

Bio-accumulation des métaux lourds chez l'oursin *Paracentrotus lividus* (Lamarck) sur la côte Est de la Méditerranée marocaine

Salima DEMNATI ¹, Abdelhafid CHAFI ¹, Benaissa ATTARASSI ²,
Abdellatif MAAMRI ¹, Benyoune HALOU ¹, Mohammed KHARBOUA ¹
& Mohammed RAMDANI ^{3*}

(Reçu le 19/07/2001 ; Révisé le 11/05/2002 ; Accepté le 24/06/2002)

التكدس الحيوي للمعادن الثقيلة عند قننذ البحر على الساحل الشرقي للبحر الأبيض المتوسط المغربي

يقوم هذا البحث على دراسة التكدس الحيوي للمعادن الثقيلة عند قننذ البحر الذي يعتبر من حيوانات الأرخينوس القاعية الموجودة بوفرة في الساحل المتوسطي المغربي، والهدف من هذه الدراسة اكتشاف أنواع المعادن القابلة للتكدس من طرف هذا الأرخينوس باستعمال المجر الإلكتروني. تؤكد النتائج توافق المكونات المعدنية عند قننذ البحر وعند عينات ماء بيئته كما يفترض وجود دورة حيوية فصيلة للتجديد والإنتاج عند هذا الحيوان. توضح النتائج أيضا احتمال التبادل الإنتاجي بين الجهاز الهضمي والتناسلي. يعتبر كنسج ليزوزوم المكان المفضل لتكدس معظم العناصر الممتصة على شكل جزيئات صغيرة جدا وذائبة ثم تتركز على شكل ترسبات فوسفاتية عقيمة.

الكلمات المفتاحية: الأشعة السينية- سبيكترومترية- قننذ البحر- التكدس الحيوي- البحر الأبيض المتوسط

Bio-accumulation des métaux lourds chez l'oursin *Paracentrotus lividus* (Lamarck) sur la côte Est de la Méditerranée marocaine

La composition minérale de l'oursin (*Paracentrotus lividus*), échinoderme benthique fréquent dans la côte Est de la Méditerranée marocaine, concorde avec celle de l'eau du site de prélèvement. En outre, la comparaison des valeurs obtenues sur des oursins récoltés en automne avec celles élevées qui sont obtenues sur des oursins récoltés au printemps suppose l'existence d'un cycle métabolique saisonnier. Les teneurs observées dans l'épithélium digestif et dans les gonades laissent présager les possibilités d'échanges métaboliques entre les systèmes digestif et reproducteur. Ce phénomène est non étudié jusqu'à présent chez les Échinides. Les lysosomes sont les organites cibles où la plupart des éléments, absorbés à l'état de traces sous forme soluble, se concentrent sous forme de précipités de phosphates insolubles.

Mots clés : Oursin - *Paracentrotus lividus* - Métaux lourds - Bio-accumulation - Micro-analyse - Absorption atomique - Méditerranée - Maroc

Heavy metal bioaccumulation by *Paracentrotus lividus* (Lamarck) (Echinoidea) from Moroccan mediterranean coast

The elemental composition of the edible sea urchin *Paracentrotus lividus* is in good agreement with the water of its environment. As mineral concentrations obtained from samples collected in spring are higher than those from samples collected in autumn, the existence of a seasonal metabolic cycle may be assumed. Moreover, due to the mineral composition of digestive epithelium and gonads, the existence of metabolic exchanges between digestive and reproductive systems, may be suggested. The edible sea urchin appears as a new biological indicator of the elemental composition of the marine environment and in particular of its contamination by heavy metals. At the ultrastructural level, the target organelles are lysosomes where most of the metals, uptake under a soluble form at trace level, are concentrated under the form of an insoluble phosphate.

