

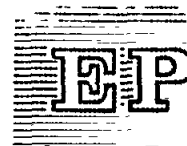


Programme
des Nations Unies
pour l'environnement



UNEP/WG.144/11
24 avril 1986

FRANCAIS
Original: ANGLAIS



PLAN D'ACTION POUR LA MEDITERRANEE

Quatrième réunion du Groupe de travail
sur la coopération scientifique et
technique pour le programme MED POL

Athènes, 16-20 juin 1986

EVALUATION DE L'ETAT ACTUEL DE LA POLLUTION EN MER
MEDITERRANEE PAR LE CADMIUM, LE CUIVRE, LE ZINC ET LE PLOMB

En coopération avec



FAO

PNUE
Athènes, 1986

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
1. INTRODUCTION	1
2. SOURCES D'EMISSION ET APPORTS DE CADMIUM, DE CUIVRE DE ZINC ET DE PLOMB EN MEDITERRANEE	1
3. DESTINEE DES METAUX LOURDS	7
4. CONCENTRATIONS DU CADMIUM, DU CUIVRE, DU ZINC ET DU PLOMB EN MEDITERRANEE	9
4.1. Eau de mer	9
4.2. Sédiments	14
4.3. Biotes marins	18
5. EFFETS SUR LA SANTE	28
6. CONCLUSIONS	30
7. REFERENCES	31
7.1 Références citées	31
7.2 Autres références prises en considération	41

1. INTRODUCTION

Au cours du projet pilote MED POL II (études de base et surveillance continue des métaux, tout spécialement du mercure et du cadmium, dans les organismes marins) qui était placé sous la coordination commune de la FAO et du PNUE, il a été procédé à la compilation d'une masse considérable de données sur le mercure, le cadmium, ainsi que sur d'autres métaux lourds dans les organismes marins.

La présente évaluation de la pollution de la Méditerranée par Cd, Cu, Zn et Pb repose principalement sur les données compilées lors du projet pilote de même que sur les données présentées aux Journées d'études CIESM/PNUE ou ayant fait l'objet d'autres publications scientifiques.

On dispose sur ces métaux lourds de données suffisantes pour se forger une vue d'ensemble, bien qu'encore incomplète, des niveaux existant dans les eaux, les sédiments et les organismes de la Méditerranée.

2. SOURCES D'EMISSION ET APPORTS DE CADMIUM, DE CUIVRE, DE ZINC ET DE PLOMB EN MEDITERRANEE

Les roches et les sols contiennent des quantités variables de métaux lourds en fonction de facteurs tels que le type de roche et la composition minérale.

Les concentrations du cadmium dans les roches ignées et métamorphiques varient de 0,001 à 1,8 µg/g. Dans les schistes et les phosphorites, les concentrations du cadmium peuvent atteindre jusqu'à 90-340 µg/g. Les concentrations caractéristiques du plomb dans la croûte terrestre varient de 10 à 70 µg/g dans les roches ignées et métamorphiques, et de 10 à environ 100 µg/g dans les schistes carbonés et les roches phosphatées (GESAMP, 1983).

Le cuivre et le zinc se trouvent concentrés dans les minéraux de roches basaltiques.

Les dépôts de sulfures constituent les principaux minerais pour Cu, Zn et Pb. Le cadmium, élément relativement rare, se trouve dans les minerais sulfurés renfermant du zinc (Fleischer, 1972).

Les altérations géologiques dues aux intempéries et l'érosion de la croûte terrestre libèrent et entraînent des métaux lourds dans le milieu marin, surtout par l'intermédiaire des cours d'eau et du ruissellement de surface. Parmi les autres sources d'émission naturelles, on citera les phénomènes volcaniques pélagiques et l'atmosphère.

Les activités humaines comme l'agriculture, l'exploitation minière, le traitement industriel des minerais et métaux, ainsi que l'utilisation des métaux et composés métalliques ont occasionné des apports accrus de métaux lourds dans les océans. D'autres sources, et notamment la combustion des combustibles fossiles, les opérations de fonte et l'emploi d'essence à teneur en plomb libèrent dans l'atmosphère des métaux lourds qui sont ensuite véhiculés jusqu'aux océans (Förstner et Wittmann, 1983).

Le cadmium est un sous-produit de l'affinage du cuivre et du traitement du plomb. Il peut, à partir de sols agricoles contaminés, de déchets et d'eaux de l'exploitation minière, être transporté dans la mer par le ruissellement de surface. Des quantités appréciables de Cd sont libérées dans l'environnement par les fonderies de Cu, Pb, Ni et Zn, ainsi que par la combustion de combustibles fossiles, l'évacuation de boues d'égouts et des procédés industriels. Le cadmium est utilisé dans l'industrie de la galvanoplastie, pour la fabrication de colorants, alliages et soudures, et comme catalyseur de polymérisation lors de la production des PCB (GESAMP, 1983).

Le cuivre est extrait sous forme de chalcopryrite; il est utilisé dans divers procédés industriels tels que l'électro-industrie, dans les alliages, comme catalyseur chimique, dans les peintures anticorrosives, comme agent algicide et comme conservateur du bois (PNUE/OMS, 1982).

Les sources d'émission du plomb comprennent: l'exploitation minière, la métallurgie de minerais tels que la galène, la cérusite et l'anglésite, ainsi que des procédés industriels comportant notamment la fabrication de piles et accumulateurs, de colorants, d'alliages et de plombs tétraéthyles. Le plomb est libéré dans l'atmosphère lors de la production d'acier, de la combustion de combustibles fossiles et de l'emploi d'essence à teneur en plomb (PNUE/OMS, 1982; GESAMP, 1983).

Le zinc est produit par fusion de minerais blendeux et il est utilisé dans la fabrication d'alliages, de peintures, de piles et accumulateurs. Ses autres sources industrielles comprennent la pâte à papier et le papier, les produits chimiques organiques, les engrais, le raffinage du pétrole, la sidérurgie lourde et la métallurgie des métaux non ferreux (PNUE/OMS, 1982; Förstner et Wittmann, 1983).

Les sources d'émission des métaux lourds dans le milieu marin comprennent: le ruissellement de surface, les effluents domestiques et industriels évacués par les émissaires, l'immersion des boues domestiques et industrielles, et l'atmosphère. La teneur en métaux est notablement accrue dans la charge en suspension des eaux usées et dans les boues d'effluents en raison des déchets industriels, de la corrosion au sein du réseau urbain d'adduction d'eau, et du ruissellement urbain véhiculant des métaux comme Pb et Zn de la surface des rues et des routes (Zafiropoulos, 1976; Förstner et Wittmann, 1983).

Les cours d'eau transportent les métaux qui sont déversés par les industries ou les centres urbains, ou qui proviennent de l'érosion accrue due à l'exploitation des gisements ou à l'agriculture. L'atmosphère recouvrant les centres urbains et industriels présente une teneur en Cd, Cu, Pb et Zn dont l'augmentation peut atteindre 4 ordres de grandeur par rapport à la teneur moyenne de la croûte terrestre (Förstner et Wittmann, 1983). Les précipitations ou les dépôts secs transportent ces métaux dans le milieu marin.

Les apports de Pb et de Zn d'origine tellurique dans la Méditerranée ont été évalués dans le cadre du projet commun CEE/ONU/FAO/UNESCO/OMS/AIEA/PNUE (MED POL X) (PNUE/CEE/ONU/FAO/UNESCO/OMS/AIEA, 1984).

Ce projet comprenait l'évaluation des apports de métaux lourds provenant des eaux usées domestiques, des eaux usées industrielles et des cours d'eau:

- a. Eaux usées domestiques. Cette évaluation s'est fondée sur des données telles que la population résidante, le tourisme et l'industrie. Des données directes sur les concentrations de métaux lourds et les flux des eaux usées domestiques n'ont été disponibles que dans quelques cas.
- b. Eaux usées industrielles. Pour évaluer les apports de métaux lourds provenant des eaux usées industrielles, on a adopté une méthode souple. Lorsqu'on disposait de données directes sur les résultats analytiques des concentrations de métaux lourds dans les effluents industriels, on les a utilisées, conjointement aux flux d'eaux usées, pour calculer les apports. En l'absence de données directes, on a eu recours à des données indirectes telles que les chiffres de production, la consommation en eau et les effectifs d'employés. Lors du rassemblement des données sur les métaux lourds mais aussi sur d'autres charges polluantes des effluents industriels, on a été confronté aux problèmes suivants:
- i) on manquait souvent de renseignements sur la situation exacte des installations industrielles par rapport à la bordure littorale;
 - ii) les industries ne faisaient pas l'objet d'un classement cohérent;
 - iii) les chiffres de production et d'employés n'étaient pas suffisamment catégorisés;
 - iv) les renseignements acquis sur les contaminants en trace dans les eaux usées industrielles étaient rares;
 - v) les systèmes de notification des données n'étaient pas comparables d'un pays à l'autre.
- c. Déversements des cours d'eau. Il est très rare qu'on surveille les concentrations de métaux lourds dans les cours d'eau. Le traitement préalable des échantillons et les techniques d'analyse utilisés varient considérablement selon les pays, d'où la difficulté d'établir des comparaisons.

Sur un total de 68 cours d'eau méditerranéens, on disposait des concentrations moyennes de polluants et des débits moyens d'eau pour 30 d'entre eux. Pour les 38 autres, les estimations des apports de métaux lourds ont été obtenues par extrapolation.

Les apports atmosphériques qui, dans le cas de métaux comme le plomb, sont très importants, n'ont pas du tout été envisagés dans ce projet. Pour le cadmium, l'absence de données a rendu impossible l'estimation des apports totaux. Les résultats du projet sont récapitulés sur les tableaux 1 et 2. Les cours d'eau constituent les plus importantes sources de Pb et de Zn et en véhiculent respectivement 3200 et 1800 tonnes par an. Environ 79% des apports totaux de Pb sont dus à la pollution, ce pourcentage s'établissant à 84% pour Zn.

Tableau 1. Estimations des charges de plomb et de zinc d'origine tellurique en Méditerranée, exprimées en tonnes/an

	Pb	Zn
<u>Charges polluantes prenant naissance dans la zone côtière</u>	1600	6900
- Charges domestiques	200	1900
- Charges industrielles	1400	5000
<u>Charges apportées par les cours d'eau en Méditerranée</u>	3200 (2700-3800)	18000 (14000-22000)
- Pollution	2200	14000
- Charge naturelle	1000	4000
<u>Charges méditerranéennes totales</u>	4800 (4300-5400)	25000 (21000-29000)
- Pollution	3800	21000

Tableau 2. Estimations des charges de plomb et de zinc dans les régions méditerranéennes (% du total entre parenthèses)

Région	tonnes/an (%)	
	Pb	Zn
I	90 (2)	300 (1)
II	1360 (28)	5200 (21)
III	120 (2)	700 (3)
IV	630 (13)	3000 (12)
V	1440 (30)	8600 (35)
VI	230 (5)	1600 (6)
VII	100 (2)	500 (2)
VIII	440 (9)	2500 (10)
IX	180 (4)	1100 (4)
X	230 (5)	1200 (5)
<u>Total</u>	4820	24700

D'après PNUE/CEE/ONUDI/FAO/UNESCO/OMS/AIEA, 1984

Des apports élevés pénètrent en Méditerranée par l'Adriatique (région V) et par le bassin nord-ouest (région II) (figure 1) qui sont bordés par trois pays industrialisés et reçoivent d'importants déversements de cours d'eau. Les régions IV et VIII (mers Tyrrhénienne et Egée) reçoivent des quantités modérées de ces métaux (14% des apports totaux). Les autres régions méditerranéennes (I, III, VI, VII, IX et X) reçoivent moins de 9% des charges totales.

Les résultats d'études similaires visant à évaluer les apports de métaux lourds dans d'autres régions marines, même s'ils ne sont pas forcément applicables à la Méditerranée, peuvent fournir des renseignements utiles.

En Californie du Sud, région ne recevant qu'un ruissellement de surface restreint, on a constaté que les sources les plus importantes de Cu et de Zn étaient l'atmosphère et les eaux usées municipales. S'agissant de Pb, on a relevé que la source la plus importante était constituée par l'atmosphère (Young et coll., 1973).

Dans les zones marines recevant d'importantes quantités de ruissellement de surface, comme le fjord de Puget Sound au nord-ouest des Etats-Unis, les sources principales de Zn et Cu étaient constituées par les cours d'eau. Par contre, les apports atmosphériques de Pb étaient supérieurs de 50% aux apports fluviaux (Zafiropoulos, 1976).

Il ressort des travaux menés par Chesselet et coll. (1979) et par Buat-Menard et coll. (1980) que les concentrations de métaux lourds dans les matières particulaires en suspension des eaux du large de la Méditerranée ne pouvaient uniquement résulter des intempéries affectant la croûte terrestre ni des particules de composition planctonique. Ces auteurs ont relevé que les apports atmosphériques constituaient une source importante de métaux lourds.

Palumbo et Iannibelli (étude sous presse) ont récemment signalé que les apports atmosphériques de Cd, Cu, Pb et Zn dans la baie de Naples sont considérables.

Arnold et coll. (1983) ont estimé les apports atmosphériques de métaux lourds en Méditerranée occidentale. Les apports en Méditerranée occidentale figurant sur le tableau 3 sont extrapolés de l'ensemble de la Méditerranée et comparés avec les apports totaux d'origine tellurique tels que ceux-ci ont été évalués dans le cadre du projet MED POL X.

Les apports atmosphériques de Pb (40000 tonnes/an) sont 8 fois plus élevés que les apports industriels, domestiques et fluviaux réunis. Les apports atmosphériques de zinc (27500 tonnes/an) sont comparables aux apports d'origine tellurique estimés dans le cadre du projet MED POL X. Il convient toutefois de souligner que cette extrapolation pourrait être sujette à caution. Chester et coll. (1981) ont relevé un gradient de concentrations atmosphérique de plomb décroissantes de la méditerranée occidentale à la Méditerranée orientale. Chester et coll. (1983) ont estimé que les flux de Pb sous forme particulaire se situent entre 1600 et 6500 tonnes/an et sont considérablement inférieurs aux flux de 40.000 tonnes/an estimés par extrapolation à partir des données d'Arnold et coll. (1983).

Les échanges d'eaux s'effectuant à travers le détroit de Gibraltar peuvent également constituer une source d'apport de métaux lourds en Méditerranée. Boyle et coll. (étude sous presse) ont récemment fait état de ce phénomène pour Cu et Cd. Selon ces auteurs, une fraction importante de l'accroissement des métaux lourds en mer Méditerranée pourrait provenir d'eaux côtières extérieures au bassin méditerranéen.

