

UNIVERSITE DE BORDEAUX II

Unités d'Enseignement et de Recherche des Sciences Pharmaceutiques

ETUDE DE LA POLLUTION PAR LES METAUX LOURDS
DES EAUX MARITIMES ET DES PEUPELEMENTS MARINS
DANS LE BASSIN DE MARENNES-OLERON

Thèse pour le Doctorat d'Etat
en Pharmacie

présentée et soutenue publiquement

le 25 Novembre 1981

par Michel SICARD
né le 11 Août 1955 à Rochefort sur Mer

EXAMINATEURS DE LA THESE

MM. J. CANELLAS, Professeur	Président
M. PACCALIN, Professeur	Juge
M. HERAL, Maître ès Sciences	Juge

A mon père,
A ma mère,
A ma famille,
A mes amis,

Avec toute mon affection.

Aux Membres de l'Institut Scientifique et
Technique des Pêches Maritimes,

avec une reconnaissance toute particulière
pour Monsieur COEURDACIER, Pharmacien, Chef d'Inspection.

En remerciement pour son entière disponibilité.

A NOS JUGES

Monsieur M. HERAL

Maître ès Sciences

Chef de Laboratoire à l'Institut Scientifique
et Technique des Pêches Maritimes.

Qui nous a guidé et conseillé tout au long de
ce travail.

Avec nos remerciements et notre profonde
reconnaissance.

Monsieur M. PACCALIN

Professeur sans chaire de Thérapeutique, Réanimation Médicale,
Rééducation fonctionnelle et Hydrologie.

Chef de Service dans le cadre de la Médecine des Hopitaux.

Membre de la Commission Interministérielle et Interprofessionnelle
d'Etude des Produits diététiques et de Régime.

Vice-Président de la Société de Nutrition et de Diététique de
Langue Française.

Membre Consultant du Conseil Supérieur d'Hygiène Alimentaire
et de la Nutrition.

Avec nos remerciements, pour avoir bien voulu
accepter de juger ce travail.

A NOTRE PRESIDENT DE THESE

Monsieur le Professeur J. CANELLAS

Professeur titulaire de Pharmacologie et d'Hydrologie.

Officier des Palmes Académiques.

Chevalier de l'Ordre National du Mérite.

Qui a bien voulu accepter de présider
cette thèse.

Avec nos remerciements et notre profond
respect.

ETUDE DE LA POLLUTION PAR LES METAUX LOURDS
DES EAUX MARITIMES ET DES PEUPEMENTS MARINS
DANS LE BASSIN DE MARENNES-OLERON

ETUDE DE LA POLLUTION PAR LES METAUX LOURDS
DES EAUX MARITIMES ET DES PEUPELEMENTS MARINS
DANS LE BASSIN DE MARENNES-OLERON

S O M M A I R E

=====

	Page
<u>Préambule</u>	1
<u>Chapitre 1</u> - Les métaux lourds dans les eaux maritimes.	
A - Mercure	7
1) Origine	7
2) Différents composés. Fixation sur les sédiments	7
3) Limites de toxicité	10
4) Cas de Marennes-Oléron. Comparaison avec d'autres zones ostréicoles	10
B - Cadmium	
1) Origine	
2) Limites de toxicité	13
3) Cas du Bassin de Marennes-Oléron	13
4) Comparaison avec d'autres zones ostréicoles	14
C - Plomb	
1) Origine	15
2) Limites de toxicité	16
3) Cas du Bassin de Marennes-Oléron	16
4) Comparaison avec d'autres zones ostréicoles	17
D - Cuivre	
1) Origine	17
2) Limites de toxicité	18
3) Cas du Bassin de Marennes-Oléron	19
4) Comparaison avec d'autres zones ostréicoles	20
E - Zinc	
1) Origine	20
2) Limites de toxicité	21
3) Teneurs généralement constatées	21
4) Cas du Bassin de Marennes-Oléron	21
5) Comparaison avec d'autres zones ostréicoles	23
F - Evolution des teneurs au cours d'une marée Cas particulier des "Claires" de Marennes-Oléron	24
<u>Chapitre 2</u> - Action des métaux lourds sur les organismes et les peuplements marins	
2a - Etude bibliographique	
A - Mercure	
1) Action sur les êtres vivants	28
2) Expériences et essais	30
3) Teneurs - valeurs limites	32

B - Cadmium	
1) Action sur les êtres vivants	33
2) Expériences et essais	34
3) Teneurs - Valeurs limites	38
C - Plomb	
1) Action sur les êtres vivants	39
2) Expériences et essais	40
3) Teneurs - Valeurs limites	43
D - Cuivre	
1) Action sur les êtres vivants	43
2) Expériences et essais	44
3) Teneurs - Valeurs limites	49
E - Zinc	
1) Action sur les êtres vivants	49
2) Expériences et essais	50
3) Teneurs - Valeurs limites	56
2b - Action des métaux lourds sur les peuplements du Bassin de Marennes-Oléron	
A - Résultats d'analyses	
1) Mercure	56
2) Plomb	58
3) Cadmium	58
4) Cuivre	59
5) Zinc	60
B - Problèmes actuels	60
<u>Conclusion</u>	62
<u>Bibliographie</u>	65
<u>Annexes</u>	68
1) Tableaux I à VI - Résultats d'analyses	
2) Diagrammes D1 à D5	
3) Diagrammes D6 à D10	
4) Diagrammes D11 à D16	

ETUDE DE LA POLLUTION PAR LES METAUX LOURDS
DES EAUX MARITIMES ET DES PEUPELEMENTS MARINS
DANS LE BASSIN DE MARENNES-OLÉRON

Le Bassin de Marennes-Oléron est ouvert sur l'Océan :

- Au Sud, par le Pertuis de Maumusson.
- Au Nord-Ouest, entre l'île d'Aix et l'île d'Oléron, par le Pertuis d'Antioche.

La proximité immédiate, au Sud, de l'estuaire de la Gironde, peut être une source de pollution par les eaux de la Garonne. Il a été constaté cependant que la plus grande partie de ces eaux fluviales s'écoule vers le Sud, entre la Pointe de Grave et Cordouan.

La pollution des eaux maritimes du Bassin de Marennes-Oléron par la Garonne est donc, en principe, limitée.

Par contre, deux rivières peuvent constituer des éléments importants de pollution :

- La Charente, drainant des polluants industriels, agricoles et urbains.
- La Seudre, drainant peu de polluants industriels depuis la fermeture en 1980, d'une papeterie près de SAUJON, mais dont l'incidence des rejets agricoles et urbains ne doit pas être négligeable.

La présence d'importants dépôts sédimentaires vaseux dans la majeure partie de cette zone, principalement entre Seudre et Charente, où les courants maritimes sont peu importants, apporte un élément particulier dans la cinétique des pollutions.

La qualité des eaux et des peuplements marins est contrôlée, dans cette zone à vocation principalement conchylicole, par le Laboratoire de l'Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, (I.S.T.P.M) à La TREMBLADE.

Ce Laboratoire constitue l'un des maillons du R.N.O. (Réseau National d'Observation de la Qualité du Milieu Marin), dont la création a été décidée par le Gouvernement le 6 Décembre 1972.

Le R.N.O. collecte depuis 1974 l'ensemble des données relatives à la surveillance des pollutions marines, et à l'observation de la qualité du milieu marin.

Aux renseignements ainsi collectés en France, s'ajoutent les renseignements recueillis dans diverses stations européennes, indiquées sur la carte page 3.

Il y a donc possibilité de comparer régulièrement la qualité des eaux maritimes sur la totalité des côtes européennes.

Pour les métaux lourds, la fourchette des teneurs relevées en 1977 est indiquée, pour l'Europe, sur la carte page 3, et, pour la France, sur le diagramme page 4.

Ce diagramme indique en particulier que les teneurs en métaux lourds dissous, dans les eaux maritimes françaises, varient d'une façon importante. Certaines zones paraissent peu polluées (Rade de Cannes-Villefranche). Les eaux d'autres zones (Embouchures de la Seine et de la Gironde, zone industrielle de Fos), sont quelquefois très chargées en métaux lourds, et les variations de teneurs sont souvent importantes.

Ces éléments seront repris pour l'étude de chaque métal, dans les chapitres suivants.

En ce qui concerne particulièrement le Bassin de Marennes-Oléron, le Laboratoire de La Tremblade de l'I.S.T.P.M a prélevé des échantillons, jusqu'en 1980, en six points différents (page 5).

- Station 1 - Pertuis de Maumusson
- Station 2 - Embouchure de la Seudre
- Station 3 - Pointe du Chapus
- Station 4 - Estrée
- Station 5 - Embouchure de la Charente
- Station 6 - Fort Boyard, entre Aix et Oléron

Depuis 1980, deux nouvelles stations ont été créées, en amont des embouchures de la Seudre et de la Charente.

Dans cette étude, les renseignements collectés par l'I.S.T.P.M dans le cadre du R.N.O, tant dans les eaux maritimes que sur les peuplements marins du Bassin de Marennes-Oléron, sont comparés aux données récentes de la littérature scientifique concernant les problèmes posés par la présence de métaux lourds dans les eaux, et dans les tissus des êtres vivants.

METEAUX DISSOUS DANS LES ZONES COTIERES D'EUROPE

LOCALISATION DES ZONES

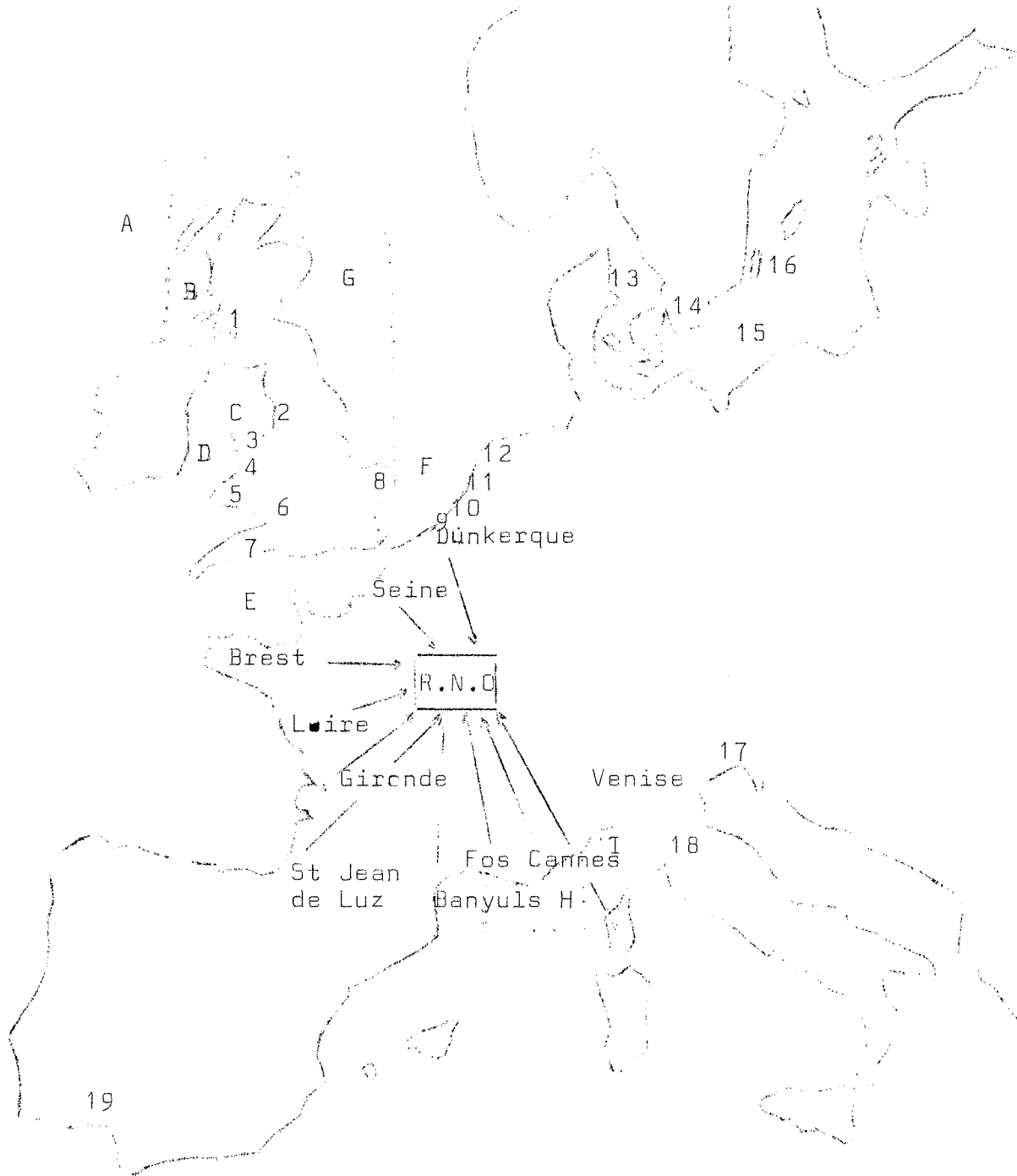
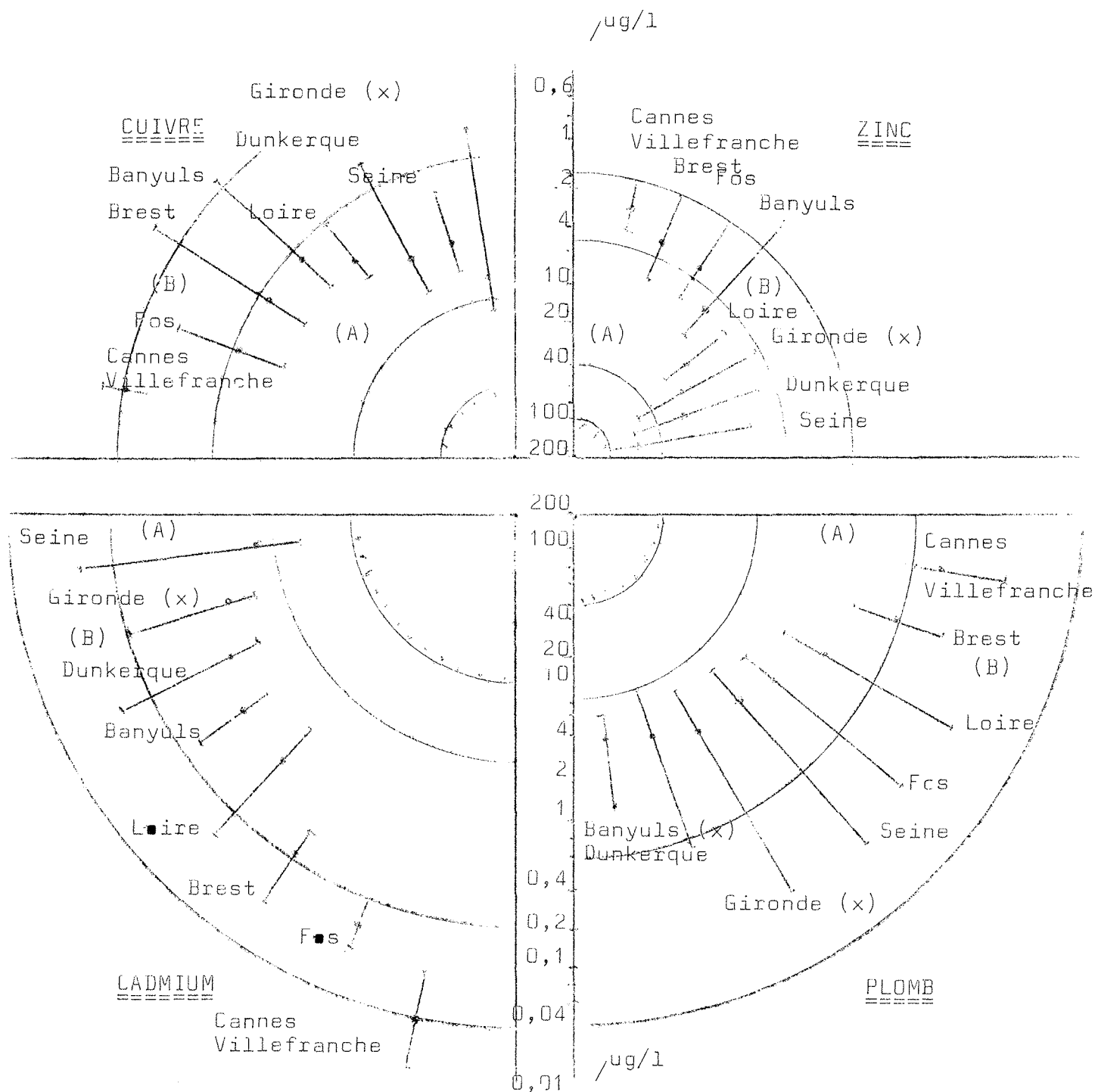


Tableau des moyennes arithmétiques des valeurs extrêmes observées.

Moyennes arithmétiques $\mu\text{g/l}$		Zn	Pb	Cu	Cd
Eaux côtières (1 à 19)	Moyenne des mini	4,8	0,6	1,2	0,2
	Moyenne des maxi	43,0	10,0	14,0	3,0
Eaux du large (A à I)	Moyenne des mini	1,4	0,04	0,2	0,03
	Moyenne des maxi	7,0	0,8	1,5	0,5

R.N.O - TENEURS EN METAUX LOURDS DISSOUS (Année 1977)

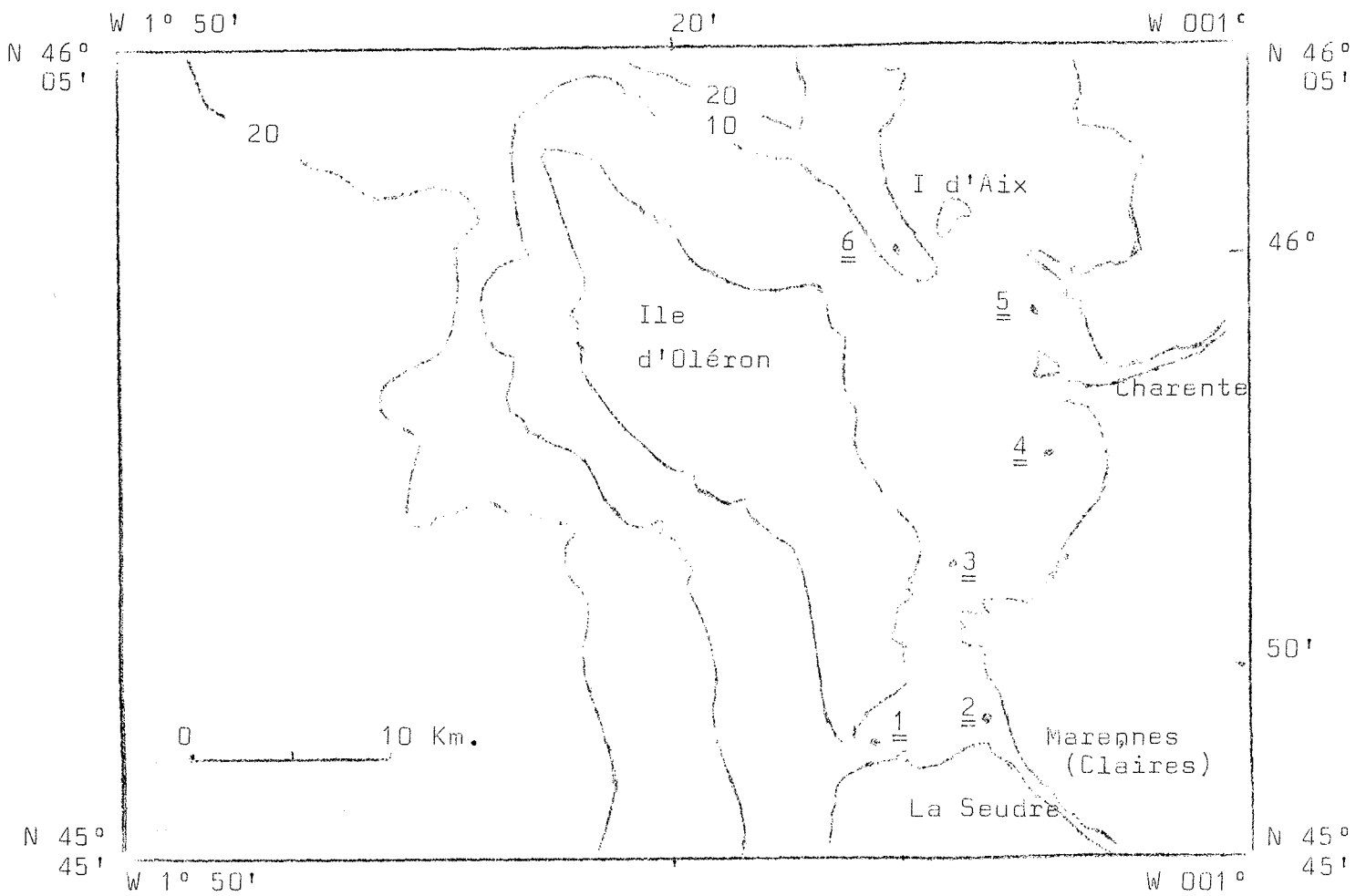


- Légende :
- ↓ Moyenne arithmétique ± écart type
 - (A) Plage de variation dans les eaux côtières d'Europe
 - (B) Plage de variation dans les eaux du large
 - Seuil de danger certain (Water Quality Criteria 1973)
 - (x) Valeurs anormalement fortes non confirmées

Réseau National d'Observation de la Qualité du Milieu Marin (R.N.O.)

Bassin de Marennes-Oléron

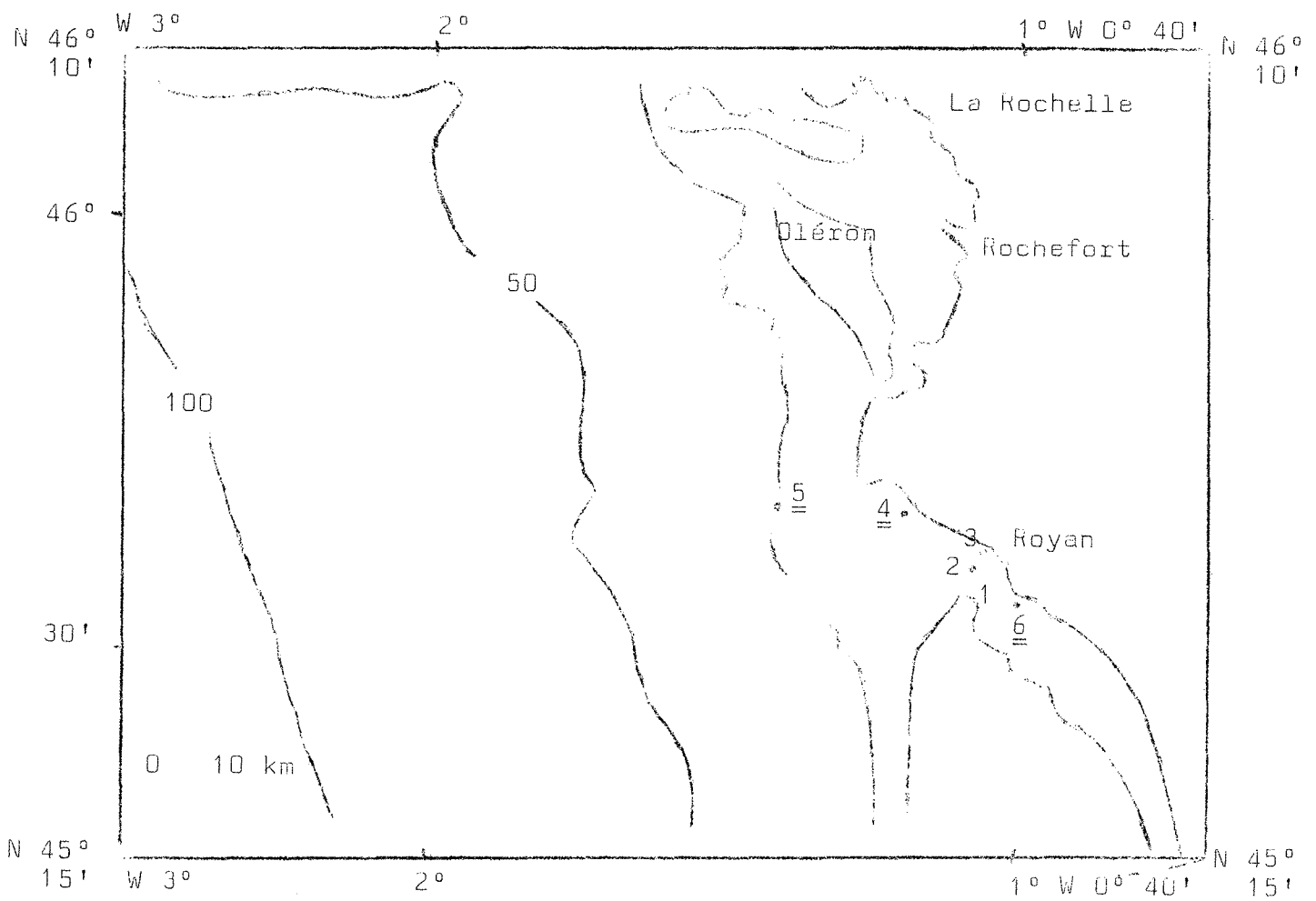
Points de prélèvements



Réseau National d'Observation de la qualité du Milieu Marin (R.N.O.)