Key words : Edible sea urchin - *Paracentrotus lividus* - Heavy metal - Bio-accumulation - Microanalyse - Absorption spectrometry - Mediterranean coast - Morocco

¹ UFR Sciences de l'Environnement en milieu aride et semi-aride, Département de Biologie, Faculté des Sciences, Oujda, Maroc

² Département de Biologie, Faculté des Sciences, Kénitra, Maroc

³ Institut Scientifique, Département de Zoologie et Écologie Animale, Av^e Ibn Batouta, B.P. 703-Agdal, Rabat, Maroc

* Auteur correspondant, e-mail : mramdani@israbat.ac.ma

INTRODUCTION

Les secteurs d'activités industrielles responsables des rejets de métaux polluants dans le littoral méditerranéen Nord Oriental sont principalement des unités algériennes situées à proximité de la ville de Saïdia. Les deux Oueds, Moulouya et Kiss, débouchant en Méditerranée dans la région sont aussi à l'origine d'importants apports de matières organiques et minérales, d'azote, de phosphore et, dans une moindre mesure, de métaux et de pesticides.

La société métallurgique de Ghazaouat qui utilise comme matières premières des composants polymétalliques sulfureux rejette dans la mer des métaux lourds (zinc, plomb, cadmium, etc.) (Saidini, 1994). La troisième cause probable de pollution est représentée par les rejets des eaux usées de la ville de Saïdia, de Cap de l'Eau et d'une station balnéaire algérienne séparée de Saïdia par l'Oued Kiss sans traitement préalable.

Cette étude a porté sur l'oursin *Paracentrotus lividus* présent dans la côte Est de la Méditerranée marocaine. Cette espèce vit sur les roches et les

pierres recouvertes d'algues (Allain, 1972 ; Tortonese & Vadon, 1987). La période de reproduction s'échelonne sur toute l'année (Fernandez, 1996). Étant donné le mode de nutrition, la densité et l'étendue des populations de l'oursin, on peut s'interroger sur le rôle de cette espèce comme bio-indicateur de la composition du milieu en métaux lourds. Il serait d'abord intéressant de savoir si la constitution élémentaire de *Paracentrotus lividus* reflète la composition de son environnement.

En plus et contrairement à d'autres groupes d'Invertébrés marins, les Échinodermes, en général, et les Échinides, en particulier, ont fait l'objet de très peu de recherches sur d'éventuelles bio-accumulations métalliques.

L'objectif de ce travail est de détecter les principaux métaux toxiques susceptibles d'être bio-accumulés par l'oursin *Paracentrotus lividus*.

MATÉRIEL & MÉTHODES

Deux séries de prélèvements de 20 spécimens de *Paracentrotus lividus*, de taille comprise entre 4 et 6 cm, ont été réalisées à l'aide d'une fourchette au niveau des rochers des deux ports (Figure 1) : port de Cap de l'Eau (S_1) et port de Saïdia (S_2). La première série a eu lieu en mars 2000 et la deuxième en septembre 2000. Les oursins analysés par microsonde électronique ont été récoltés dans la station S_1 en mars et en septembre de l'année 2000.

Les stations de prélèvement sont situées près des sources de pollution dans la région. La station S_1 correspond au port de Ras-Kebdana (Cap de l'Eau) situé à 7 Km de l'embouchure de l'Oued Moulouya. Elle connaît une activité de pêche importante. Les