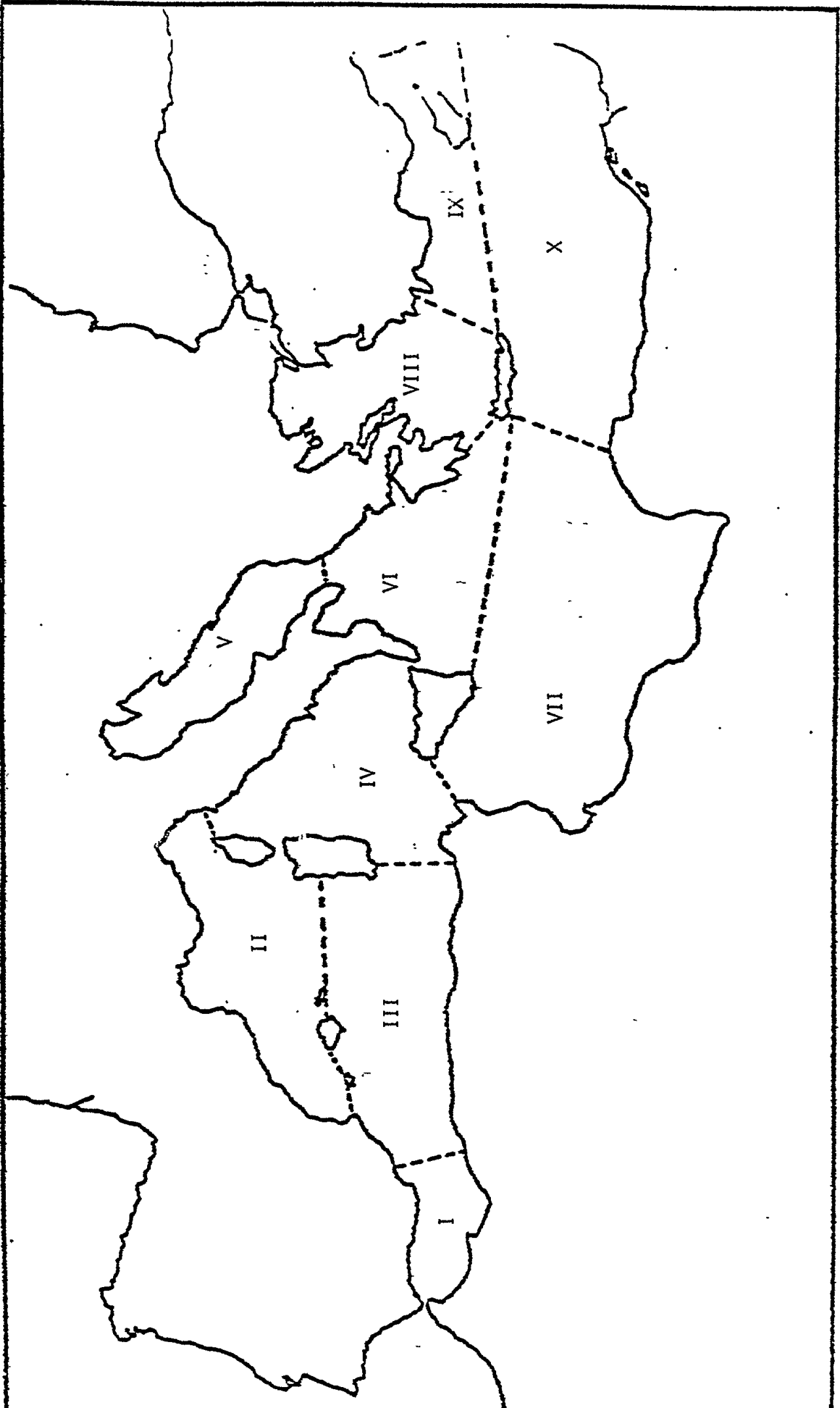


Figure 1. Régions méditerranéennes

Tableau 3. Comparaison des apports atmosphériques et des apports d'origine tellurique de métaux lourds en Méditerranée occidentale

	Méditer. occid.*	tonnes/an Ensemble de la Méditer.*	Apports totaux d' origine tellurique [†]
Pb	16000	40000	4820
Zn	11000	27500	25000
Cu	1000	2500	-
Cd	140	350	-

*Arnold et coll. (1983) Superficie de la Méditer. occidentale = 10^6 km²

*Superficie totale de la Méditer. = 2.5×10^6 km²

[†]PNUE/CEE/ONUDI/FAO/UNESCO/OMS/AIEA, (1984)

3. DESTINEE DES METAUX LOURDS

Les métaux lourds pénétrant dans le milieu marin à partir de diverses sources peuvent subir des modifications chimiques, à savoir par exemple: dilution/dispersion, précipitation, adsorption ou désorption, absorption et libération par les organismes marins, élimination jusqu'aux sédiments et resolubilisation.

Quand les cours d'eau se jettent dans la mer, l'accroissement de la salinité et la sédimentation des matières particulaires fluviales peuvent entraîner l'élimination de celles-ci jusqu'aux sédiments ou la mobilisation des métaux lourds de la phase particulaire à la phase dissoute.

Dans l'estuaire du Rhin, Cu, Pb et Zn sont mobilisés de l'état particulaire en suspension à la colonne d'eau (Bryan, 1976).

Mais il n'en va pas toujours ainsi dans d'autres estuaires. Oregioni et coll. (1979) ont signalé que plus de 90% de Zn et Pb étaient transportés à l'état de matières en suspension dans le Var et le Rhône et que l'on pouvait estimer qu'ils étaient rapidement déposés dans les estuaires de ces deux fleuves. Selon Cauwet et Faguet (1981), Buscail et Cauwet (étude sous presse), les embouchures des cours d'eau servent de pièges aux métaux lourds, lesquels déposent jusqu'aux sédiments. Kitano et Sakata (1978) signalent que la sédimentation dans les zones estuariennes élimine la majeure partie de Cu et de Zn deversés par le ruissellement de surface.

Selon un mécanisme proposé (Turekian, 1977), les métaux lourds sédimenteraient conjointement à des flocons riches en fer à la limite courant-mer. Zutic et coll. (étude sous presse) soutiennent qu'une fraction considérable des constituants en trace dissous, y compris les métaux lourds, doit se fixer aux agrégats qui sont formés par la floculation de matières organiques fluviales et la production primaire in situ dans l'aire de mélange du cours d'eau et de l'eau de mer.

Bien que la sédimentation paraisse être un processus majeur responsable de l'élimination des métaux lourds jusqu'aux sédiments, on doit également s'attendre à ce qu'intervienne un certain degré de mobilisation. Hormis celles concernant Fe et Mn, les données sont insuffisantes pour définir un comportement systématique des métaux lourds dans les zones estuariennes (Bewers et Yeats, 1981).

Heltz et coll. (1975) ont étudié le comportement des métaux lourds, notamment Cd, Cu, Pb et Zn, déversés par une station de traitement des eaux usées dans la baie de Chesapeake, aux Etats-Unis. Ils ont estimé que ces métaux étaient éliminés jusqu'aux sédiments. Pour Cd, ils ont fait état d'une possible remobilisation des sédiments à la colonne d'eau. Morel et coll. (1975) ont étudié le devenir des métaux lourds dans les déversements d'eaux usées de Los Angeles. Leurs données indiquent que les métaux lourds peuvent être mobilisés à partir des matières particulaires mais que celles-ci doivent sédimenter avant qu'une telle solubilisation ait pu se produire.

Dans les eaux du large, l'adsorption des métaux lourds à la surface hydratée des oxydes de fer et de manganèse ainsi que des minéraux d'argile semble constituer le plus important mécanisme d'élimination ultime (Yuan-Hui Li, 1981a, 1981b). Selon le même auteur, la sédimentation des grains fécaux du zooplancton constitue la forme prédominante du transfert des métaux lourds des eaux de surface aux eaux profondes.

Fowler (1977), après avoir étudié les concentrations de métaux lourds dans les produits particulaires du zooplancton en Méditerranée, en a conclu que les mues et grains fécaux du zooplancton qui sédimenteront contiennent des concentrations relativement élevées de métaux lourds et pourraient jouer un rôle très important dans les cycles biogéochimiques marins.

Les matières particulaires renfermant du plomb qui pénètrent en mer à partir de l'atmosphère sont éliminées jusqu'aux sédiments en raison de la solubilité médiocre des composés du plomb. Les polluants plombifères des sédiments côtiers de la Californie du Sud proviennent principalement de la combustion des additifs de plomb présents dans l'essence, comme l'ont montré Chow et coll. (1973).

Les métaux lourds, en solution ou sous forme particulaire, peuvent être accumulés par les organismes marins. Les macroalgues absorbent les formes solubles des métaux lourds, les bivalves qui se nourrissent par filtration peuvent capter les métaux lourds non seulement à partir de la nourriture et de leur solution dans l'eau de mer mais aussi lors de l'ingestion de matières particulaires inorganiques. Les poissons peuvent accumuler les métaux lourds tant à partir de la nourriture qu'à partir de leur solution dans l'eau de mer. La fixation des métaux à partir de leur solution peut s'effectuer au niveau des branchies ou de la paroi gastro-intestinale (Phillips, 1977).

On estime que la fixation du cadmium par les organismes marins se produit à la fois au niveau des branchies et par l'ingestion de nourriture. Mais on possède peu de données probantes sur un effet d'amplification le long de la chaîne alimentaire. La chaîne alimentaire est considérée comme la principale source de Zn dans les tissus des organismes marins, mais en ce qui concerne Cd on ne possède pas de preuves d'un effet d'amplification (IRPTC, 1978).

4. CONCENTRATIONS DU CADMIUM, DU CUIVRE, DU ZINC ET DU PLOMB EN MEDITERRANEE

4.1 Eau de mer

L'analyse des métaux lourds dans l'eau de mer peut donner lieu à des erreurs importantes au stade de l'échantillonnage, de la concentration préalable et de la détermination. A la suite de l'amélioration des techniques et du recours à des laboratoires propres et à des réactifs ultra-propres qui a permis de réduire la contamination des échantillons, on a enregistré une diminution des concentrations en métaux lourds communiquées dans la littérature (Bruland et coll., 1978a, 1978b) (Voir aussi le tableau 4).

Jusqu'en 1975, il n'avait été possible de déduire qu'un nombre relativement restreint de conclusions quant aux répartitions biogéochimiques et spatiales des métaux lourds. On estime qu'il faut l'attribuer à la contamination qui survenait lors de l'échantillonnage et de l'analyse. A partir de 1975, les recherches ont permis d'inférer que les métaux lourds comme Cd, Cu et Zn se trouvent dans les eaux océaniques à des concentrations notablement plus faibles qu'on ne le pensait auparavant. On a également constaté que ces métaux apparaissent dans les océans mondiaux selon des répartitions bien définies (Bruland et Franks, 1979).

Les concentrations de métaux lourds, notamment dans les eaux côtières, peuvent dépendre de facteurs tels que la variabilité de l'apport, le brassage de diverses masses d'eau, les processus de transport et de dilution et l'activité biologique. Il est donc assez malaisé d'interpréter et de comparer les concentrations de métaux lourds dans l'eau de mer. En outre, les méthodes d'analyse permettent généralement de déterminer différentes fractions de la teneur totale en métal lourd. Lorsqu'on compare les données relatives aux métaux lourds, il convient de prendre en compte les valeurs correspondant aux formes totale, dissoute et particulaire.

Le PNUE a examiné les données antérieures à 1979 (en 1978). Le tableau 4 récapitule des données plus récentes sur les concentrations de Cd, Cu, Pb et Zn dans les eaux du large de la Méditerranée, et il mentionne également les méthodes d'analyse utilisées par les auteurs puisque celles-ci peuvent influencer sur les résultats.

Cadmium

Les données plus anciennes sur les concentrations de Cd dans les eaux du large de la Méditerranée évoquent des valeurs variant de moins 0,05 jusqu'à 0,60 µg/l (PNUE, 1978).

Huynh-Ngoc et Fukai (1979) ont communiqué les concentrations moyennes de Cd dissous dans différentes régions de la Méditerranée; ces concentrations varient de 0,04 à 0,15 µg/l, avec une moyenne de $0,13 \pm 0,02$ µg/l pour les eaux du large de la Méditerranée. Laumond et coll. (1983) ont toutefois fait état de valeurs beaucoup plus faibles pour la Méditerranée occidentale (0,005-0,10 µg/l). En mer Tyrrhénienne, selon Nürnberg (1977), les concentrations de Cd varient de 0,05 à 0,09 µg/l.

Kremling et Petersen (1981) ont signalé pour Cd une moyenne de $0,017 \pm 0,007$ µg/l dans les eaux du large de la Méditerranée. Selon ces auteurs, ces valeurs sont voisines des résultats océaniques obtenus sous des conditions semblables.

Tableau 4. Concentrations de cadmium, cuivre, plomb et zinc relevées dans les eaux du large en Méditerranée (µg/l)

REGION	METHODE	Cd ₁	Cu	Pb	Zn	REFERENCES
II	ASV	0.15	0.4	-	2.7	Huynh-Ngoc et Fukai, 1979
IV	ASV	0.11	0.10	-	1.2	Huynh-Ngoc et Fukai, 1979
	ASV	0.11	0.18	-	0.9	"
VI-VII	ASV	0.05-0.09	0.13-0.19	0.018-0.09	-	Nürnberg, 1977
VIII	ASV	0.15	0.7	-	1.8	Huynh-Ngoc et Fukai, 1979
	ASV	0.07	0.3	-	3	"
X	ASV	0.04	0.04	-	0.9	"
Données récentes						
I-II	Dowex/ Extraction/ AAS	0.004	0.11	-	-	Boyle et coll., sous presse
IV-VI-VII		0.010	0.15	-	-	"
II		0.06	0.48	-	-	Frache et coll., 1980, Baffi et coll., 1983 a,b,c
II	Freon extraction AAS ou ASV0.	0.008	-	0.05-0.14	-	Copin-Montegut et coll., (sous presse)
III		0.005-0.010	0.06-0.13	0.025-0.075	-	Laumond et coll., 1983
Méditer- ranéenne		0.017±0.007	0.21±0.07	-	0.40±0.16	Kremling et Petersen, 1981
Océans	Extraction ou Chelex/ 100 AAS	0.07-0.7	0.3-2.8	-	1-13	Brewer, 1975
Valeurs océaniques de charge naturelle (données récentes)		0.01-0.07 0.01-0.1	0.1-0.3	0.005-0.015	0.01-0.6	Förstner et Wittmann, 1983 ICES, 1980

Dans une étude plus récente (Boyle et coll., 1984), il a été fait état, pour la mer d'Alboran, de concentrations de Cd de 0,004 µg/l dans les eaux de surface, avec un maximum de 0,012 µg/l à 500 m de profondeur. En Méditerranée centrale, la concentration moyenne de Cd s'établissait à 0,010 µg/l dans les eaux de surface. Les auteurs signalent que les concentrations de Cd en Méditerranée sont légèrement supérieures à celles relevées au large de l'Atlantique. Copin-Montegut et coll. (étude sous presse) font état d'une concentration moyenne de 0,008 µg/l dans les eaux de surface de la Méditerranée occidentale et de 0,001 µg/l dans l'Atlantique.