Estuaire de la Gironde

Points de prélèvements



CHAPITRE 1

LES METAUX LOURDS DANS LES EAUX MARITIMES

A - MERCURE

1) Origine -

Par les accidents survenus, principalement au Japon, (syndrome neuropathique de Minamata), la pollution par le mercure est l'une des pollutions les plus spectaculaires constatées dans le milieu marin.

C'est également la pollution la plus complexe à cerner.

La pollution par le mercure peut avoir :

- Une origine naturelle - Rejets volcaniques, Mines de cinabre.

- Une origine artificielle, par des industries diverses : fabrication du chlore et de la soude, de matières organiques, (la pollution de Minamata résulte d'opérations secondaires dans la fabrication de chlorure de polyvinyle), de pâtes à papier, de pesticides organo-mercuriels, et emploi de certaines peintures marines.

2) Différents composés - Fixation sur les sédiments -

Le mercure présente une toxicité :

- BARNOUIN, 1973 - (1)

a) - à l'état métallique (vapeur).

b) - sous forme de sels minéraux. Seuils toxiques avec HgCl₂:

- 0,01 à 0,03 mg/l pour le phytoplancton.

- 0,01 à 0,05 mg/l pour le zooplancton.

- 0,25 à 0,50 mg/l pour les poissons.

c) - sous forme de composés organiques (toxicité la plus dangereuse).

Le mercure contenu dans les eaux s'adsorbe sur les argiles et les sédiments et peut être piégé sous forme SHg si le pH est

compris entre 3 et 6. - SOUDAN, 1979 - (2). Dans ces conditions, il peut être méthylé en CH_3Hg par les microorganismes aérobies s'il est à l'état Hg^{++} , anaérobies s'il est à l'état Hg , le donateur de méthyl étant la cobalamine (Vit. B12). CH_3Hg est très soluble dans l'eau et volatil. Si le milieu est alcalin (ce qui est le cas en mer), il passe à l'état de $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ peu soluble, instable et volatil. WOOD a schématisé ce cycle du mercure (page 9).

Cette méthylation est très lente, et le temps de résidence dans les sédiments est vraisemblablement de l'ordre du siècle. En fait, des études localisées montrent une augmentation sensible des teneurs en Hg dans les sédiments du littoral : doublement pendant les 50 premières années du siècle, nouveau doublement dans les 20 années suivantes (YOUNG).

Des teneurs en mercure de 20 à 200 ppb ont été constatées dans des sédiments marins en zone non polluée. En zone fortement polluée, la teneur peut atteindre 2000 ppm. - AUBERT, 1973 - (3).

Les phénomènes de fixation et de désorption du mercure sur les sédiments, en particulier les sédiments argileux, répondent à des mécanismes très complexes. Des études réalisées sur les eaux et les matières en suspension de l'estuaire de la Loire, FRENET, 1979-(4) ont apporté quelques précisions sur le comportement du mercure dans les zones où la salinité de l'eau varie, et où il existe d'importants bouchons vaseux.

Les renseignements recueillis sont les suivants :

a) - En ce qui concerne la répartition du mercure dans les eaux :

- Les taux les plus élevés sont situés dans la zone de séjour du bouchon vaseux.

- Les eaux douces ou peu salées sont pauvres en mercure, qui se trouve fixé sur les sédiments en suspension.

- A la limite de l'influence de la marée, les eaux sont riches en Hg, et les sédiments en suspension appauvris. Le phénomène est donc inverse du phénomène en eau douce.

- Les eaux de surface sont plus riches en Hg que les eaux de fond, quelle que soit la partie de l'estuaire envisagée.

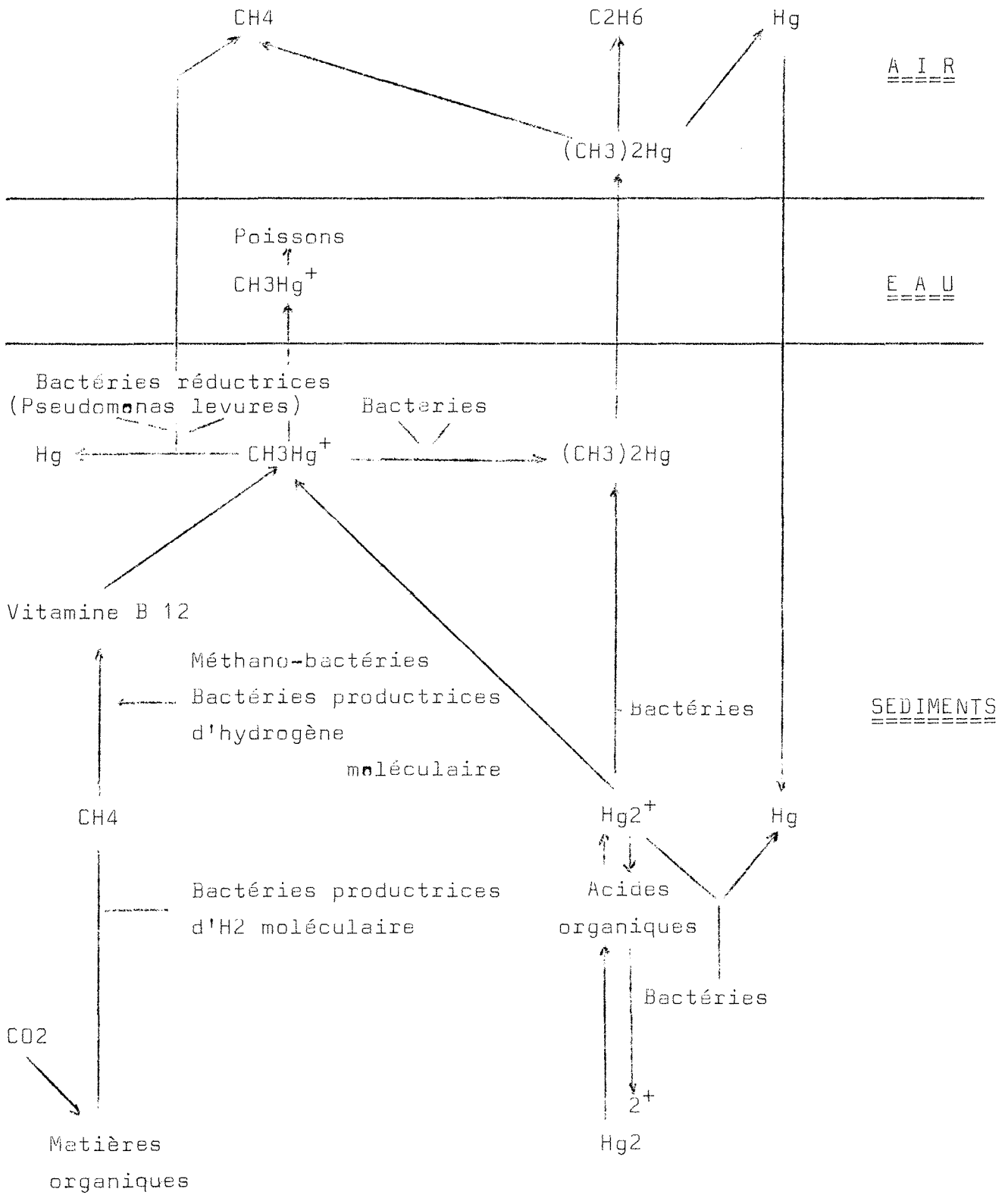
- En flot, l'accroissement de la salinité des eaux correspond à une désorption partielle du mercure déjà fixé aux sédiments mis en suspension, et à une diminution de la fixation sur les argiles. Pendant cette période, les eaux sont plus riches en mercure.

b) - En ce qui concerne la répartition du mercure dans les sédiments :

- Les sédiments en suspension des eaux de surface étant les plus fins, sont les plus absorbants.

- Le rapport de la concentration en Hg dans les sédiments,

LE CYCLE DU MERCURE



(d'après J. WOOD)

sur la concentration dans les eaux, est de 3,2 dans les eaux douces ou peu salées, et de 2,4 quand la salinité augmente.

- Le mercure fixé dans les sédiments en suspension est environ dix fois plus abondant que dans les sédiments déposés.

Ceci est dû, d'après l'auteur :

- à la remise en suspension des sédiments par les courants, par le flot, ou par la houle.

- à la nature minéralogique des sédiments déposés, toujours constitués des particules les plus grosses.

- au phénomène de méthylation qui se produit dans les sédiments déposés, dès leur enfouissement, sous l'action des bactéries.

On peut penser que les eaux du Bassin de Marennes-Oléron doivent avoir une certaine analogie avec les eaux de l'estuaire de la Loire en ce qui concerne le mercure, car les conditions sont comparables (forte turbidité, variation de la salinité).

3) Limites de toxicité -

Diverses valeurs de toxicité ont été indiquées pour le mercure.

Certains auteurs - TSU-CHANG HUNG et TSUNG TIEN LIN, 1976 - (5) estiment que l'eau de mer en surface contenant plus de 0,15 ppb peut être considérée comme contaminée avec du mercure. D'autres valeurs limites ont été reportées à 0,4 - 0,5 ppb.

Par contre, d'autres auteurs - R.N.O, 1975-1977 - (6), s'accordent sur le niveau de 0,03 $\mu\text{g}/\text{l}$ comme concentration "naturelle" dans les eaux de mer du large.

Il semble que l'on puisse retenir en valeur moyenne la fourchette de 0,01 à 0,20 $\mu\text{g}/\text{l}$ pour une eau de mer côtière non contaminée.

Les "Water Quality Criteria", publiés en 1973, ne donnent pas de seuils pour le mercure. Aux U.S.A, la valeur moyenne admise est de 0,5 $\mu\text{g}/\text{l}$. (3) - AUBERT, 1973.

4) Cas de Marennes-Oléron - Comparaison avec d'autres zones ostréicoles -

Les teneurs en mercure, relevées en 1979, sont indiquées dans les tableaux I à VI et sur les diagrammes 1, 6 et 11 à 16.

Les teneurs maxima suivantes ont été relevées sur eau brute : (Teneurs en Hg total).

Station	Date	Hg total /ug/l
1	28.05	1,60
2	23.04	1,12
3	28.05	1,20
4	24.07	0,60
5	24.09	1,40
6	24.07	1,10

Les teneurs minima varient de 0,02 /ug/l (Station 6) à 0,13 /ug/l (Station 1).

Si nous examinons le diagramme N° 1, indiquant les variations de teneurs en Hg en fonction du temps et des stations, nous constatons deux series de maxima :

- En Avril-Juin, des teneurs anormalement élevées ont été constatées dans les eaux des stations 2, 1 et 3. Le maximum a été atteint à la fin du mois de Mai à la Station 1.

- En Juillet, une pointe a été constatée à la station 6, suivie, un mois après, d'une élévation des teneurs à la station 5.

Il est assez difficile d'expliquer ces valeurs anormales.

Au printemps, les débits de la Seudre et de la Charente sont importants, et l'on pourrait admettre, pour la première pointe, une pollution par la Seudre, du fait que, pendant cette période, les teneurs en Hg dans les eaux à la limite de la Gironde et de l'Océan ont été faibles.

Par contre, en ce qui concerne la deuxième pointe, en Juillet-Août, il y a lieu de noter qu'à cette époque le débit de la Seudre était pratiquement nul (fermeture des écluses de Riberou, à Saujon) et que le débit de la Charente était limité, au barrage de Saint-Savinien, au taux d'étiage de 12 M3/sec. (contre 400 M3/sec. au printemps).

On peut donc estimer qu'à cette époque le mercure apporté dans le Bassin de Marennes-Oléron était d'origine océanique ou endogène.

L'examen des diagrammes 11 à 16, montrant les variations de teneurs des métaux lourds dans chaque station, ne permet pas d'associer cet apport aux apports d'autres métaux.

Les minima et maxima de teneurs en Hg, relevés dans les eaux du littoral atlantique en 1979, sont les suivants :

Minima :	Bassin de Marennes-Oléron	0,02 /ug/l
	Estuaire de la Gironde	0,05 /ug/l
	Golfe du Morbihan	0,11
	Bassin d'Arcachon	0,03
Maxima :	Bassin de Marennes-Oléron	1,60 /ug/l
	Estuaire de la Gironde	2,40 /ug/l
	Golfe du Morbihan	1,50
	Bassin d'Arcachon	0,88

L'étude des teneurs moyennes annuelles, et de la solubilité du mercure dans les eaux (Rapport Hg soluble / Hg total), permet de constater quelques anomalies (tableaux 1 à V1, diagramme 6).

Les plus fortes teneurs, et les plus faibles solubilités, sont constatées à la station 1 (Maumusson). La solubilité augmente vers la station 4, puis décroît vers la station 6, c'est à dire à nouveau vers l'ouverture sur l'Océan. Un pic à la station 5 fait apparaître une pollution due vraisemblablement à la Charente.

Les teneurs extrêmes sont les suivantes (teneurs en Hg = $\mu\text{g/l}$).

Station	Hg total	Hg soluble	Solubilité %
1	0,57	0,39	68,42
4	0,34	0,32	94,11
5	0,47	0,38	80,85
6	0,36	0,28	77,77

Si l'on prend les résultats de la station 5 de l'estuaire de la Gironde (point extrême vers l'Océan), on constate des teneurs moyennes plus élevées et une solubilité plus faible.

Hg total	Hg soluble	Solubilité %
1,34	0,35	26,11

D'après ces résultats, on peut émettre les hypothèses suivantes :

- L'apport du mercure dans le Bassin de Marennes-Oléron peut se faire par trois voies : l'Océan, la Seudre et la Charente.
- Quand on se rapproche de l'Océan, la teneur en diméthylmercure augmente, et la solubilité diminue de ce fait.
- La zone entre Seudre et Charente (stations 3 et surtout 4), avec sa sédimentation importante, est privilégiée pour la formation de méthylmercure, donc pour une augmentation de la solubilité de ce métal.

Il y a lieu de noter par ailleurs que les eaux de la station 4 (entre Seudre et Charente) sont les plus chargées en matières en suspension (84 mg/l contre 48,6 mg/l en moyenne pour la station 1). Ceci semblerait indiquer que les sédiments en suspension dans cette zone sont peu chargés en mercure.

Dans les autres zones ostréicoles de la Côte Atlantique, on ne constate pas de variations si importantes des teneurs et des solubilités moyennes annuelles.

On a noté les valeurs moyennes suivantes ($\mu\text{g/l}$), pour 1979 :

- Golfe du Morbihan : Maxima 0,54 à 0,68
 Minima 0,43 à 0,54
 Solubilité 71,9 à 83,3 %

- Bassin d'Arcachon :	Maxima	0,28 à 0,31
	Minima	0,23 à 0,26
	Solubilité	80,6 à 83,8 %

Les valeurs moyennes annuelles sont relativement élevées dans certaines stations. Elles se maintiennent à un bas niveau, proche des minima, dans d'autres stations.

Les teneurs sont comparables aux teneurs relevées dans le Bassin de Marennes-Oléron, mais les solubilités sont, d'une part, supérieures à la solubilité constatée à la station 1, d'autre part, inférieures à la solubilité notée à la station 4.

Le Bassin de Marennes-Oléron semble donc présenter un cas particulier d'instabilité du mercure dans les régions conchylicoles de la côte atlantique.

B - CADMIUM

1) Origine -

Le cadmium est utilisé dans certains procédés métallurgiques et électrolytiques. C'est la base de fabrication de certains pigments. Ce métal est également employé pour la production de matières plastiques.

Il est présent dans les minerais de zinc et est associé à ce métal pour certains emplois. En général, le zinc de galvanisation contient un pourcentage non négligeable de Cd.

Le cadmiage du fer a remplacé, dans beaucoup de cas, la galvanisation par le zinc.

En dehors des rejets industriels, la pollution par le cadmium peut être due, de ce fait, à l'entraînement de ce métal par les eaux pluviales dans les villes, ou par l'emploi massif, dans certaines régions, de matériels galvanisés ou cadmiés.

2) Limites de toxicité -

Les "Water Quality Criteria 1973" fixent comme seuils, pour les teneurs en cadmium dans les eaux, les valeurs suivantes :

Seuil de sécurité (Risque minimum) : 0,2 µg/l
 Seuil à ne pas dépasser (Risque certain) : 10 µg/l

Sur les côtes atlantiques françaises, les teneurs minima en Cd se situent entre 0,05 et 0,25 µg/l, les teneurs maxima entre 0,10 et 15 µg/l (Baie de Seine) - R.N.O , 1975-1977 (6).

3) Cas du Bassin de Marennes-Oléron -

Les teneurs relevées en 1979 par l'I.S.T.P.M sont indiquées dans les tableaux I à VI, et sur les diagrammes 2,7, et 11 à 16.

Les maxima sur eau brute (Cd total) varient de 1,08 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Station 6, le 24.07), à 6,60 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Station 2, le 26.02). Les minima n'atteignent pas 0,1 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Le diagramme N° 2 montre les variations de teneurs en Cd, dans le temps et suivant les stations. Deux pics apparaissent :

- Fin Février, sur les stations 2, 3 et 1.
- Fin Août, sur les stations 4, 5 et 3.

Il semble que ces pointes concernent des pollutions apportées : la première par la Seudre, la seconde par la Charente.

L'examen des diagrammes 11 à 16 permet de constater une certaine relation entre les variations des teneurs en Cd et les variations des teneurs en Pb, et surtout en Zn, à la station 5.

L'étude des teneurs moyennes annuelles (Tableaux I à VI et diagramme 7), permet de formuler les remarques suivantes :

- Les plus faibles teneurs en Cd, et les plus fortes solubilités sont constatées au niveau des débouchés du Bassin de Marennes-Oléron vers l'océan.

Ces teneurs varient entre 0,26 et 0,34 $\mu\text{g}/\text{l}$, les solubilités entre 85 et 89%.

- Les plus fortes teneurs (1,06 $\mu\text{g}/\text{l}$), sont constatées aux stations 3 et 5, correspondant aux zones turbides, avec des solubilités de 78 et de 59%.

L'apport en Cd semble donc se faire par les rivières, avec une proportion non négligeable de métal sous forme insoluble. La solubilité augmente ensuite d'une façon importante lorsque les eaux polluées se diluent dans les eaux de l'océan.

Il y a lieu de noter que, malgré une diminution de la teneur en Cd total à la station 4, la solubilité, sur cette station, reste faible (61% contre 85% à la station 1), et pratiquement identique à la solubilité constatée sur les échantillons prélevés à la station 5 (solubilité de 59%).

Ceci, ajouté au fait que les matières en suspension sont encore importantes dans les eaux de la station 4, semble montrer qu'il n'y a pas de stockage de Cd dans les zones sédimentaires entre Seudre et Charente.

La teneur moyenne annuelle minimum constatée est de 0,29 $\mu\text{g}/\text{l}$. La teneur moyenne maximum est de 1,06 $\mu\text{g}/\text{l}$. Les valeurs sont donc satisfaisantes par rapport aux "Water Quality Criteria 1973".

4) Comparaison avec d'autres zones ostréicoles -

La comparaison avec les teneurs moyennes annuelles relevées dans les stations des autres zones ostréicoles de la côte atlantique, pour l'année 1979, est faite dans le tableau suivant :

	Cd total /ug/l		Solubilité %	
	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
Bassin de Marennes-Oléron	1,06	0,29	91,1	59,4
Golfe du Morbihan	0,49	0,14	78,5	32,6
Bassin d'Arcachon	0,80	0,20	97,3	38,2
Estuaire de la Gironde St. 5	1,12	-	97,3	-

Le Golfe du Morbihan et le Bassin d'Arcachon sont moins contaminés en Cd que le Bassin de Marennes-Oléron, avec une proportion plus importante de Cd insoluble.

Les teneurs moyennes relevées au large de l'estuaire de la Gironde correspondent sensiblement aux teneurs constatées dans le Bassin de Marennes-Oléron.

C - PLOMB

1) Origine -

Certaines eaux de surface peuvent contenir naturellement des concentrations de l'ordre de 0,2 à 0,6 mg/l de plomb. Généralement, la présence de plomb dans ces eaux est due à des rejets d'eaux usées, ou à l'action de l'eau sur les canalisations en plomb.

Le plomb ne devrait pas rester très longtemps en solution dans les eaux de surface, car si certains sels sont solubles, comme les acétates et, dans une moindre mesure, les chlorures, d'autres sont insolubles (carbonates et hydroxydes), ou très peu solubles (sulfates).

Les rejets d'eaux usées contenant du plomb proviennent essentiellement :

- Des industries d'extraction et de traitement des minerais de plomb.
- Des fabriques de poudres et d'explosifs.
- Des fabriques de colorants.
- Des fabriques, et de l'utilisation, du plomb tétraéthyle.

On a noté, dans les boues de stations d'épuration des eaux de certaines villes, des teneurs de 1 g/kg sec de Pb. (7)

La teneur en plomb dans l'eau de mer est généralement faible. Certains auteurs ont constaté un accroissement constant du plomb dans le milieu naturel, en particulier depuis l'addition de plomb tétraéthyle aux essences, opération qui remonte à une quarantaine d'années. Lors de la combustion des essences dans les moteurs à explosion, ce produit est libéré dans l'atmosphère.

La concentration en plomb dans les océans est plus forte à la surface qu'au fond : respectivement 0,2 /ug/l et 0,03 /ug/l dans l'Atlantique. L'introduction annuelle de plomb dans les océans est

estimée à 200.000 tonnes.

Les concentrations sont sensiblement plus élevées dans les mers bordant des régions industrielles, du fait du très large emploi qui est fait du plomb. Il en est de même des teneurs relatives déterminées dans les tissus des animaux marins. SOUDAN F., 1979 (2).

2) Limites de toxicité -

Les "Water Quality Criteria 1973" fixent comme seuils pour les teneurs en plomb dans les eaux maritimes les valeurs suivantes :

- Seuil de sécurité : 10 $\mu\text{g}/\text{l}$
- Seuil à ne pas dépasser : 50 $\mu\text{g}/\text{l}$

Sur les côtes atlantiques françaises, les teneurs minima en plomb se situent entre 0,11 et 0,50 $\mu\text{g}/\text{l}$, les teneurs maxima entre 1,1 et 14 $\mu\text{g}/\text{l}$.

3) Cas du Bassin de Marannes-Oléron -

Les teneurs relevées en 1979 par l'I.S.T.F.M sont indiquées dans les tableaux I à VI et sur les diagrammes 3, 8 et 11 à 16.

Les teneurs maxima sur eau brute (Pb total) varient de 12,70 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Station 4, le 29.01), à 27,80 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Station 2, le 5.11). Les minima sont compris entre 0 et 3 $\mu\text{g}/\text{l}$.

L'examen du diagramme 3, montrant les variations des teneurs en fonction des stations et du temps, permet de constater les anomalies suivantes :

- Des pics apparaissent de Février à Avril. Les maxima ont lieu simultanément aux stations 4 et 5, puis, un mois après, mais en valeur inférieure, à la station 1, enfin un mois après, mais avec de fortes teneurs, aux stations 4 et 3.

Ces maxima sont difficilement explicables. On peut penser cependant à un stockage dans les sédiments des stations 3 et 4, puis à un déplacement du métal à la suite de la tempête de fin Mars 1979.

Dans ce cas, on peut avancer l'hypothèse qu'il y aurait pollution par la Charente, stockage entre Charente et Seudre, puis diffusion vers l'océan (par Maumusson) par la tempête.

- Un pic isolé apparaît ensuite fin Juillet à la station 3 alors que les teneurs sur les autres stations sont très basses. Il pourrait s'agir, là également, d'une remise en suspension de métal stocké.

- Le cas le plus surprenant apparaît le 5 Novembre. Les teneurs présentent un maximum simultanément aux stations 2, 5, 3 et 1. Le maximum sur la station 2 est prédominant. Il est difficile d'expliquer un tel phénomène, qui a été de très courte durée.

L'examen des diagrammes 11 à 16 permet de constater, comme pour le cadmium, une certaine relation entre les teneurs en Pb et les

teneurs en Zn, surtout en ce qui concerne la station 5.

Les eaux de la station 6 (vers l'océan, par le pertuis d'Antioche), ne sont que très faiblement contaminées, et ne subissent que d'une façon limitée l'effet des pointes notées sur les autres stations.