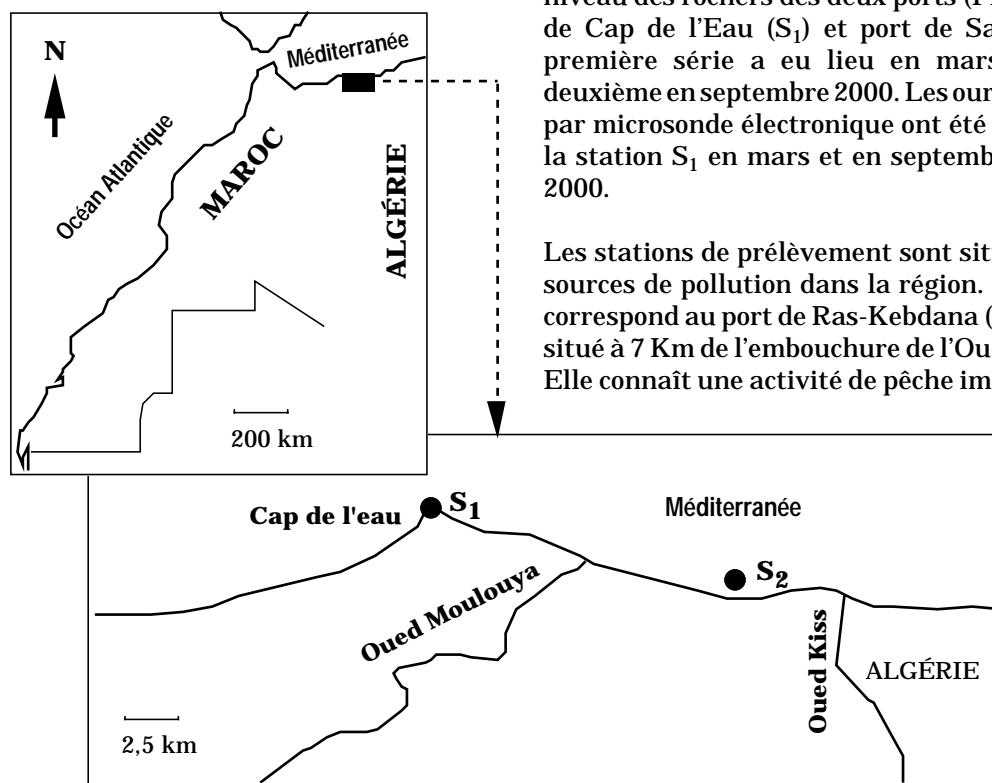


Figure 1. Localisation des zones de prélèvement des oursins *Paracentrotus lividus* dans le littoral méditerranéen du Maroc Nord Oriental

oursins sont récoltés au niveau des rochers à proximité de la sortie du port. La station S₂ correspond au port de Saïdia. Elle est située entre Oued Kiss et Oued Moulouya.

Les échantillons (épithélium digestif et gonades) analysés par absorption atomique sont séchés à 80°C jusqu'à atteindre le poids constant. Ils sont ensuite finement broyés à l'aide d'un mortier en agate. La quantité du matériel biologique utilisé varie entre 0,5 g et 1 g de poids sec.

Les échantillons en poudre sont minéralisés en deux étapes : une calcination à 550°C pendant 4 heures suivie d'une attaque triacide (acide sulfurique, acide nitrique et acide perchlorique) à température ambiante pendant une nuit, suivie d'une digestion à 60°C pendant 2 heures. Après minéralisation, les échantillons sont filtrés sur membrane "Millipore" de 0,45 µm de porosité. Le filtrat est ensuite complété avec de l'eau distillée jusqu'à un volume de 25 ml. Les échantillons d'eau sont prélevés en même temps dans les sites des oursins à 20 cm de profondeur. Après filtration, 100 ml sont acidifiés à l'aide de l'acide nitrique pur à raison de 5 ml pour 1 litre d'eau puis stockés à 4°C. Les dosages sont réalisés à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique (Varian 20 AA).

Les organes disséqués (épithélium digestif et gonades) sont fixés au glutaraldéhyde dans un tampon cacodylate 0,4 M à pH 7,8. Après déshydratation et passage dans l'oxyde de propylène, on effectue une inclusion dans l'épon. Les coupes ne sont pas colorées. Elles sont déposées sur grille de cuivre ou de titane, puis carbonées et observées à l'aide d'une microsonde de Castaing couplée à un microscope électronique à transmission (sonde Camebax). Les conditions d'analyse sont les suivantes : tension d'accélération de 40 kv, courant de sonde de 100 nA, diamètre de sonde de 500 nm environ. La détection des éléments est réalisée à l'aide d'un spectromètre du type dispersif en longueur d'onde. Les données obtenues ont fait l'objet d'une étude statistique à l'aide du test student 't' pour comparer les teneurs en métaux lourds entre les stations et les organes de l'espèce.

RÉSULTATS

Les analyses quantitatives par absorption atomique, effectuées sur des lots appartenant aux deux récoltes, figurent dans le tableau 1.

