidonia oceanica* dans un milieu normalement exempt de pollution (tableau I). Les concentrations enregistrées s'échelonnent de 0,05 à 0,09 ppm dans les feuilles, de 0,09 à 0,12 ppm dans les rhizomes et de 0,12 à 0,14 ppm dans les racines.

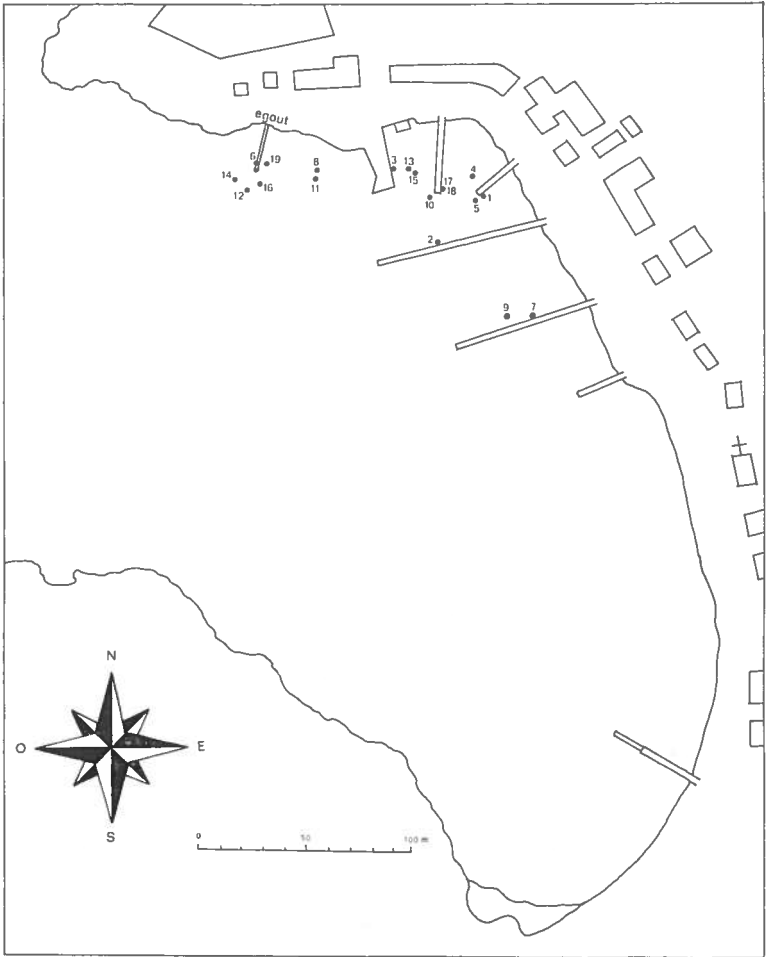
Profondeur	Numéro de la Station	Parties analysées	Concentration en mercure (ppm)	Longueur moyenne des feuilles sélectionnées (en cm)
— 10 m	1	Feuilles	0,05	74
		Rhizomes	0,12	
		Racines	0,13	
— 20 m	2	Feuilles	0,08	75
		Rhizomes	0,12	
		Racines	0,14	
— 30 m	3	Feuilles	0,09	75
		Rhizomes	0,09	
		Racines	0,12	

TABLEAU I. — Taux de mercure total dans les lyophilisats de feuilles, de rhizomes et de racines de *Posidonia oceanica* récoltés à différentes profondeurs au niveau de la Pointe de la Galère, dans l'île de Port-Cros. (Les concentrations en mercure sont données en ppm de poudre lyophilisée. Les échantillons ont été prélevés le 18 juin 1976).

Les différences enregistrées en fonction de la profondeur ne sont pas tellement significatives, aussi bien pour les rhizomes que pour les racines. Il semble, par contre, que la concentration en mercure des feuilles augmente légèrement avec la profondeur (0,05 - 0,08 - 0,09 ppm respectivement pour —10 m, —20 m et —30 m), mais les écarts ne sont pas suffisants pour en avoir une certitude absolue.



CARTE 2 : Stations de prélèvement des échantillons d'algues benthiques dans le port de Port-Cros.