Les teneurs moyennes (diagramme 8) présentent deux maxima, l'une à la station 2 (6,18 $\mu\text{g}/\text{l}$), l'autre à la station 5 (7,31 $\mu\text{g}/\text{l}$). Les minima sont situés à chaque ouverture du Bassin sur l'océan.

La solubilité la plus basse est constatée à la station 4 (20,93%), la solubilité la plus élevée à la station 5 (40,08%).

Ces valeurs montrent qu'une quantité importante de Pb se trouve, sous une forme particulière insoluble, dans les matières en suspension. Dans ce cas, les stations 3, et surtout 4, sont privilégiées pour un stockage du métal.

4) Comparaison avec d'autres zones ostréicoles -

La comparaison avec les teneurs moyennes annuelles relevées en 1979 dans les stations des autres zones ostréicoles de la côte atlantique est faite dans le tableau suivant :

	Pb total $\mu\text{g}/\text{l}$		Solubilité %	
	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
Bassin de Marennes-Oléron	7,31	2,18	40,08	20,93
Golfe du Morbihan	4,06	1,39	76,97	44,09
Bassin d'Arcachon	4,23	4,06	64,77	37,43
Estuaire de la Gironde (St. 5)	4,96	-	77,62	-

En 1979, la teneur moyenne annuelle en Pb constatée dans les eaux du Bassin de Marennes-Oléron a atteint, en valeur maximum, environ le double des teneurs observées dans les autres zones ostréicoles de la côte atlantique. Ces teneurs maxima se situent cependant en deçà des limites où elles peuvent présenter un danger de toxicité.

D - CUIVRE

1) Origine -

Le cuivre ne se trouve naturellement dans les eaux de surface qu'à de faibles concentrations, ne dépassant pas 0,05 mg/l. R.N.O, 1975 (6).

Le cuivre métallique est insoluble dans l'eau, mais un certain nombre de ses sels sont solubles. Les chlorures, nitrates et sulfates de cuivre bivalent sont très solubles dans l'eau; par contre les carbonates, hydroxydes et sulfures ne le sont pas. Les ions cuivriques déversés dans une eau à pH 7 précipitent rapidement sous forme de carbonate ou d'hydroxyde.

Dans notre région, les principales sources de pollution par le cuivre sont :

- Les Collectivités. Les teneurs en Cu dans les eaux usées augmentent par suite du plus grand emploi de ce métal pour la confection des conduites d'eau.

- Les fongicides. L'emploi de "bouillie bordelaise", remplacée progressivement par l'oxychlorure de cuivre, pour le traitement de certaines maladies de la vigne, apporte dans nos régions viticoles des tonnages importants de cuivre. Ce métal se retrouve dans les eaux de drainage, et apparaît ensuite dans les rivières et les fleuves.

Si la teneur en cuivre dans les eaux est généralement faible au moment du traitement des vignes (Printemps et début de l'été), elle augmente sensiblement après la chute des feuilles, au moment des précipitations de pluie.

- Les peintures anti-salissure. C'est une nouvelle source de pollution, dont l'étude est très récente. ALZIEU, 1981, - (8)

Les peintures anti-fouling, à base de cuivre, renferment de 30 à 90% de Cu_2O . Dans la région de Marennes-Oléron, ces peintures sont généralement utilisées par les pêcheurs ou les ostréiculteurs, les plaisanciers donnant leur préférence aux composés organo-stanniques, et plus particulièrement au T.B.T (Tributylétain).

On estime que dans le Bassin de Marennes-Oléron, on utilise annuellement 21 tonnes de peinture à base de cuivre, correspondant à 7 tonnes de Cu métal.

Par comparaison, on peut estimer à environ 30 à 50 tonnes par an la quantité de cuivre véhiculée par la Charente (débit 300 à 500 M³/sec., teneur en Cu 5 µg/l), et à 1 ou 2 tonnes par an par la Seudre (débit 1 à 10 M³/sec., teneur en Cu 10 µg/l).

L'apport de cuivre par les peintures anti-salissure n'est donc pas négligeable. Il faut noter cependant que la quantité de métal, dissoute quotidiennement à partir d'une surface déterminée, n'est pas constante dans le temps. Elle est très élevée peu de temps après l'application du revêtement, et diminue considérablement par la suite, en restant au dessus d'un seuil considéré comme indispensable à l'action recherchée. Ce seuil est de l'ordre de 5 à 10 µg/cm² et par jour pour les peintures à base de Cu_2O .

Il a été déterminé que Cu_2O se transforme dans l'eau de mer en un mélange de sels et hydroxydes de cuivre qui ne présentent plus le caractère toxique de Cu_2O , et dont la solubilité dans l'eau est faible. De plus, l'aptitude du cuivre à se fixer sur les argiles ou les molécules organiques naturelles, telles que les acides humiques constitue un mécanisme de piègeage de cet élément dans les sédiments.

2) Limites de toxicité -

Les "Water Quality Criteria 1973" fixent comme seuils pour les teneurs en cuivre dans les eaux maritimes les valeurs suivantes :

- Seuil de sécurité : 10 $\mu\text{g/l}$
- Seuil à ne pas dépasser : 50 $\mu\text{g/l}$

Sur les côtes atlantiques françaises, les teneurs minima en Cu se situent entre 0,3 et 0,4 $\mu\text{g/l}$, les maxima pouvant atteindre 58 $\mu\text{g/l}$, à l'embouchure de la Gironde et dans le Bassin de Marennes-Oléron.

3) Cas du Bassin de Marennes-Oléron -

Les teneurs relevées en 1979 par l'I.S.T.P.M sont indiquées dans les tableaux I à VI, et sur les diagrammes 4,9 et 11 à 16.

Les teneurs maxima sur eau brute (Cu total) varient entre 11,20 $\mu\text{g/l}$ (Station 6, le 28.05), et 57,50 $\mu\text{g/l}$ (Station 4, le 4.12). La teneur minimum relevée est de 0,30 $\mu\text{g/l}$.

L'examen du diagramme 4, montrant les variations des teneurs en fonction des stations et du temps, permet de formuler les remarques suivantes :

- La courbe concernant la station 3 est la plus irrégulière. Il semble qu'il y ait plus de risques, sur cette station, de pollutions accidentelles par le cuivre

Il y a lieu de noter que cette station 3, où la turbidité de l'eau est généralement importante, est la zone de "Wantij", point de rencontre des courants Nord et Sud entre l'île d'Oléron et le continent.

- Les teneurs les plus élevées se situent à la station 1, fin Avril, et à la station 4, début Décembre.

- On a noté, à la fin du mois d'Avril, une élévation simultanée des teneurs en cuivre aux stations 1 (prédominante), 4 et 5, avec comme valeurs respectives 49,3 - 32,7 et 21,7 $\mu\text{g/l}$.

A peu près à la même époque (début Mai), la teneur maximum de 58 $\mu\text{g/l}$ a été relevée à la station 6 de l'estuaire de la Gironde.

Il pourrait donc s'agir, soit d'entraînement par les pluies de cuivre provenant de fongicides : dans ce cas, ce phénomène pouvait se présenter dans la Garonne et dans la Gironde, ainsi que dans la Charente; soit d'une pollution accidentelle de la Gironde se repercutant dans le Bassin de Marennes-Oléron.

- Le pic de Décembre, à la station 4 (57,5 $\mu\text{g/l}$), est assez curieux. Ce maximum ne se repercute guère sur les autres stations, sauf, et à effet très réduit, sur les stations 1 et 5.

Il faut remarquer que, dans les eaux analysées, on ne peut noter, à cette époque, des anomalies sur la salinité, le pH, les anions ou les matières en suspension. Or, sur les autres stations, une teneur élevée en cuivre correspond, en général, à une teneur élevée en M.E.S, ce qui semblerait indiquer que le métal se trouve dans les eaux, en forte proportion, sous forme particulaire.

Dans ce cas particulier de la station 4, la teneur en M.E.S

est faible (24 mg/l), mais avait atteint un maximum (170 mg/l) quinze jours auparavant.

Le diagramme 14 montre les variations des teneurs en métaux lourds en fonction du temps, dans les échantillons relevés à la station 4. On peut remarquer que, jusqu'au mois de Juillet, les teneurs en cuivre varient d'une façon sensiblement identique aux teneurs en plomb et en zinc. A partir du mois de Juillet, et principalement en Novembre et en Décembre, les variations de teneurs en cuivre se diffèrent totalement des variations de teneurs constatées sur les autres métaux lourds.

La représentation graphique des teneurs moyennes annuelles fait apparaître un minimum à la station 6, avec 3,57 $\mu\text{g/l}$, la solubilité étant de 52,94%. Le maximum apparaît à la station 4, avec 10,72 $\mu\text{g/l}$, et une solubilité de 60,63%. C'est d'ailleurs à la station 4 que la solubilité est la plus élevée, la solubilité minimum apparaissant à la station 3, avec 45,35%.

4) Comparaison avec d'autres zones ostréicoles -

La comparaison avec les teneurs moyennes annuelles relevées en 1979 dans les stations des autres zones ostréicoles de la côte atlantique est faite dans le tableau suivant :

	Cu total $\mu\text{g/l}$		Solubilité %	
	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
Bassin de Marennes-Oléron	10,72	3,57	60,63	45,35
Golfe du Morbihan	5,21	1,45	99,40	52,01
Bassin d'Arcachon	4,20	2,24	100,00	87,50
Estuaire de la Gironde (St. 5)	11,94	-	76,04	-

Il faut donc noter :

- Que la teneur en cuivre des eaux du Bassin de Marennes-Oléron est nettement plus élevée que les teneurs déterminées dans les eaux du Golfe du Morbihan et du Bassin d'Arcachon. Dans ces deux dernières zones, le cuivre se trouve sous une forme plus soluble.

- Par contre, avec des teneurs maxima et moyennes identiques aux teneurs relevées dans l'estuaire de la Gironde, et avec une solubilité peu différente, le problème du cuivre se pose d'une façon comparable à Marennes-Oléron et dans la Gironde.

Si l'on excepte la présence, à Bordeaux, d'une unité industrielle de traitement du cuivre, cette identité pourrait trouver son explication dans les deux régions viticoles, du Bordelais et du Cognac.

E - ZINC

1) Origine -

En règle générale, le zinc n'est présent qu'en petite quantité dans les eaux de surface. On le trouve à l'état naturel dans certaines roches et minerais dont il est extrait, puis raffiné en un métal stable.

L'industrie utilise ce métal dans des domaines très divers : galvanisation, alliages (laiton, zamak), imprimerie, teinture. Les sels de zinc sont utilisés pour la fabrication de pigments, en peinture, pour la fabrication du caoutchouc, de produits luminescents, de piles, par les industries de décapage de surfaces métalliques, les industries pharmaceutiques, les fabriques d'insecticides, les unités de décomposition de graisses, etc.

Le zinc métal, employé pour la confection des toitures et des gouttières, est également utilisé, sous forme d'anodes, pour la protection des coques métalliques des navires, contre la corrosion par l'eau de mer. Il est quelquefois associé au T.B.T (Tributylétain), pour la préparation de peintures antifouling.

Les eaux résiduaires des usines de galvanisation ou de décapage peuvent contenir de 35 à 40 g/l de zinc. Ces eaux sont généralement traitées avant rejet dans le milieu naturel.

Les sels tels que les chlorures et les sulfates sont très solubles : il y a donc de gros risques d'entraînement de ces sels par les eaux pluviales. Par contre, les carbonates, les oxydes et les sulfures sont insolubles

2) Limites de toxicité -

Les "Water Quality Criteria 1973" fixent comme seuils pour les teneurs en zinc dans les eaux maritimes les valeurs suivantes :

- Seuil de sécurité : 20 $\mu\text{g}/\text{l}$
- Seuil à ne pas dépasser : 100 $\mu\text{g}/\text{l}$

3) Teneurs généralement constatées -

La teneur normale en zinc dans l'eau de mer du large est de 3 $\mu\text{g}/\text{l}$; celle des eaux littorales est beaucoup plus élevée, surtout au voisinage des zones industrielles. La teneur dans les sédiments littoraux est fréquemment de plusieurs centaines de milligrammes par kilogramme. SOUDAN, 1979 - (2).

Sur les côtes atlantiques françaises, les teneurs minima en zinc sont généralement inférieures au seuil de sécurité des "Water Quality Criteria", mais les maxima dépassent souvent le seuil critique. Les valeurs suivantes ont été relevées en 1979 : Bassin d'Arcachon, 175 $\mu\text{g}/\text{l}$ - Estuaire de la Gironde, 176 $\mu\text{g}/\text{l}$ - Golfe du Morbihan, 320 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Le cas du zinc est donc à examiner tout particulièrement, car il semble que les chercheurs n'ont pu se mettre d'accord sur les seuils réels de toxicité de ce métal, dans les eaux maritimes.

4) Cas du Bassin de Marennes-Oléron -

Les teneurs relevées en 1979 par l'I.S.T.P.M sont indiquées dans les tableaux I à VI, et sur les diagrammes 5, 10 et 11 à 16.

Des teneurs minima, sur eau brute, de 0,7 à 2,3 $\mu\text{g}/\text{l}$, ont été relevées aux stations 1 et 4.

Les teneurs maxima sont apparues au cours du premier trimestre de l'année 1979, à la station 3 (433 $\mu\text{g/l}$), et à la station 5 (428 $\mu\text{g/l}$).

Sur le diagramme 5, particulièrement intéressant, un pic apparaît d'abord en Janvier à la station 5. Il est d'ailleurs possible que le maximum ait été atteint, à cette station, à la fin de l'année 1978.

Ce maximum se répercute :

- Un mois après, à la station 3.
- Un mois après la station 3, à la station 4.
- Un mois après la station 4, mais avec une valeur supérieure, à la station 2.

Ce n'est que trois mois après le pic sur la station 2 que la station 1 présente un maximum.

Il semble à première vue qu'il s'agisse d'une pollution accidentelle de la Charente, qui se répercute jusqu'à Maumusson. Le pic de la station 1 ne correspond pas à une teneur anormale des eaux de la Gironde (Stations 4 et 5 Gironde), les teneurs en zinc dans ces stations s'étant maintenues, à cette époque, à un niveau relativement bas.

Le phénomène observé peut être sans doute un indicateur de la diffusion, dans le temps, des métaux lourds dans le Bassin de Marennes-Oléron, à partir de la Charente.

En dehors des périodes, relativement courtes, de fortes teneurs en zinc, le taux de ce métal, dans les eaux du Bassin de Marennes-Oléron, se situe, en 1979, en dessous du seuil de sécurité fixé par les "Water Quality Criteria 1973" (Seuil à ne pas dépasser).

La représentation graphique des valeurs moyennes (Diagramme 10), fait apparaître une crête de 110 $\mu\text{g/l}$ à la station 3, la moyenne maximum de la station 5 ne correspondant qu'à une teneur de 76,48 $\mu\text{g/l}$. Ces teneurs ont été déterminées sur eau brute, et représentent donc le zinc total.

Il faut remarquer que les teneurs moyennes annuelles en zinc soluble sont pratiquement identiques à la station 3 et à la station 5 (respectivement 42,25 et 41,33 $\mu\text{g/l}$).

Il semble donc qu'il y ait à la station 3, station du "Wantij" accumulation du zinc, une proportion importante de ce métal se trouvant sous forme particulaire insoluble.

La solubilité du zinc est, en moyenne, de 33,36% à la station 3, contre 54,04 à la station 5. Il faut comparer ces chiffres aux moyennes annuelles en M.E.S qui ne sont que de 85 mg/l à la station 3, contre 256 mg/l à la station 5. Il ne semble donc pas qu'il y ait une relation entre la teneur en zinc insoluble et la teneur en matières en suspension. Il y a lieu cependant de penser qu'une étude plus poussée devrait être entreprise dans ce domaine, pour déterminer

si le zinc n'est pas associé, dans certaines conditions, aux particules organiques en suspension.

Vers l'océan (Stations 1 et 6), les teneurs moyennes en Zn diminuent, et la solubilité augmente. Les valeurs maxima de solubilité sont atteintes à la station 2 (76,55%), et à la station 6, (76,73%).

L'examen des différentes teneurs relevées dans les stations permet de faire les remarques suivantes :

- A la station 5, le 29 Janvier, la teneur maximum en Zn correspond à une très forte teneur en M.E.S (998 mg/l), et à la plus forte turbidité.

- A la station 3, le 26 Février, la teneur maximum en Zn correspond à une teneur maximum en NO₃-.

Ces deux corrélations semblent constituer cependant des cas particuliers, l'inverse étant quelquefois constaté.

De toutes façons, le cas de la station 3 est à examiner tout particulièrement, car c'est dans cette zone de rencontre des courants que se produit une accumulation des pollutions.

On sait en effet - ELLERFIELD, 1979 (9) - que le zinc est précipité avec le fer sous forme de sulfure insoluble, dans les sédiments. Les sédiments de la zone entre Seudre et Charente, riches en fer, peuvent donc être la cause d'un stockage, et ensuite, d'une remise en suspension du métal.

Or, une partie non négligeable du zinc particulaire est réactif, probablement avec son association aux oxydes de fer et de manganèse. Ce zinc particulaire peut se concentrer dans les eaux près des fonds, avec des concentrations pouvant atteindre 100 ppm. Il y a là une possibilité de remise en circulation du zinc qui n'est pas négligeable.

5) Comparaison avec d'autres zones ostréicoles -

La comparaison avec les teneurs moyennes annuelles relevées en 1979 dans les autres zones ostréicoles de la côte atlantique est faite dans le tableau suivant :

	Zn total /ug/l		Solubilité %	
	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum
Bassin de Marenns-Oléron	110,13	22,52	76,73	38,36
Golfe du Morbihan	45,20	9,00	98,92	52,01
Bassin d'Arcachon	50,86	18,31	100,00	75,42
Estuaire de la Gironde (St. 5)	26,80	-	64,14	-

Il ne faut pas se baser, cependant, sur ces teneurs moyennes, pour estimer le danger que peut présenter le zinc sur les peuplements marins. Dans le golfe du Morbihan, et dans le Bassin d'Arcachon, des pics correspondant à des teneurs voisines de 400 /ug/l

ont été également observés. Le danger, pour le milieu marin, reside dans ces pics, même si leur durée est courte. Le problème sera examiné dans la deuxième partie de cette étude.

On ne peut formuler que des hypothèses sur l'origine de ces fortes teneurs en zinc, en 1979. Comme nous l'avons vu, la source probable du plus gros apport en zinc dans le Bassin de Marennes-Oléron est la Charente. Le métal peut être amené, dans les eaux de cette rivière, par les collectivités, mais également par les industries. Ce dernier risque est limité par la fermeture, en 1975, d'une usine de traitement de blendes (sulfure de zinc), à Tonnay-Charente. Mais des activités basées sur ce métal subsistent encore dans la région de Rochefort. (Atelier de galvanisation, manutention de minerai de zinc).

Il ne faut pas oublier cependant qu'un emploi massif saisonnier de matériel galvanisé, ou en zinc, peut conduire à des augmentations brutales de la teneur en Zn dans l'eau de mer.

En particulier, on a constaté de très fortes teneurs en zinc dans les eaux des ports de plaisance. Cette anomalie a pu être attribuée à l'utilisation des anodes de protection des coques de navires, des moteurs, ou des hélices.

L'examen des résultats d'analyses effectuées dans les eaux du Bassin de Marennes-Oléron permet cependant de penser que ces hautes teneurs, constatées en 1979, constituent un cas particulier. En 1977, les teneurs maxima ont été inférieures à 100 $\mu\text{g}/\text{l}$, et, en 1980, deux pics ont été seulement constatés le 17 Mars : de 124 $\mu\text{g}/\text{l}$ à la station 2, et de 123 $\mu\text{g}/\text{l}$ à la station 5.

F - EVOLUTION DES TENEURS AU COURS D'UNE MARÉE.

CAS PARTICULIER DES "CLAIRES" DE MARENNES-OLÉRON.

Pour terminer ce chapitre sur les teneurs en métaux lourds dans les eaux maritimes, il y a lieu de mentionner les analyses effectuées sur des échantillons prélevés le 14 Mai 1980 par le Laboratoire de l'I.S.T.P.M à La Tremblade, en un point donné - Station 2, embouchure de la Seudre - et au cours d'une marée.

Les échantillons ont été prélevés à l'heure de la basse mer, (surface et fond), puis, heure par heure, jusqu'à la haute mer, c'est à dire six heures après le premier échantillon.

L'eau des "Claires" (Bassins d'élevage des huîtres situés le long de la Seudre), a fait l'objet de trois prélèvements : le jour du remplissage, à marée haute, puis après 5 jours, et après 14 jours.

Les résultats obtenus sont reportés page 25.

Les solubilités, calculées d'après les analyses effectuées sur les échantillons d'eau brute et d'eau filtrée prélevés à marée

Analyses sur eaux des "Claires"

Temps	Point	Eau	Zn /ug/l	Pb /ug/l	Cd /ug/l	Cu /ug/l
BM	S	Eau brute	43,5	5,27	0,76	5,99
BM	F	"	197,5	11,58	0,35	7,14
BM	S	Eau filtrée	14,97	1,12	0,71	0,87
BM	F	"	72,29	0,80	0,75	0,18
BM + 1h.	S	Eau brute	34,	2,0	0,60	3,0
"	F	"	238,	5,23	1,62	13,0
BM + 2h.	S	"	31,5	3,2	0,60	11,5
"	F	"	169,	9,75	0,90	14,3
BM + 3h.	S	"	35,	5,5	0,60	6,9
"	F	"	182,	8,0	0,70	10,
BM + 4h.	S	"	18,	2,0	0,30	3,0
"	F	"	180,	10,0	1,0	13,0
BM + 5h.	S	"	27,2	2,5	0,6	2,2
"	F	"	100,	5,5	0,7	11,6
PM	S	"	20,	1,7	2,6	4,1
"	F	"	124,	7,8	1,1	6,3
PM	C	"	8,3	1,6	0,08	L.D.
PM + 5j.	C	"	9,08	1,5	1,23	L.D.
PM + 14j.	C	"	4,7	L.D.	0,40	L.D.

BM = Basse mer - PM = Plaine mer - S = Surface - F = Fond
C = Claires - L.D. = Limite décelable.

basse, sont les suivantes :

Zn : Surface = 34,41%
Fond = 36,60%

Pb : Surface = 21,25%
Fond = 15,54%

Cd : Surface = 93,42%
Fond = -

Cu : Surface = 14,52%
Fond = 2,52%

On peut tirer de ces résultats les conclusions suivantes :

1) Zn :

Les différences de teneurs, entre surface et fond, sont importantes, mais les différences de solubilité sont peu marquées. Le zinc doit donc se trouver, en grande partie, sous forme

particulaire, ces particules étant très fines.

Les teneurs à marée haute sont nettement inférieures aux teneurs à marée basse.

Dans les Claires, les teneurs en zinc, faibles et irrégulières, sont inférieures aux teneurs déterminées à l'embouchure de la rivière. Elles diminuent nettement après 14 jours de stockage.

2) Pb :

On note, comme pour le zinc, des différences de teneurs importantes entre surface et fond.

Les solubilités, entre surface et fond, sont nettement différentes. Elles sont faibles, ce qui semble prouver que le métal se trouve, en grande partie, sous forme particulaire insoluble. Ces particules, par leur densité, doivent se trouver en majeure partie au fond des eaux.

Les teneurs à marée haute sont inférieures aux teneurs à marée basse.

Les teneurs, dans les eaux des Claires, sont pratiquement égales aux teneurs lors du remplissage, à marée haute, mais diminuent pour être indécélables après 14 jours. Il semble donc y avoir, au cours de cette période, d'une part une insolubilisation du plomb, d'autre part un dépôt de ces sels insolubles.

Dans ce domaine, il serait intéressant d'étudier la sédimentation possible des faunes particulières.

3) Cd :

Le cadmium se trouve sous forme presque totalement soluble. Les différences de teneurs entre surface et fond sont variables.

Ce métal se retrouve dans les eaux des Claires, et, du fait de la solubilité de ses sels, sa concentration se maintient dans le temps.

4) Cu :

Le phénomène observé pour le plomb se retrouve, amplifié, pour le cuivre.

Les teneurs, au fond des eaux, sont plus élevées qu'en surface et la solubilité est particulièrement faible. Il est incontestable que le cuivre se trouve, en majeure partie, sous forme particulaire insoluble.

Le piègeage du cuivre dans les sédiments doit donc être important et rapide. De ce fait, le métal n'a pu être décelé dans les eaux des Claires.

Les Claires, par leurs eaux calmes et leurs fonds sédimentaires, semblent constituer des zones de prédilection pour le dépôt,

ou le piégeage, des métaux lourds dans les sédiments.