Pour sa part, le CIEM (1980) a communiqué un intervalle de 0,001 à 0,10 µg/l dans les eaux océaniques, soit des valeurs très proches des concentrations relevées en Méditerranée.

Pour les eaux côtières de la Méditerranée, on a fait état de concentrations de cadmium atteignant 1,4 µg/l, soit des valeurs considérablement accrues par rapport aux valeurs récemment relevées au large de la Méditerranée (0,004 à 0,017 µg/l, tableau 5).

La question qui se pose à propos de Cd et des autres métaux lourds, est de savoir si cette augmentation considérable est effective ou si elle résulte d'une contamination au cours de l'échantillonnage et de l'analyse. On peut y répondre en partie en tenant compte des données de communications signalant des concentrations minimales voisines des valeurs caractéristiques des eaux du large, soit $0,005 \pm 0,01$ µg/l. Ainsi, il est indubitable que certaines zones côtières d'Espagne et d'Italie ont des concentrations accrues de Cd (voir tableau 5).

Dans la lagune côtière de Mar Menor, en Espagne, qui est soumise aux effets d'activités minières, De Leon et coll. (1983) ont enregistré des concentrations de Cd comprises entre 0,04 et 0,09 µg/l. Breder et coll. (1981) ont décelé de légères augmentations des concentrations de Cd en se rapprochant de l'embouchure de plusieurs estuaires italiens. Les concentrations naturelles de 0,004 à 0,008 µg/l s'élevaient à 0,016-0,029 µg/l au sein des estuaires.

En étudiant les concentrations de Cd, Cu et Zn dans les eaux côtières et du large de la région II, Fukai et Huyhn-Ngoc (1976) n'ont relevé aucune différence significative, hormis dans les zones recevant des apports élevés dus aux activités humaines.

Dans les eaux côtières et du large de la mer Ligurienne, on n'a pas enregistré d'écarts systématiques des concentrations de Cd, bien que certaines stations proches de sources d'apport présentaient des concentrations considérablement élevées (Frache et coll., 1980; Baffi et coll., 1983a, b, c, et 1984).

Cuivre

Selon les données examinées par le PNUE (1978), les concentrations de Cu dans les eaux du large de la Méditerranée variaient de 0,03 ou moins à 3 µg/l.

Huyhn-Ngoc et Fukai (1979) ont communiqué une concentration moyenne de Cu dissous égale à $0,33 \pm 0,09$ µg/l dans les eaux du large de la Méditerranée. Nürnberg (1977) a fait état de valeurs plus faibles (0,13-0,19 µg/l) pour la mer Thyrrhénienne, tandis que Laumond et coll. (1983) citent un intervalle de 0,06 à 0,13 µg/l pour la Méditerranée occidentale.

Tableau 5. Concentrations de cadmium, cuivre, plomb et zinc relevées dans les eaux côtières en Méditerranée (µg/l)

REGION	METHODE	Cd	Cu	Pb	Zn	REFERENCES
II -Eaux côtières -Mer Ligurienne -Lagune du Var, France -Estuaires italiens -Lagunes, Espagne -Côtes liguriennes, Italie -Monaco	ASV Dowex A-1/AAS APDC Extraction/ AAS Filtration/ASV Freon Tf Extraction/AAS Filtration/Dowex A-1/AAS Dissous Particulaire Ext.APDC/AAS	0.01-0.8 0.03 0.9 0.004-0.029 0.040-0.09 < 0.002-1.4 0.06	0.1-22.4 1.4 4.1 0.11-0.95 - < 0.010-7.4 < 0.05-0.58 0.4-0.8	- - 21 0.025-0.95 0.11-0.58 - - -	1-9 - - 3.3-4.3	Fukai et Huynh-Ngoc, 1976 Frache et coll., 1980 Chabert et Vicente, 1981 Breder et coll., 1981 De Leon et coll., 1983 Baffi et coll., 1983, 1984 " Veglia et Vaissiere, sous presse
IV -Tibre, embouchure	AAS	0.1-0.6	0.2-0.6	0.1-0.6	1.4-3.3	Pettine et coll., 1982
V -Mer Adriatique	NAA NAA	- -	3.4 0.6-50	4.7 -	- 1-36	Marijanovic et coll., 1983 Grancini et coll., 1976
VI -Côtes siciliennes	Dissous Particulaire	0.01-0.47 0.02-0.13	0.25-7 0.12-4	0.02-3.7 0.13-3.5	0.2-16 1-17	Alpha et coll., 1982
VIII -Golfe d'Eubée Grèce -Baie d'Eleusis, Grèce -Golfe Saronique, Grèce -Grèce du Nord -Baie d'Izmir, Turquie	Filtration/Chelex 100/AAS Dissous Particulaire Dissous Particulaire NAA/Total ASV APDC-MIBK Extraction/AAS	- - - - 0.15-0.70 0.16-0.52 0.01-0.03	1.7-1.9 1-1.2 - - 0.5-1.4 1.0-3.5 0.7-2.1 -	2.3-2.9 1.2 - - - 3.5-20.5 0.05-0.20	4-13 1.6-2.7 18 2.4 2.4-32 3.7-18 13-23 -	Scoullou et Dasenakis, 1983; Scoullou et coll., 1983 Scoullou, 1981 Zafiropoulos, 1983 Huynh-Ngoc et Zafiropoulos, 1981 Fytianos et Vasilioti, 1983 Gücer et Yaramaz, 1980
X -Alexandrie, Egypte	APDC- MIBK Extraction/AAS		70		210	El Sayed et El Sayed, 1981
-Eaux côtières Méditerranéennes			0.02-0.49	0.016-4.4	0.016-11	Revu par Bernard, 1983

Kremling et Petersen (1981) relèvent une moyenne de $0,21 \pm 0,07$ µg/l pour les eaux du large de la Méditerranée, soit une concentration très proche des valeurs océaniques obtenues sous des conditions semblables.

Des données récentes (Boyle et coll., sous presse) donnent à penser que les concentrations de Cu en Méditerranée sont en fait plus faibles (valeurs moyennes de 0,11 et de 0,15 µg/l pour la mer d'Alboran et la Méditerranée centrale, respectivement). Selon ces auteurs, ces valeurs sont légèrement supérieures à celles relevées dans l'Atlantique.

Les valeurs maximales des concentrations de Cu signalées pour diverses zones côtières varient de 0,6 à 50 µg/l et sont considérablement accrues par rapport à celles relevées dans les eaux du large. Dans la zone côtière d'Alexandrie, on a relevé des concentrations atteignant jusqu'à 70 µg/l (El Sayed et El Sayed, 1981).

Dans les eaux côtières proches de Cadix, Espagne, il a été enregistré des concentrations de Cu atteignant 8,6 µg/l. On pense qu'elles résultent de l'exploitation de gisements de cuivre dans la région (PNUE, 1978).

Plomb

Il a été communiqué peu de données sur les concentrations de Pb dans les eaux du large en Méditerranée. Les valeurs s'échelonnent entre 0,018 et 0,14 µg/l (Laumond et coll., 1983; Nürnberg, 1977; Copin-Montegut et coll., (sous presse)). Les valeurs océaniques varient de 0,005 à 0,015 µg/l (Förstner et Wittmann, 1983) (tableau 5). Il semble qu'on enregistre des teneurs en Pb relativement accrues dans les eaux méditerranéennes. Mais il s'agit là d'une conclusion provisoire étant donné qu'on dispose de peu de données relatives au plomb en Méditerranée et qu'il est notoirement difficile de procéder à une analyse précise de ce métal.

Pour les zones côtières, on a communiqué des concentrations de Pb atteignant jusqu'à 21 µg/l (voir tableau 5). Breder et coll. (1981) font état de concentrations de Pb qui vont de 0,025 µg/l, soit une valeur proche des valeurs relevées au large de la Méditerranée, à 0,95 µg/l dans les estuaires italiens. Alpha et coll. (1982) signalent un intervalle de 0,02 à 3,7 µg/l le long des côtes de la Sicile. Des concentrations très élevées de Pb (3,5 - 21 µg/l) ont été relevées dans le golfe Thermaïque, Grèce, où est exploitée une usine de plomb tétraéthyle (Vasilikiotis et coll., 1982; Fytianos et Vasilikiotis, 1983).

Zinc

Selon les données examinées par le PNUE (1978), les concentrations de Zn dans les eaux du large en Méditerranée s'échelonnaient entre 0,1 et 86 µg/l.

D'après Huynh-Ngoc et Fukai (1979), la concentration moyenne de Zn dissous en Méditerranée s'établit à $2 \pm 0,2$ µg/l.

Kremling et Petersen (1981) font état d'une moyenne méditerranéenne de $0,40 \pm 0,16$ µg/l, soit des concentrations voisines des valeurs océaniques.

On a signalé pour les eaux côtières des concentrations de zinc atteignant 210 µg/l et qui sont considérablement accrues par rapport à celles relevées dans les eaux du large en Méditerranée (tableau 5).

4.2 Sédiments

Les concentrations des métaux lourds dans les sédiments côtiers de la Méditerranée ont été amplement étudiées au cours des 6 dernières années. Par contre, on dispose de peu de données relatives au sédiments de la haute mer.

Les processus de sédimentation déposent des métaux lourds conjointement à des matières terrigènes et biogènes au fond de la mer. Ces processus de sédimentation sont très importants dans les deltas fluviaux mais également dans les zones recevant des eaux usées domestiques aussi bien que des effluents et des déchets solides industriels. Les concentrations de métaux lourds dans les sédiments dépendent ainsi non seulement des apports polluants mais aussi de facteurs tels que la teneur en carbone organique, les caractères minéralogiques, la taille des grains et la vitesse de sédimentation.

La détermination des métaux lourds dans les sédiments comporte, dans un premier temps, la solubilisation de l'échantillon. Divers auteurs ont recours à une grande variété de réactifs, généralement acides, depuis la solubilisation totale par $\text{FH-ClO}_4\text{H-NO}_3\text{H}$ jusqu'à la simple extraction par le ClH dilué. Certains chercheurs analysent l'ensemble de l'échantillon, d'autres une fraction de moins de 200, 63 ou 5,5 µm. De toute évidence, en raison même de ces facteurs, il n'est guère facile de comparer les données concernant les teneurs en métaux lourds des sédiments.

La répartition des concentrations de métaux lourds déterminées sur l'ensemble du sédiment peut induire en erreur dans l'identification des zones contaminées par des activités urbaines ou industrielles. Donazzolo et coll. (1984a et b) ont constaté, en étudiant les concentrations de métaux lourds dans des sédiments du nord de la mer Adriatique, que celles-ci dépendent de la composition en fractions fines du sédiment, de l'aire de surface spécifique et du niveau d'accumulation dans la fraction inférieure à 63 µm (ou pélite). Ils signalent que 74 à 86 % de la concentration totale de Cd, Cu, Pb et Zn sont liés à la fraction pélitique.

La relation existant entre les teneurs en métaux lourds des sédiments et les caractères minéralogiques ou la taille des grains a également été constatée lors d'études antérieures menées en Méditerranée (Grancini et coll. 1976; Fascardi et coll., 1984).

Cosma et coll. (1979, 1982, 1983) ont comparé différentes méthodes d'extraction pour l'analyse des sédiments. Des réactifs tels que l'EDTA, $\text{NH}_2\text{OH ClH-CH}_3\text{COOH}$ et ClH 0,5N permettent d'extraire des quantités de Cd, Cu et Pb variant de 10 à 48 % du total.

Une autre difficulté dans la comparaison des teneurs en métaux lourds des sédiments consiste à définir les valeurs de la charge naturelle pour une zone donnée. Ces valeurs de la charge naturelle dépendent de facteurs tels que la taille des grains, la teneur en carbone et la composition minéralogique.

Cadmium

Des publications anciennes ont indiqué que les concentrations de cadmium dans les sédiments marins de la Méditerranée variaient entre 0,1 et 2,3 µg/l (PNUE, 1978). Les données communiquées depuis 1978 sont résumées sur le tableau 6. Les concentrations minimales relevées s'échelonnent de 0,1 à 10 µg/g. Donazzolo et coll. (1984a) font état d'une concentration naturelle probable de Cd de 1,2 µg/l, selon les calculs effectués à partir d'échantillons de carotte. Frigniani et Giordani (1983) ont relevé un intervalle de 0,6-2,5 µg/g dans des sédiments du large, tandis que Voutsinou-Taliadouri obtiennent une valeur de 0,4 µg/g pour des sédiments de la mer Egée. Une concentration naturelle probable de Cd devrait se situer entre 0,1 et 2,5 µg/g.

Dans le voisinage des apports polluants, industriels ou urbains, on a relevé des concentrations variant de 0,3 à 10 µg/g. Des concentrations très élevées (32-64 µg/g) ont été signalées dans les sédiments des lagunes espagnoles (De Leon et coll., 1983), dans la baie d'Izmir, Turquie (Uysal et Tuncer, sous presse) et dans le port d'Alexandrie (Saad et coll. 1981).

Cuivre

Il a été communiqué relativement peu de données sur les concentrations de Cu dans les sédiments du large. Frigniani et Giordani (1983) ont fait part d'un intervalle de 10-44 µg/g, et Voutsinou-Taliadouri (1983) d'une moyenne de 20 ± 7 µg/g. L'analyse d'échantillons de carotte a donné des valeurs s'échelonnant de 15 à 30 µg/g (Donazzolo, 1984a, Cauwet et Monaco, 1983). Shaw et Bush (1978) signalent des valeurs moyennes de Cu égales à 42 µg/g dans les sédiments du large du bassin de Cilicie. Les concentrations naturelles de Cu dans les sédiments méditerranéens devraient ainsi se situer dans une fourchette de 10-44 µg/g, avec une moyenne probable de 15 µg/g.