Tableau 1. Teneurs en métaux lourds de l'oursin *Paracentrotus lividus* dans deux stations (S₁ et S₂) du littoral méditerranéen de Saïdia (G = Gonade, I = Intestin). Les teneurs sont exprimées en µg/g de poids de matière sèche

Station	Récolte		Fe	Cu	Pb	Zn	Cd
S ₁	1/03/2000	G	82,5	2,8	12	120	<0,3
		I	90,1	3,9	20	90	<0,3
	17/09/2000	G	60,3	2,7	11	80	<0,3
		I	70,3	3,1	19	100	<0,3
S ₂	1/03/2000	G	86,5	2,5	10	130	<0,3
		I	132,2	4,2	16	114	<0,3
	17/09/2000	G	70,2	1,7	8,4	94	<0,3
		I	120,4	3,8	12	108	<0,3

Elles révèlent la présence de 4 métaux lourds : plomb, cuivre, fer et zinc. Les stations S₁ et S₂ montrent des teneurs allant de 2,5 à 130 (µg/g) en fer, cuivre, plomb et zinc et des traces de cadmium (<0,3 µg/g). Les concentrations relevées dans les échantillons de l'intestin de l'oursin sont plus élevées que celles des gonades (p<0,05). La majorité des éléments ont des teneurs plus élevées dans le lot récolté en mars que celles mesurées dans le lot de septembre (p<0,05). Les résultats permettent de constater une similitude entre les éléments bio-accumulés par *Paracentrotus lividus* et ceux qui sont détectés dans le milieu marin (Tableau 2).

Tableau 2. Teneurs en métaux (µg/l) dans l'eau des deux stations S₁ et S₂ du littoral méditerranéen de Saïdia

Station	Récolte	Fe	Cu	Pb	Zn	Cd
S ₁	1/03/2000	0,81	0,034	0,006	3,41	<0,3
	17/09/2000	0,61	0,026	0,004	2,82	<0,3
S ₂	1/03/2000	0,92	0,076	0,004	4,2	<0,3
	17/09/2000	0,81	0,059	0,007	3,9	<0,3

Les micro-analyses effectuées à l'aide de la microsonde, sur des organites des cellules épithéliales digestives et sur les cellules des gonades, ont permis de détecter de nombreux éléments dans les lysosomes, de faire des comptages du nombre de chocs enregistrés

pendant 100 secondes et d'obtenir des valeurs semi-quantitatives pour chaque élément. Chaque valeur donnée représente la moyenne des mesures faites sur 10 organites comparables (Tableau 3).

Tableau 3. Éléments détectés dans les différents organites de l'intestin et des gonades des oursins de la station S₁ (R₁ = récolte du mois de mars, R₂ = récolte du mois de septembre), par micro-analyse (spectrométrie des rayons X : Sonde Camebax). Nombre de chocs enregistrés pendant un temps de comptage de 100 s

Éléments	Intestin	Gonade
Fe	R ₁ = 300 ± 21 R ₂ = 360 ± 24	R ₁ = 250 ± 36 R ₂ = 199 ± 16
Cd	R ₁ = 24 ± 16 R ₂ = 36 ± 20	R ₁ = 16 ± 12 R ₂ = 20 ± 13
Pb	R ₁ = 240 ± 36 R ₂ = 180 ± 36	R ₁ = 170 ± 48 R ₂ = 210 ± 13
Cu	R ₁ = 62 ± 16 R ₂ = 48 ± 13	R ₁ = 48 ± 22 R ₂ = 36 ± 11
Zn	R ₁ = 400 ± 48 R ₂ = 340 ± 36	R ₁ = 300 ± 39 R ₂ = 250 ± 14

Outre les éléments constitutifs de tous les tissus tels que C, Na, P, K et Ca et ceux qui sont présents chez tous les animaux aquatiques tels que Sr et Ba, les éléments suivants ont été principalement détectés : fer, cuivre, plomb, cadmium, zinc. Chez *Paracentrotus lividus*, les éléments détectés sont principalement localisés dans les lysosomes où les métaux sont toujours associés à du phosphore sous forme de micro-granules (Photo 1).