Les analyses réalisées par l'I.S.T.P.M permettent d'émettre l'hypothèse que ce dépôt - ou ce piégeage - est inversement proportionnel à la solubilité. D'après les résultats obtenus, on peut dire en effet que la diminution des teneurs se fait, en ordre croissant, dans le sens Cd, Zn, Pb, Cu, c'est à dire à l'inverse de la solubilité normale de ces métaux dans les eaux maritimes.

Au contraire, on peut émettre une autre hypothèse en ce qui concerne la remise en suspension de ces métaux dans les eaux.

Lors du brassage des sédiments de fond, par suite de l'action des fortes marées, ou des tempêtes, les métaux se trouvant en grande partie sous forme particulaire (Zn, Pb, Cu et probablement Hg), peuvent se remettre en suspension dans l'ordre de leurs solubilités respectives, c'est à dire, pour le cas étudié, dans l'ordre Zn, Pb, Cu.

Le risque d'accumulation des métaux lourds dans les sédiments doit donc être beaucoup plus grand pour le cuivre et pour le plomb que pour le zinc.

CHAPITRE 2

ACTION DES METAUX LOURDS SUR LES ORGANISMES ET LES PEUPELEMENTS MARINS

-o-o-o-o-

2a - ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

La recherche des métaux lourds sur les peuplements marins du Bassin de Marennes-Oléron est récente. Cette étude bibliographique concerne particulièrement les éléments faisant l'objet d'un contrôle normal de l'I.S.T.P.M, les peuplements principalement étudiés étant les mollusques, et surtout les huîtres, ressource majeure de cette région ostréicole.

A - MERCURE

1) Action sur les êtres vivants -

L'intoxication par le mercure, stocké par les animaux marins et absorbé ensuite par l'homme, est certainement l'intoxication par les métaux lourds la plus connue et la plus décrite.

La maladie de Minamata se traduit par l'atrophie des cellules granuleuses du cervelet, la disparition des cellules nerveuses de part et d'autre de la scissure calcéaraine, et une atteinte des tractus pyramidaux et extrapyramidaux. Les principaux symptômes sont la fatigue, les pertes de mémoire, les troubles de la vue et de l'ouïe, la dysarthrie, et, dans les cas les plus graves, la mort survient.

On suppose que le mercure, ingéré sous forme organique, se lie aux groupements sulfhydriles des protéines du poisson. Dans l'estomac de l'homme, la présence de HCl dans les sucs gastriques libère le mercure sous forme de chlorure de méthylmercure, qui passe alors dans le sang, les lipides, les cellules nerveuses, et, en particulier le cerveau. Il y a ensuite oxydation enzymatique, et le mercure est libéré. Il se fixe alors sur les triglycérides. WOOD J. - Cit. SOUDAN 1979, (2).

D'après les expériences de MIELTTINEN avec Hg marqué, le méthylmercure est retenu d'une façon beaucoup plus efficace que Hg

par le poisson, mais moins bien par les mollusques.

On pense que les poissons et les mammifères marins sont capables de transformer le mercure ingéré en méthylmercure. Le taux de méthylmercure dans leurs tissus est fréquemment élevé : 82 à 100% dans le muscle du germon atlantique, 49 à 100% dans celui du thon rouge méditerranéen, 13 à 100% dans les muscles de mammifères marins.

On peut penser que la méthylation, au moins chez les mammifères marins, fait partie du processus d'élimination, car le pourcentage de méthylmercure est particulièrement élevé quand la teneur totale est faible.

Chez un même individu, le taux de fixation varie d'un organe à l'autre, notamment selon leur richesse en radicaux sulfhydryles, mais la répartition dans un organe donné paraît homogène. Chez les mollusques, le mercure se fixe surtout dans les branchies et les viscères; chez les vertébrés, dans tous les organes riches en sang : rate, foie, rein, estomac, cœur. Chez le thon, la teneur du muscle rouge est toujours plus élevée que celle du muscle blanc. La teneur dans le cerveau est relativement faible, celle des tissus adipeux plus encore, malgré la solubilité de CH_3Hg dans les lipides. Le mercure est donc bien fixé sur les protéines.

Le processus inverse, tendant à éliminer le mercure après retour en milieu non pollué, est très long, même si le passage de milieu pollué en milieu non pollué est rapide. MIETTINEN a déterminé que le temps pour éliminer 50% du mercure va de 100 à 1000 jours selon les espèces. Cette élimination est la plus difficile quand le mercure se trouve à l'état inorganique.

Les teneurs en mercure sont relativement faibles dans les espèces végétariennes (Clupéidés), ou microphages (poissons plats), tandis qu'elles sont particulièrement élevées chez les poissons de fond, et chez les grands carnivores : grondins, bars, muges, congres, raies, requins, thons, espadons, poulpes.

La teneur en mercure est généralement d'autant plus importante que la taille est plus grande dans une espèce donnée. Cette teneur varie aussi, à taille égale et dans la même espèce, selon les lieux de pêche. Le bassin méditerranéen, riche en mines de cinabre, conduit à des teneurs en Hg nettement supérieures aux teneurs relevées dans l'Atlantique.

Le taux de mercure, atteint dans les tissus, dépend évidemment de la résistance à l'intoxication propre à l'espèce. Les crustacés (crabes et crevettes), et les huitres plates, sont particulièrement sensibles, à l'état de larves, à l'intoxication par le mercure.

Les concentrations létales avancées pour les adultes sont relativement élevées (CONNOR) : Crabe Larcinus maenas 1,2 mg/l d'eau de mer à 15° en 48 h. ; Crevette grise Crangon crangon (plus résistante que Pandalus montagui) 5,7 mg/l, Huitre Ostrea edulis 4,2 mg/l.

Chez les poissons, les concentrations létales semblent être du même ordre de grandeur.

Il y a lieu de noter que les valeurs ci-dessus indiquées

ont été mesurées en aquarium. On a constaté cependant que des animaux marins présentent une résistance à des concentrations nettement supérieures aux chiffres indiqués ci-dessus. On suppose, dans ce cas, que certains éléments (en particulier le sélénium) ont un effet d'antidote. Ceci n'a cependant pas été démontré.

D'autres valeurs limites ont été indiquées. MARTIN, 1976 - (10) Le seuil toléré dans les poissons serait de 0,5 à 0,7 $\mu\text{g}/\text{l}$ sur poids sec. Mais des teneurs de 2,6 $\mu\text{g}/\text{l}$ ont été relevées sur certains animaux marins.

2) Expériences et essais -

La principale activité de la zone de Marennes-Oléron étant la conchyliculture, il est intéressant d'examiner les essais qui ont été réalisés sur les mollusques.

Des expériences ont été faites aux U.S.A sur l'huitre Crassostrea virginica, -MASON, 1975 - (11) - en apportant le mercure sous forme inorganique (HgCl_2).

L'huitre étudiée était une huitre normalement cultivée dans les estuaires de la Louisiane. Les spécimens furent sélectionnés selon leurs dimensions (8-12 x 5-8 cm.), et adaptés aux conditions d'expérience du laboratoire : $T = 24^\circ \text{C}$., salinité 16 ‰, turbidité 1 Jackson Turbidity Unit -J.T.U - , $\text{pH} 8,3 \pm 0,2$, eau de mer synthétique aérée - sur une période de sept jours précédant l'étude.

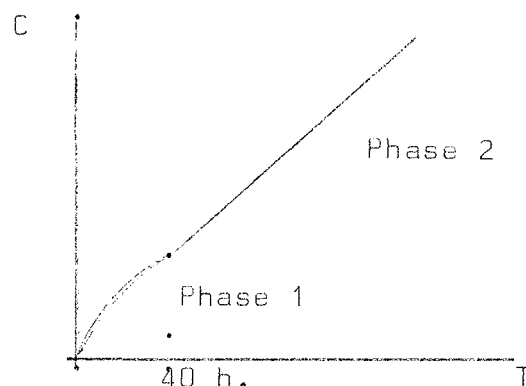
La contamination fut alors étudiée sur des périodes de 2,4, 8,16,32,64,128 et 256 heures; la décontamination sur une période de 256 heures, en prenant pour temps zéro la 256e heure de contamination.

On a pu déterminer que l'huitre accumule des quantités non négligeables de mercure pour des concentrations relativement basses de HgCl_2 .

Le point particulièrement intéressant de cette étude réside dans le fait que l'accumulation du mercure dans l'huitre se fait en deux phases :

- Dans une première phase, d'une durée de quarante heures environ, la concentration est rapide, puis croît dans une moindre proportion.

- Dans une deuxième phase, la concentration est proportionnelle au temps.



La première phase est réversible, c'est à dire que le mercure peut être éliminé, dans un milieu non pollué, de la même façon qu'il s'est concentré dans un milieu pollué.

Par contre, la deuxième phase est irréversible, et le mercure reste dans le tissu de l'huitre, même quand celle-ci est placée à nouveau dans un milieu non pollué.

Dans la première phase, la concentration en Hg dans les tissus est, au début, rapide. Une teneur de 0,5 $\mu\text{g/g}$ a été constatée dans l'huitre, après 8,6 heures d'exposition à un bain de 10 $\mu\text{g/l}$ de HgCl_2 , et seulement après 0,5 heure, à un bain de 100 $\mu\text{g/l}$.

D'autres expériences ont été réalisées, également avec apport de Hg sous forme de HgCl_2 , sur la palourde Rangia cuneata, l'une des palourdes les plus abondantes sur les côtes Sud et Sud-Est des Etats Unis. - DILLON, 1977 - (12).

Les essais ont été différents des essais précédents : ils ont porté sur la résistance des palourdes à des eaux de mer ayant des salinités variant de 2 à 15 ‰, et contenant 1 ppm de mercure sous forme de HgCl_2 .

- Une partie des palourdes, après deux semaines d'acclimation à l'eau de mer synthétique non polluée, a été placée directement dans l'eau polluée.

- Une autre partie a été "acclimatée" dans une eau synthétique contenant 10 ppb de mercure, pendant deux semaines, puis soumise au bain à 1 ppm de mercure.

Les résultats montrent qu'une mortalité de 50% des palourdes, correspondant approximativement à une concentration en Hg dans les tissus de 20 $\mu\text{g/g}$, survient après une exposition de 120 heures environ pour les mollusques non "acclimatés" à l'eau de mer à 1 ppb Hg, et après une exposition de 220 heures environ pour les mollusques "acclimatés".

Dans la courbe mortalité / Temps, et sur les palourdes non "acclimatées", on retrouve les deux phases décrites pour la Crassostrea virginica, la première phase semblant correspondre à une durée de 50 heures environ.

Ces essais ont montré d'autre part que le mercure semble être moins toxique pour les palourdes "acclimatées" à l'eau de mer à 2 ‰ de salinité, par rapport à l'eau de mer à 15 ‰ de salinité.

Il y a lieu enfin de noter l'influence de certains complexants sur le transfert du mercure de l'eau aux tissus vivants. Des essais ont été effectués, sur des cultures planctoniques, et sur des moules, en utilisant les complexants suivants : - R.I.O.M, 1974 - (21).

- E.D.T.A
- Acide glutamique (Gl)
- Alcool sulfaté (AS)
- Alkylbenzène sulfonate (ABS)
- Eau d'égoût (Et)
- Acides humiques (AH)

Les résultats suivants ont été notes : (concentration en Hg : /ug/g de substance humide).

Milieu (0,10 ppm Hg)	Témoïn (sans Hg ni comp.)	+ Hg	+ Hg + EDTA	+ Hg + Gl	+ Hg + AS	+ Hg + ABS	+ Hg + AH	+ Hg + EE
Phytoplancton après 8 jours	0,2	339	330	311	312	297	266	273
Moules après 8 jours	0,1	34,7	27,0	38,7	30,9	33,8	11,5	32,8

Les facteurs de transfert (Rapport des concentrations dans l'organisme à celles existant dans l'eau), sont de 3000 en ce qui concerne le phytoplancton, et de 400 en ce qui concerne la moule.

L'addition de 0,10 ppm de mercure au milieu a pour résultat d'augmenter par 1700 environ la teneur dans le phytoplancton, et de 350 environ la teneur dans les moules.

L'E.D.T.A a une action légèrement dépressive, et les acides humiques une action fortement dépressive, sur le transfert du métal aux moules.

3) Teneurs - Valeurs limites -

Une étude a été faite sur la teneur en mercure dans les moules du littoral français. - THIBAUD, 1973 - (13).

Les moules - en général Mytilus edulis - ont été prélevées dans des gisements naturels. Les teneurs trouvées varient, pour des échantillons prélevés en Décembre 1971, de 0,01 à 0,24 mg/kg de chair égoutée. Les moules les plus polluées se trouvent dans la région Golfe de Fos - Toulon.

Dans le Bassin de Marennes-Oléron, la teneur en Hg a été de 0,06 mg/kg.

En Juin et en Octobre 1972, la teneur en mercure dans les moules a été légèrement plus élevée : 0,09 mg/kg dans le Bassin de Marennes-Oléron, et 0,25 à 0,30 dans la région Golfe de Fos - Toulon.

L' I.S.T.P.M indique des teneurs en mercure sur des coquillages provenant d'une même région :

- Moules : 0,09 mg/kg
- Huitres : 0,02 à 0,09 mg/kg
- Coquilles Saint Jacques : 0,04 à 0,06 mg/kg
- Fraises : 0,04 à 0,11 mg/kg
- Palourdes : 0,07 mg/kg

Des teneurs relevées sur le littoral du Canada et de la Grande Bretagne donnent des valeurs à peu près identiques.

Notons pour conclure les chiffres indiqués en 1973 par le Ministère de l'Environnement - (35)

- Dose admise dans les aliments : jusqu'à 0,7 mg/kg
- Teneurs généralement déterminées (mg/kg de mat. sèche) :
 - Mollusques : 0,025 à 0,2
 - Crustacés : 0,04
 - Poissons : 0,1 à 10

B - CADMIUM

1) Action sur les êtres vivants -

L'effet toxique le plus connu du cadmium sur l'homme est la maladie d'Itaï- Itaï, (KOBAYASHI, 1971) qui se traduit par des troubles du métabolisme du calcium, accompagné de décalcification, de rhumatismes, névralgies, protéinuries, troubles cardiovasculaires. - MARTIN, 1976 (10).

L'homme est exposé normalement à une moyenne de 55 microgrammes de cadmium par sa nourriture quotidienne, dont 5% environ sont absorbés dans le corps. Le problème est que ce métal s'accumule, l'élimination, essentiellement fécale et secondairement urinaire, étant particulièrement lente. Il a été dose, dans le cortex rénal d'individus âgés de 50 à 70 ans, des teneurs en Cd de 5 à 6 ppm. - KOLBYE, 1974 (14).

Par expériences, et par résultats d'observation sur des personnes ayant été exposées accidentellement au cadmium, on a découvert qu'une teneur de 200 ppm de Cd dans le cortex rénal est associée à des troubles rénaux, et à une augmentation de la tension artérielle.

Le Docteur KOLBYE fait le calcul suivant : Une huitre normale pèse 50 grammes et contient 5 ppm de Cd. Certaines huitres arrivent à contenir 250 mg de Cd. L'ingestion d'une demi-douzaine de telles huitres conduit donc à l'apport de 1500 microgrammes de Cd, soit quatre fois plus que la quantité de ce métal absorbée normalement dans une semaine.

En ce qui concerne l'action sur les organismes marins, PRESTON indique un facteur de concentration, à partir d'une même eau, de 100 pour les poissons, 1000 pour les crustacés, 1000 à 100 000 pour les mollusques, 100 000 pour le plancton. Chez les poissons, on n'observe pas de différence significative entre ceux qui vivent en eau saumâtre, sur le littoral, ou au large. Le foie, le rein, éventuellement la rate, contiendraient respectivement 10, 30 et 80 fois plus de cadmium que le muscle. On n'a pu isoler, dans la matière vivante, de dérivés alkyles volatils ayant une toxicité supérieure au métal sous sa forme inorganique. - BOUDAN, 1979 (2).

Dans un même tissu, Cd se fixe beaucoup plus intensément sur la fraction protéique que sur les lipides, bien qu'il semble intervenir dans la phosphorylation de ceux-ci. (BOUDENE)

2) Expériences et essais -

Parmi les études récentes sur l'action du cadmium envers les populations marines, on peut noter le travail de Helen R. WATLING, du Laboratoire National de Recherches Physiques de Pretoria. (15)

Les essais ont été réalisés sur des larves et du naissain d'huitres Ostrea gigas, provenant d'établissements de pisciculture.

Cinq expériences ont été réalisées, dans des eaux enrichies en Cd par un chlorure, et contenant des substances nutritives. La température de ces eaux était maintenue constante.

Les bases principales de ces expériences étaient les suivantes :

a) Larves de 5 jours. Solutions : de contrôle (Cd inférieur à 1 $\mu\text{g}/\text{l}$), et 20, 40 et 100 $\mu\text{g}/\text{l}$ Cd. Les larves ont été mesurées après 2, 5 et 7 jours, puis placées pendant 4 jours dans la solution de contrôle.

b) Larves de 16 jours. Solution : de contrôle, 50, 100 et 200 $\mu\text{g}/\text{l}$ Cd. Étude de peuplement sur disques en P.V.C noir pendant 7 et 16 jours. Après ces essais, étude de l'évolution en solution de contrôle pendant 5 et 9 jours.

c) Larves de 24 jours fixées sur disques en P.V.C noir. Solutions : de contrôle, 100, 250 et 500 $\mu\text{g}/\text{l}$ Cd. Exposition pendant 10 jours aux solutions, puis évolution pendant 5 jours dans une solution de contrôle.

d) Naissains de 64 jours et de 3 mois. Solutions : de contrôle, 250, 500 et 1000 $\mu\text{g}/\text{l}$. Exposition pendant 5 jours au Cd, puis évolution pendant 5 jours dans une solution de contrôle.

e) Naissains de 41 jours. Solutions: de contrôle, 10 et 20 $\mu\text{g}/\text{l}$ Cd. Examen pendant 4, 8 et 12 jours de traitement.

Les résultats obtenus dans ces séries d'expériences (tableaux page 35) montrant l'extrême toxicité du Cd envers les larves et le naissain de la Crassostrea gigas. Une concentration de seulement 20 $\mu\text{g}/\text{l}$ augmente d'une façon notable la mortalité dans les larves de 5 jours, et réduit de 20% la croissance de ces larves sur une période de 11 jours. L'exposition prolongée du naissain de 41 jours à la même concentration de Cd conduit à une réduction de 40% de la dimension du naissain par rapport au contrôle.

Le nombre de larves s'étant fixées, et la viabilité des larves avec fixation, en présence de 50 $\mu\text{g}/\text{l}$ Cd, est nettement inférieur à celui des larves ayant vécu dans des conditions normales. En général, l'augmentation de la mortalité, associée à la suppression de la croissance, a été observée quand la concentration en Cd augmentait.

La sensibilité des larves et du naissain de Crassostrea gigas décroît avec l'âge, en exposition de courte durée au cadmium. La mortalité observée dans ces expériences a été appliquée au calcul de la concentration létale en présence de Cd, de 50% après 96 heures.

H.R. WATLING - Action du cadmium sur la Crassostrea gigas

Tableau 1 - Largeur moyenne et mortalité des larves suivant l'exposition au cadmium.

Essais	Age (Jours)	Largeur moyenne μ m						Mortalité %						
		C	20	40	50	100	200	C	20	40	50	100	200	
A)														
Essai 1	5	88												
Essai 2	12	240	200	200	-	200	-	30	50	75	-	85	-	
Essai 3	16	270	220	210		200		35	65	90	-	95		
B)														
Essai 1	16	260	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Essai 2	21	340	-	-	320	310	280	5	-	-	25	35	60	

Essais A) - 1 Echantillon d'origine
 - Après 7 jours d'exposition au Cd (2)
 - 3 Après 4 jours suivants dans la solution de contrôle

Essais B) - 1 Echantillon d'origine
 - 2 Après 5 jours d'exposition au Cd

Tableau 2 - Pourcentage de fixations pendant l'exposition au Cd

Cd (μ g/l)	Fixation totale %		Fixation totale %	
	Exposition 7 jours	Exposition 16 jours	avant l'âge de 26 jours Exposition 7 jours	Exposition 16 jours
Contrôle	-	58	-	9
50	42	41	29	33
100	6	5	66	92
200	-	5	-	100

Tableau 3 - Viabilité des larves qui se fixent pendant ou après l'exposition au cadmium.

	Nombre initial sur disques PVC	Nombre de croissance %	Dimension moyenne à l'âge de 37 j. (μ m)
Contrôle	390	55	930
Sol. 50 μ g/l Cd			
Exp. 7 jours	410	41	860
Exp. 16 jours	350	29	720

Tableau 4 - Croissance du naissain précoce, se fixant dans des conditions normales, mais s'étant développé en présence de Cd.

Cd μ g/l	Dimension du naissain (μ m)			Taux de survie 10 jours (%)
	Ech. initial	Après 5 j. avec Cd	Après 5 j. suiv. en contrôle	
Contrôle	500	840	1020	78
100	-	780	980	65
200	-	730	900	63
500	-	660	670	21

La LC 50 - 96 heures obtenue est, pour des larves de 5 jours, de 50 $\mu\text{g/l}$ - pour des larves de 16 jours, de 200 $\mu\text{g/l}$ - pour du naissain de 25 jours, de 1000 $\mu\text{g/l}$ - pour du naissain de 64 jours, de 1500 $\mu\text{g/l}$, et pour du naissain de trois mois, de 2000 $\mu\text{g/l}$. Ces concentrations sont approximatives et ne sont proposées que pour illustrer la tolérance croissante au Cd quand l'âge augmente. Il est apparent, d'après les résultats obtenus dans cette étude, que des teneurs en cadmium plus basses que les teneurs choisies peuvent affecter la croissance des larves et du naissain de la Crassostrea gigas.

Quelques uns des résultats de ces expériences contrastent avec ceux obtenus au cours de deux études sur l'effet du zinc - élément essentiel pour l'activité enzymatique dans les huîtres - sur les larves et le naissain de la Crassostrea gigas. BRALTON et al., 1973 - BOYDEN et al., 1975.

En premier lieu, le cadmium apparaît plus toxique que le zinc, aussi bien pour les larves que pour le naissain. Ensuite, l'effet du cadmium semble être permanent. Dans le cas de naissain exposé au zinc pendant une courte période, où la croissance fut arrêtée, cette croissance reprit immédiatement dès que le naissain fut replacé dans l'eau pure, si bien qu'après cinq jours, les individus soumis à tous les traitements du zinc avaient approximativement la même taille que les individus soumis au contrôle. (BOYDEN et al., 1975). Ce rétablissement et la croissance rapide ne furent pas observés sur le naissain soumis au traitement par le cadmium, après le retour aux conditions normales.

Enfin, il a été déterminé que la présence de zinc neutralise le développement du comportement, et retarde la fixation des larves. Cependant ces larves, qui se fixent en présence de zinc, ne sont pas moins viables que celles ayant vécu en milieu normal. Les résultats notés ci-dessus montrent que la présence de cadmium entraîne une fixation précoce. D'autre part, le nombre d'individus fixés, et leur viabilité, sont nettement réduits.

Les résultats obtenus concernent seulement les conditions expérimentales décrites, celles-ci étant : le contrôle de la qualité de l'eau, la qualité de la nourriture, la température et l'aération. De basses concentrations en cadmium, qui ont un effet mesurable dans ces conditions, peuvent avoir un effet plus marqué dans des conditions normales, où les paramètres sont variables. L'indication la plus nette de toxicité est la réduction dans la croissance de la larve. Comme l'a noté CALABRESE (1973), un tel retard de la croissance peut aider à prolonger la vie pélagique des larves et, de ce fait, accroître leur chance de perte par prédation, maladie et dispersion, donc réduire leur densité dans la population.

L'action des métaux lourds, comme le zinc et le cuivre, influençant l'action toxique du cadmium, a amené divers auteurs à rechercher la possibilité d'association de ce dernier métal à certaines protéines, et, en particulier, les métallothionéines - NOEL-LAMBOT, 1976-1978 (31,32,33).

On a montré que certains métaux lourds, particulièrement le Cd, induisent la synthèse des métallothionéines dans l'organisme. - SHAIKH et LUCIS, 1970 - PIOTROWSKI et al. 1973.-

Cette propriété a conduit à leur attribuer un rôle de protection vis à vis des cations toxiques Cd^{2+} et Hg^{2+} . - SUDA et al., 1974, BUQUEGNEAU et al., 1975 -

Des travaux récents ont démontré l'existence de métallothionéines chez plusieurs espèces de téléostéens, chez quelques mollusques et crustacés, et dans les tissus d'une algue bleue.