Les concentrations de cuivre dans les sédiments côtiers (tableau 6) sont considérablement accrues par rapport à ces valeurs naturelles. Il a été relevé des concentrations élevées dans les lagunes du littoral espagnol, dans le delta du Rhône, près de Cannes dans la mer Ligurienne, dans le golfe de Trieste et la baie d'Izmir. Dans le port ouest d'Alexandrie (Saad et coll., 1981), on a enregistré une valeur de 1890 µg/g.

Plomb

Dans des échantillons de carotte sédimentaire, les concentrations de Pb varient de 12 à 32 µg/g (Oregioni, 1980). Selon Donazzolo et coll. (1984a), les valeurs naturelles de Pb calculées à partir d'échantillons de carotte se situent autour de 23 µg/g. Les sédiments du large ont des concentrations comprises entre 15 et 94 µg/g (Frigniani et Giordani, 1983; Voutsinou-Taliadouri, 1983).

Dans les sédiments côtiers, on a relevé des concentrations relativement élevées de Pb (100-3300 µg/g). On décèle pareilles concentrations élevées à proximité d'apports polluants en Espagne, à Marseille, à Cagliari, dans le golfe de Trieste et dans le golfe Thermaïque (tableau 6).

Tableau 6. Concentrations de cadmium, cuivre, plomb et zinc dans les sédiments méditerranéens (µg/g de poids frais)

REGION	METHODE	Cd	Cu	Pb	Zn	REFERENCES
II -Lagune du Var, France -Lagune côtière, Espagne -Delta de l'Ebre -Delta du Rhône	HF-HClO ₄ -HNO ₃ 63µm Conc. HNO ₃ HNO ₃ HNO ₃ -HClO ₄	3.7 10-32 0.1-0.3 0.12-0.37 0.25-5	15.4 10-94 - 7.9-21.5 20-55	26.4 200-2000 10-50 22-48 9	- 500-6200 - 33-104 90-140	Chabert et Vicente, 1981 De Leon et coll., 1983 Peiro et coll., 1983 Obiols et Peiro, 1981 Aded et coll., 1981; Cauwet et Monaco, 1983; Badie et coll., 1983 Arnoux et coll., 1981 Ringot, 1983 Platau et coll., 1983 Breder et coll., 1981 Cosma et coll., 1979, 1982, 1983 Arnoux et coll., 1983 Frignani et Giordani, 1983
-Marseille -Cannes -Golfe de Nice -Estuaires italiens -Mer Ligurienne -Sédiments du large	< 200µm HCl-HNO ₃ < 63µm HNO ₃ -H ₃ P ₄ O ₄ -HCl HNO ₃ -HCl HNO ₃ -HCl HF+HClO ₄ HNO ₃ -HCl HNO ₃	1.8-3 1.8-7 < 0.7-2.4 0.21-0.55 - - 0.7-1.7	29-34 15-80 < 2.1-32 33-53 .14-145 30-49 -	28-1250 30-100 3-112 30-43 30-250 10-28 -	120-2550 50-300 - - 60-970 130-260 -	Arnoux et coll., 1981 Ringot, 1983 Platau et coll., 1983 Breder et coll., 1981 Cosma et coll., 1979, 1982, 1983 Arnoux et coll., 1983 Frignani et Giordani, 1983
III -Côte d'Espagne	-	0.02-10	4-230	23-3300	27-1050	De Leon et coll., sous presse
IV -Lagune de Cagliari -Sédiments du large	0.4NHCl HNO ₃	- 0.5-2.5	10-70 10-44	64-670 19-94	- 20-56	Contu et coll., sous presse Frignani et Giordani, 1983
V -Golfe de Trieste -Golfe de Venise -Baie de Kastela, Yougoslavie -Delta du Pô -Mali Ston, Youg. -Adriatique Nord -Sédiments du large	HNO ₃ NAA<100µm HNO ₃ NAA - HNO ₃	0.3-5.3 0.1-3.1 0.16-1.7 0.08-0.22 < 0.05-5.6 0.80-1.2	9-139 34-37 14-42 1.3-50 13-22 2.3-52 15-30	18-470 5-54 - 9.-73 - 5.3-96 21-43	27-650 48-450 53-1300 24-244 40-100 1.7-870 54-78	Majori et coll., 1979 Angela et coll., 1981 Stegnar et coll., 1979 Fascardi et coll., 1984 Vukadin et coll., sous presse Donazzolo et coll., 1984a, 1984b Frignani et Giordani, 1983

Tableau 6. (Suite)

REGION	METHODE	Cd	Cu	Pb	Zn	REFERENCES
VI						
-Golfe de Patras, Grèce	HF-HNO ₃ HClO ₄	-	23-100	10-40	280-430	Varnavas et Ferentinos, 1983
-Baie de Kalamata	HF-HNO ₃ -HClO ₄	-	11-56	8-40	-	Varnavas et coll., sous presse
-Golfe de Catania	HNO ₃	2.2-4.6	3.8-2.5	4.5-19	25-236	Castagna et coll., 1982
-Sédiments du large	HNO ₃	0.6-1.1	24-29	22-27	55-78	Frigmani et Giordani, 1983
VIII						
-Golfe Thermaïque, Kavala, Grèce	< 63µm HNO ₃ -HClO ₄	0.6-1.1	0.6-2.3	6-28	10-28	Fytianos et Vasilikiotis, 1983
-Golfe d'Eubée, Grèce	< 61µm 0.5N HCl	-	9	37	20	Scoullou et Dasenakis, 1983
-Golfe de Gera, Grèce	< 55µm 0.5N HCl	-	-	-	7-95	Angelidis et coll., 1981
-Golfe Saronique, Grèce	< 61µm 0.5N HCl	-	8-160	9-122	12-390	Scoullou et coll., 1983
-Golfe Thermaïque, Grèce	< 55µm 0.5N HCl	-	-	-	5-1360	Angelidis et coll., 1983
-Golfe Pagasitique, Grèce	< 45µm HNO ₃	0.40-2.5	10-50	25-130	8-240	Voutsinou-Taliadouri, 1983
-Large de l'Egée orientale	< 45µm HNO ₃	-	30	30	130	Voutsinou-Taliadouri, 1983
-Baie d'Izmir	< 45µm HNO ₃ HCl-HNO ₃	0.4 0.2-49	20 14-870	15 20-280	40 53-860	Voutsinou-Taliadouri, 1983 Uysal et Tuncer, sous presse
IX						
-Erdemli, Turquie	HNO ₃ -HClO ₄ -HF	-	31	57	65	Balkas et coll., 1979
-Alexandrie	HNO ₃ HCl	2.8	48	190	180	El Sakkary, 1979
-Port d'Alexandrie	HNO ₃	-	27	-	53	El Sayed et coll., 1981
-Baie d'Aboukir, Egypte	HNO ₃	2	12	-	100	Saad et coll., 1981
-Delta du Nil	HF-HNO ₃	-	5-77	-	2-120	Moussa, 1983
-Bassin de Cilicie	HCl-IN HF-HNO ₃ -HClO ₄	-	6-74 33-50	-	20-100 54-81	Tomma et coll., 1981 Ozkan et coll., 1980
X						
-Estuaire de Damiette Egypte	HNO ₃	0.16-2	29-280	-	20-425	Saad et Fahmy, sous presse
-Port ouest d'Alexandrie	HNO ₃ -HClO ₄	7-64	30-1890	-	23-470	Saad et coll., 1981
XIII						
-Mer Noire, littoral large	HNO ₃	1.3-4.8 2.8	10-100 52	22-88 37	37-250 75	Pecheanu, 1983 Pecheanu, 1983
-Méditerranéenne		0.1-2.3	-	31 9-95	31-2500	PNUE, 1978

Zinc

Les sédiments du large présentent des concentrations de Zn variant de 20 à 78 µg/g (Frigniani et Giordani, 1983; Voutsinou-Taliadouri, 1983). Dans des échantillons de carotte sédimentaire, les concentrations sont comprises entre 50 et 85 µg/g (Donazzolo et coll., 1984a; Cauwet et Monaco, 1983). Shaw et Bush (1978) ont fait état, pour les sédiments du large du bassin de Cilicie, de concentrations moyennes de Zn de l'ordre de 117 µg/g. Les concentrations de zinc dans les sédiments côtiers sont considérablement accrues par rapport à ces valeurs naturelles. On a relevé des concentrations atteignant 6200 µg/g sur la côte espagnole (De Leon et coll., 1983), 2550 µg/g dans la zone de Marseille (Arnoux et coll., 1983), 1300 µg/g dans la baie de Kastela, Yougoslavie (Stegnar et coll., 1979), 1360 µg/g dans le golfe Saronique, Grèce (Angelidis et coll., 1983) et 860 µg/g dans la baie d'Izmir, Turquie (Uysal et Tuncer, sous presse). Dans d'autres zones côtières, les concentrations maximales varient de 100 à 650 µg/g (tableau 6).

Il ressort avec évidence que les teneurs en Cd, Cu, Pb et Zn des sédiments côtiers sont considérablement accrues, par rapport aux valeurs naturelles en Méditerranée, dans les zones qui reçoivent des effluents et des déchets solides industriels, des eaux usées domestiques, de même que dans les deltas et estuaires fluviaux. Les concentrations communiquées par les chercheurs ne dépendent pas seulement du degré effectif de pollution par les métaux lourds dans la zone mais également de la technique d'extraction utilisée ainsi que de la proximité des stations par rapport aux apports polluants. Il est manifeste que, dans certains cas, les valeurs très élevées qui ont été enregistrées ne sont pas représentatives de l'ensemble de la zone étudiée.

4.3 Biotes marins

La connaissance précise des concentrations de métaux lourds dans l'eau de mer et les sédiments ne permet pas nécessairement de prédire les quantités de métaux que les organismes marins vont capter. Nous ne sommes donc pas en mesure, en nous fondant uniquement sur les données concernant les concentrations dans les sédiments et l'eau de mer, de prévoir si un écosystème marin subira des effets nocifs ou si la santé des consommateurs sera exposée à des risques par suite de la consommation d'organismes marins.

Les organismes marins peuvent fixer à un degré variable différentes formes physico-chimiques de métaux lourds. Les algues captent probablement le contenu soluble en métaux lourds de l'eau de mer. Par contre, les mollusques bivalves se nourrissent par filtration et fixent ainsi les métaux lourds soit par ingestion de la nourriture et des matières particulaires inorganiques soit directement à partir de l'eau de mer. Il s'ensuit que les bivalves sont des organismes indicateurs très utiles pour évaluer la pollution par les métaux lourds. De nombreuses variables peuvent influencer sur les concentrations de métaux lourds dans les bivalves, et notamment l'âge, le poids, la taille, le sexe, la saison où est pratiqué l'échantillonnage, ainsi que des facteurs physiques comme la température et la salinité, mais on n'a pu encore déterminer avec précision dans quelle mesure ces variables influent sur les concentrations de métaux lourds (Phillips, 1977).

Fowler et Oregioni (1976), étudiant les variations des concentrations de métaux lourds dans Mytilus galloprovincialis, ont fait état de concentrations maximales dans les échantillons prélevés au printemps. Ils estiment qu'il faut probablement l'attribuer à l'état reproductif des moules, mais aussi aux charges élevées de métaux lourds sous forme particulaire qui sont occasionnées par le ruissellement accru pendant l'hiver.

Les poissons assimilent les métaux à partir de la nourriture et de l'eau de mer. La fixation des métaux peut se produire à travers la surface de l'organisme et notamment à travers les branchies ou la paroi gastro-intestinale. La fixation des métaux à partir de la nourriture constitue vraisemblablement la principale voie d'assimilation (Phillips, 1977).

Les teneurs en métaux lourds du muscle de poisson paraissent varier selon l'âge, la taille ou le poids du poisson, selon ses habitudes alimentaires, la saison ou d'autres facteurs. A l'exception du mercure, l'organisme du poisson ne reflète pas toujours les concentrations ambiantes de métaux lourds, et on le considère donc comme un indicateur médiocre. Mais il importe cependant de surveiller les concentrations de métaux lourds dans le muscle de poisson en vue d'évaluer d'éventuels effets nocifs pour les consommateurs.

On a signalé des variations des concentrations de métaux lourds chez les organismes marins méditerranéens en fonction de la taille, de la saison ou du tissu étudié. Majori et coll. (1979) ont relevé des variations importantes des concentrations de Cd, Cu, Pb et Zn chez Mytilus galloprovincialis qui sont parfois en rapport avec la taille. Hornung et Oren (1981) font état d'une relation inverse entre les concentrations de Cd, Cu, Pb, Zn dans Donax trunculus et la taille de ce mollusque.

D'importantes variations saisonnières de Cd, Cu et Zn dans le foie et les gonades de Mullus barbatus semblent en rapport avec la physiologie sexuelle de ce poisson (Lafaurie et coll., 1981).

Uysal et Tuncer (1983) ont, selon la longueur des poissons et la saison, enregistré des différences dans les teneurs en Cd, Cu, Pb et Zn de Mullus barbatus, Mullus surmuletus et Sardina pilchardus.

Voutsinou-Taliadouri et Satsmajdis (1982) ont observé des concentrations plus élevées de Cd, Cu, Pb et Zn dans les organismes marins du golfe Saronique pendant la période de l'été.

S'agissant de Mullus barbatus, on a relevé une corrélation entre les concentrations de plusieurs métaux lourds, ce qui peut contribuer à mieux comprendre la biochimie de ces métaux (Zafiropoulos, 1981).

Les métaux lourds peuvent s'accumuler à un degré variable dans les diverses parties des organismes marins. Les concentrations du cuivre sont plus élevées dans le foie et le tube digestif de Mullus barbatus et Engraulis encrasicolus (Capelli et coll., 1981). Andréotis et Papadopoulou (1981) ont noté, chez Auris rochei, des différences significatives de la teneur en Zn des muscles blancs et foncés ainsi que du foie. On a fait part des mêmes constatations pour Sarda sarda (Capelli et coll., 1983a).