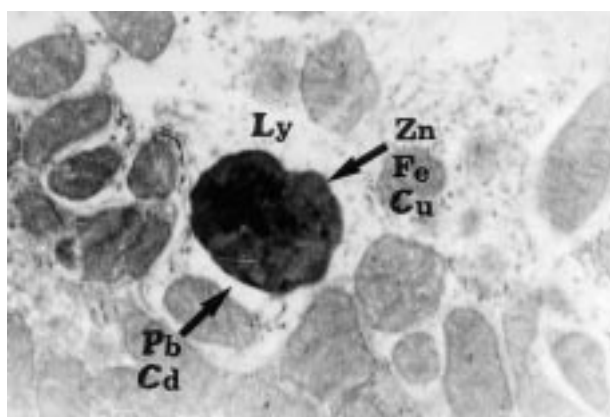


Photo 1. Cellule épithéliale de l'intestin de *Paracentrotus lividus*. Le lysosome (Ly) montre des zones finement granulaires. La composition élémentaire a été déterminée à l'aide de la sonde Camebax. Le matériel est non osmié et non coloré (G x 15000)

DISCUSSION

Les deux méthodes d'analyse utilisées sont comparables. Les résultats obtenus suscitent les remarques suivantes : les éléments fer, cuivre, zinc et plomb sont détectés à la fois par absorption atomique et par micro-analyse. Le fer et le cuivre sont des oligo-éléments indispensables aux organismes aquatiques, car ils interviennent dans le métabolisme ou dans des fonctions physiologiques précises. Le cuivre et le fer sont des constituants du pigment respiratoire des mollusques et des crustacés : hémocyanine et hémoglobine (Chassard-Bouchaud, 1985). Le plomb et le cadmium n'ont pas de rôle physiologique connu et sont extrêmement toxiques même à des concentrations infimes. La toxicité des métaux, en général, dépend évidemment des concentrations et de la forme physico-chimique de ces éléments. Le cadmium n'est détecté que par micro-analyse. Ceci s'expliquerait par une grande sensibilité de la méthode microanalytique utilisée. Les éléments détectés chez l'oursin par spectrométrie aux rayons X existent dans le milieu, à l'exception du cadmium. Il est possible que ce métal soit présent dans le milieu à l'état de trace, mais que le facteur de concentration de cet élément soit particulièrement élevé chez *Paracentrotus lividus*. Cette espèce pourrait donc être utilisée comme espèce indicatrice de la présence de ce métal.

Les résultats des analyses par absorption atomique permettent de constater une similitude entre les éléments bio-accumulés par *Paracentrotus lividus* et ceux qui sont détectés dans le milieu aquatique sauf pour l'élément cadmium. Par son pouvoir de concentration des métaux et sa large distribution, *Paracentrotus lividus* apparaît comme un bon indicateur de la pollution métallique.

Les échanges qui se produisent entre un organisme aquatique et son milieu se réalisent à travers les épithéliums branchiaux, tégumentaires ou digestifs. Les éléments absorbés passant dans le milieu intérieur sont stockés et concentrés dans les organes ou tissus cibles tels que la glande digestive, le muscle, la gonade ou des tissus de soutien (Chafi, 1995). Les teneurs observées dans l'épithélium digestif et dans les gonades permettent d'émettre l'hypothèse d'échanges métaboliques entre les systèmes digestif et reproducteur. En comparant les résultats obtenus sur *Paracentrotus lividus*,

suivant les deux méthodes d'analyse, on constate que les concentrations relevées dans les échantillons de l'intestin sont plus élevées que celles des gonades. Pour la majorité des éléments, les teneurs sont plus élevées dans le lot récolté en mars que celles mesurées dans le lot de septembre.

À l'échelle ultra-structurale, les études portant sur les éléments fer, cuivre, cadmium, zinc et plomb ont montré que chez l'oursin *Paracentrotus lividus*, les lysosomes présents dans les épithéliums digestifs et les gonades sont les organites cibles de concentration des métaux. Dans les lysosomes, ces métaux sont associés à du phosphore et précipitent sous forme de phosphate insoluble. Ceci correspond à une réaction enzymatique d'activité phosphatasique acide (Galle, 1964 ; Galle & Berry, 1980). La précipitation intralysosomale des métaux est un phénomène démontré chez les mammifères et les invertébrés aquatiques (Galle *et al.*, 1980 ; Galle, 1982).