CARTE 3 : Stations de prélèvement des échantillons d'animaux benthiques dans le port de Port-Cros.

Profondeur	Numéro de la Station	Parties analysées	Concentration en mercure (ppm)	Longueur moyenne des feuilles sélectionnées (en cm)
— 3 m	4	Feuilles	0,08	70
		Rhizomes	0,16	
		Racines	0,19	
— 3 m	5	Feuilles	0,12	70
		Rhizomes	0,22	
		Racines	0,21	
— 5 m	6	Feuilles	0,20	72
		Rhizomes	0,16	
		Racines	0,12	
— 10 m	7	Feuilles	0,11	73
		Rhizomes	0,16	
		Racines	0,13	
— 20 m	8	Feuilles	0,07	73
		Rhizomes	0,12	
		Racines	0,19	

TABLEAU II. — *Taux de mercure total dans les lyophilisats de feuilles, de rhizomes et de racines de Posidonia oceanica récoltés à différentes profondeurs et dans un gradient de pollution dans la baie de Port-Cros. (Les concentrations sont données en ppm de poudre lyophilisée. Les échantillons ont été prélevés le 18 juin 1976).*

Les analyses montrent enfin que les parties enfouies dans les sédiments (rhizomes et racines) présentent toujours une concentration en mercure plus élevée que celle des feuilles sans que cela soit modifié par la profondeur. Il n'en est pas toujours ainsi en milieu pollué, comme par exemple à la station 6 où la concentration en mercure des feuilles est plus importante que celle des racines et des rhizomes (tableau II).

3.2. — Concentration en mercure des posidonies dans un gradient de pollution mercurielle.

Les dosages réalisés sur les échantillons de posidonies prélevés dans la baie de Port-Cros ont permis de déterminer le degré de conta-

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

TABLEAU III. — 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)

mination des feuilles, des rhizomes et des racines en fonction du double jeu de la profondeur et de l'éloignement des sources de pollution. Les concentrations s'échelonnent de 0,20 à 0,07 ppm pour les feuilles, 0,22 à 0,12 ppm pour les rhizomes et 0,21 à 0,12 ppm pour les racines. Les résultats obtenus démontrent aussi que la pollution précédemment enregistrée au niveau du port et au voisinage des sources de pollution (AUGIER *et al.* 1976 a, 1977 c) s'étend sur une plus grande surface et établit un gradient décroissant vers le large qui est parfaitement démontré par les taux de mercure enregistrés dans les feuilles des stations 6, 7 et 8.

Il est important de souligner que les taux de mercure les plus élevés ont été trouvés dans les échantillons de posidonies prélevés à proximité du débouché des eaux usées du village (Stations 5 et 6). En ce qui concerne les feuilles de la station 6, par exemple, les taux enregistrés (0,20 ppm) sont quatre fois plus élevés que ceux trouvés en milieu exempt de pollution (0,05 ppm à la station 1).

Les résultats obtenus dans d'autres secteurs du littoral méditerranéen (tableau III) permettent de dire que la contamination des feuilles de posidonies de la baie de Port-Cros est :

— plus élevée que celle de la calanque de Sormiou et celle de la baie du Grand Soufre, dans la région marseillaise ;

— plus faible que celles de la baie de Marseille, du Golfe de Fos et surtout des calanques et des îles au voisinage du grand collecteur d'égoût de la ville de Marseille, à Cortiou.

3.3. — Proposition d'un test biologique de contamination mercurielle.

Les résultats obtenus donnent une démonstration supplémentaire du précieux concours que peuvent apporter les feuilles de posidonies dans l'étude du degré de pollution par le mercure du littoral (AUGIER *et al.* 1976 d). Les avantages suivants peuvent en effet être retenus :

— Les feuilles de posidonies se trouvent sur une plante marine fixée qui est donc "à demeure" en un point précis, témoin irréfutable de la pollution locale ;

— elles se caractérisent par une gamme de variation des concentrations qui s'échelonnent de 0,05 ppm à la Pointe de la Galère à Port-Cros jusqu'à 51,50 ppm au voisinage du grand collecteur d'égoût de la ville de Marseille. Ces chiffres extrêmes nous permettent d'apprécier la très grande sensibilité de ce test.