Une autre question d'une importance majeure consiste à savoir s'il se produit un effet d'amplification le long de la chaîne alimentaire pour les métaux lourds du milieu marin. Campesan et coll. (1981) n'ont décelé aucune preuve concluante d'une accumulation de métaux lourds dans une chaîne alimentaire partielle de la lagune de Venise. Papadopoulou et coll. (1979) ont constaté que les concentrations de Zn décroissaient en fonction du niveau alimentaire dans une partie d'une chaîne alimentaire pélagique de la mer Egée. Selon Bernhard et Andreas (1984), les concentrations de Cd, Cu et Zn commencent d'abord par croître le long de la chaîne alimentaire pour atteindre un maximum avec les crustacés, puis elles retombent avec les poissons.

Au cours du projet MED POL II (Phase I), les concentrations du mercure, du cadmium et d'autres métaux lourds tels que le cuivre, le zinc, le manganèse, le plomb, le nickel et le chrome ont été déterminées dans des organismes marins de la Méditerranée. Les données relatives aux concentrations du mercure compilées dans le cadre de ce projet ont déjà fait l'objet d'une évaluation (PNUE/FAO/OMS, 1983).

Ces dernières années, une masse considérable de données sur les niveaux de Cd, Cu, Pb et Zn dans les organismes marins méditerranéens ont été communiquées dans la littérature, et surtout lors de Journées d'études sur la pollution de la Méditerranée. Les publications dont on a tenu compte mais qui n'ont pas été citées figurent sur une liste de références complémentaire.

La présente évaluation repose principalement sur les données relatives aux teneurs en Cd, Cu, Pb et Zn des organismes marins qui ont été notifiées par les instituts participants. Les résultats de l'exercice d'interétalonnage ont été pris en compte lors du traitement statistique des données en vue d'écarter toute erreur d'analyse.

Il y a lieu de souligner que les concentrations moyennes qui ont été communiquées ne doivent pas être considérées comme des valeurs moyennes représentatives d'une région donnée ou de l'ensemble de la Méditerranée, en raison des conditions différentes prévalant à chacune des stations d'échantillonnage. La plupart des échantillons ont été prélevés dans des zones côtières recevant des effluents industriels ou des eaux usées domestiques et ils sont donc représentatifs de ces zones "polluées". On enregistre une variabilité considérable dans les concentrations communiquées. Les écarts types sont parfois plus élevés que les moyennes arithmétiques correspondantes.

Bien que les données traitées sur ordinateur ne révèlent aucune différence significative selon les régions dans les teneurs en métaux lourds des organismes marins, les chercheurs ont fait état de valeurs accrues pour les zones comportant des apports élevés de métaux lourds.

Dans la lagune de Mar Menor, Espagne, l'immersion de déchets industriels a entraîné l'accumulation de Pb et de Zn dans les bivalves (De Leon et coll., 1983). On a décelé des concentrations élevées de Pb et de Cd, comparativement aux zones non polluées, dans des échantillons de Mullus barbatus, Mytilus galloprovincialis et Merluccius merluccius prélevés dans des golfes de la Grèce du Nord qui reçoivent des effluents industriels et domestiques (Vasilikiotis et coll., 1983). Dans la baie d'Izmir, les concentrations de Cu et de Pb sont accrues chez Mytilus galloprovincialis recueilli dans des zones polluées (Tuncer et Uysal, 1983).

Par contre, d'autres chercheurs ne relèvent aucune augmentation significative des teneurs en métaux lourds des organismes marins dans les zones recevant des effluents industriels ou des eaux usées domestiques (Roth et Hornung, 1977; Grimanis et coll., 1981, 1983; Balkas et coll., 1982; Orlando et Mauri, 1983; Capelli et coll., 1983b).

Dans les eaux du large de la Méditerranée, la majorité des organismes pélagiques analysés présentent des teneurs en métaux lourds qui se situent dans les limites des valeurs communiquées pour les mêmes groupes provenant d'autres régions géographiques (Fowler et coll., 1979).

Stegnar et coll. (1979) signalent que les concentrations de Zn et de Cu dans le poisson mésopélagique sont les mêmes que celles enregistrées dans le poisson côtier. Stoepler et Nürnberg (1979) qui ont étudié les niveaux de métaux lourds dans les biotes marins de la Méditerranée et d'autres mers d'Europe font part de concentrations de Pb inférieures à 10 µg/kg et de concentrations de Cd se situant autour de 3 µg/g.

Cadmium

Les concentrations moyennes de Cd enregistrées dans Mullus barbatus et Mytilus galloprovincialis provenant de différentes régions méditerranéennes sont résumées sur les tableaux 7 et 8.

Dans Mullus barbatus, les valeurs moyennes de Cd varient, selon les régions, de 17 à 50 µg/kg (poids frais). Etant donné la variabilité considérable des données (écarts types supérieurs à 35%), il ne semble pas y avoir de différences significatives entre les moyennes selon les régions.

La moyenne pour l'ensemble de la Méditerranée (335 échantillons) s'établit à 46 µg/kg avec un écart type de 67. Toutefois, la plupart des données se situent en dessous de 60 µg/kg.

Tableau 7. Concentrations de cadmium dans Mullus barbatus, en µg/kg (poids frais)

Région	Nombre d'échantillons	Minimale	Maximale	Moyenne	Ecart Type
II	136	1.0	590	50	90
VI	50	5.0	52	26	14
VII	11	5.5	49	17	15
VIII	46	15	162	47	39
X	21	14	65	39	14

Tableau 8. Concentrations de cadmium dans Mytilus galloprovincialis, en µg/kg (poids frais)

Région	Nombre d'échantillons	Minimale	Maximale	Moyenne	Ecart Type
II	105	40	1060	190	120
V	72	25	475	160	100
VI	25	24	52	38	6
VIII	76	5	780	100	124

Si l'on élimine 5% des valeurs que l'on a considérées comme exagérément élevées, on obtient une valeur moyenne de 34 ± 28 µg/kg pour l'ensemble de la Méditerranée (tableau 9).

Les teneurs en cadmium de Mytilus galloprovincialis varient de 5 à 1060 µg/kg (poids frais). La région VI présente la moyenne la plus faible (38 ± 6 µg/kg). La plupart des valeurs se situent au-dessous de 250 µg/kg, et la moyenne méditerranéenne (en retranchant 5% des valeurs supérieures) s'établit à 120 ± 80 µg/kg.

Quelques échantillons de Mytilus edulis ont été analysés et leur concentration moyenne est de 85 ± 34 µg/kg (tableau 9).

En mer du Nord, les valeurs moyennes signalées pour Mytilus edulis variaient de 30 à 500 µg/kg (CIEM, 1974, 1977a et b). Les valeurs communiquées dans le cadre de l'étude de base du CIEM dans l'Atlantique Nord se situaient entre 90 et 330 µg/kg (CIEM, 1980). Dans la région du ressort de la Commission d'Oslo (1983), les teneurs en Cd de Mytilus edulis dont on a fait état étaient comprises entre 43 et 12600 µg/kg, soit une moyenne de 1040. Les valeurs méditerranéennes ne présentent pas d'accroissement si on les compare avec ces valeurs précitées.

On a relevé les teneurs en cadmium de Thunnus thynnus thynnus dans des échantillons provenant de la région II. La concentration moyenne s'établissait à 38 ± 43 µg/kg. Pour Thunnus alalunga, la moyenne des concentrations communiquées était de $23 \pm 6,5$ µg/kg.

Les concentrations moyennes de Cd dans d'autres organismes marins de la Méditerranée sont récapitulées sur le tableau 9. La plus élevée a été décelée dans Mullus surmuletus (140 µg/kg).

Tableau 9. Concentrations moyennes de cadmium dans des organismes marins de la Méditerranée, en µg/kg (poids frais)

Espèce	Nombre d'échantillons	Moyenne	Ecart Type
<u>Donax trunculus</u>	16	80	26
<u>Engraulis engrasicolus</u>	81	34	25
<u>Merluccius merluccius</u>	27	63	34
<u>Mugil auratus</u>	10	47	85
<u>Mullus barbatus</u>	318	34	28
<u>Mullus surmuletus</u>	218	140	83
<u>Mytilus galloprovincialis</u>	265	120	83
<u>Mytilus edulis</u>	10	85	34
<u>Nephrops norvegicus</u>	61	50	39
<u>Parapenaeus longirostris</u>	27	46	55
<u>Thunnus alalunga</u>	38	23	6.5
<u>Thunnus thynnus thynnus</u>	111	38	43

Cuivre

Les concentrations moyennes par région de Cu dans Mullus barbatus varient de 380 à 930 µg/kg (tableau 10). On ne peut observer de variations significatives entre les régions en raison des écarts types extrêmement élevés des moyennes.

Dans Mytilus galloprovincialis, les concentrations de cuivre sont considérablement plus élevées, avec des moyennes comprises entre 1000 et 1900 µg/kg (tableau 11). Ces valeurs se situent dans les intervalles communiqués pour Mytilus edulis en mer du Nord (600-9400 µg/kg) (CIEM, 1977a, et b).

Le tableau 12 récapitule les concentrations de cuivre enregistrées dans d'autres organismes marins de la Méditerranée. Les poissons présentent les teneurs les plus faibles (400-2100 µg/kg) alors que celles des bivalves et des crustacés sont considérablement plus élevées (1300-8500 µg/kg).

Tableau 10. Concentrations de cuivre dans Mullus barbatus, en µg/kg
(poids frais)

Région	Nombre d' Echantillons	Minimale	Maximale	Moyenne	Ecart type
II	153	200	1300	405	172
IV	208	2.5	1000	380	127
VII	10	360	2700	930	684
VIII	60	220	1470	600	280
X	23	69	2550	800	560

Tableau 11. Concentrations de cuivre dans Mytilus galloprovincialis, en µg/kg
(poids frais)

Région	Nombre d' Echantillons	Minimale	Maximale	Moyenne	Ecart type
II	55	504	4800	1500	900
IV	85	70	6000	1900	1100
V	58	163	4400	1000	900
VIII	13	750	2800	1600	600

Tableau 12. Concentrations moyennes de cuivre dans des organismes marins de la Méditerranée, en $\mu\text{g}/\text{kg}$ (poids frais)

Espèces	Nombre d'échantillons	Moyenne	Ecart type
<u>Donax trunculus</u>	19	3500	1800
<u>Engraulis encrasicolus</u>	97	990	560
<u>Mugil auratus</u>	31	700	960
<u>Mullus barbatus</u>	444	400	140
<u>Mullus surmuletus</u>	20	600	540
<u>Mytilus galloprovincialis</u>	204	1300	700
<u>Nephrops norvegicus</u>	303	5700	1900
<u>Parapenaeus longirostris</u>	22	8500	8000
<u>Penaeus kerathurus</u>	12	5200	2700
<u>Sarda sarda</u>	27	2100	1700

Zinc

Les concentrations moyennes de Zn dans Mullus barbatus provenant de différentes régions de la Méditerranée varient de 3500 à 5100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (tableau 13). La moyenne méditerranéenne (en retranchant 5% des valeurs supérieures) s'établit à 3900 \pm 900 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (tableau 14). On ne constate pas de variations significatives selon les régions méditerranéennes.

Dans Mytilus galloprovincialis, les concentrations moyennes sont comprises entre 17000 et 45000 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Les intervalles globaux se situent entre 3150 et 97700 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Les données communiquées pour la mer du Nord correspondent à des taux identiques (CIEM, 1974, 1977a, 1977b).

Le tableau 14 récapitule les concentrations de Zn dans d'autres organismes marins méditerranéens. Pour les poissons, les concentrations moyennes varient de 2900 $\mu\text{g}/\text{kg}$ dans Upeneus moluccensis à 18000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ dans Engraulis encrasicolus. Les bivalves et les crustacés présentent des teneurs plus élevées (11000-41000 $\mu\text{g}/\text{kg}$).

Tableau 13. Concentrations de zinc dans Mullus barbatus, en µg/kg
(poids frais)

Région	Nombre d'échantillons	Minimale	Maximale	Moyenne	Ecart type
II	132	100	7100	4000	970
IV	221	400	7000	4000	1000
VII	11	2700	5800	4300	860
VIII	40	2570	6890	3500	800
IX	12	3660	7400	5100	1040
X	23	3060	5870	4400	650

Tableau 14. Concentrations moyennes de zinc dans des organismes marins de la Méditerranée, en µg/kg (poids frais)

Espèces	Nombre d'échantillons	Moyenne	Ecart type
<u>Donax trunculus</u>	17	21000	17000
<u>Engraulis encrasicolus</u>	75	18000	6700
<u>Mugil auratus</u>	66	10600	15000
<u>Mullus barbatus</u>	435	3900	900
<u>Mullus surmuletus</u>	24	10000	14000
<u>Upeneus moluccensis</u>	13	2900	1100
<u>Mytilus galloprovincialis</u>	179	27000	13000
<u>Nephrops norvegicus</u>	279	15000	2800
<u>Parapenaeus longirostris</u>	19	11000	3400
<u>Penaeus kerathurus</u>	22	22000	16000
<u>Carcinus mediterraneus</u>	13	41000	29000

Tableau 15. Concentrations de zinc dans Mytilus galloprovincialis, en µg/kg (poids frais)

Région	Nombre d'échantillons	Minimale	Maximale	Moyenne	Ecart type
II	26	13000	60200	28000	10700
IV	84	3150	63000	34000	11200
V	58	2500	64250	17000	12000
VIII	21	9200	97700	45000	24600

Plomb

Les concentrations moyennes de Pb dans Mullus barbatus pour trois régions méditerranéennes varient de 60 à 370 µg/kg. Les intervalles globaux étaient compris entre 23 et 610 µg/kg (tableau 16).

Les concentrations de plomb dans Mytilus galloprovincialis étaient considérablement plus élevées, avec des moyennes oscillant entre 600 et 1800 µg/kg (tableau 17).

On constate une variabilité énorme des concentrations communiquées. Les écarts types représentent plus de 100% des moyennes.

La moyenne pour l'ensemble de la Méditerranée (en écartant 5% des valeurs supérieures) est de 800 ± 800 µg/kg (tableau 18). Les données relevées pour la côte canadienne dans le cadre de l'étude de base sur l'Atlantique Nord du CIEM indiquent une variation similaire mais une moyenne globale plus faible s'établissant à 330 µg/kg (CIEM, 1980). Le GESAMP (1983) fait état pour Mytilus sp. de concentrations inférieures à 1000 µg/kg.

Dans d'autres organismes méditerranéens, les concentrations moyennes de Pb varient de 70 à 1200 µg/kg (tableau 18).