Les résultats observés sont comparés avec ceux qui sont obtenus chez *Paracentrotus lividus* dans d'autres secteurs géographiques de la Méditerranée. Ainsi, pour le cuivre, les teneurs variant de 1,70 à 2,80 µg/g dans les gonades sont proches de celles qui sont trouvées chez l'oursin dans le Parc national de Port-Cros (1,67 à 5,42 µg/g) (Augier, 1987). Elles sont en revanche inférieures à celles de Delmas (1988) dans les Calanques de Marseille (18,64 à 38,37 µg/g). Les teneurs dans les intestins s'échelonnent de 3,1 à 4,2 µg/g ; elles sont semblables à celles qui sont obtenues par Augier *et al.* (1987, 1989) dans le Parc national de Port-Cros (1,70 à 8,18 µg/g). Pour le plomb, les teneurs varient de 8,4 à 12 µg/g dans les gonades et de 12 à 20 µg/g dans les intestins. Ces valeurs sont supérieures à celles du Parc national de Port-Cros (gonade : 0,33 à 1,17 µg/g ; intestin : 1,90 à 66,25 µg/g), inférieures à celles des Calanques de Marseille (gonade : 24,84 à 53,82 µg/g ; intestin : 60,04 à 66,25 µg/g) (Delmas, 1988), de Naples (gonade et intestin : 20 à 42 µg/g) (Sheppard & Bellamy, 1974). Pour le zinc, les valeurs varient de 100 à 130 µg/g pour les gonades, ce qui est inférieur aux résultats obtenus dans le golf de Fos-sur-mer (100 à 130 µg/g) par Augier *et al.* (1994) et dans la zone de rejet de Marseille (90 à 1335 µg/g) par Park (1992). Les teneurs dans les intestins s'échelonnent de 80 à 114 µg/g ; elles sont inférieures à celles qui sont trouvées par Park (1992) dans la zone des Calanques (70 à 161 µg/g). En ce qui concerne le cadmium, des traces ont été

mesurées dans les gonades et dans l'intestin. Ces valeurs sont inférieures à celles qui sont trouvées par les différents auteurs cités ci-dessous pour les autres métaux.

La station S₁ est la moins contaminée, elle renferme des concentrations en métaux lourds non négligeables. Cette situation serait en rapport direct avec les activités du port de Ras Kebdana et 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).

À la station S₂, les concentrations en métaux sont les plus élevées. En cherchant à expliquer en partie la présence de ces éléments, on peut penser aux rejets urbains de la ville de Saïdia et d'une station balnéaire algérienne située à proximité de l'Oued Kiss, outre les apports par le biais des deux Oueds (Moulouya et Kiss).

Le long de la basse Moulouya se pratique une intense activité agricole qui utilise des produits chimiques (engrais, pesticides organo-métalliques). Une grande partie de ces métaux est véhiculée par la mer (Rahhou *et al.*, 2001). L'implantation du complexe d'électrolyse de zinc de Ghazaouet, à 30 km de la station S₂, est à l'origine du rejet de zinc, cadmium, plomb (Saidini, 1994). Ces rejets seraient à l'origine de la raréfaction des espèces de Lamellibranches et des oursins. Dans la même région, des concentrations élevées en métaux toxiques ont été mises en évidence chez *Paracentrotus lividus* par le même auteur.

CONCLUSION

Par leur pouvoir élevé de concentration des métaux, leur pouvoir à survivre dans des conditions dans lesquelles d'autres organismes seraient éliminés et par leur large distribution, les oursins constituent de bons indicateurs de la pollution métallique. On préconise d'utiliser surtout les intestins (organes d'assimilation) et les gonades (organes de reproduction) qui constituent les organes cibles d'accumulation des métaux toxiques.