Lors d'expériences réalisées sur des tissus de mollusques homogénéisés dans une solution de saccharose 0,5 M, on a pu constater que, chez les animaux ayant accumulé de grandes quantités de Cd, (patelles, pourpres et bigorneaux), ce métal se trouve pour la plus grande part associé à une fraction coïncidant avec un pic d'absorbance à 250 nm, et dont le volume d'éluion indique un poids moléculaire de l'ordre de 10.000. Dans la plupart des échantillons, cette fraction fixe en outre de faibles quantités de Zn et de Cu. Une analyse détaillée de la nature de cette fraction indique qu'elle est essentiellement composée de métallothionéines.

D'autres expériences ont montré que, chez l'anguille :

- Dans le cas d'une intoxication chronique, la plus grande partie du Cd, accumulé dans le foie et les ovies, est lié aux métallothionéines.

- Dans le cas d'une intoxication aiguë, seul le foie accumule le Cd sous forme de Cd-Thionéine.

- Dans le cas d'animaux non exposés au Cd, les métallothionéines se trouvent en plus faible quantité dans le foie, et sous forme de composés de Zn et de Cu. Dans les ovies, la métallothionéine n'existe pas en quantité détectable.

En ce qui concerne les possibilités d'accumulation du Cd dans les tissus des animaux marins, il faut noter les études de DARRACOTT et de WATLING, en 1978, (16), réalisées sur la Crassostrea gigas en zone polluée d'Afrique du Sud.

Les échantillons ont été prélevés en deux zones polluées : estuaire de Poole Harbour et rivière Helford. Les analyses ont donné les résultats suivants, sur les eaux d'estuaire, et sur les eaux de captage pour les installations ostréicoles :

	Echantillons d'estuaire		Echantillons de captage	
	Helford	Poole	Helford	Poole
<u>Eaux</u> : Cd/ug/l				
Limites	0,2-1,0	0,2-1,5	0,2-0,6	0,2-0,7
Moyennes	0,4	0,8	0,3	0,2
<u>Sédiments</u> :				
Limites	1 - 3	1 - 2	1 - 4	1 - 12
Moyennes	2	1	2	1

L'analyse de Crassostrea gigas (stock initial d'une dimension moyenne de 32,5 mm) montre d'une façon indéniable l'existence de pollution dans la zone de Poole Harbour. Le tableau suivant indique l'accumulation du Cd, de 0,8 à 3,8 $\mu\text{g/g}$ dans le tissu humide, après huit mois de croissance dans cette zone (Concentrations en Cd: $\mu\text{g/g}$)

	Echantillon initial		4 Mois		8 Mois		12 Mois
	Helford	Poole	Helford	Poole	Helford	Poole	Helford
<u>Tissus humides :</u>							
Branchies	1,7	1,3	0,27	2,3	0,32	3,9	0,5
Manteau	1,6	0,8	0,2	1,9	0,23	2,7	0,3
Dans l'ensemble de l'huitre	0,8	0,8	0,2	1,8	0,2	3,6	0,8
<u>Tissus secs :</u>							
Branchies	15,0	10,8	2,5	19,0	3,8	39,4	3,6
Manteau	15,0	6,0	2,4	16,0	2,8	25,6	2,0
Dans l'ensemble de l'huitre	6,0	4,0	1,8	14,1	2,2	26,7	1,6

3) Teneurs - Valeurs limites -

Le Ministère de l'Environnement français a indiqué en 1973 les valeurs suivantes : (35)

- Dose toxique pour l'homme, en cas d'ingestion en une seule fois : 30 mg.

- Dose admise dans les aliments (mg/kg) :
Poissons : 1
Mollusques : 5

- Teneurs généralement déterminées, en mg/kg de matière sèche :

Algues : 0,0006
Poissons : 0,15 à 3

Les teneurs suivantes ont été dosées, sur certains mollusques : (mg/kg sur tissus humides)

	Min.	Max.	Moy.
<u>Mytilus edulis</u> (Moules)	0,17	0,42	0,31
<u>Ostrea edulis</u> (Huitres plates)	0,27	0,75	0,43
<u>Crassostrea gigas</u> (Huitres creuses)	-	-	0,85
<u>Venus verrucosa</u> (Praires)	0,17	0,38	0,28
<u>Tapes decussatus</u> (Palourdes)	0,16	0,32	0,24
<u>Pecten maximus</u> (Coquille St Jacques)	0,90	2,65	1,98

Une certaine sélectivité se manifeste dans la fixation du cadmium. Les huitres, les gonades de crabes, et surtout les coquilles St Jacques et les patelles contiennent habituellement des teneurs en Cd relativement élevées, comparativement à celles des autres organismes vivant au même lieu.

La toxicité directe a été déterminée pour quelques espèces marines communes. La concentration létale 50% en 96 heures a été trouvée : pour la moule *Mytilus edulis*, 25 mg/l ; la *Mye mya arenaria* 2,2 mg/l ; le Bernard l'Hermitte *Pagurus longicarpus*, 0,32 mg/l ; la crevette *Crangon septemspinosa*, 0,32 mg/l. Les valeurs indiquées pour les poissons sont du même ordre de grandeur, mais elles tombent au voisinage de 0,01 mg/l lorsque les tests sont prolongés pendant huit jours (168 heures) au lieu de quatre. La mort survient chez les crevettes alors que la teneur en Cd des tissus est nettement plus faible que celle que l'on aurait avec le mercure. (WILSON et CONNOR).

D'après les experts FAO/OMS, la dose hebdomadaire admissible pour l'homme est de 400 à 500 microgrammes. Le Département U.S de la Santé propose comme limite en Cd, Pb, Hg et Cr combinés dans les coquillages, pour la consommation humaine, 0,2 µg/g dans les tissus humides.

Il faut rapprocher ces chiffres aux teneurs dosées sur certains mollusques vivant en zones polluées : Patelle, jusqu'à 500 µg/g Cd sur tissu sec, Pecten, jusqu'à 249 µg/g.

C - PLOMB

1) Action sur les êtres vivants -

Le plomb provoque une inhibition des enzymes, et l'altération du métabolisme des cellules. -MARTIN, 1976 (10).

L'action la plus connue du plomb sur l'homme se manifeste par le saturnisme, maladie concernant trois niveaux : nerveux, hémato-poïétique et rénal. L'effet sur les animaux marins est mal connu, en dehors de l'anémie chez les poissons, ainsi qu'une réduction de la croissance et de la faculté de reproduction. - SOUDAN, 1979 (2).

Il semble que cette action ait une certaine analogie avec l'action du cadmium.

Le plomb n'existe pas normalement parmi les constituants biologiques, mais il est susceptible de s'accumuler dans les tissus animaux. Les teneurs trouvées dans les organismes marins sont faibles. Elles sont généralement plus élevées chez les crustacés et les mollusques que chez les poissons du même lieu. Elles diminuent en s'éloignant de la côte. Les valeurs données vont de 0,2 à 1,2 mg/kg - exceptionnellement 6 chez les poissons, - 0,2 à 4 mg/kg chez les crustacés, 0,2 à 0,8 chez les mollusques.

Lorsque le plomb s'est accumulé dans les tissus, son élimination est très lente. D'après PRINGLE et al. (1968), l'huitre peut prélever le plomb d'une façon cumulative. Pour une concentration de 0,2 ppm dans l'eau, les huitres assimileraient quelques milligrammes par kilog et par jour jusqu'à la concentration létale. Les facteurs de concentration pourraient atteindre 14000.

La dose maximale chez l'huitre serait, d'après ces auteurs, de 2 ppm dans les tissus secs.

La toxicité aigüe, estimée par la LC 50/96 h., a été observée chez les animaux marins pour des concentrations de 1 à 10 µg/l d'eau de mer. Elle croît en présence de Zn ou Hg. Elle est beaucoup plus élevée pour les larves de bivalves que pour les sujets adultes. La LC 50 semble être : pour les moules, de 10 µg/l en 129 jours, pour les larves de Crassostrea virginica, de 2,45 µg/l.

2) Expériences et essais -

Des études ont été réalisées sur l'action du plomb sur les mollusques.

PRINGLE, 1969 (17) a étudié expérimentalement l'action du plomb, à des concentrations de 0,025 à 0,2 ppm, sur la Crassostrea virginica.

Cette huitre a été soumise pendant 49 jours à des solutions de plomb inorganique, et chaque partie de l'animal a été analysée pour doser le métal et en déterminer le taux d'accumulation.

La "valeur d'accumulation" est donnée par différence entre les teneurs finales et initiales en plomb.

Les résultats sont indiqués dans le tableau page 41.

Ce tableau montre que l'accumulation en plomb croît avec la concentration du milieu aqueux. D'autre part, cette accumulation est supérieure dans certains organes (foie et gonade).

D'autres essais ont été effectués, sous une autre forme, sur la moule de l'Adriatique Mytilus galloprovincialis. BRLENKO, (18).

Des oeufs de moule fécondés ont été soumis à trois séries de tests de toxicité, à des températures constantes de 15, 17,5 et 20° C, ces températures ayant été retenues comme les plus favorables au développement embryonnaire de l'animal.

A chacune de ces températures correspondaient des séries d'essais :

- A des concentrations en Pb différentes : 0, 100, 250, 500 et 1000 ppb.

- A des salinités différentes : 25 - 27,5 - 30 - 32,5 et 37,5 ‰.

Ces salinités étaient obtenues en partant d'eau de mer d'environ 37 ‰ S, et contenant 3,6 ppb de plomb, à laquelle était ajoutée de l'eau douce contenant 0,5 ppb de Pb.

Le plomb avait été ajouté sous forme de nitrate. Il y a lieu de noter que, dans le milieu aqueux, une partie seulement du Pb restait soluble, l'autre partie précipitant. Par exemple, après 30 minutes, la teneur en Pb soluble dans la solution à 1000 ppb n'était que de 540 ppb.

PRINGLE : Action du plomb sur la Crassostrea virginica.

Concentration de la sol. d'essai (ppm)	Zône anatomique	Valeur d'accumulation mg/kg	Taux d'accumulation mg/kg/jour
0,025	Muscle	9	0,20
0,05	"	23	0,50
0,1	"	50	1,13
0,2	"	115	2,30
0,025	Périphérie du manteau	15	0,30
0,05	"	32	0,70
0,1	"	73	1,50
0,2	"	192	3,90
0,025	Manteau	14	0,30
0,05	"	37	0,78
0,1	"	75	1,60
0,2	"	212	4,30
0,025	Branchies	23	0,49
0,05	"	65	1,35
0,1	"	160	3,10
0,2	"	274	5,60
0,025	Gonades	26	0,56
0,05	"	55	1,20
0,1	"	163	3,28
0,2	"	325	6,60
0,025	Foie	28	0,59
0,05	"	66	1,40
0,1	"	145	2,95
0,2	"	368	7,40
0,025	Reliquat	18	0,36
0,05	"	34	0,71
0,1	"	75	1,60
0,2	"	237	4,80

Les oeufs fécondés avaient été placés dans les solutions trente minutes après la préparation de celles-ci. Après deux jours d'exposition aux solutions, pendant lesquels le développement embryonnaire se poursuivait, les larves furent comptées pour déterminer le pourcentage de développement.

Dans la solution de contrôle (sans plomb), les taux de développement les plus élevés ont été observés pour une salinité de 32,5 ‰. Le maximum correspond, pour cette salinité, à la température de 17,5° C. (taux de 95,70%).

Les résultats sont notés dans le tableau suivant :

Salinité ‰	Concentration en Pb (ppb)				
	0 Contrôle	100	250	500	1000
15° C.					
25	59,22	55,17	1,86	0	0
27,5	76,39	72,73	38,60	21,87	9,37
30	81,83	74,84	63,49	43,26	22,36
32,5	95,12	95,60	87,00	41,73	10,20
35	91,18	87,72	82,92	42,39	13,52
37,5	93,58	87,44	76,92	37,92	9,56
17,5° C.					
25	52,13	36,13	0	0	0
27,5	68,01	59,20	34,74	13,12	3,08
30	82,93	68,34	46,75	18,25	6,25
32,5	95,70	85,55	65,78	46,54	6,76
35	87,80	70,69	46,85	34,88	12,22
37,5	79,75	73,26	45,69	29,03	11,06
20° C.					
25	33,86	8,86	0	0	0
27,5	67,40	40,78	15,18	8,09	2,96
30	70,66	59,45	15,79	8,76	4,12
32,5	79,80	66,74	27,58	22,51	6,95
35	66,77	55,11	25,90	13,71	3,74
37,5	47,69	43,04	21,85	13,31	3,47

Pour les trois températures fixées, la concentration en plomb a été plus déterminante, pour le taux de développement, que la salinité. La majorité des larves, qui s'étaient développées dans des concentrations faibles en plomb, (100 et 250 ppb), étaient normales en taille et en forme.

Après poursuite des essais pendant sept jours, les auteurs ont pu noter que le nombre de larves normalement développées restait apparemment stable, à la salinité de 35 ‰, et aux températures de 15 et 20° C.

Notons enfin les essais effectués sur des moules et sur des cultures planctoniques, pour montrer l'influence de certains complexants (EDTA, acide glutamique, alcool sulfaté, alkylbenzène sulfonate, eau d'égoût, acides humiques), sur le transfert du plomb, de l'eau aux tissus vivants. -H.L.U.M, 1974, (21).

Les solutions d'essai contenaient 0,10 ppm de plomb. Les résultats obtenus sont notés page 43.

Les facteurs de transfert sont, en l'absence de tout complexant, de 5000 pour le phytoplancton et de 150 pour la moule.

L'addition de 0,10 ppm de plomb a pour résultat, après seulement huit jours de contamination, de multiplier la teneur en Pb par 28 à 67 pour le phytoplancton, et de 14 à 24 pour les moules.

R.I.O.M.- Influence de certains complexants sur le transfert du plomb.

Milieu (0,10 ppm Pb)	Concentrations en Pb : /ug/g de substance humide							
	Témoin (sans Pb ni comp.)	+ Pb	+Pb +EDTA	+ Pb + G1	+ Pb + AS	+ Pb +ABS	+ Pb + AH	+ Pb + EE
<u>Phytoplancton</u>								
après 8 jours								
Essai 1	17,2	488	466	717	346	305	1145	314
Essai 2	6,4	433	155	412	590	1180	382	965
<u>Moules</u>								
après 8 jours								
Essai 1	1,0	14,1	2,0	15,3	16,8	22,3	16,8	2,5
Essai 2	0,6	14,5	1,9	17,3	17,5	23,4	8,3	3,5

Il y a lieu de noter l'action fortement inhibitrice de l'E.D.T.A et de l'eau d'égout sur le transfert du métal.

3) Teneurs - Valeurs limites -

Le Ministère français de l'Environnement a indiqué en 1973 les valeurs suivantes : (35)

- Dose toxique pour l'homme, en cas d'ingestion en une seule fois : inf. à 1 mg.

- Teneurs généralement déterminées, en mg/kg de matière sèche :

Algues : 0,05 à 9.

Mollusques : 2,6 à 6 (maximum dans l'huitre)

Crustacés : 0,1 à 2,3 (maximum dans le homard)

Poissons : 0,3 à 6.

D - CUIVRE1) Action sur les êtres vivants -

Le cuivre est un élément indispensable à la vie, en particulier pour les invertébrés où il constitue l'élément actif du pigment respiratoire : l'hémocyanine. Sous forme ionisée, ce métal est un agent très efficace pour détruire les microorganismes ou les larves. - SOUDAN, 1979 (2) -

Les organismes des peuplements marins ont, selon les espèces, tendance à fixer l'ion Cu. Certaines algues (fucus, enteromorphes, blindingia), ont un facteur d'accumulation proche de 20.000, ce qui peut provoquer des teneurs en cuivre relativement élevées chez les poissons se nourrissant de phytoplancton.

Cependant, l'accumulation du cuivre est peu importante chez les poissons. Selon PORTMANN et NEAL, la teneur en Cu reste à peu près constante chez les poissons maigres, comme la morue et la plie, pendant les premières années de leur vie ; elle croît seulement après plusieurs années. Ceci semble indiquer que l'organisme des poissons est apte à répondre à une surcharge de Cu, au moins momentanément et dans certaines limites.

Par contre, chez les mollusques bivalves, des surcharges ont été constatées. Le facteur d'accumulation peut atteindre 1000 chez l'huitre - il est seulement inférieur chez la moule ou la coquille Saint Jacques. Des teneurs de 100 mg/kg de chair fraîche ont été signalées chez Ostrea, 105 à 247 mg/kg dans Crassostrea du Tage, 210 à 220 mg/kg dans celles du Sado, 75 mg/kg dans la chair des moules.

Les huitres sont très sensibles, en particulier, à cet élément. Le métal provoque une décoloration verdâtre du manteau. D'autre part, en raison du goût de cuivre facilement détectable par le palais humain, les huitres chargées en cuivre ont un goût âpre qui les rend impropres à la consommation. (10)

Cu⁺⁺ inhibe l'activité ciliaire chez les moules : 0,15 mg/l réduit la filtration de 50%, 0,28 mg/l détruit 50% des spécimens en 96 heures.

⊗ Chez les animaux marins, les larves sont normalement plus sensibles au cuivre que les adultes. Ainsi CONNOR trouve que les LC 50/48 h. respectives de l'adulte et de la larve sont dans le rapport de 182 chez le crabe Carcinus maenas, et de 89 chez la crevette Crangon crangon. La concentration létale pour l'oursin serait de 0,01 ppm, alors qu'elle est de 48 µg/l pour le petit saumon.

2) Expériences et essais -

En ce qui concerne particulièrement l'accumulation du cuivre dans l'huitre Crassostrea gigas, IKBTA a relevé les chiffres suivants, résultant d'essais réalisés dans la baie de NOBEOKA. - EISLER, 1979 (20) -

Sur parties molles, en mg/kg de poids humide :

Côte Sud de la baie : 320,2 à 434,6 mg/kg

Côte Nord de la baie : 60,9 à 86,9 mg/kg

Des huitres Ostrea gigas ont été choisies dans une eau de mer "de contrôle", dont la teneur en Cu variait de 0,5 à 2,3 µg/l. Une analyse de la partie molle de l'animal donnait une teneur en Cu de 25 mg/kg, poids humide.

Les huitres ont été transplantées pendant 120 jours dans une eau de mer contenant 1,0 à 6,4 µg/l Cu, puis placées en déplétion pendant 116 jours, dans une eau de mer de contrôle. Les résultats suivants ont été notés : (en mg/kg de poids humide)

	Après Transplantation	Après Déplétion
Manteau	286	14
Branchies	430	15
Palpe labial	274	18
Muscle abducteur	58	5
Corps entier	232	12
Reste	214	13

Ceci montre la capacité de surcharge rapide en Cu de l'huitre et l'élimination également rapide du métal quand l'animal se retrouve en milieu normal.

Dans la même étude, EISLER donne des teneurs en Cu chez la moule Mytilus edulis. - DEHAYE et CORNET, 1975 -

En mg/kg de poids sec :

Parties molles :	de 3,7 à 65,4
Branchies :	de 6,9 à 10,8
Pied :	de 4,2 à 7,2
Manteau :	de 5,4 à 5,8
Rein :	de 7,4 à 8,7
Glande digestive :	de 6,8 à 7,0
Muscle :	de 2,7 à 3,7

Dans son étude sur la concentration en cuivre dans les organismes marins, EISLER fait les remarques suivantes :

a) Des traces de cuivre sont essentielles pour assurer la reproduction de certains animaux marins (bernaclés, échinodermes), et pour la croissance et le développement de certains poissons et invertébrés.

b) L'accumulation en cuivre varie avec l'âge, mais, dans chaque espèce, cette accumulation peut se produire d'une façon différente.

c) La sensibilité au cuivre peut varier d'une façon importante selon le stade de développement du sujet.

d) La capacité d'accumulation varie selon l'espèce. Pour les huitres Crassostrea, qui ont une capacité particulière à concentrer le cuivre, des teneurs de plus de 1000 mg/kg de poids humide ont été observées. Dans la moule Mytilus edulis, le cuivre est principalement associé aux protéines à poids moléculaire élevé.

e) La concentration en cuivre est variable selon les tissus. Les chiffres notés ci-dessus indiquent cette particularité.

f) Il y a une adaptation physiologique des organismes marins à une augmentation de la teneur en cuivre. Les invertébrés acclimatés à un milieu à forte concentration en Cu tolèrent plus facilement

une augmentation de cette concentration que les invertébrés ayant cru dans un milieu à faible concentration en Cu.

g) En général, les organismes marins, et particulièrement les bivalves, sont d'autant plus sensibles à la toxicité du cuivre que la température de l'eau est plus élevée.

h) En général, l'augmentation de la salinité est associée à une augmentation de la sensibilité au cuivre.

i) Le pH ne semble pas affecter la sensibilité au Cu des organismes marins.

j) Les chélateurs modifient la sensibilité des organismes marins au cuivre. Il y a lieu de noter à ce sujet les essais réalisés sur du phytoplancton et des moules, après huit jours d'exposition à un milieu contenant 0,03 ppm de Cu, auquel différents complexants ont été ajoutés (E.D.T.A, acide glutamique, alcool sulfaté, alkylbenzène sulfonate, acides humiques, eau d'égout). -R.I.O.M, 1974 (21)

Milieu (0,03 ppm Cu)	Concentration en Cu : $\mu\text{g/g}$ de substance humide							
	Témoïn (sans Cu ni comp.)	+ Cu	+ Cu + EDTA	+ Cu + Gl	+ Cu + AS	+ Cu + ABS	+ Cu + AH	+ Cu + EE
Phytoplancton	2,9	36,0	32,4	31,1	33,4	36,8	37,5	42,2
Moules	1,1	3,8	2,1	4,5	4,5	4,4	2,4	2,0

Les facteurs de transfert sont, en l'absence de tout complexant introduit, de l'ordre de 1000 en ce qui concerne le phytoplancton, et de 420 en ce qui concerne la moule.

L' E.D.T.A, les acides humiques et l'eau d'égout ont une action inhibitrice de 50% sur le transfert du cuivre de l'eau aux moules. Comme le transfert de l'eau au plancton n'est pas affecté, il est possible que ces composés diminuent seulement le prélèvement direct du cuivre à partir de l'eau.

k) La sensibilité au cuivre varie selon la formule du sel de ce métal.

Le crustacé Artemia salina, non acclimaté au cuivre, est de plus en plus sensible au carbonate, au sulfate, au chlorure et à l'acétate.

l) La sensibilité au cuivre varie en fonction de la présence d'autres ions dans le milieu. Il a été démontré, en particulier, que l'action conjointe du cuivre et du zinc a une nocivité supérieure à la nocivité cummulative de ces deux métaux.

En ce qui concerne particulièrement les huitres, élément principal de la conchyliculture dans le Bassin de Marennes-Oléron, certaines remarques peuvent être faites :

a) Différents essais, réalisés par plusieurs auteurs, montrent que, pour une concentration en Cu identique du milieu, l'accumulation dans l'huitre peut varier selon la saison.

Les résultats suivants ont été notés, pour des huitres Crassostrea gigas de la côte Pacifique des Etats Unis : (19)

Période Mai-Juin 1965 :	24,0 ppm sur poids humide
" Juillet-Décembre 1965 :	22,4
" Décembre 65- Juin 1966 :	20,6
" Juillet-Octobre 1966 :	25,8
" Octobre 1966- Mars 1967 :	17,4
" Mai-Juillet 1967 :	18,3

Des études réalisées sur la Crassostrea virginica - FRAZIER, 1976 (22) montrent nettement des variations saisonnières, les concentrations maxima apparaissant d'Avril en Août, pour décroître en automne et en hiver.

Des études réalisées à Taiwan sur des huitres Crassostrea gigas montrent également ces variations saisonnières, et, en particulier, ce maximum de concentration en Cu au printemps.
- SHUN YAO SU, 1979 (23)-

Les résultats suivants ont été notés, en $\mu\text{g/g}$ de tissu humide :

1976 - Avril :	41,6
Juin :	25,5
Septembre :	15,0
Octobre :	8,2
Décembre :	12,3
1977 - Février :	18,4

Des auteurs portugais - ASSIS et NUNES, 1973 (24) - ont également noté, sur l'huitre Crassostrea angulata, des maxima de teneurs en Cu, atteignant 24,7 mg/100 gr en période Avril-Septembre, alors que les minima, jusqu'à 10,5 mg/100 gr, apparaissaient en période froide, d'Octobre à Mars.

On peut donc émettre l'hypothèse d'une sensibilité particulière des huitres au Cu, au printemps, au moment où l'animal procède à la constitution de sa coquille.

b) Il y a lieu de noter que le cuivre et le zinc doivent être associés dans leur action pour la croissance et la vitalité des huitres.

Ce mollusque a en effet la capacité de concentrer ces deux métaux d'une façon particulièrement importante.