Tableau 16. Concentrations de plomb dans Mullus barbatus, en µg/kg (poids frais)

Région	Nombre d'échantillons	Minimale	Maximale	Moyenne	Ecart type
II	173	23	243	60	31
X	22	145	610	370	121

Tableau 17. Concentrations de plomb dans Mytilus galloprovincialis, en µg/kg (poids frais)

Région	Nombre d'échantillons	Minimale	Maximale	Moyenne	Ecart type
II	101	50	6800	600	790
IV	85	50	16100	1800	2400
V	92	50	7825	840	1300
VIII	80	55	8260	1100	1500

Tableau 18. Concentrations moyennes de plomb dans des organismes marins de la Méditerranée, en µg/kg (poids frais)

Espèces	Nombre d'échantillons	Moyenne	Ecart type
<u>Donax trunculus</u>	19	1200	650
<u>Mullus barbatus</u>	435	70	45
<u>Mytilus galloprovincialis</u>	344	800	800
<u>Thunnus thynnus thynnus</u>	53	117	170

5. EFFETS SUR LA SANTE

Cadmium

Pour les populations humaines générales, la principale voie d'exposition au cadmium consiste en l'alimentation, et la contribution des autres voies (milieu de travail, air ambiant, eau de boisson et tabac) à l'apport total de ce métal est habituellement réduite. Le Comité conjoint FAO/OMS d'experts sur les additifs alimentaires (JEFCA) a proposé un apport hebdomadaire tolérable de 0,4-0,5 mg par individu d'un poids corporel de 70 kg. Mais cette estimation est purement provisoire, et le Comité a souligné qu'elle devrait être révisée quand des données plus précises et des indices plus concluants seraient disponibles. Cette révision est toujours en cours, et jusqu'à présent il n'a pas encore été émis de critères d'hygiène du milieu pour le cadmium.

Il passe en moyenne dans la circulation sanguine 5% du cadmium présent dans l'appareil gastro-intestinal. Les 95% restants sont éliminés avec les fèces. Le cadmium sanguin disparaît rapidement pour s'accumuler principalement dans les reins et le foie. Avec le temps, le cadmium concentré dans le foie est redistribué dans les reins où il s'accumule dans les tissus et/ou est excrété par les urines. Une exposition répétée entraîne une diffusion et une accumulation dans la plupart des autres organes du corps.

Le rein est l'organe critique où s'exercent les effets de l'intoxication par le cadmium chez l'homme. Lors d'une exposition par inhalation de taux élevés de cadmium, les poumons peuvent également être atteints. Mais cet effet ne devrait pas survenir lors de l'ingestion de produits de la mer. Il peut se produire un dysfonctionnement tubulaire rénal quand la concentration du cadmium est de l'ordre de 200 µg/g de poids sec de cortex rénal (soit une concentration dix fois plus élevée que celle relevée chez les sujets soumis à un niveau naturel d'exposition).

Comparativement aux autres catégories d'aliments, le risque associé à l'apport de cadmium par ingestion de produits de la mer paraît être d'une importance mineure, à l'exception des crustacés et des mollusques. Mais ces derniers ne constituent pas une part substantielle du régime alimentaire courant. Quand on décèle des concentrations relativement élevées, cette source de cadmium pourrait revêtir une importance pour l'apport total de cet élément chez des groupes régionaux particuliers de population.

Cuivre

Selon les éléments d'appréciation disponibles, le cuivre contenu dans les produits de la mer ou dans l'eau de mer ne présente aucun risque pour l'homme.

Zinc

D'après les données dont on dispose, le zinc n'a pu être incriminé dans aucune des affections occasionnées chez l'homme par la consommation de produits de la mer.

La principale voie d'exposition au zinc chez l'homme consiste en l'inhalation d'émanations. On a également signalé des cas d'intoxication par le zinc dus à une consommation prolongée d'eau provenant de canalisations galvanisées. Les troubles provoqués par le zinc comprennent la fièvre des fondeurs, l'irritation de la gorge, la toux, la dyspnée, les douleurs musculaires et articulaires, l'irritation gastrique, des ulcères gastro-duodénaux et divers effets hépatiques. On ne dispose pas jusqu'ici d'indices selon lesquels un excès de zinc serait concérigène, mutagène ou tératogène.

Plomb

Pour les populations humaines générales, l'apport quotidien total de plomb est principalement dû à l'alimentation, bien que l'eau et l'air puissent fournir une contribution importante sous certaines conditions.

L'anémie constitue classiquement l'un des effets toxiques précoces chez l'homme, et à cet égard l'enfant paraît être plus sensible que l'adulte. Le système nerveux est également atteint, les effets eux-mêmes variant en fonction de la durée et de l'intensité de l'exposition. Les effets provoqués par le plomb au niveau du cerveau sont beaucoup plus fréquemment associés au saturnisme de l'enfant qu'à celui observé chez l'adulte. Dans le cas de saturnisme chronique, on peut assister à des effets frappants mentionnés sous le terme d'encéphalopathie saturnine. Les éléments principaux en sont l'hébétéude, l'agitation, l'irritabilité, les céphalées, les tremblements musculaires, les hallucinations, la perte de la mémoire et de la faculté de concentration. Ces signes et symptômes peuvent évoluer jusqu'au délire, la manie, les convulsions, la paralysie et le coma. Chez les enfants, y compris les enfants en bas âge, les signes et symptômes de l'encéphalopathie saturnine sont tout à fait semblables à ceux relevés chez les adultes.

Le plomb atteint également les reins et l'appareil gastro-intestinal. Au niveau de ce dernier, les coliques, l'un des symptômes du saturnisme, constituent un signe d'alerte assez régulier d'effets potentiels plus graves susceptibles de survenir lors de périodes prolongées d'exposition. Les coliques saturnines sont également associées à des troubles hématologiques et à un degré élevé d'anémie. On a aussi signalé une altération des fonctions thyroïdienne et surrénalienne dans des cas de saturnisme.

Le Comité mixte FAO/OMS d'experts des Additifs alimentaires (JEFCA) de 1972 (FAO/OMS, 1972) a recommandé un apport hebdomadaire admissible de 3,0 mg de plomb pour les adultes. Cette valeur correspond à un apport d'environ 430 µg par jour.

Etant donné que l'homme peut être exposé au plomb par plusieurs sources, il ne semble pas que la consommation de produits de la mer comporte en tant que telle un risque pour la santé. Mais on doit envisager ce facteur à la fois sur un plan absolu (c'est-à-dire les niveaux de contamination et la consommation) et en association avec l'exposition au plomb provenant d'autres sources.

6. CONCLUSIONS

1. Les apports de Pb et Zn et Méditerranée doivent être considérés pour le moment comme une première approximation. Quant à l'apport de Cd et de Cu, aucune estimation n'a pu en être effectuée en raison du manque de données. La nouvelle étude menée sur les sources d'émission telluriques fournira des renseignements plus pertinents.
2. On dispose de fort peu de données sur les concentrations de métaux lourds dans les eaux du large en Méditerranée. Les eaux côtières situées à proximité d'apports polluants présentent des teneurs accrues en métaux lourds. A la lumière des progrès récents survenus dans les techniques d'analyse, on peut se demander si toutes ces données sont fiables. Les quelques données très récentes qui ont été communiquées et que l'on peut tenir pour fiables indiquent que les teneurs en Cd, Cu, et éventuellement en Pb, sont plus élevées dans les eaux de la Méditerranée que dans celles de l'Atlantique.

3. En général, les concentrations de Cd, Cu, Pb et Zn sont considérablement augmentées dans les sédiments des zones côtières qui reçoivent des effluents d'égouts, des déchets solides ou des déversements de cours d'eau. Il est cependant impossible d'évaluer le degré de pollution par les métaux lourds en l'absence de valeurs fiables de la charge naturelle. La grande diversité des méthodes d'extraction et de solubilisation utilisées dans l'analyse des sédiments et le manque général de données concernant la taille des grains, la teneur en carbone organique et la composition minéralogique rendent difficile la comparaison des concentrations de métaux lourds relevées dans les sédiments.
4. Les données sur les concentrations des métaux lourds dans les organismes marins indiquent une variabilité considérable. On ne peut à l'heure actuelle préciser si cela résulte d'une variabilité naturelle reflétant différents milieux, ou d'analyses médiocres, ou d'une répartition géographique inégale des échantillonnages. A l'exception du plomb, l'étude des métaux lourds contenus dans les moules méditerranéennes n'indique aucune augmentation des concentrations par rapport aux valeurs relevées dans les moules de l'Atlantique ou de la mer du Nord.
5. Il est impossible à l'heure actuelle d'apprécier s'il se produit une augmentation très importante des concentrations dans les organismes marins provenant de zones polluées de la Méditerranée étant donné que les échantillons sont peu nombreux et ont été prélevés dans des zones relativement peu souillées.

7. REFERENCES

7.1 Références citées*

- Aded, A., F. Fernex et J.P. Mangin (1981), Répartition des oligoéléments métalliques dans les sédiments marins devant l'embouchure du grand Rhône. Diverses modalités de transports. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980),535-543
- Alpha, M., C. Caristi, G. Cimino and M. Ziino (1982), Heavy metals in Ionian and Tyrrhenian waters from a section of the Sicilian coast. Mar.Pollut.Bull., 13, 399-400
- Andreotis, J.S. and C. Papadopoulou (1981), A comparison of trace element content in muscle (dark and white) and liver of Auxis rochei. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980),313-316
- Angela, G., R. Donazzolo, O. Hieke-Merlin, L. Menegazzo Vitturi, A.A. Orio, B. Pavoni, G. Perin and S. Rabitti (1981), Heavy metal contents in bottom sediments from the Gulf of Venice and comparisons on their nature. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980),399-406

* Il n'est pas fait nommément référence aux participants au MED POL qui ont communiqué des données au PNUE. Leurs données ont été englobées dans les publications correspondantes du PNUE citées dans la présente liste.

- Angelidis, M., A.P. Grimanis, D. Zafiropoulos and M. Vassilaki-Grimani (1981), Trace elements in sediments of Evoikos Gulf, Greece. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 413-417
- Angelidis, M., D. Zafiropoulos and A.P. Grimanis (1983), Hydrochloric acid extractable and residual trace element concentration in sediments around the Athens sewage outfall. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982),339-343
- Arnold, M., A. Seghaier, D. Martin, P. Buat-Menard et R. Chesselet (1983), Géochimie de l'aérosol marin au-dessus de la Méditerranée Occidentale. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982),27-37
- Arnoux, A., A. Blanc, A. Jorajuria, J.L. Monod et J. Tatossian (1981), Etat actuel de la pollution sur les fonds du secteur de Cortiou (Marseille). Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980),459-470
- Arnoux, A., H. Chamley, D. Bellan-Santini, J. Tatossian et C. Diana (1983), Etude minéralogique et chimique des sédiments profonds de la Méditerranée Occidentale (Mission BIOMEDE II). Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982),385-394
- Badie, C., A. Added, F. Fernex, F. Rapin et D. Span (1983), Détermination de la part qui revient à la contamination dans l'apport en métaux par le Rhône. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982),65-72
- Baffi, F., M. Fabiano, R. Frache et A. Dadone (1983a), Cd, Cu, Fe, Ni et paramètres de l'environnement dans les eaux côtières Liguriennes. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982),421-424
- Baffi, F., A. Dadone and R. Frache (1983b), Heavy metals in inshore waters near Genoa. Mar.Pollut.Bull., 14, 469-471
- Baffi, F., R. Frache, A. Dadone and B. Cosma (1983c), The determination of heavy metals in the Ligurian Sea. Distribution of copper, iron and nickel in the 0-200 metre layer in open sea. Chemical Ecol. 1, 233-244
- Baffi, F., M. Fabiano, R. Frache et A. Dadone (1984), Détermination des métaux lourds dans la mer Ligurienne. IV, Cd, Cu, Fe et Ni dans le filtre, dans le particulate et paramètres de l'environnement dans les eaux côtières Liguriennes. Chem. Ecol, 2,23-38
- Balkas, T.I., I. Salihoglu, G. Tuncel, S. Tugrul et G. Ramelow (1979), Trace metals and organochlorine residue content of Mullidae family fishes and sediments in the vicinity of Erdemli (Içel), Turkey. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 4(1978),159-163
- Balkas, T.I., S. Tugrul and I. Salihoglu (1982), Trace metal levels in fish and crustacea from northeastern Mediterranean coastal waters. Mar.Environ.Res., 6, 281-289
- Bernhard, M., (1983), Levels of trace metals in the Mediterranean. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982),237-243
- Bernhard, M. and M.O. Andreae (1984), Transport of trace metals in marine food chains. In: Changing metal cycles and human health, J.O. Nriagu, (Ed.) Life Sciences, Research Report 28, Springer-Verlag, 143-167

- Bewers, J.M. and P.A. Yeats (1981), Behaviour of trace metals during estuarine mixing. In: River Inputs to Ocean Systems, United Nations, 103-115
- Boyle, E.A., S.D. Chopnich, X.X. Bai, A. Spivack and S.S.Hueskel (sous presse), Trace metal enrichments in the Mediterranean Sea. Earth Planetary Sci.Lett.
- Breder, R., H.W. Nurnberg and M. Stoeppler (1981), Toxic trace metal levels in water and sediments from the estuaries of the southern Ligurian and northern Tyrrhenian coasts: a comparative study. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 285-292
- Brewer, P.G. (1975), Minor elements in sea water, in "Chemical Oceanography", Vol. 1, 2nd edn., Riley, J.P. and Skirrow, G., (Eds.) Academic Press, London, 415-49
- Brundland, W. and R.P.Franks (1979), Sampling and analytical methods for the determination of copper, cadmium, zinc and nickel at the nanogram per liter level in seawater. Anal.Chim.Acta, 105, 233-245
- Brundland, K.W., G.A. Knauer and J.H.Martin (1978a), Cadmium in north-east Pacific waters. Limnol. Oceanog, 23, 618-625
- Brundland, K.W., G.A. Knauer and J.H. Martin (1978b), Zinc in north-east Pacific waters. Nature, Lond. 271, 741-743
- Bryan, G.W. (1976), Heavy metal contamination in the Sea. In: Marine Pollution, R. Johnston (Ed.) Academic Press, 185-302
- Buat-Menard, P., C.E. Lambert, M. Arnold and R. Chesselet (1980), Multi-element neutron activation analysis measurements towards the geochemistry of particulate matter exchange between continent-atmosphere-ocean. Radioanal. Chem. 55, 445-452
- Buscail, R. and G. Cauwet (sous presse), Apports des elements metalliques par les fleuves côtiers Méditerranéens: Importance du piégeage dans les étangs et devant les embouchures. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 7(1984)
- Campesan, G., R. Capelli, G.Pagotto, G. Stocco and G. Zanicchi (1981), Heavy metals in organisms from the lagoon of Venice (Italy). Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 317-322
- Capelli, R., A. Cappelletto, A. Franchi and G. Zanicchi (1981), Métaux lourds contenus dans certains organes des rougets (Mullus barbatus) et d'anchois (Engraulis encrasicolus) du golfe de Gênes. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 269-274
- Capelli, R., V. Contardi, B. Cosma, V. Minganti and G. Zanicchi (1983a), Résultats préliminaires d'une recherche sur la teneur en métaux dans les tissus et les organes de Pélamydes (Sarda sarda) échantillonnés dans le Golfe de Gênes. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 315-318
- Capelli, R., V. Contardi, B. Cosma, V. Minganti and G. Zanicchi (1983b), A four-year study on the distribution of some heavy metals in five marine organisms of the Ligurian Sea. Mar.Chem, 12, 281-293