— Leur renouvellement annuel sur les rhizomes pérennants permet de mesurer l'ambiance mercurielle par unité de temps, avec beaucoup plus de précision que chez des organismes tel la moule dont il est difficile d'apprécier l'âge ;

— elles sont enfin l'une des formations les plus sensibles à la pollution du littoral méditerranéen.

Les feuilles de *Posidonia oceanica* peuvent par conséquent avantageusement prendre le relai des autres indicateurs biologiques comme la moule (RENZONI *et al.* 1973, MAJORI *et al.* 1976 a et b) ou l'algue rouge *Ceramium ciliatum* variété *robustum* (AUGIER *et al.* 1977 a) qui se localisent dans des secteurs différents du littoral.

BIBLIOGRAPHIE

- ASTIER J.-M., 1972. — Régression de l'herbier de posidonies en rade des Vignettes, à Toulon. *Ann. Soc. Sci. nat. archéol. Toulon Var*, 24 : 97-103.
- AUGIER H., 1970. — La lyophilisation, son utilisation en phycologie. *Bull. Mus. Hist. nat. Marseille*, 30 : 229-251.
- AUGIER H., 1973. — Les particularités de la mer Méditerranée : Son origine, son cadre, ses eaux, sa flore, sa faune, sa fragilité écologique. *Options méditerranéennes*, 19 : 27-54.
- AUGIER H., BOUDOURESQUE C.-F., 1969 a. — L'île de Port-Cros : Enjeu et bilan d'un parc national sous-marin. *Ann. Soc. Sci. nat. Archéol. Toulon Var*, 21 : 110-133.
- AUGIER H., BOUDOURESQUE C.-F., 1969 b. — Le paradis reconquis. *Plongées*. 51 : 24-29.
- AUGIER H., BOUDOURESQUE C.-F., 1970 a. — Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc National). V. — La baie de Port-Man et le problème de la régression de l'herbier de posidonies. *Bull. Mus. Hist. nat. Marseille*, 30 : 135-164.
- AUGIER H., BOUDOURESQUE C.-F., 1970 b. — Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc National). VI. — Le récif-barrière de posidonies. *Bull. Mus. Hist. nat. Marseille*, 30 : 221-228.
- AUGIER H., BOUDOURESQUE C.-F., 1971. — Notions d'écobiocénétique marine, excursions en Méditerranée. *C.R.D.P., Marseille* : 1-109.
- AUGIER H., BOUDOURESQUE C.-F., 1975. — Dix ans de recherches dans la zone marine du Parc National de Port-Cros (France). Troisième partie. *Ann. Soc. Sci. nat. Archéol. Toulon Var*, 27 : 133-170.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1976 a. — Recherches sur la pollution mercurielle en rade d'Hyères et dans l'archipel des Stoéchades (Méditerranée, France). 1. — Teneur en mercure des eaux, des sédiments et des phanérogame marines de milieu lagunaire dans l'anse de Port-Cros (Parc National). *Trav. Sci. Parc Nat. Port-Cros*, 2 : 23-28.
- AUGIER H., SANTIMONE M., VINCENTELLI M., 1976 b. — Contribution à l'étude de la répartition de l'azote total, des protéines et des acides aminés chez la phanérogame marine *Cymodocea nodosa* (Ucria) Asch. et Magnus. *Bull. Soc. Phycol. Fr.*, 22 : 120-126.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1976 c. — Impact de la pollution par le mercure sur divers organismes végétaux et animaux au niveau des biocénoses se succédant de la zone halophile à l'étage infralittoral supérieur, à l'Auguette (Golfe de Fos, Méditerranée, France). *95^e Congrès de l'Association française pour l'avancement des Sciences, "Expansion et qualité de la vie"*, 5-10 juillet 1976, Marseille (sous presse).
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1976 d. — Recherche sur la pollution par le mercure dans le Golfe de Fos : Comportement des phanérogame marines de deux stations-tests par rapport à celles du Parc National de Port-Cros. *XXV^e Congrès — Assemblée plen. Comm. Intern. Explor. Sci. Mer Méditer., Split* 22-30 octobre 1976 : 2 pp.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1977 a. — L'algue rouge *Ceramium ciliatum* var. *robustum* (J. Ag.) G. MAZOYER est un remarquable indicateur biologique de la pollution mercurielle littorale. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 284 : 445-447.
- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1977 b. — Recherche sur la pollution littorale dans les Alpes Maritimes (Méditerranée, France) : teneur en mercure de quelques organismes benthiques de la zone infralittorale supérieure au Cap d'Antibes. *Bull. Ecol.* (sous presse).