Or, le cuivre - et également le cadmium - a la particularité de neutraliser les métalloenzymes du zinc intervenant dans le métabolisme de la coquille, en particulier la phosphatase alcaline - APPLEBURY 1970-, et l'anhydrase carbonique - COLEMAN 1965-.

D'après FRAZIER, 1976 (22), un déséquilibre entre ces métaux dans la coquille de l'huitre peut être la cause de perturbations dans la croissance de cette coquille. Ce déséquilibre peut d'ailleurs se réaliser du fait que l'huitre concentre beaucoup moins de zinc dans sa coquille que dans son corps.

Sur les mollusques autres que les huitres, on peut noter les études suivantes :

- PESCH et al., 1979 (25), ont étudié la toxicité du cuivre sur l'Argopecten irradians. Pour une salinité comprise entre 27,4 et 31,5 ‰, pour des températures se situant entre 9,5 et 15° C., et pour des concentrations en Cu variant de 5 à 110 µg/l, il a été noté que la croissance est perturbée pour toutes concentrations. Par exemple, à 50 µg/l Cu, la réduction de la croissance est de 43%.

Pour des concentrations inférieures à 20 µg/l, il a fallu plus de quinze jours pour que 50% des pectens meurent.

La toxicité croît d'une façon rapide dès que la concentration en Cu dépasse 20 µg/l. A 110 µg/l Cu, 57% des pectens meurent en 96 heures.

- ROESIJADI, 1980 (26), a étudié dans le détail l'action du cuivre sur la palourde Prototaca staminea.

Les palourdes ont été exposées à des milieux contenant des teneurs différentes en Cu : 0,35 µg/l (Contrôle), 7, 18, 39, et 82 µg/l, pendant trente jours. Après ces essais, les remarques suivantes ont été formulées :

a) La survie des mollusques. après trente jours d'exposition, a été de 14% pour une concentration de 39 µg/l, et de 3% pour une concentration de 82 µg/l. Le taux de survie a été nettement inférieur au taux constaté dans le milieu de contrôle.

b) Les teneurs en Cu dans les tissus de l'animal. montrent que les branchies sont des organes préférentiels de concentration du métal. Une relation linéaire existe entre cette concentration et la teneur en Cu du milieu.

c) L'action du Cu a pour conséquence une rupture de la régulation Na/K, à 39 µg/l, et une augmentation de l'activité de la phosphatase acide à des concentrations plus basses.

Le premier phénomène est associé à une importante mortalité. Le deuxième phénomène est considéré comme une réaction sublétalement cytotoxique.

d) Deux protéines associées au cuivre, à bas poids moléculaire, peuvent être distinguées par leurs différences dans leurs actions.

Dans les branchies et dans le muscle, le cuivre est associé avec une protéine d'environ 14.000 daltons, alors que le zinc est associé avec une protéine d'environ 10.500 daltons.

Dans les viscères et dans le foie, le cuivre et le zinc sont associés ensemble dans la plus petite des deux protéines. De plus, des teneurs importantes en Cd ont été détectées dans la protéine du foie à faible poids spécifique.

Le poids moléculaire estimé de la plus petite des protéines, et sa propriété de s'associer à Cu, Zn et Cd, sont similaires aux propriétés reconnues à la métallothionéine.

Ces études très récentes abordent donc un nouveau problème de chimie biologique, qui peut avoir son importance dans une action, dont la connaissance est à parfaire, de Cu, Zn et Cd sur les organismes marins.

3) Teneurs - Valeurs limites -

Les valeurs indiquées en 1973 pour le cuivre, par le Ministère français de l'Environnement, sont les suivantes :

- Dose quotidienne nécessaire à l'homme : 2 mg.
- Dose toxique pour l'homme, en cas d'ingestion en une seule fois : 2,5 gr.
- Dose admise pour les aliments (mg/kg) :
 - Poissons : 5
 - Mollusques : 40
- Teneurs déterminées, en mg/kg de matière sèche :
 - Algues : 1,7 à 12,4.
 - Mollusques : 600 à 900 (maximum dans l'huître).
 - Crustacés : 20 à 90 (maximum dans la crevette).
 - Poissons : 1,5 à 6.

Les teneurs extrêmes relevées aux U.S.A sur des huitres, sont les suivantes :

- Côte Est : 7 à 517 ppm Cu, sur poids humide.
- Côte Ouest : 7,6 à 37,5 ppm Cu, sur poids humide.

E - ZINC

1) Action sur les êtres vivants -

Le zinc entre dans la composition de diverses porphyrines et d'une bonne dizaine d'enzymes, parmi lesquels surtout des déhydrogénases. Le métal est donc normalement présent dans les tissus vivants.- SOUDAN, 1979 (2) -

Le zinc est cependant nocif quand il se trouve en excès dans l'organisme vivant. Il est concentré d'une façon très variable par les peuplements marins, les facteurs de concentration variant de 500 à 100.000. Les poissons ont peu de facultés à concentrer le zinc, les huitres, au contraire, se distinguent par une accumulation très forte.

Les résultats relatifs à la toxicité du zinc sont très discordants, ce qui semble indiquer la multiplicité des mécanismes en jeu dans cette toxicité. Nous avons vu dans le chapitre précédent que le zinc, le cuivre et le cadmium s'associent dans leur action biologique. L'action du zinc peut donc être différente, selon sa concentration dans le milieu, et selon la concentration des deux autres métaux.

La toxicité aigüe du zinc à l'égard des animaux marins se manifeste à des concentrations de 1 à 10 mg/l. Les larves sont plus sensibles que les adultes.

La LC 50/96 h. peut correspondre à des concentrations en Zn variant de 1 pour les larves à 1000 pour les adultes. (0,1 mg/l à 100 mg/l).

2) Expériences et essais -

La recherche de documentation, pour cette étude, s'est portée principalement sur l'action du zinc sur les huîtres pour essayer de comparer certains essais aux conditions particulières du milieu de Marennes-Oléron, relevées dans la première partie de cette étude.

En 1973, des expériences réalisées sur l'huître américaine Crassostrea virginica, - CALABRESE et al. (27) - montrèrent que, sur une période d'essai de 48 heures, 50% des embryons arrêtent de se développer dans une eau contenant 310 µg/l Zn, et que 100% de mortalité apparaît dans une eau contenant 500 µg/l Zn.

A la même époque, des essais ont été entrepris en Angleterre, sur la Crassostrea gigas, à la suite de problèmes de développement d'huîtres dans des établissements ostréicoles de Conway, dans le Pays de Galles. - BRERETON et al., 1973 (28) -

Les problèmes apparaissaient principalement dans les premiers mois de la saison de procréation, qui s'étend de Janvier à Octobre.

Dans cette zone, la teneur en zinc dans l'eau de mer variait de moins de 10 µg/l, à 470 µg/l, les maxima se situant en Février et diminuant progressivement quand on se rapprochait du mois de Juin. Les pics de haute teneurs correspondaient aux marées de morte eau, quand la salinité de l'eau était au minimum.

Il y a lieu de noter que ce phénomène périodique correspond au phénomène observé en 1979 aux stations 3 et 5 de Marennes-Oléron, Dans ces stations, les pics sont apparus en Janvier-Février, pour décroître jusqu'en Juin-Juillet.

Dans une première étude, concernant l'Ostrea edulis, il fut constaté que la croissance des larves de ces huîtres, après quatre jours d'exposition à des eaux de mer chargées en zinc, n'était que de 2 µ à la concentration de 100 µg/l Zn, et de 7 µ, à la concentration de 500 µg/l Zn, en comparaison avec la croissance de 45 µ obtenue en eau normale (10 µg/l Zn). D'autres expériences montrèrent que la croissance s'arrêtait virtuellement à 1000 µg/l Zn.

En complément de ces premières observations, une étude fut alors entreprise sur des larves de Crassostrea gigas.

Le milieu était composé d'eau prélevée au large, contenant 14 $\mu\text{g/l}$ Zn, base de composition de deux séries de solutions à 125, 250 et 500 $\mu\text{g/l}$ Zn, ce métal étant apporté d'une part par ZnSO_4 , d'autre part par une eau de mine à 4900 $\mu\text{g/l}$ Zn.

Le pourcentage d'oeufs s'étant développés en larves après 48 heures, en relation avec la concentration et la source de zinc, est indiqué dans le tableau suivant : (base 100% de survie dans l'eau de contrôle).

Concentration $\mu\text{g/l}$ Zn	Source de zinc	
	ZnSO_4	Eau de mine
125	84	77
250	52	36
500	10	12

Le taux de survie diminue quand la teneur en zinc croît, et est inférieur quand le zinc est accompagné d'autres métaux, dans l'eau de mine.

A 125 $\mu\text{g/l}$ Zn, des anomalies morphologiques apparaissent : (charnière concave, mouvements rotatifs anormaux). Ces anomalies sont beaucoup plus apparentes à 250 $\mu\text{g/l}$ Zn, une très importante mortalité ayant lieu après six jours d'exposition à ce milieu. A 500 $\mu\text{g/l}$ Zn, 90% des oeufs ne sont pas transformés en larves.

De nouvelles séries d'essais à 50, 100, 150 et 200 $\mu\text{g/l}$ Zn, ce métal n'étant apporté que par ZnSO_4 , montrèrent que, si la concentration à 50 $\mu\text{g/l}$ n'avait qu'un faible effet sur les larves, (quelques individus présentant cependant des mouvements rotatifs anormaux, se décolorant, et devenant inactifs le sixième jour), la concentration à 100 $\mu\text{g/l}$ semblait être le seuil de sensibilité chez les jeunes larves.

Les auteurs de ces essais évoquent l'hypothèse de ces effets physiologiques du zinc sur les larves des huîtres, par l'inhibition des systèmes enzymatiques.

Il y a lieu de noter, à ce sujet, l'étude de COOBS sur la distribution du zinc dans l'huître Ostrea edulis, et des rapports de ce métal avec l'activité enzymatique. - COOBS, 1972 (29) -

Les conclusions de cette étude sont les suivantes :

a) Les teneurs en zinc dans l'huître Ostrea edulis ont été déterminées, et ont été comparées aux teneurs en Cu, Mg, Na, K et PO_4 . On n'a pu constater de relations entre le zinc et les autres métaux, sauf pour le calcium.

b) Sur neuf enzymes associés au zinc, qui ont été recherchés

dans cette huitre, seuls, la phosphatase alcaline, l'anhydrase carbonique, la carboxypeptidase A et l' α -D-mannosidase ont pu être dosés en valeurs détectables. Les enzymes ayant la plus grande activité sont la phosphatase alcaline et l' α -D-mannosidase.

L'action de chacun de ces enzymes est neutralisée par des agents chélatants-métalliques (1-10 phénantroline, EDTA, 8-OH-quinoléine), cette neutralisation étant renversée par addition de zinc.

Il a été déterminé que l' α -D-mannosidase a son activité maximum à pH 3,5.

c) Le zinc et le cuivre jouent apparemment des rôles différents dans le métabolisme de l'huitre. Une partie importante du zinc (95%), est dialysable, contre 43% pour le cuivre. L'élimination facile du zinc indique que ce métal, ou bien est présent comme ion libre, ou bien est associé à des composés à faible poids moléculaire, ou bien est faiblement associé à une partie de protéine, et facilement dissociable de celle-ci.

D'un autre côté, la plus grande partie du cuivre est plus fortement associée aux éléments organiques, et avec de plus grandes espèces de ces éléments. Ceci semble être confirmé par le manque de relations entre les teneurs en Zn et en Cu.

Certains auteurs ont supposé que l'hémocyanine était la principale protéine associée au cuivre, (ORTON, 1937), mais ceci a été dénié par d'autres auteurs (KORRINGA, 1952). Cette protéine n'a pas été isolée dans l'huitre.

d) Il y a une certaine correspondance entre les teneurs en phosphate, et en phosphatase alcaline, dans les fractions subcellulaires du tissu du manteau, tissu qui est concerné par la formation de la coquille. Cependant, l'activité principale de la phosphatase alcaline a lieu dans les organes digestifs.

e) Il y a lieu de noter l'équimolarité du zinc et du calcium dans l'huitre. On connaît bien l'action compétitive de ces deux éléments chez les êtres vivants : oiseaux, mammifères, végétaux. L'action toxique du zinc est réduite en milieu fortement calcaire.

Le ratio Zn/Ca dans l'eau de mer est d'environ 1/40. L'huitre a tendance, dans ce milieu, à accumuler le zinc pour arriver à un niveau, qui peut paraître anormal, mais qui est en fait équimolaire, ou presque équimolaire au calcium. Ceci est dû aux besoins importants en Ca de l'huitre, et à l'action des enzymes liés au zinc pour la formation de la coquille.

A ce phénomène est associée une relation apparente saisonnière entre les teneurs en métaux et la formation de la coquille. Les teneurs en Zn, Cu, Fe, Mn, et Ca sont plus élevées durant les mois d'été, quand la formation de la coquille est à son plus haut niveau.

f) La teneur totale en zinc dans l'huitre dépasse largement la teneur en zinc dans les enzymes associés à ce métal. La quantité

de zinc non dialysable est du même ordre de grandeur que la quantité de zinc associée aux enzymes.

L'étude de COOMBS montre bien l'importance du zinc dans la vie de l'huitre, et ses conclusions peuvent être une base pour la recherche de solutions à certains problèmes posés en ostréiculture.

D'autres essais ont été entrepris pour étudier le comportement des huitres en milieu contenant du zinc. - BOYDEN et al., 1975, (30).

Quatre expériences ont été réalisées :

- Expérience 1. Des larves de Crassostrea gigas, âgées de 21 jours, ont été placées dans des solutions : de contrôle (25 à 30 $\mu\text{g}/\text{l}$ Zn), et 125, 250 et 500 $\mu\text{g}/\text{l}$ Zn. La fixation a été étudiée sur un disque en verre et un disque en P.V.C noir. Après cinq jours d'exposition aux solutions de zinc, les larves ont été maintenues pendant cinq jours dans la solution de contrôle.

- Expérience 2. Des larves de 23 jours ont été maintenues pendant 10 jours dans une solution de contrôle, et une solution à 125 $\mu\text{g}/\text{l}$ Zn.

- Expérience 3. Des larves de 22 jours ont été placées pendant 5 jours dans des solutions : de contrôle (5 à 8 $\mu\text{g}/\text{l}$ Zn), et 125, 250 et 500 $\mu\text{g}/\text{l}$ Zn. Après ces cinq jours de traitement, des feuilles de P.V.C noir, placées dans ces solutions, et sur lesquelles des larves s'étaient fixées, ont été maintenues dans l'eau de mer (5 à 10 $\mu\text{g}/\text{l}$ Zn). Les naissains viables ont alors été comptés à intervalle régulier pendant deux mois.

- Expérience 4. Des larves de 26 jours, fixées sur des disques en verre dans un établissement ostréicole, ainsi que des naissains, ont été placés pendant cinq jours dans une eau de mer non polluée.

Les expériences 1 et 2 avaient pour but de vérifier l'effet de différentes concentrations en zinc sur le comportement des larves, avant et au moment de la fixation.

L'expérience 3 vérifiait la viabilité des larves qui s'étaient fixées pendant l'exposition de cinq jours aux solutions de zinc, et qui s'étaient développées ensuite en milieu non pollué.

L'effet du zinc sur le naissain récemment fixé a été vérifié dans l'expérience 4.

Le résultat des expériences 1 et 2 est indiqué dans le tableau page 54. (Concentration des solutions en $\mu\text{g}/\text{l}$).

Les taux de mortalité différents constatés dans les solutions de contrôle pour chaque expérience, donc en milieu théoriquement identique, proviennent du fait que les échantillons étaient différents. De telles variations sont normales en conchyliculture.

BOYDEN. Comportement des huitres en milieu contenant du Zn.

	Expérience 1				Expérience 2	
	Contrôle	125	250	500	Contrôle	125
Taux des larves survivent après 10 jours, mais non fixées (%)	18,1	13,7	6,1	6,3	23,4	19,3
Taux de fixation %	37,7	33,0	30,9	20,0	23,7	19,4
Taux de mortalité %	44,2	53,3	63,0	71,7	52,9	61,3

Dans l'expérience 1, la mortalité pendant les trois premiers jours de transfert dans le milieu de contrôle a été faible, mais a augmenté d'une façon sensible pendant les deux derniers jours.

Le maximum de fixation, dans l'expérience 1, a été constaté : pour le contrôle, à l'âge de 26 jours des larves, et pour la solution à 125 $\mu\text{g}/\text{l}$ Zn, à l'âge de 28 jours, donc avec deux jours de retard. Pendant la période d'exposition au zinc, même à des concentrations aussi basses que 125 $\mu\text{g}/\text{l}$ Zn, la fixation a été réduite.

Le retour en milieu normal accroît la fixation. Si l'exposition à 500 $\mu\text{g}/\text{l}$ est particulièrement préjudiciable à la vie des larves, une faible différence existe entre l'action des solutions à 125 et à 250 $\mu\text{g}/\text{l}$ Zn.

Les larves d'huitres passent par une série de modifications et de comportements avant la fixation. L'un de ces stades est l'extension du pied, et la nage pour la recherche d'un emplacement souhaité pour cette fixation.

Dans l'expérience 1, les examens ont permis de noter un maximum de recherches cinq jours avant le maximum de fixations, alors que ce délai était de trois jours pour les larves exposées à 125 $\mu\text{g}/\text{l}$, de deux jours pour 250 $\mu\text{g}/\text{l}$, et de un jour pour 500 $\mu\text{g}/\text{l}$.

Le mécanisme de l'inhibition de la fixation par le zinc n'est pas clair. Il peut être causé par un retard, ou un arrêt, du développement de la vitalité. Le transfert en milieu non pollué fait cesser cette inhibition : le comportement redevient normal et la vitalité s'accroît.

Dans l'expérience 2, les contrôles ont permis de noter des mouvements de recherche dès le premier jour (âge des larves, 23 jours) ces mouvements ont été plus évidents à 25 jours, soit trois jours avant la fixation (âge des larves, 28 jours).

Les larves exposées au zinc ont manifesté leurs recherches seulement un jour avant la fixation, à l'âge de 28 jours, comme dans le milieu de contrôle.

Les résultats de l'expérience 3 sont notés dans le tableau suivant :

BOYDEN. Expérience 3.

Zn /ug/l	Nombre de fixations pendant 5j d'exp. au Zn, 22 Août	Nombre de naissains survivant				Taux de survie Après 2 mois : %
		3 Sep.	17 Sep.	1 Oct.	15 Oct.	
Contrôle:						
528 /ug/l	725	208	178	169	167	23
125 "	670	129	103	97	65	14
250 "	1058	492	430	420	414	39
500 "	643	242	197	190	185	29

Il y a lieu de noter que le maximum de fixations a eu lieu dans la solution de contrôle, puis, dans un ordre décroissant, dans les solutions à 250, 125 et 500 /ug/l Zn. Les résultats obtenus à 250 /ug/l restent inexplicables.

Le taux de survie a été bas. Dans tous les traitements, la fixation a été anormale.

L'expérience 4 a montré que la croissance des naissains a été ralentie : pour une concentration à 250 /ug/l, de 78% par rapport au contrôle. Une fois transférés dans l'eau de contrôle, les naissains ont repris une croissance normale, si bien que cinq jours après retour à la normale, les individus soumis à tous les traitements au zinc avaient approximativement la même taille que ceux du contrôle.

Il y a lieu de noter enfin les expériences réalisées pour montrer l'incidence de certains complexants sur le transfert du zinc au phytoplancton et aux moules (voir à ce sujet les transferts de Hg, Pb et Cu). Les solutions d'essai contenaient 0,03 ppm Zn. L'expérience a été poursuivie pendant huit jours.

- R.I.O.M.; 1974 (21). -

	Concentration en Zn : /ug/g de substance humide							
	Témoin (sans Zn ni comp.)	+ Zn	+ Zn +EDTA	+ Zn + Gl	+ Zn + AS	+ Zn + ABS	+ Zn + AH	+ Zn + EE
Phytoplancton:								
Essai 1	94,3	196,0	135,8	184,7	163,1	241,2	180,9	167,2
Essai 2	86,0	187,8	174,3	192,8	225,8	192,9	165,5	77,4
Moules :								
Essai 1	20,4	56,8	47,6	39,6	36,1	36,9	54,4	40,8
Essai 2	16,0	56,3	51,0	38,0	35,7	36,9	62,6	40,0

Ces facteurs de transfert, en l'absence de tout complexant, sont de 7000 en ce qui concerne le phytoplancton, et de 1200 en ce qui concerne la moule.

L'addition de 0,03 ppm de Zn a pour résultat, après seulement huit jours de contamination, de multiplier la teneur en zinc par 2 dans le phytoplancton, et par 3 dans les moules. L'acide glutamique et l'alcool sulfaté ont une action inhibitrice sur ce transfert. Cette action est cependant moins marquée que les actions relevées en présence de mercure, de plomb et de cuivre.

3 - Teneurs - Valeurs limites -

Les chiffres indiqués en 1973 pour le zinc, par le Ministère français de l'Environnement, sont les suivants :

- Dose quotidienne nécessaire à l'homme : 6 à 10 mg.
- Dose admise dans les aliments : 35 mg/kg
- Teneurs en mg/kg de matière sèche :
 - Algues : 42 à 962
 - Mollusques : 100 à 1600 (maximum dans l'huitre)
 - Crustacés : 122 à 184 (maximum dans le tourteau)
 - Poissons : 0,2 à 1200 (maximum dans le hareng)

-o-o-o-o-o-

2b - ACTION DES METAUX LOURDS SUR LES PEUPLIEMENTS

DU BASSIN DE MARENNES-OLÉRON

A - RESULTATS D'ANALYSES

Les résultats des analyses effectuées par l'I.S.T.P.M en 1979 et en 1980, sur des animaux marins du Bassin de Marennes-Oléron, sont notés dans le tableau page 57.

Les lieux de prélèvement des matières vivantes ne correspondent pas exactement aux lieux de prélèvement des eaux. Pour simplifier la comparaison des teneurs, le lieu de prélèvement noté dans le tableau correspond à la station de prélèvement des eaux la plus proche du lieu de prélèvement des matières vivantes.

A partir des chiffres de ce tableau, il est possible de formuler les remarques suivantes :

1) Mercuré -

En 1979, les teneurs en mercure, dans les huitres creuses, ont peu varié selon les stations.

Les teneurs les plus élevées ont été déterminées à la

Résultats d'analyses de métaux lourds
sur les peuplements du Bassin de Marennes-Oléron
 Les teneurs sont indiquées en mg/Kg de matière sèche.

Date	Sta- tion	Espèce	Taille	% MS	Hg	Pb	Ld	Cu	Zn
20.11.79	1	HC	80	13	0,40	2,3	7,15	278	2462
2.04.79	2	HC	65	15	0,60	4,4	6,5	164	2365
25.06.79	2	HC	82	14	0,44	1,3	4,63	118	1772
21.09.79	2	HC	95	14,4	0,28	3,1	4,65	216	2184
21.11.79	2	HC	120	12,3	0,38	3,8	6,43	259	2613
17.12.79	2	HC	104	9,4	0,36	2,0	6,48	167,8	2065
Moyenne	2	HC		13,	0,41	2,9	5,73	185	2203
2.04.79	3	HC	110	13	0,56	2,7	6,54	298	5859
3.07.79	3	HC	96	15	0,46	0,9	3,06	134	1918
17.12.79	3	HC	93	12	0,37	1,4	5,25	108,4	1817
Moyenne	3	HC		13,3	0,46	1,7	4,95	180	3198
2.04.79	4	HC	90	12	0,81	2,0	6,92	339	3527
27.06.79	4	HC	99	19	0,36	1,9	3,23	181	1944
24.09.79	4	HC	85	15	0,27	3,7	3,78	365	2176
20.11.79	4	HC	145	12	0,62	2,1	7,52	473	3026
23.12.79	4	HC	116	10	0,56	2,6	6,04	319	2660
Moyenne	4	HC		13,6	0,52	2,5	5,50	335	2677
2.04.79	5	HC	80	10	0,70	4,4	7,22	364	4859
27.06.79	5	HC	98	19	0,48	2,1	3,44	157	2243
24.09.79	5	HC	105	14	0,37	4,1	5,23	417	3001
20.12.79	5	HC	116	11	0,51	2,3	7,00	345	2927
Moyenne	5	HC		13,5	0,51	3,2	5,72	321	3257
2.04.79	5	M	45	13	0,79	6,0	1,10	12	114
27.06.79	5	M	45	24	0,54	1,7	1,06	9	72
24.09.79	5	M	53	24,4	0,10	3,8	0,49	5,9	67
Moyenne	5	M		20,5	0,48	3,8	0,88	8,9	84
Moyennes 1980 :	2	HC			0,25	2,05		248	2574
	3	HC			0,16	1,9	3,41	165,7	1705
	4	HC			0,23	1,2	3,81	227	2003
	5	HC			0,23	2,0	3,82	161	1520

HC = Huitre creuse Crassostrea gigas

M = Moule Mytilus edulis

% MS = Pour cent de matière sèche par rapport au produit vivant

station 4. Dans le premier chapitre de cette étude, il a été signalé que cette station, avec sa sédimentation importante, était privilégiée pour la formation de méthylmercure.