- Castagna, A., F. Sarro, F. Sinatra and E. Console (1982), Heavy metal distribution in sediments from the Gulf of Catania (Italy). Mar.Pollut.Bull., 3, 432-434
- Cauwet, G. et D. Faguet (1981), Conditions de sédimentation des éléments métalliques dans un milieu lagunaire: exemples du zinc et du manganèse. Rapp. Comm. Int. Mer Médit., 27, 151-154
- Cauwet, G. et A. Monaco (1983), Pollution des zones profondes de la Méditerranée occidentale par les métaux lourds. Rôle de la dynamique sédimentaire. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 53-58
- Chabert, D. et N. Vicente (1981), Pollution chimique par les métaux lourds et les composés organochlorés d'un milieu lagunaire (Lagune du Brusco, Méditerranée, France). Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 323-333
- Chesselet, R., D. Baron, H. Benard and P. Buat-Ménard (1979), La chimie des métaux lourds dans l'aérosol de la Méditerranée occidentale et son influence sur la chimie des particules en suspension. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 4(1978), 81-90
- Chester, R., A.C. Saydam and E. Joanna Sharples, (1981), An approach to the assessment of local trace metal pollution in the Mediterranean marine atmosphere. Mar.Pollut.Bull., 12, 426-43
- Chester, R., E. Joanna Sharples, K. Murphy, A.C. Saydam and G.S. Sanders (1983), The atmospheric distribution of lead over a number of marine regions. Mar.Chem., 13, 57-72
- Chow, T.J., K.W. Bruland, K. Bertine and A. Soutar (1973), Lead Pollution: Records in Southern California coastal sediments. Science, 181, 551-552
- Contu, A., G. Sarritzu and M. Schintu (sous presse), The application of different analytical extraction methods in the study of sediments in a polluted lagoon. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 7(1984)
- Copin-Montegut, G., P. Courau et T. Nicolas (sous presse), Distribution et transferts d'éléments traces en Méditerranée occidentale. Nouveaux résultats PHYCEMED. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 7 (1984)
- Cosma, B., M. Drago, M. Piccazzo, G. Scarponi and S. Tucci (1979), Heavy metals in Ligurian Sea sediments: Distribution of Cr, Cu, Ni and Mn in superficial sediments. Mar.Chem, 8, 125-142
- Cosma, B., R. Frache, F. Baffi and A. Dadone (1982), Trace metals in sediments from the Ligurian coast, Italy. Mar.Pollut.Bull., 13, 127-132
- Cosma, B., V. Contardi, G. Zanicchi and R. Capelli (1983), Heavy metals in superficial sediments from the Ligurian Sea, Italy. Chemical Ecol. 1, 331-344
- De Leon, A.R., J. Guerrero and F. Faraco (1983), Evolution of the pollution of the coastal lagoon of Mar Menor. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 355-358
- De Leon, A.R., J. Mas, J. Guerrero and A. Jornet (sous presse), Monitoring of heavy metals in superficial sediment and some marine organisms from the Western Mediterranean coast. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 7(1984)

- Donazzolo, R., O. Hieke Merlin, L. Menegazzo Vitturi and B. Pavoni (1984a), Heavy metal content and lithological properties of recent sediments in the northern Adriatic. Mar.Pollut.Bull., 15,93-101
- Donazzolo, R., A.A. Orio, B. Pavoni and G. Perin (1984b), Heavy metals in sediments of the Venice Lagoon. Oceanol. Acta, 7,25-32
- El-Sayed, M.A., and M.Kh. El-Sayed (1981), Levels of heavy metals in the surface water of a semi-enclosed basin along the Egyptian Mediterranean coast. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 223-227
- El-Sayed, M.Kh., M.A. El-Sayed and A.A. Moussa (1981), Anthropogenic material in sediment from the eastern harbour of Alexandria, Egypt. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 215-221
- El-Sokkary, I.H. (1979), Distribution and nature of heavy metals in some marine sediments of the Mediterranean Sea coast, east of Alexandria, Egypt. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 4(1978), 183-185
- FAO/OMS (1972), Evaluation de certains additifs alimentaires et des contaminants: mercure, plomb et cadmium. Seizième rapport du Comité mixte FAO/OMS d'experts des Additifs alimentaires. Genève, OMS (Série de rapports techniques No. 505)
- Fascardi, F., M. Frignani, P. Giordani, S. Guerzoni and M. Ravaioli (1984), Sedimentological and geochemical behaviour of heavy metals in the area near the Po river delta. Presented at the 1st International Meeting on Marine Geology in Italy, S. Benedetto del Tronto, 16-18 April, 1984
- Flatau, G.N., P. Revillon, M. Aubert, J. Aubert et R. Clement (1983), Répartition du mercure, cadmium, plomb et cuivre dans les sédiments superficiels de la baie de Nice (France). Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 373-376
- Fleischer, M. (1972), Natural sources of some trace elements in the environment in: Cycling and control of metals. Proceedings of an Environmental Resources Conference. Curry, M.G., Cigliotti, G.M. (Compilers), National Environmental Research Center, Cincinnati, 3-10
- Förstner, U. and T.W. Wittmann (1983), Metal Pollution in the Aquatic Environment. Second Edition, Springer-Verlag, Heidelberg
- Fowler, S.W. (1977), Trace elements in Zooplankton particulate products. Nature, 26, 951-53
- Fowler, S.W. and B. Oregioni (1976), Trace metals in Mussels from the N.W. Mediterranean. Mar.Pollut.Bull., 7,26-29
- Fowler, S.W., J. La Rosa, Y. Unlu, B. Oregioni, J.P. Villeneuve, D.L. Elder, R. Fukai, D. Vallon and M. Boisson (1979), Heavy metals and chlorinated hydrocarbons in pelagic organisms from the open Mediterranean Sea. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 4(1978), 155-158
- Frache, R., F.Baffi, A. Dadone, G. Scarponi and I. Dagnino (1980), The determination of heavy metals in the Ligurian Sea. II. The geographical and vertical distribution of Cd, Cu and Ni. Deep-Sea Res. 27A,1059-1082

- Frignani, M. and P. Giordani (1983), Metalli pesanti in sedimenti antichi e recenti dei mari Italiani. Atti del 5 Congresso della Associazione Italiana di Oceanologia e Limnologia. Stessa, 19-22 Maggio, 1982, 525-534
- Fukai, R. and L. Huynh-Ngoc (1976), Copper, zinc and cadmium in the coastal waters of N.W. Mediterranean. Mar.Pollut.Bull., 7, 9-13.
- Fytianos, K. and G.S. Vasilikiotis (1983), Concentration of heavy metals in sea-water and sediments from the northern Aegean Sea, Greece. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 151-155
- GESAMP (1983), Reports and Studies, No 22, Review of Potentially Harmful Substances, cadmium, lead and tin. IMO/FAO/UNESCO/WHO/IAEA/UN/UNEP, Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution
- Grancini, G. M.B. Stievano, F. Girardi, G. Guzzi and R. Pietra (1976), The capability of neutron activation for trace element analysis in sea water and sediment samples of the northern Adriatic sea. J. Radioan.Chem., 34, 65-78
- Grimanis, A.P., D. Zafirooulos, C. Papadopoulou and M. Vassilaki-Grimani (1981), Trace elements in the flesh of different fish species from three Gulfs of Greece. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 407-412
- Grimanis, A.P., D. Zafirooulos, C. Papadopoulou, T. Economou and M. Vassilaki-Grimani (1983), Trace elements in Mytilus galloprovincialis from three Gulfs of Greece. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 319-322
- Gücer, S. and O. Yaramaz (1980), Lead and cadmium pollution in Izmir Bay. VIIth Tübitak Congress, 3-7 Nov., 1980, Istanbul (in Turkish)
- Heltz, G.R., R.J. Huggett and J.M. Hill (1975), Behaviour of Mn, Fe, Cu, Zn, Cd and Pb discharged from a wastewater treatment plant into an estuarine environment. Water Res., 9, 631-636
- Hornung, H. and O.H. Oren (1981), Heavy metals in Donax trunculus L. (Bivalvia) in Haifa Bay, Mediterranean (Israel) Mar.Environ.Res., 4, 195-201
- Huynh-Ngoc, L. and D. Zafirooulos (1981), A preliminary investigation of Cu, Cd and Zn concentrations in seawater from Northern Saronikos Gulf, Greece by differential pulse Anodic Stripping. Rapp.Comm.Int.Mer Médit., 27, 9-11
- Huynh-Ngoc, L. and R. Fukai (1979), Levels of trace metals in open Mediterranean surface waters - a summary report. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 4(1978), 171-175
- ICES (1974), Final Report of a Working Group for the international study of the pollution of the North Sea and its effects on living resources and their exploitation. Coop.Res.Rep.ICES. (39)
- ICES (1977a), The ICES Co-ordinated monitoring programme in the North Sea, Coop.Res.Rep.ICES. (58)
- ICES (1977b), The ICES co-ordinated monitoring programmes 1976 and 1977. Coop. Res.Rep.ICES. (72)

- ICES (1980), Extension to the baseline study of contaminated levels in living resources of the North Atlantic. Coop.Res.Rep.ICES. (95)
- IRPTC (1978), Data profiles for chemicals for the evaluation of their hazards to the environment of the Mediterranean Sea. UNEP, Geneva, Switzerland
- Kitano, Y. and M. Sakata (1978), Behaviour of heavy metals in river input to the ocean system. Processings of the Colloquium on Aquatic Environment in Pacific Region. August 21-23, 1978, Scope, Academia Sinica, Taipei
- Kremling, K. and H. Petersen (1981), The distribution of zinc, cadmium, copper, manganese and iron in waters of the open Mediterranean Sea. Meteor Forschungserger (A. Allg. Phys. Chem. Meeres) (B. Meteorol. Aeron.) 23, 5-14
- Lafaurie, M., P. Miramand, J.C. Guary and S.W. Fowler (1981), Variations des concentrations de Cu, Fe, Zn, Mn, Cd et V dans les principaux organes de Mullus barbatus Linné au cours du cycle seuel. Résultats préliminaires. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 373-376
- Laumond, F., G. Copin-Montegut, P. Courau et E. Nicolas (1983), Niveaux de concentrations en métaux lourds dans des eaux de Méditerranée Occidentale. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 115-123
- Majori, L., G. Nedoclan, G.B. Modonutti and F. Daris (1979), Levels of metal pollutants in sediments and biota of the Gulf of Trieste: a long term survey. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 4(1978), 237-243
- Marijanovic, P., J. Makjanic and V. Valkovic (1983), Trace element analysis of waters by X-ray emission. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 345-347
- Morel, F.M.M., J.C. Westall, C.R. O'Melia and J.J. Morgan (1975), Fate of trace elements in Los Angeles country wastewater discharge. Envir.Sci. Technol. 9, 756-761
- Moussa, A.A. (1983), Trace elements in recent sediments of the Nile Delta continental shelf: their accumulation and significance. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 401-404
- Nürnberg, H.W. (1977), Potentialities and application of advanced polarographic and voltammetric methods in environmental research and surveillance of toxic metals. Electroch.Acta, 22, 935-949
- Obiols, J. and L. Peiro (1981), Heavy metals in marine sediments from the Delta del Ebro. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 391-394
- Oregioni, B. (1980), Application de la spectrophotométrie d'absorption atomique à la détermination du plomb dans les sédiments de la Méditerranée. Thèse 3ème cycle, Institut de Mathématiques et Sciences Physiques, Université de Nice
- Oregioni, B., L. Huynh-Ngoc and R. Fukai (1979), Mediterranean rivers as sources of trace metals in coastal waters. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 4(1978), 71-75

- Orlando E. and M. Mauri (1983), A comparative study on the presence of heavy metals in bivalves from an estuarine area. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 335-338
- Oslo Commission (1983), Sixth annual report
- Ozkan, M.A., G. Tuncel, S. Tugrul, G. Ramelow and T. Balkas (1980), Extraction of heavy metals from marine sediments for analysis by atomic absorption spectrometry. Some factors affecting extraction efficiency. In: Analytical techniques in environmental chemistry, J. Albaiges (Ed.), Pergamon Press, Oxford, New York, pp. 616-619
- Palumbo, A. and M. Ianibelli (sous presse), Atmospheric contribution to the Marine Pollution in the Bay of Naples. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 7(1984)
- Papadopoulou, C., D. Zafiropoulos, I. Hadjistelios, M. Vassilaki-Grimani and C. Yannopoulos (1979), Trace elements in pelagic organisms and a pelagic foodchain of the Aegean Sea. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 4(1978), 231-232
- Pecheanu, I. (1983), Contenu de certains métaux lourds dans les sédiments superficiels du Bassin du Port de Constantza. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 435-438
- Peiro, L., X. Tomas, J. Obiols et J. Ros (1983), Contenu en métaux lourds des sédiments de la Côte de Catalogne: méthodologie et résultats. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 431-434
- Pettine, M., T. La Noce, G. Macchi and F.J. Millero (1982), Heavy metals in the Tiver River Basin. Mar.Pollut.Bull., 13, 327-329
- Phillips, D.J.H. (1977), The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments. A review. Envir. Pollut. 13, 281
- PNUE (1978), Rapport préliminaire sur l'état de la pollution en Méditerranée Réunion intergouvernementale des Etats riverains de la Méditerranée chargée d'évaluer l'état d'avancement du Plan d'action pour la Méditerranée. UNEP/IG.11/INF.4
- PNUE/FAO/OMS (1983), Evaluation de la pollution mercurielle en mer Méditerranée et mesures de lutte proposées. Document présenté à la deuxième réunion du Groupe de travail de la coopération scientifique et technique. Athènes, 21-25 novembre 1983. Athènes, PNUE, document UNEP/WG. 91/5
- PNUE/CEE/ONUDI/FAO/UNESCO/OMS/AIEA (1984), Les polluants d'origine tellurique en Méditerranée. PNUE: rapports et études des mers régionales no. 32
- PNUE/OMS (1982), Waste discharge into the marine environment. Principles and guidelines for the Mediterranean Action Plan, Pergamon Press
- Ringot, J.L. (1983), Etude de la répartition et de l'origine de la contamination des sédiments de la baie de Cannes - La Napoule par les métaux lourds. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 283-292
- Roth, I. and H. Hornung (1977), Heavy metal concentrations in water, sediments and fish from Mediterranean Coastal Area, Israel. Envir.Sci.Technol. 11, 265-269