Cette étude écotoxicologique chez l'oursin semble apporter deux séries de résultats. La première a établi les capacités de bio-accumulation de métaux lourds (Pb, Cu, Fe, Zn et Cd) dans les gonades et les

intestins de *Paracentrotus lividus*. La seconde a mis en évidence la précipitation intralysosomale des métaux détectés sous forme de phosphate insoluble.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier l'équipe du Professeur GALLE du Laboratoire de Micro-analyse Appliquée à la Biologie pour leur collaboration scientifique et technique.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Allain J.Y. (1972) Structure des populations de *Paracentrotus lividus* (Lamarck), (Echinodermata, Echinoidea) soumises à la pêche sur les côtes du nord de Bretagne. *Revue et Travaux de l'Institut des Pêches Maritimes* 39 (2) : 171-212
- Augier H. (1987) Bio-indicateurs et indicateurs biologico-biochimique 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., Harmand-Desforges J.M. & Ramonda G. (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. pp. 127-141
- Augier H., Harmand-Desforges J.M. & Ramonda G. (1994) Influence du port de plaisance de Carry-le-Rouet sur la contamination des prairies de posidonies par les polluants métalliques. *Actes des journées de la Mer de Carry-Le-Rouet*, *Cerimer-information*, Marseille 3 : 42-55
- Augier H., Ramonda G., Rolland J. & Santimone, M. (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 séminaires intern. sur les Échinodermes, 19-22 sept. 1988. *Vie Mar.* H.S 10 : 226-239
- Chafi A.H. (1995) Mécanismes cellulaires de la bio-accumulation d'éléments minéraux, toxiques chez certains organismes aquatiques de la Méditerranée, de l'oued Moulouya et de l'oued Sebou et du Moyen Atlas : toxicité de l'aluminium et impact sur la santé humaine. Doctorat d'État Univ. Mohamed 1^{er} Oujda, 222 p.
- Chassard-Bouchaud C. (1985) Bio-accumulation de métaux stables et radioactifs par les organismes benthiques de la Baie de seine structuraux, ultra-structuraux et micro-analytiques. *Cah. Biol. Mar.* 26 : 63-86
- Delmas P. (1988) Dynamique des concentrations en métaux lourds dans les gonades et les contenus digestifs de *Paracentrotus lividus* (Lamarck) 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
- Fernandez C. (1996) Croissance et nutrition de *Paracentrotus lividus* dans le cadre d'un projet aquacole avec alimentation artificielle. Thèse de Doctorat, Université de Corse, 278 p.
- Galle P. & Berry J.P. (1980) The role of acid phosphatases in the concentration of some mineral elements in lysosomes. *Electron Microscopy* 3 : 92-93
- Galle P. (1964) Analyse chimique ponctuelle des inclusions intracellulaires par spectrographie des rayons X. Application à l'étude des cellules rénales. Thèse Doctorat d'État. *L'expansion Ed. Paris*
- Galle P. (1982) Toxicité de L'aluminium pour l'hépatocyte, localisation ultra-structurale et micro-analyse des dépôts. *Nouv. Press. Méd.* 11 : 1123-1125
- Galle P., Berry J.P. & Lefevre R. (1980) Microanalysis in biology and medicine. A review of results obtained with three microanalytical methods. In Johari O. Ed., Scanning Electron Microscopy, Chicago, II T Research Institute, pp. 703-710
- 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). *Doct. Univ. Aix-Marseille III*, 294 p.
- Rahhou I. Maamri A., Melhaoui M., Chafi A. & Chergui H. (2001) Accumulation de quelques éléments métalliques (Zn, Fe, Cu, Pb, Cd) chez la civelle d'anguille (*Anguilla anguilla*) au niveau de l'estuaire de la Moulouya. *Marine Life*.
- Saidini K. (1994) Présence des métaux lourds (Fe, Zn, Pb, Cd) chez quelques espèces de poissons et d'algues au niveau du littoral Ouest Algérien. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'État, 80 p.
- Sheppard C.R. & Bellamy D.J. (1974) Pollution around Naples. *Mar. Pollut. Bull.* 5 (3) : 42-44
- Tortonese E. & Vadon C. (1987) Fiches FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche. Méditerranée et mer d'Europe. Échinodermes. Zone de pêche 37. *Révision* 1 (1) : 715-739