En règle générale, les teneurs en mercure dans les eaux du Bassin de Marennes-Oléron restent en deçà des valeurs dangereuses. Dans les tissus des animaux marins, ces teneurs restent également en deçà, mais à la limite, des valeurs maxima admises.

Il y a lieu de noter :

- que les taux maxima apparaissent en Avril, et les minima généralement en Septembre.

- que les teneurs en mercure dans les moules sont pratiquement identiques aux teneurs déterminées dans les huitres.

- que la concentration en mercure dans les huitres a diminué d'une façon importante en 1980, par rapport aux valeurs trouvées en 1979.

2) Plomb -

Les teneurs moyennes en plomb des eaux du Bassin de Marennes-Oléron sont nettement inférieures aux limites de toxicité. Les teneurs dans les huitres sont également en deçà des valeurs limites.

Les teneurs les plus élevées ont été déterminées aux embouchures des rivières Seudre et Charente.

Les taux maxima apparaissent en Avril, et les minima en Septembre.

Les teneurs dans les moules sont légèrement supérieures aux teneurs dans les huitres.

On a pu constater, en 1980, une légère diminution de ces teneurs.

3) Cadmium -

Comme pour les métaux précédents, les teneurs en cadmium dans les eaux sont généralement inférieures aux limites de toxicité. Les teneurs ont cependant présenté des pics en 1979, particulièrement aux stations 2 et 5.

Les teneurs déterminées dans les huitres, en 1979, font apparaître des valeurs à la limite des doses admises. Il semble donc que l'effet d'accumulation de ce métal dans les tissus vivants ait joué sur les peuplements du Bassin de Marennes-Oléron.

Les teneurs moyennes les plus élevées apparaissent aux stations 2 et 5, qui semblent avoir été les plus polluées.

Les maxima se situent en Avril et en Décembre, les minima en Juin.

Le cadmium est nettement moins accumulé par les moules que par les huîtres.

Les valeurs moyennes de 1980 sont en diminution par rapport aux valeurs de 1979.

4) Cuivre -

L'irrégularité des teneurs en cuivre dans les eaux du Bassin de Marennes-Oléron se repercute sur les peuplements.

La moyenne la plus élevée est notée à la station 4, ce qui permet d'attirer une fois de plus l'attention sur cette zone sédimentaire entre Seudre et Charente. A cet endroit, les teneurs varient pratiquement du simple au double, en diminution d'Avril à Juin, en augmentation de Juillet à Septembre.

Sur toutes les stations, sauf à la station 2, on peut observer une teneur en Cu particulièrement élevée en Avril.

Il y a lieu de noter à ce sujet :

- qu'à cette époque, les teneurs en cuivre étaient assez élevées dans les eaux du Bassin, particulièrement aux stations 1, 4 et 5. La station 2 n'était pas concernée par cette élévation des teneurs.

- que dans l'étude bibliographique qui précède, il a été montré qu'en général, la teneur en cuivre de Crassostrea gigas présentait un maximum au printemps.

Il est cependant anormal que les teneurs augmentent d'une façon importante, à partir du mois de Septembre, aux stations 4 et 5.

Il faut peut-être rapprocher cette anomalie de l'existence d'un pic inexpliqué des teneurs dans les eaux, à la station 4, à la fin de l'année.

Rappelons également que c'est à la station 4 que la solubilité du cuivre dans les eaux est la plus élevée.

La teneur moyenne maximum, relevée à la station 4, qui correspond à 44,7 ppm de cuivre sur poids humide, est élevée par rapport aux valeurs relevées dans l'étude bibliographique. Il semble donc y avoir un problème particulier du cuivre dans le Bassin de Marennes-Oléron.

En comparant les teneurs dans les huîtres et dans les moules, on constate nettement la forte capacité, présentée par la Crassostrea gigas, d'accumuler le cuivre dans ses tissus.

Les teneurs déterminées en 1980 montrent :

- Une augmentation sensible des concentrations sur les peuplements de la station 2, qui devient la zone critique du Bassin.

- Une diminution sur les autres stations, et particulièrement sur la station 5.

En dehors de la station 2, la station 4 demeure une zone fragile.

5) Zinc -

En comparant les teneurs relevées dans les eaux du Bassin de Marennes-Oléron, aux valeurs limites fixées dans l'étude bibliographique pour la survie de l'huitre, on pourrait conclure que, du fait que les teneurs dans les eaux ont dépassé, à la station 5 par exemple, 400 µg/l, la mortalité sur les bancs situés à l'embouchure de la Charente aurait du être très importante en 1979.

Il n'en a rien été, cette mortalité n'ayant pas été supérieure à la mortalité constatée dans d'autres zones ostréicoles.

Ceci montre une fois de plus la différence qu'il peut y avoir entre l'expérience "in vitro", et la réalité "in situ".

Il faut reconnaître cependant que les teneurs en zinc déterminées sur les huitres, en 1979, sont anormalement élevées.

Les teneurs maxima apparaissent au mois d'Avril, ce qui peut correspondre aux fortes concentrations déterminées dans les eaux au début de l'année.

La moyenne la plus élevée apparaît à la station 5 : 3257 mg/kg de matière sèche, soit environ 440 mg/kg sur tissus humides. Rappelons que les statistiques du Ministère de l'Environnement indiquent comme fourchette de teneurs en Zn dans les mollusques : 100 à 1600 mg/kg de matière sèche.

En 1979, les huitres, se trouvant dans un milieu anormalement surchargé en zinc, se sont comportées d'une façon anormale.

La concentration en zinc dans les huitres a fortement diminué au cours de l'année 1980, sauf, cas curieux, à la station 2, où le taux moyen a été supérieur au taux de 1979.

A noter également la faible diminution des teneurs moyennes, en 1980, à la station 4. Cette station semble bien constituer un volant de métaux lourds dans le Bassin de Marennes-Oléron.

Les teneurs dans les moules ne correspondent qu'à 2,6% des teneurs déterminées dans les huitres.

B - PROBLEMES ACTUELS

Au début des années 1970, une mortalité importante des huitres, constatée non seulement dans le Bassin de Marennes-Oléron, mais également dans d'autres régions ostréicoles, a conduit à remplacer l'huitre portugaise Gryphaea angulata par l'huitre japonaise Crassostrea gigas.

Après quelques années sans problème, l'ostréiculture éprouve, depuis un certain temps, de nouvelles difficultés.

Une étude hydrobiologique du Bassin de Marennes-Oléron, - HERAL et al., 1978 (34) - a montré que, si l'on fait exception de l'embouchure de la Seudre, faible en apport d'eau douce lors des sécheresses, cette zone est en équilibre, et en relative bonne santé.

Cependant, à partir de 1978, des anomalies ont été constatées sur la Crassostrea, tant en Marennes-Oléron que dans le Bassin d'Arcachon. Certaines huîtres sont atteintes de malformations de la coquille (formation de chambres gélatineuses).

Depuis 1979, ces anomalies semblent se généraliser dans l'ensemble des bassins français, avec apparition d'une augmentation conséquente de la coquille d'huître, par superposition de poches gélatineuses et de feuilletés légèrement calcifiés, formant ainsi des huîtres en "boulets". - HERAL et al., 1981 (36) -

L'apparition des poches gélatineuses s'effectue en été.

En ce qui concerne le Bassin de Marennes-Oléron, ces anomalies sont constatées dans les eaux maritimes des baies, alors que les huîtres des claires en sont exemptes. Les secteurs les plus touchés correspondent à des zones où les installations portuaires (plaisance ou ostréiculture), sont concentrées.

Cette particularité a conduit l'I.S.T.P.M à rechercher les apports en métaux lourds (Cu, Sn, Zn) par les peintures antifouling, et à évaluer les risques dus à l'emploi de ces peintures dans les zones conchylicoles. - ALZIEU, 1981 (37) -

Les premières conclusions de ces études semblent indiquer que les métaux contenus dans ces peintures ne sont pas impliqués dans les anomalies constatées. Ces études se poursuivent cependant, par des expérimentations en cours.

Par ailleurs, les études entreprises par l'I.S.T.P.M, à La Tremblade et à Nantes, conduisent à penser que le gel est issu d'un dérèglement physiologique, avec une matrice organique inapte à la calcification.

L'huître avec gel présente une déficience de 50% en naphthoquinone. Par ailleurs, il semble que toutes les naphthoquinones jouent un rôle identique à celui des vitamines K, vitamines de calcification.

Les études actuelles, en cours, montrent que, des différents facteurs pris en compte, pouvant provoquer une surproduction de gel, seules les relations avec les concentrations dans l'eau en phosphore et en organochlorés (PCB), pourraient être positives.

Devant l'ampleur des problèmes posés à l'ostréiculture par ces anomalies, les études en cours présentent une importance toute particulière.

CONCLUSION

Les six stations de prélèvement des eaux maritimes, contrôlées dans le Bassin de Marennes-Oléron par le Laboratoire de l'Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes de La Tremblade, peuvent être classées en trois catégories :

1) Débouchés vers l'Océan -

Il s'agit des stations 1 et 6.

Il semble que la station 1 recueille une faible partie des métaux lourds entraînés par les eaux de la Gironde, en particulier le mercure - dont l'origine semble être surtout océanique -, et le cuivre.

La station 6, ouverte vers l'Atlantique par le pertuis d'Antioche, est située dans la zone la moins chargée en métaux lourds.

2) Embouchures des rivières -

Il s'agit des stations 2 (Seudre), et 5 (Charente).

Ces rivières constituent certainement les apports les plus importants de métaux lourds dans le Bassin.

3) Zônes sédimentaires -

Les stations 3 et 4, classées dans cette troisième catégorie, possèdent chacune leur caractère propre.

La station 3 semble être le point de confluence des deux rivières, et de courants provenant de l'océan par les stations 1 et 6. (Zone de Wantij).

Cette réunion des eaux, apportant les métaux sous des formes certainement différentes, doit entraîner dans un premier stade la réaction des différents sels entre eux, et la formation de composés stables.

Cette action chimique doit être accompagnée d'une action physique. Il est probable en effet que les remous, provoqués par la confluence des courants, aient une influence de centrifugation permettant le dépôt rapide des composés insolubles produits.

C'est alors qu'intervient la station 4, zone à forte sédimentation et à eaux calmes au séjour important, qui constitue le réceptacle idéal pour le dépôt des sels insolubles, la concentration, dans certaines parties sédimentaires, des sels solubles, et la transformation lente de ces divers sels en composés organiques.

L'examen des travaux de l'I.S.T.P.M conduit à formuler les remarques suivantes, pour chaque métal lourd étudié :

1) Mercure -

Dans le Bassin de Marennes-Oléron, le mercure a une origine océanique, un apport ayant lieu également par les rivières, surtout par la Charente.

Les résultats d'analyses mettent en évidence la formation de méthylmercure dans la station 4, et de diméthylmercure dans les stations 1 et 6.

Par ses teneurs raisonnables, dans les eaux et dans les peuplements, ce métal ne semble pas constituer un danger dans cette région à vocation principalement ostréicole.

2) Plomb -

Ce métal est sans nul doute apporté par les rivières. Les teneurs dans les eaux et les peuplements sont faibles, et, comme le mercure, le plomb ne présente pas un danger particulier de toxicité dans le Bassin de Marennes-Oléron.

3) Cadmium -

Par son caractère toxique, par ses teneurs à la limite des valeurs acceptables, par sa faculté à s'accumuler dans les tissus vivants, l'action du cadmium est à surveiller particulièrement dans le Bassin de Marennes-Oléron.

Il serait intéressant de suivre l'évolution des teneurs de ce métal dans les eaux et dans les peuplements, pour examiner si l'amélioration constatée en 1980 se confirme dans le temps.

4) Cuivre -

Le cuivre est le seul métal dont la concentration a augmenté en 1980, par rapport à 1979.

L'apport par la viticulture doit être constant dans le temps. Il peut même diminuer, à l'avenir, par suite de la substitution de produits organiques aux sels de cuivre, dans la préparation des fongicides.

Il y a donc lieu de surveiller de près les autres apports possibles de ce métal, et, en particulier, les peintures antifouling.

Par son action associée au cadmium et au zinc, le cuivre, si sa concentration augmente, pourrait être la cause de difficultés pour la conchyliculture, dans le Bassin de Marennes-Oléron.

5) Zinc -

En 1979, les concentrations en zinc dans les eaux et dans les peuplements ont atteint des valeurs sortant absolument des normes admises.

On pourrait en tirer la conclusion que le zinc, même à de fortes teneurs, ne présente pas un caractère de toxicité. Il ne semble cependant pas possible, à l'heure actuelle, de connaître les inconvé-

nients exacts ,apportés par une forte concentration de ce métal, dans les eaux et dans les tissus vivants.

Le phénomène observé dans le Bassin de Marennes-Oléron ne semble pas être spécifique à cette région. Partout, il semble être associé à certains incidents de croissance chez les huitres.

Il est donc nécessaire de déterminer de plus près l'action que peut avoir ce métal sur les peuplements marins. L'étude devrait sans doute porter sur une possible synergie Zn/Cu.

Des expériences et des essais qui se poursuivent, une bibliographie récente qui mérite beaucoup d'attention, permettent de jeter un regard neuf sur l'action, sans doute importante, des métaux lourds sur les êtres vivant dans la mer.

Il y a là, certainement, matière à recherches intéressantes pour l'avenir.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - BARNDOUIN Jacques. La faune marine, vectrice des pollutions chimiques : données et problèmes sanitaires. Thèse pour le doctorat vétérinaire. Université Paul Sabatier, Toulouse 1973.
- 2 - SOUDAN F. Action des polluants sur les organismes et les peuplements marins. Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes. 1979.
- 3 - AUBERT M. et J. Pollution marine et aménagement des rivages. CERBOM. Revue Internationale d'Océanographie Médicale. Supplément 1973
- 4 - FRENET M. Phénomènes de fixation et de désorption du mercure sur les argiles, dans les eaux à salinité variable. Application à l'estuaire de la Loire. Thèse de doctorat. U.E.R des Sciences Pharmaceutiques, Nantes. Journal de Recherche Océanographique. Volume IV. bulletin N° 3, 1979. pp 35 à 38.
- 5 - TSU-CHANG HUNG et TSUNG TIEN LIN. Study on mercury in the waters, sediments, and benthonic organisms along Chai-I coastal area. National Taiwan University, 1976. Acta Oceanographica Taiwanica N° 6, 1976. pp 30 à 38.
- 6 - Réseau National d'Observation de la Qualité du Milieu Marin. R.N.O. Première synthèse des travaux de Surveillance. 1975 - 1976 - 1977.
- 7 - Les Paramètres de la Qualité des Eaux. Ministère de la Protection de la Nature et de l'Environnement. Secrétariat Permanent pour l'Etude des Problèmes de l'Eau. "La Documentation Française" - Paris 1973.
- 8 - ALZIEU Claude. Peintures anti-salissure. Enquête sur la nature des produits, et quantités utilisées en zone conchylicole. I.S.T.P.M. Nantes 1981.
- 9 - ELDERFIELD H., HEPPWORTH A., EDWARDS PN., HOLLIDAY LM., Zinc in the Conwy River and Estuary. University of Leeds. Estuarine and Coastal Marine Science. 1979. pp 403 à 422.
- 10 - MARTIN J.M., MLYBEC M., SALVADORI F., THOMAS A. - Pollution Chimique des Estuaires : Etat actuel des Connaissances. Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO). N° 22 - 1976.
- 11 - MASO J.W., CHO J.H., ANDERSON A.C. Uptake and Fate of Inorganic Mercury in the Eastern Oyster Crassostrea virginica. Proceedings 9th National Shellfish Sanitation Workshop. 1975 U.S Public Health Service, Food and Drug Administration. D.S Wilt, Ed., Washington D.C. pp 119 à 127.

- 12 - DILLON T.M. Mercury and the estuarine marsh clam Rangia cuneata "Gray". Toxicity, environmental contamination and toxicology N°6 pp 249 à 255 - 1977. Springer Verlag Ed, New-York.
- 13 - THIBAUD Yves. Teneurs en mercure dans les moules du littoral français. Science et Pêche. Bulletin d'Information et de documentation de l'I.S.T.P.M , N° 221 - Janvier 1973. pp 1 à 6.
- 14 - KOLBYE A. Dr. Toxicology and guidelines for chemical contaminants in shellfish. Proceedings 8th National Shellfish Sanitation - U.S Department of Health, Education and Welfare. 1974 - pp 88 à 90. D.S Wilt, Ed.
- 15 - WATLING H.R. Effect of Cadmium on larvae and spat of the oyster Crassostrea gigas. - Roy. Soc. S. Afr. 43, part 2, pp 125 à 134. Mai 1978.
- 16 - DARRACOTT Ann, WATLING H.R. The use of molluscs to monitor Cadmium levels in estuaries and coastal marine environments. Roy. Soc. S. Afr. 41, part 4 - pp 325 à 338.
- 17 - PRINGLE B. Chemical contaminants in shellfish. U.S Food and Drug Administration. Training Course Manual 1969.
- 18 - BRENKO M., CLAUS C., BUBIK S. Synergetic effects of Lead, salinity and temperature, on embryonic development of the mussel Mytilus galloprovincialis. Marine Biology 44 - pp 109 à 115 Springer Verlag.
- 19 - U.S Department of Health, Education and Welfare. Source Book on shellfish purification. 1979.
- 20 - EISLER R. Copper accumulations in coastal and marine biota. U.S Environmental Protection Agency. Copper in the Environment. Part 1 - pp 363 à 449. 1979.
- 21 - Revue Internationale d'Océanographie Médicale. 1974. Tome 33
- 22 - FRAZIER J.M. The dynamics of metals in the american oyster Crassostrea virginica. Department of Environmental Medicine. Part 1 - Baltimore, Chesapeake Sci. - N° 17, p 186 - 1976
- 23 - SHUN YAO HSU, GUO-SHYNG WANG, SEN-SHYONG JENG. The occurrence and seasonal variations of Na, K, Ca, Mg and heavy metals in Taiwan's oysters and clams. Bull. Inst. Zool. Academia Sinica N° 18 - pp 11 à 20. - 1979.
- 24 - ASSIS M.E., NUNES M.C. Sur la prospection de la teneur en Cuivre et en Fer des huitres du Tage et du Sado. Conseil Int. pour l'Exploration de la Mer. Communication 1973. K 7.
- 25 - PESCH G., STEWART N., PESCH C. Copper toxicity to the bay scallop Argopecten irradians. Bull. Environ. Contam. Toxicol. N° 23, pp 759 à 765 - 1979. Springer Verlag.
- 26 - RUESIJADI G. Influence of Copper on the clam Protothacta staminea. The Biological Bulletin, Vol. 158, N°2 - pp 233 à 247 - Avril 1980.

- 27 - CALABRESE A., COLLIER R.S., NELSON D.A., Mc INNES J.R.
The toxicity of heavy metals to embryos of the american oyster Crassostrea virginica. Marine Biology N° 18 - 1973
- 28 - BRERETON A., LORD H., THORNTON I., WEBB J.S. Effect of Zinc on growth and development of larvae of the Pacific oyster Crassostrea gigas. Marine Biology N° 19, pp 96 à 101 - 1973
- 29 - COUBS T.L., The distribution of Zinc in the oyster Ostrea edulis and its relation to enzymic activity and to other metals. Marine Biology N° 12, pp 170 à 178 - 1972.
- 30 - BOYDEN C.R., WATLING H., THORNTON I. Effect of Zinc on the settlement of the oyster Crassostrea gigas. Marine Biology N° 31 pp 227 à 234 - 1975
- 31 - NOEL-LAMBOT F. Distribution of Cadmium, Zinc and Copper in the mussel Mytilus edulis. Existence of Cadmium-binding proteins similar to metallothioneins. Experimentia N° 32 - 1976 pp 324 - 325.
- 32 - NOEL-LAMBOT F. GERDAY Ch., DISTECHE A. Distribution of Cd, Zn and Cu in liver and gills on the eel Anguilla anguilla, with special reference to metallothioneins. Comp. Biochem. Physiol. N° 61c, pp 177 à 187 - 1978
- 33 - NOEL-LAMBOT F., BOUQUEGNEAU J.M., FRANKLIN F., DISTECHE A. Le rôle des métallothionéines dans le stockage des métaux lourds chez les animaux marins. Rev. Int. Océanograph. Méd. Tome XLIX - 1978
- 34 - HERAL M., BERTHOMÉ J.P., RAZET D., GARNIER J. Etude hydrobiologique du Bassin de Marennes-Oléron. Un exemple : la sécheresse de l'été 1976. Rev. Trav. Inst. Pêches Marit. N° 42 -(4) pp 269 à 290 - 1978
- 35 - Pour une politique de lutte contre la pollution des mers. Rapport du Groupe Interministeriel des Problèmes de la Pollution de la Mer. Environnement. "La Documentation Française" 1973.
- 36 - HERAL M., BERTHOMÉ J.P., POLANCO TORRES E., ALZIEU C. DELSOUS PAOLI J.M., RAZET D., GARNIER J. Anomalies de croissance de la coquille de Crassostrea gigas dans le bassin de Marennes-Oléron. Bilan de trois années d'observation. Conseil International pour l'Exploration de la Mer. Comité des Mollusques et Crustacés. C.M. 1981 / K 31.
- 37 - ALZIEU C. Evaluation des risques dus à l'emploi des peintures anti-salissures dans les zones conchylicoles. I.S.F.P.M. Nantes 15 Juin 1981.

A N N E X E S

1) Tableaux I à VI - Résultats d'analyses -

Tous les échantillons ont été prélevés à -1 mètre.
Les teneurs sont indiquées en $\mu\text{g/l}$.

Abréviations :

Coef. : Coefficient de la marée.
T° : Température en °C.
Sal. : Salinité en gr/kg (‰)
Turb. : Turbidité NTU'S (Nephelometric Turbidity Unit)
MES : Matières en suspension totales, en mg/l.
D : Dosage du métal
T : Teneur dans l'eau brute (teneur totale)
S : Teneur dans l'eau filtrée (sels solubles)
I : Teneur en insoluble, par différence T - S
%S : % de solubilité - Rapport S/T

2) Diagrammes D1 à D5 -

Courbes des variations, selon les stations 1 à 6, (ST1 à ST6), des teneurs en métaux lourds dans l'eau brute en fonction du temps.

Pour chaque métal étudié.

3) Diagrammes D6 à D10 -

Courbes des variations des teneurs moyennes annuelles (1979), dans l'eau brute et dans l'eau filtrée, pour chaque métal étudié.

Les stations M1 à M6 représentent les six stations de Marennes-Oléron, les stations G4 et G5, les stations de l'estuaire de la Gironde, proches de l'océan.

4) Diagrammes D11 à D16 -

Courbes des variations des teneurs en métaux lourds dans l'eau brute, pour chaque station du Bassin de Marennes-Oléron.