- Saad, A.H., O.A. El-Rayis and F.E. El-Nady (1981), Occurrence of some trace metals in bottom deposits from Abu Kir Bay, Egypt. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 555-560
- Saad, M.A.H., and M.A. Fahmy (sous presse), Occurrence of some heavy metals in surficial sediments from Damietta estuary of the Nile. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 7(1984)
- Scoullou, M.J. (1981), Zinc in seawater and sediments of the Gulf of Elefsis, Greece. Wat. Air Soil Pollut. 16, 187-207
- Scoullou, M. and M. Dassenakis (1983), Trace metal levels in sea-waters and sediments of Evoikos Gulf, Greece. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 425-429
- Scoullou, M., N. Mimicos, M. Dassenakis and L. Bachas (1983), Trace metals and petroleum aromatic hydrocarbons in the Gulf of Gera, Lesvos Island, Greece. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 411-414
- Shaw, H.F. and P.R. Bush (1978), The mineralogy and geochemistry of the recent surface sediments of the Cilicia basin, Northeast Mediterranean, Mar.Geol., 27, 115-136
- Stegnar, P., L. Kosta, V. Ravnik, J. Stirn, A.R. Byrne and M. Dermelj (1979), Trace elements in mesopelagic and some coastal fish from the Adriatic. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 4(1978), 235-236
- Stegnar, P., I. Vukadin, B. Smodis, A. Vakselj and A. Prosenc (1981), Trace elements in sediments and organisms from Kastela Bay. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 595-600
- Stoeppler, M. and H.W. Nürnberg (1979), Comparative studies on trace metal levels in marine biota. 3. Typical levels and accumulation of toxic trace metals in muscle tissue and organs of marine organisms from different European Seas. Ecotoxicol.Environ.Saf. 3, 335-351
- Tomma, S.A., M.A.H. Saad, M.S. Salama and Y. Halim (1981), The distribution of some adsorbed elements on the Nile continental shelf sediments. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 377-382
- Tuncer, S. and H. Uysal (1983), Etude des métaux lourds chez les différentes zones de la Baie d'Izmir (Turquie). Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 307-313
- Turekian, K. (1977), The fate of metals in the oceans. Geochim. Cosmoch. Acta, 41, 1139-1144
- Uysal, H. and S. Tuncer (1983), Levels of heavy metals in some commercial food species in the Bay of Izmir (Turkey). Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 323-327
- Uysal, H. and S. Tuncer (sous presse), A comparative study on the heavy metal concentrations in some fish species and sediments from Izmir Bay. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 7(1984)
- Varnavas, S.P. and G. Ferentinos (1983), Heavy metal distribution in the surface sediments of Patraikos Bay, Greece. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 405-409

- Varnavas, S.P., A.G. Panagos and G. Laios (sous presse), Heavy metal distribution in surface sediments from Kalamata Bay, Greece. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 7(1984)
- Vasilikiotis, G.S., N.A. Voulouroutis, D.G. Themelis and M.C. Sofoniou (1982), Preliminary study of Thessaloniki Bay for contamination by mercury and lead. Chemosphere, 11, 479-496
- Vasilikiotis, G.S., K. Fytianos and A. Zotou (1983), Heavy metals in marine organisms of the North Aegean Sea, Greece. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 303-306
- Veglia, A. and R. Vaissiere (sous presse), Seasonal variations of zinc, copper and nutrients in coastal sea-water of the Ligurian Sea. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 7(1984)
- Voutsinou-Taliadouri, F. (1983), Metal concentration in polluted and unpolluted Greek sediments: a comparative study. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 245-259
- Voutsinou-Taliadouri, F. and J. Satsmadjis (1982), Influence of metropolitan waste on the concentration of chlorinated hydrocarbons and metals in striped mullet. Mar.Pollut.Bull., 13, 266-269
- Vukadin, I., P. Stegnar, M. Tusek and T. Zvonaric (sous presse), Heavy metal analysis in sediments and marine organisms of the Bay of Mali Ston and adjacent Sea. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 7(1984)
- Young, D.R., G.S. Young and G.E. Hlavka (1973), Sources of trace metals from the highly urbanized Southern California to the adjacent marine ecosystem, S.C.C.R.P. in Cycling and Control of Metals, Proceedings of an Environmental Resources Conference. M.G. Curry, G.M. Gigliotti, (Compilers). National Environmental Research Center, Cincinnati, 21-40.
- Yuan-Hui Li., (1981a), Ultimate removal mechanisms of elements from the ocean Geochim.Cosmochim.Acta, 45, 1659-1664
- Yuan-Hui Li., (1981b), Geochemical cycles of elements and human perturbation. Geochim. Cosmochim. Acta, 45, 2073-2084
- Zafiroopoulos, D., (1976), Trace metal, sources and inputs into Puget sound. M. Sc. Thesis, University of Washington, Department of Oceanography, Seattle, Washington
- Zafiroopoulos, D., (1981), Correlation between trace element concentrations in the flesh of a benthic fish; an insight of trace element biochemical behaviour. Rapp.Comm.Int.Mer Méditerr., 27, 175-177
- Zafiroopoulos, D., (1983), Neutron activation analysis of trace elements in Saronikos Gulf. Ph. D. Thesis, University of Patras (in Greek)
- Zutic, V., G. Cauwet and S. Monaco (sous presse), Role of organic aggregates in the transport of pollutants in Mediterranean estuaries. Presented at Journ.Etud.Pollut.CIESM, 7(1984)

7.2 Autres références prises en considération

- Abul-Dahab, O., O. El-Rayis and Y. Halim (sous presse), Environmental conditions in Mex Bay, west of Alexandria. I. Physical speciation of four trace metals in coastal water. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 7(1984)
- Aissi, A. (1979), Recherche du Zinc, du Mercure et du Cadmium dans les échantillons de Mytilus perna et du Mullus surmuletus de la Baie d'Alger. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 4(1978), 207-211
- Aissi, A. (1981), Concentrations des métaux lourds chez le rouget Mullus surmuletus (L.) de la Baie d'Alger. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 145-150
- Aissi, A. (1981), Accumulations des métaux lourds chez le bivalve Mytilus perna (L.) de la région d'Alger. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 155-161
- Amore, C., A. Castagna, A. Currao, E. Guiffrida, F. Sarro and F. Sinatra (1983), Relationship between heavy metals and sediments in the southern Ionian continental shelf. Mar.Pollut.Bull., 14, 352-356
- Andreotis, J. and C. Papadopoulou (1983), A study of the distribution of chromium, cobalt, antimony and zinc in the edible mollusc Meretrix chionae from the Aegean Sea. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 299-301
- Arnoux, A., J.L.Monod, J. Tatossian, A. Blanc et F. Oppetit (1981), La pollution chimique des fonds du golfe de Fos. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 447-458
- Arnoux, A., J.L. Monod, P. Bouchard et C.B. Airaudo (1981), Evolution et bilan de la pollution des sédiments de l'étang de Berre. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 433-445
- Asso, A. (1981), Etude des métaux lourds chez Perna (Mytilus) perna (L.) (Mytilus) africanus Chemnitz dans la région d'Alger. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 163-167
- Asso, A. (sous presse), Etude des teneurs globales en métaux lourds chez la Moule Perna perna dans la région d'Alger. Variations de ces teneurs en fonction des quelques paramètres biologiques. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 7(1984)
- Aubert, M., P. Revillon, G. Flatau, J.Ph. Breitmayer et J.Aubert (1981), Répartition et dynamique de certains métaux lourds en Méditerranée. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 529-534
- Bezard, D., A. Veglia and R. Vaissière (sous presse), Mercury and cadmium concentrations in three marine benthic organisms. Variations according to the position of the sampling areas in the canal de Corse. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 7(1984)
- Buggiani, S.S. and C. Vannucchi (1980), Mercury and lead concentrations in some species of fish from the Tuscan coasts (Italy). Env.Contam.and Toxic., 25, 90-92

- Capelli, R., A. Frachi and G. Zanicchi (1979), Résultats obtenus au cours de la première année d'études sur le contenu en métaux dans les organismes marins de la Mer de Ligurie. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 4(1978), 177-181
- Capelli, R., V. Contardi, B. Fassone and G. Zanicchi (1978), Heavy metals in mussels (Mytilus galloprovincialis) from the Gulf of La Spezia and from the Promontory of Portofino, Italy. Marine Chem. 6, 179-185
- Capelli, R., V. Contardi, A. Frachi and G. Zanicchi (1981), Valeurs obtenues au cours de trois années de recherches sur les métaux lourds dans les organismes de la mer Ligure et considérations sur ce sujet. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 263-267
- Capelli, R., V. Contardi, B. Cosma, V. Minganti and G. Zanicchi (1983), Elements en traces dans la chair des Langoustines (Nephrops norvegicus) pêchées dans le golfe de Gênes. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982), 277-282
- Capone, W., C. Mascia, M. Porcu and M.L.T. Masala (1983), Uptake of lead and chromium by primary producers and consumers in a polluted lagoon. Mar.Pollut.Bull., 14, 97-102
- Catsiki, A. and H. Florou (sous presse), Note préliminaire sur la bioaccumulation des métaux Cr, Cd, Ni et Cu dans le Golfe de Gêras. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 7(1984)
- Cenciarini, J., F. Fernex, R. Pucci, F. Rapin et R. Vaissière (1981), Comparaison entre la répartition de différents polluants dans les sédiments marins superficiels du plateau continental le long de la Côte d'Azur. Différences et analogies dans les modalités des transports. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980), 341-351
- Crisetig, G., R. Poletti and R. Viviani (sous presse), Toxic metal distribution in marine organisms from sea area opposite the Po delta. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 7(1984)
- El-Wakeel, S.K., M.Kh. El-Sayed and A.E. Rifaat (sous presse), Heavy metal pollution in the sediments of the western harbour, Alexandria, Egypt. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 7(1984)
- FAO/UNEP (1981), MED POL II. Baseline studies and monitoring of metals, particularly Mercury and Cadmium in marine organisms. In Co-ordinated Mediterranean Pollution Monitoring and Research Programme (MED POL - Phase I). Final Report
- Grimanis, A.P., C. Papadopoulou, D. Zafiropoulos, M. Vassilaki-Grimani and N. Tsimenidis (1979), Pollution monitoring of eleven trace elements in three marine organisms from Saronikos Gulf, Greece. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 4(1978), 233-234
- Guerzoni, S., M. Frignani, P. Giordani and F. Frascari (1984), Heavy metals in sediments from different environments of a Northern Adriatic Sea area, Italy. Envir. Geol. Water Sci. 6, (sous presse)
- Hardstedt-Romeo, M. and F. Laumond (1980), Zinc, copper and cadmium in zooplankton from the N.W. Mediterranean. Mar.Pollut.Bull., 11, 133-138

- Krumgalz, B.S. and Z. Fleisher (sous presse), Seeking biological indicators for heavy metal (Pb, Cd, Cu and Zn) pollution in warm Mediterranean waters. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 7(1984)
- Lafaurie, M. (1983), Compléments à la méthodologie du dosage des métaux lourds. Normalisation des paramètres chez le Rouget, Mullus barbatus Linné. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 6(1982),367-371
- Miramand, P. and J.C. Guary (1980), High concentrations of some heavy metals in tissues of the Mediterranean octopus. Bull. of Envir. Contam. and Toxicol. 24,783-788
- Oregoni, B. and R. Fukai (1981), Distribution of different chemical forms of lead in Mediterranean sediments. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980),243-249
- Papadopoulou C., D. Zafiropoulos and A.P. Grimani (1981), Arsenic, copper and vanadium in Mullus barbatus and Parapenaeus longirostris from Saronikos Gulf, Greece. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980),419-422
- Papadopoulou, C., J. Andreatis, M. Vassilaki-Grimani and C. Yannopoulos (in press), Trace element content in muscle, liver and heart of Boops boops and Trachurus mediterraneus from the Aegean Sea. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 7(1984)
- Renzoni, A. (1980), Shellfish and heavy metals in the Mediterranean. 6 Int. Symp. Chemistry of the Mediterranean, Rovinj (Yugoslavia), 5 May 1980. Thalassia Yugosl. 16,335-346
- Salihoglu, I., T.I. Balkas, A.F. Gaines, S. Tugrul, O. Basturk and F.F. Yusal (1981), Distribution of trace elements and chlorinated hydrocarbons in Mugil auratus (Grey mullet). Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980),235-242
- Satsmadjis, J. and F. Voutsinou-Taliadouri (1983), Mytilus galloprovincialis and Parapenaeus longirostris as bioindicators of heavy metal and organochlorine pollution. Mar. Biol., 76,115-124
- Scoulios, M. (1981), Dissolved and particulate zinc in a polluted Mediterranean bay. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980),483-488
- Shiber, J., E. Washburn and A. Salib (1978), Lead and mercury concentrations in the coastal waters of North and South Lebanon. Mar.Pollut.Bull., 9,109-111
- Shiber, J. (1980), Metal concentrations in marine sediments from Lebanon. Wat.Air Soil Pollut. 13, 35-43
- Yusal, H. (1979), Accumulation and distribution of heavy metals in some marine organisms in the Bay of Izmir and in Aegean coasts. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 4(1978),213-217
- Yusal, H. (1981), Levels of trace elements in some food chain organisms from the Aegean coasts. Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980),503-511
- Voutsinou-Taliadouri, F. (1981), Trace metals in marine organisms from the Saronikos Gulf (Greece). Journ.Etud.Pollut.CIESM, 5(1980),275-279