- AUGIER H., GILLES G., RAMONDA G., 1977 c. — Recherche sur la pollution mercurielle en rade d'Hyères et dans l'archipel des Stoechades (Méditerranée, France). 2. — 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 : 9-25
- AUGIER H., MAUDINAS B., 1977 d. — Variations de la croissance et de la teneur en pigments de la phanérogame marine *Posidonia oceanica* dans le Parc National de Port-Cros en fonction de la profondeur et du degré de pollution. Etude préliminaire des paramètres physiologiques et biochimiques susceptibles de caractériser le degré d'impact de la pollution sur l'herbier de posidonies. *Trav. Sci. Parc Nation. Port-Cros*, 3 : 39-55
- CUMONT G., 1971. — Dosage du mercure par spectrophotométrie d'absorption atomique sans flamme. *Chimie analytique*, 53 (10) : 634-645.
- HARMELIN J.-G., TRUE M.-A., 1964. — Délimitation cartographique de l'extension actuelle des herbiers de *Posidonia oceanica* (Delile) dans le Golfe de Marseille. *Rec. Trav. St. Mar. Endoume*, 34 (50) : 157-160.
- MAGGI P., 1973. — Le problème de la disparition des herbiers à posidonies dans le Golfe de Giens (Var). *Bull. Inst. Pêches marit.*, 221 : 7-20.
- MAJORI L., NEDOCLAN G., MODONUTTI G.-B., CAMPELLO C., 1976 a. — Pollution par métaux lourds dans la mer Adriatique du Nord. Note II. Etude de la distribution de quelques éléments trace dans le *Mytilus galloprovincialis* Lmk du Golfe de Trieste. XXV^e Congrès. Asssemblée plén., *Comm. Intern. Explorat. Sci. Mer Méditer.*, Split 22-30 octobre 1976 : 8 pp.
- MAJORI L., NEDOCLAN G., MODONUTTI G.-B., CAMPELLO C., 1976 b. — Pollution par métaux lourds dans la mer Adriatique du Nord, Note III. Le phénomène d'accumulation des métaux dans le *Mytilus galloprovincialis* Lmk et son application comme indicateur de pollution. XXV^e Congrès Assemblée plén., *Comm. Intern. Explor. Sci. Mer Méditer.*, Split 22-30 octobre 1976 : 8 pp.
- MOLINIER R., PICARD J., 1951. — Biologie des herbiers de Zostéracées des côtes françaises de la Méditerranée. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 233 : 1212-1214.
- MOLINIER R., PICARD J., 1952. — Recherches sur les herbiers de phanérogames marines du littoral méditerranéen français. *Ann. Inst. Océanogr.*, nouvelle série, 27 : 157-234.
- PERES J.-M., PICARD J., 1958. — Manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. *Rec. Trav. Stat. mar. Endoume*, 23 : 5-122.
- PERES J.-M., PICARD J., 1964. — Nouveau manuel de bionomie benthique de la mer Méditerranée. *Rec. Trav. Stat. mar. Endoume*, 31 (47) : 1-137.
- PERES J.-M., PICARD J., 1975. — Causes de la raréfaction et de la disparition des herbiers de *Posidonia oceanica* sur les côtes françaises de la Méditerranée. *Aquatic Botany*, 1 : 133-139.
- PICARD J., 1953. — Les herbiers de Posidonies, importants facteurs de l'élévation des fonds littoraux. *Rev. Géomorph. dynam. Fr.*, 2 : 83-84.
- 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. Med.*, 31-32 : 17-47.
- UTHE J.-F., ARMSTRONG F.-A.-J., STANTON M.-P., 1970. — Mercury determination in fish samples by wet digestion and flameless atomic absorption spectrophotometry. *J. Fish. Res. Board Canada*, 27 (4) : 805-811.