TABLEAU I

Bassin de Marennes-Oléron - 1979

Station 1

Date Temps	Coef	T°	Sal.	pH	Turb	MES	M E T A U X						
							D	Hg	Cd	Pb	Lu	Zn	
29.01 Pluie	110	8,40	32,20	7,80	18,0	66,0	T	0,36	0,90	3,10	3,60	59,1	
							S	0,36	0,70	1,40	1,20	27,1	
							I	0,	0,20	1,70	2,40	32,0	
26.02 Part. Nuag.	100	9,20	33,90	7,85	5,6	20,4	T	0,49	2,00	10,70	1,80	36,4	
							S	0,49	2,00	6,40	1,80	36,4	
							I	0,	0,	4,30	0,	0,	
23.04 Pluie	70	11,80	30,0	7,80	57,0	129,2	T	0,95	0,10	3,10	49,30	23,9	
							S	0,59	0,08	0,00	31,70	23,9	
							I	0,36	0,02	3,10	16,60	0,	
28.05 Clair	82	15,30	28,60	7,80	5,5	18,8	T	1,60	0,11	0,35	1,70	0,0	
							S	0,32	0,11	0,35	1,70	0,0	
							I	1,28	0,	0,	0,	0,	
26.06 Clair	80	17,20	31,30	7,90	7,0	41,6	T	0,22	0,02	0,49	0,40	7,8	
							S	0,22	0,02	0,49	0,40	7,8	
							I	0,	0,	0,	0,	0,	
24.07 Clair	79	18,20	32,80	8,0	1,5	2,0	T	0,50	0,54	4,51	3,50	143,0	
							S	0,50	0,14	0,04	0,90	5,9	
							I	0,	0,40	4,47	2,60	137,1	
22.08 Clair	90	21,0	34,10	7,90	11,0	28,4	T	0,73	0,11	3,77	3,20	2,4	
							S	0,73	0,11	0,34	3,20	2,4	
							I	0,	0,	3,43	0,	0,	
24.09 Nuag.	87	14,30	34,50	8,10	18,0	42,0	T	0,30	0,01	1,07	1,00	11,1	
							S	0,14	0,01	0,71	1,00	11,1	
							I	0,16	0,	0,36	0,	0,	
22.10	91	17,10	32,40	8,0	6,5	17,2	T	0,80	0,12	2,47	2,20	31,7	
							S	0,80	0,12	0,02	2,20	31,7	
							I	0,	0,	2,45	0,	0,	
5.11	107	14,60	34,20	8,00	60,0	141,0	T	0,35	0,32	5,52	15,90	17,9	
							S	0,35	0,32	1,50	9,50	17,9	
							I	0,	0,	4,02	10,40	0,	
20.11	90	12,60	31,00	8,00	16,0	39,2	T	0,81	0,16	2,24	4,30	16,2	
							S	0,27	0,16	1,00	1,50	16,2	
							I	0,53	0,	1,24	2,80	0,	
4.12	95	12,90	31,00	7,95	10,0	16,4	T	0,13	0,05	3,01	16,10	21,9	
							S	0,13	0,05	0,63	6,80	21,5	
							I	0,	0,	2,38	9,30	0,4	
18.12	83	11,60	31,80	8,00	35,0	70,0	T	0,20	0,01	0,72	2,30	2,3	
							S	0,20	0,01	0,39	2,30	1,7	
							I	0,	0,	0,33	0,	0,6	
Teneurs moyennes 1979 :							48,6	T	0,57	0,34	3,15	8,40	28,74
								S	0,39	0,29	0,92	4,93	15,66
								I	0,18	0,05	2,23	3,47	13,08
								MES	68,42	85,29	29,20	56,69	54,46

TABLEAU II

Bassin de Marennes-Oléron - 1979

Station 2

Date Temps	Coef	T°	Sal.	pH	Turb	MES	M E T A U X						
							D	Hg	Cd	Pb	Cu	Zn	
29.01 Pluie	110	8,40	32,30	7,80	25,0	60,0	T	0,29	0,70	3,50	3,90	26,7	
							S	0,29	0,70	1,30	3,90	26,7	
							I	0,	0,	2,20	0,	0,	
26.02 Part. Nuag.	100	8,00	30,30	7,90	29,0	44,0	T	0,55	6,60	7,10	1,10	11,5	
							S	0,55	6,60	2,70	1,10	11,5	
							I	0,	0,	4,40	0,	0,	
27.03 Tem- pête	105	11,30	28,50	7,90	165,0	404,4	T	0,37	0,70	2,00	8,40	10,6	
							S	0,37	0,70	2,00	3,60	10,6	
							I	0,	0,	0,	4,80	0,	
23.04 Pluie	70	12,10	25,20	7,60	15,0	39,6	T	1,12	0,50	4,80	3,60	354,0	
							S	1,12	0,50	0,85	2,10	354,0	
							I	0,	0,	3,95	1,50	0,	
28.05 Clair	62	16,50	25,10	7,90	7,3	48,8	T	0,50	0,05	2,57	3,50	2,6	
							S	0,27	0,05	2,27	2,60	2,6	
							I	0,23	0,	0,30	0,90	0,	
26.06 Clair	80	19,50	31,60	7,95	5,0	14,0	T	0,42	0,30	1,61	1,30	44,5	
							S	0,42	0,11	0,01	1,30	31,9	
							I	0,	0,19	1,60	0,	12,6	
24.07 Clair	79	19,20	33,70	8,10	9,0	18,4	T	0,55	0,85	2,30	3,30	13,5	
							S	0,32	0,38	1,54	0,40	5,2	
							I	0,23	0,47	0,76	2,90	6,3	
22.08 Clair	90	19,80	33,80	7,90	9,0	30,8	T	0,50	1,27	1,27	3,20	29,5	
							S	0,50	1,22	1,27	3,10	29,5	
							I	0,	0,	0,	0,10	0,	
24.09 Nuag.	67	14,20	34,60	8,15	1,9	5,6	T	0,40	0,12	0,50	0,90	5,3	
							S	0,40	0,12	0,04	0,80	5,3	
							I	0,	0,	0,46	0,10	0,	
22.10	91	16,90	32,80	8,00	6,0	10,8	T	0,75	0,05	1,69	4,00	54,7	
							S	0,75	0,05	1,26	1,30	54,7	
							I	0,	0,	0,43	2,70	0,	
5.11	107	15,10	31,20	8,00	92,0	96,4	T	0,35	0,83	27,80	16,40	159,1	
							S	0,35	0,83	9,70	5,60	34,9	
							I	0,	0,	16,10	12,80	124,2	
20.11	90	11,90	31,90	8,00	32,0	86,8	T	0,70	0,09	3,81	1,40	29,2	
							S	0,21	0,09	0,26	0,70	3,5	
							I	0,49	0,	3,55	0,70	25,7	
4.12	95	12,80	30,70	8,00	15,0	21,2	T	0,10	0,04	15,07	3,80	14,8	
							S	0,10	0,04	0,06	3,80	14,8	
							I	0,	0,	15,01	0,	0,	
18.12	83	11,40	31,70	8,00	45,0	52,0	T	0,06	0,52	12,50	5,90	26,4	
							S	0,06	0,14	0,03	5,90	13,8	
							I	0,	0,38	12,47	0,	12,6	
<u>Teneurs moyennes 1979</u> :							66,6	T	0,47	0,90	6,16	4,47	55,88
								S	0,40	0,82	1,66	2,58	42,78
								I	0,07	0,08	4,52	1,89	13,10
								%S	85,10	91,11	26,86	57,71	76,55

TABLEAU III

Bassin de Marennes-Oléron - 1979

Station 3

Date Temps	Loef	T°	Sal.	pH	Turb.	MES	M E T A U X						
							D	Hg	Cd	Pb	Cu	Zn	
29.01 Pluie	110	7,20	31,40	7,80	64,0	132,0	T	-	0,70	3,60	4,00	63,5	
							S	0,57	0,70	0,50	1,50	63,5	
							I	-	0,	3,10	2,50	0,	
26.02 Part. Nuag.	100	7,10	29,20	7,80	70,0	148,4	T	0,20	5,50	5,40	29,30	433,0	
							S	0,20	5,40	2,70	2,70	66,8	
							I	0,	0,10	2,70	26,60	366,2	
27.03 Tempête	105	11,0	30,20	7,80	115,0	189,2	T	0,29	0,60	12,00	3,90	366,0	
							S	0,29	0,60	4,40	3,70	92,9	
							I	0,	0,	7,60	0,20	273,1	
23.04 Pluie	70	11,50	28,40	7,90	12,0	28,6	T	0,45	0,20	0,30	2,90	5,5	
							S	0,45	0,20	0,30	2,90	5,5	
							I	0,	0,	0,	0,	0,	
28.05 Clair	82	16,90	29,00	7,90	12,0	44,8	T	1,20	0,25	0,06	5,90	20,9	
							S	0,27	0,25	0,06	5,60	20,9	
							I	0,93	0,	0,	0,10	0,	
26.06 Clair	80	19,40	31,20	7,95	15,0	40,0	T	0,47	1,30	3,33	1,40	32,7	
							S	0,35	0,55	1,15	1,40	32,7	
							I	0,12	0,75	2,18	0,	0,	
24.07 Clair	79	20,20	33,70	7,90	7,5	4,4	T	0,33	1,24	16,16	12,10	93,0	
							S	0,33	1,24	3,26	4,20	30,8	
							I	0,	0,	12,90	7,90	62,2	
22.08 Clair	90	19,50	33,80	7,70	14,0	26,0	T	0,41	3,06	8,65	4,40	37,2	
							S	0,41	0,55	1,00	2,10	14,8	
							I	0,	2,51	7,65	2,30	22,4	
24.09 Nuag.	87	16,10	33,90	8,05	24,0	39,2	T	0,15	0,67	9,08	5,40	140,9	
							S	0,15	0,07	0,54	0,20	94,8	
							I	0,	0,	8,54	5,20	46,1	
22.10	91	16,40	33,0	7,80	22,0	46,8	T	0,17	0,45	2,18	3,40	79,4	
							S	0,17	0,45	2,18	3,40	79,4	
							I	0,	0,	0,	0,	0	
5.11	107	14,00	35,80	7,90	55,0	89,2	T	0,23	1,53	11,57	10,50	233,0	
							S	0,23	1,53	3,84	10,50	52,7	
							I	0,	0,	6,73	0,	180,3	
20.11	90	11,50	32,10	8,20	85,0	226,0	T	0,21	0,01	6,61	1,50	19,5	
							S	0,21	0,01	0,85	1,50	19,5	
							I	0,	0,	5,76	0,	0,	
4.12	95	12,40	30,60	7,90	20,0	29,2	T	0,06	0,05	1,62	5,30	14,0	
							S	0,06	0,05	0,33	5,30	14,0	
							I	0,	0,	1,29	0,	0,	
18.12	83	10,90	30,60	8,10	53,0	146,0	T	0,18	0,01	1,20	12,50	3,3	
							S	0,18	0,01	0,77	1,40	3,3	
							I	0,	0,	0,43	11,10	0,	
<u>Teneurs moyennes 1979</u> :							65,	T	0,33	1,06	5,84	7,32	110,13
								S	0,27	0,83	1,53	3,32	42,25
								I	0,06	0,23	4,31	4,00	67,88
								%S	81,81	70,50	26,19	45,35	36,36

TABLEAU IV

Bassin de Marennes-Oléron - 1979

Station 4

Date Temps	Coef	T°	Sal.	pH	Turb.	MES	M E T A U X						
							D	Hg	Cd	Pb	Cu	Zn	
29.01 Pluie	110	7,0	32,50	7,80	150,0	300,0	T	0,17	1,50	12,70	7,60	98,3	
							S	0,17	1,20	2,10	7,50	40,6	
							I	0,	0,30	10,60	0,10	57,5	
26.02 Part. Nuag.	100	7,0	30,90	7,90	50,0	99,2	T	0,13	0,50	3,30	3,40	31,5	
							S	-	-	-	-	-	
							I	-	-	-	-	-	
27.03 Tem- pête	105	10,50	30,40	7,90	65,0	114,4	T	0,26	2,00	20,00	3,10	284,0	
							S	0,26	1,10	2,00	2,40	86,1	
							I	0,	0,90	16,60	1,70	97,9	
23.04 Pluie	70	11,70	29,10	7,80	32,0	56,0	T	0,51	0,40	0,70	32,70	64,0	
							S	0,51	0,40	0,70	15,90	52,0	
							I	0,	0,	0,	16,80	12,0	
28.05 Clair	82	16,0	29,70	7,90	5,0	34,0	T	0,27	0,33	1,04	0,50	0,7	
							S	0,27	0,33	0,43	0,50	0,7	
							I	0,	0,	0,61	0,	0,	
26.06 Clair	80	19,5	31,10	8,00	8,0	19,2	T	0,31	0,01	1,42	0,00	0,7	
							S	0,31	0,01	0,00	0,00	0,7	
							I	0,	0,	1,42	0,	0,	
24.07 Clair	79	20,0	33,40	8,00	30,0	24,8	T	0,60	0,26	2,67	2,20	64,0	
							S	0,60	0,26	0,44	0,40	2,3	
							I	0,	0,	2,23	1,60	61,7	
22.08 Clair	90	21,0	34,80	7,90	20,0	54,4	T	0,58	4,93	2,64	3,50	65,8	
							S	0,48	2,13	1,14	2,20	65,8	
							I	0,10	2,80	1,70	1,30	0,	
24.09 Nuag.	87	16,10	34,50	8,05	12,0	18,8	T	0,44	0,07	1,56	1,70	15,2	
							S	0,44	0,07	0,05	0,70	1,0	
							I	0,	0,	1,51	1,60	14,2	
22.10	91	14,00	33,60	7,90	9,5	46,4	T	0,55	0,01	0,58	3,30	6,5	
							S	0,55	0,01	0,58	3,10	1,0	
							I	0,	0,	0,	0,20	7,5	
5.11	107	13,00	34,50	8,15	56,0	81,2	T	0,21	0,41	4,43	9,40	26,7	
							S	0,21	0,41	2,96	4,80	18,3	
							I	0,	0,	1,47	4,60	13,4	
20.11	90	10,20	32,40	8,05	55,0	170,0	T	0,33	0,12	5,84	5,20	24,6	
							S	0,21	0,12	0,96	2,20	12,0	
							I	0,12	0,	4,88	3,00	12,6	
4.12	95	12,0	31,30	7,55	39,0	24,0	T	0,13	0,17	6,77	57,50	29,6	
							S	0,13	0,17	0,08	57,50	26,0	
							I	0,	0,	6,69	20,00	3,6	
18.12	83	12,40	30,40	8,10	60,0	134,0	T	0,09	0,09	6,65	2,00	8,2	
							S	0,09	0,09	2,72	0,80	6,9	
							I	0,	0,	3,93	1,20	1,3	
<u>Teneurs moyennes 1979</u> :							84,	T	0,34	0,75	5,16	10,72	53,25
								S	0,32	0,48	1,08	6,50	23,89
								I	0,02	0,31	4,08	4,22	29,36
								S	94,11	60,75	20,93	60,63	44,86

TABLEAU V

Bassin de Marennes-Oléron - 1979

Station 5

Date Temps	Coef	T°	Sal.	pH	Turb.	MES	M E T A U X						
							D	Hg	Cd	Pb	Cu	Zn	
29.01 Pluie	110	6,50	30,60	7,70	360,0	998,0	T	0,10	2,70	19,20	12,20	428,0	
							S	0,10	1,10	2,10	2,80	294,0	
							I	0,	1,60	7,10	9,40	134,0	
26.02 Part. Nuag.	100	6,50	31,70	7,80	60,0	101,6	T	-	1,20	8,00	1,40	36,1	
							S	0,61	1,20	3,90	1,40	-	
							I	-	0,	4,10	0,	-	
27.03 Tem- pête	105	10,50	28,00	7,80	70,0	101,2	T	0,53	0,70	3,60	2,30	65,8	
							S	0,53	0,70	1,50	2,30	33,5	
							I	0,	0,	2,10	0,	32,8	
23.04 Pluie	70	11,80	27,20	7,80	50,0	88,0	T	0,65	3,00	9,60	21,70	150,0	
							S	0,65	3,00	0,10	2,90	90,3	
							I	0,	0,	9,50	10,80	59,7	
28.05 Clair	82	16,00	26,80	7,90	11,0	36,4	T	0,28	0,18	2,98	3,20	21,1	
							S	0,28	0,07	0,37	1,10	3,5	
							I	0,	0,11	2,61	2,10	17,6	
26.06 Clair	80	20,00	27,50	7,95	30,0	48,4	T	0,29	0,38	2,01	2,70	18,0	
							S	0,29	0,38	0,61	1,10	18,0	
							I	0,	0,	1,40	1,60	0,	
24.07 Clair	79	20,00	32,10	7,90	28,0	34,0	T	0,30	1,58	2,92	5,90	16,0	
							S	0,30	0,72	0,43	3,60	8,4	
							I	0,	0,86	2,49	2,30	7,6	
22.08 Clair	90	18,00	33,00	7,90	38,0	120,0	T	1,10	4,13	2,92	4,60	152,0	
							S	1,10	0,89	0,32	3,40	5,2	
							I	0,	3,24	2,60	1,20	146,8	
24.09 Nuag.	87	15,70	35,00	8,00	21,0	46,0	T	1,40	0,02	1,09	0,30	3,3	
							S	0,41	0,02	0,13	0,30	3,3	
							I	0,99	0,	0,96	0,	0,	
22.10	91	13,50	32,70	7,90	13,0	40,4	T	1,00	0,01	1,93	5,00	8,1	
							S	0,87	0,01	1,93	2,70	8,1	
							I	0,13	0,	0,	2,30	0,	
5.11	107	13,00	33,10	8,10	210,0	64,8	T	0,16	0,25	24,40	2,70	51,3	
							S	0,16	0,25	24,40	2,70	51,3	
							I	0,	0,	0,	0,	0,	
20.11	90	10,00	28,50	8,10	325,0	736,0	T	0,24	0,33	14,06	2,00	36,8	
							S	0,24	0,20	0,75	2,00	10,6	
							I	0,	0,13	13,29	0,	26,2	
4.12	95	12,00	29,90	7,90	270,0	16,0	T	0,02	0,35	0,53	14,20	42,0	
							S	0,02	0,35	2,81	12,80	9,2	
							I	0,	0,	3,72	1,40	32,8	
18.12	83	11,80	29,60	8,15	78,0	155,0	T	0,06	0,01	3,17	5,00	1,9	
							S	0,06	0,01	1,78	3,00	1,9	
							I	0,	0,	1,39	2,00	0,	
Teneurs moyennes 1979 :							256,	T	0,47	1,06	7,31	5,94	76,48
								S	0,38	0,63	2,93	3,00	41,33
								I	0,11	0,43	4,38	2,94	35,15
								%S	80,85	59,43	40,08	50,50	54,05

TABLEAU VI

Bassin de Marennes-Oléron - 1979

Station 6

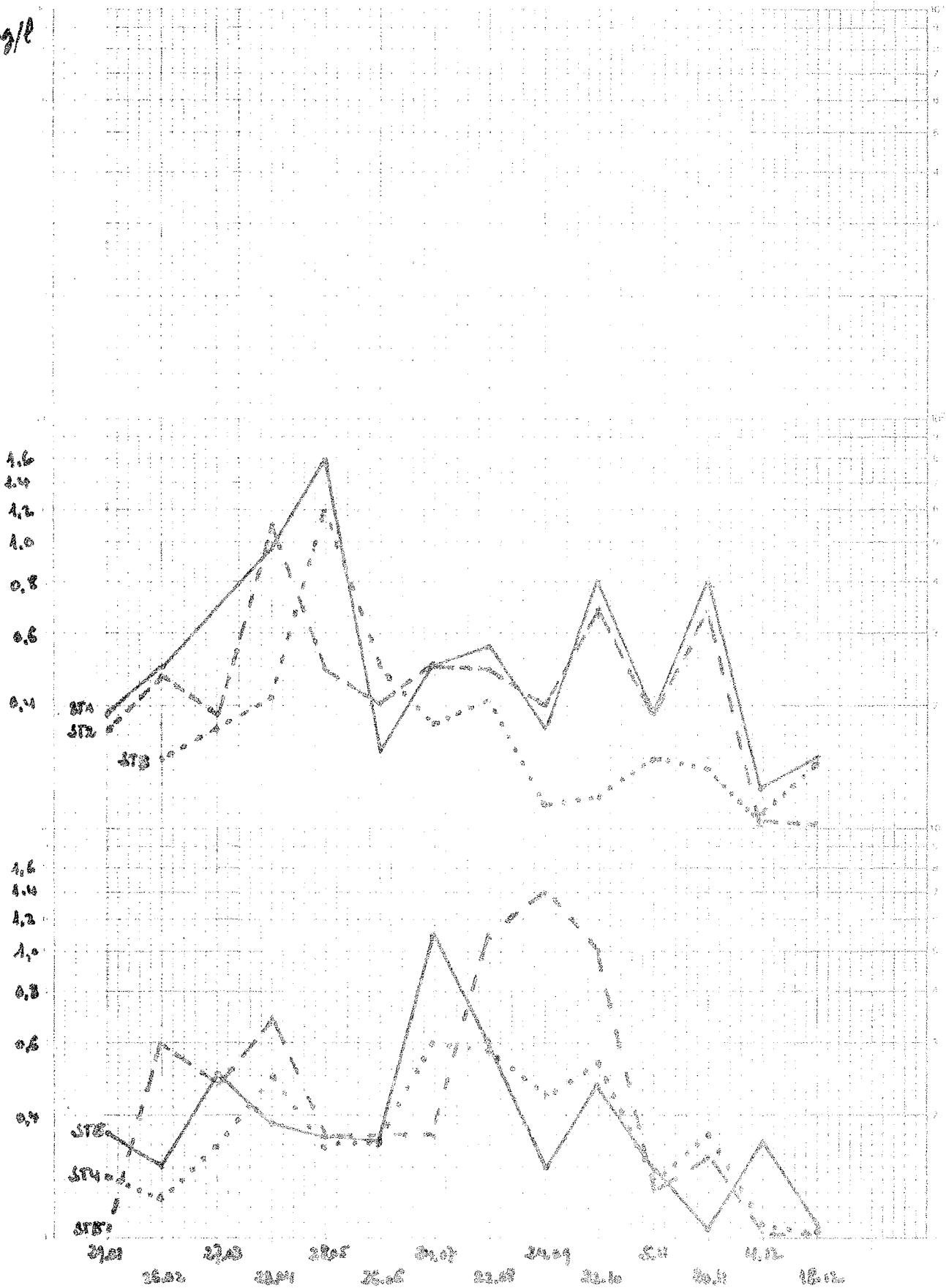
Date Temps	Coef	T°	Sal.	pH	Turb	MES	M E T A U X					
							D	Hg	Cd	Pb	Cu	Zn
29.01 Pluie	110	7,10	33,30	7,80	31,0	87,0	T	0,32	0,10	4,10	4,90	32,4
							S	0,30	0,10	1,20	2,60	32,4
							I	0,02	0,	2,90	2,30	0,
26.02 Part. Nuag.	100	7,30	31,90	7,90	8,0	15,6	T	0,20	0,40	1,10	1,30	34,0
							S	0,20	0,40	1,10	0,00	17,3
							I	0,	0,	0,	1,30	16,7
27.03 Tem- pête	105	10,40	30,80	7,90	8,5	62,0	T	0,52	0,60	1,70	2,90	23,6
							S	0,46	0,60	0,80	1,60	23,6
							I	0,06	0,	0,90	1,30	0,
23.04 Pluie	70	11,80	31,50	7,90	6,5	2,8	T	0,38	0,20	2,10	1,60	4,1
							S	0,38	0,16	0,16	1,60	3,5
							I	0,	0,02	1,94	0,	0,6
28.05 Clair	82	16,00	31,10	7,90	6,0	31,6	T	0,27	0,21	0,54	11,20	25,1
							S	0,22	0,21	0,54	0,80	12,0
							I	0,05	0,	0,	10,40	13,1
26.06 Clair	80	19,00	30,90	8,00	3,5	25,6	T	-	0,41	3,12	1,10	54,0
							S	-	0,41	0,61	1,10	54,0
							I	-	0,	2,51	0,	0,
24.07 Clair	79	18,50	34,50	8,00	8,5	14,8	T	1,10	1,08	2,11	3,00	9,9
							S	0,30	0,64	0,16	2,00	2,0
							I	0,80	0,34	1,95	1,00	7,9
22.08 Clair	90	20,00	33,50	7,90	3,0	32,0	T	0,60	0,20	0,16	0,60	17,0
							S	0,60	0,20	0,16	0,60	10,6
							I	0,	0,	0,	0,	6,4
24.09 Nuag.	97	15,80	34,80	8,10	10,0	19,6	T	0,19	0,09	2,63	0,70	19,0
							S	0,19	0,09	0,09	0,70	19,0
							I	0,	0,	2,54	0,	0,
22.10	91	15,30	34,00	7,90	6,0	34,0	T	0,45	0,02	1,19	2,70	5,7
							S	0,45	0,02	1,19	2,70	5,7
							I	0,	0,	0,	0,	0,
5.11	107	14,00	34,20	8,05	49,0	113,0	T	0,23	0,30	2,20	3,70	14,6
							S	0,23	0,30	2,20	3,70	14,6
							I	0,	0,	0,	0,	0,
20.11	90	10,00	32,80	8,20	25,0	78,0	T	0,09	0,41	4,39	9,60	32,6
							S	0,09	0,41	2,29	2,50	32,6
							I	0,	0,	2,10	7,10	0,
4.12	95	12,00	31,80	8,00	20,0	6,8	T	0,29	0,12	0,92	4,10	26,7
							S	0,15	0,12	0,57	4,10	12,6
							I	0,14	0,	0,35	0,	14,1
18.12	83	12,00	31,70	8,10	35,0	77,0	T	0,09	0,02	4,32	2,60	16,6
							S	0,09	0,02	0,01	2,50	2,1
							I	0,	0,	4,31	0,10	14,5
Teneurs moyennes 1979 :						42,8	T	0,36	0,29	2,18	3,57	22,52
							S	0,26	0,26	0,79	1,89	17,26
							I	0,08	0,03	1,39	1,68	5,24
							%S	77,77	69,65	36,23	52,94	76,73

Baies de Marennes-Oléron - 1979

D 1
20 22 23

TENEURS EN Hg TOTAL

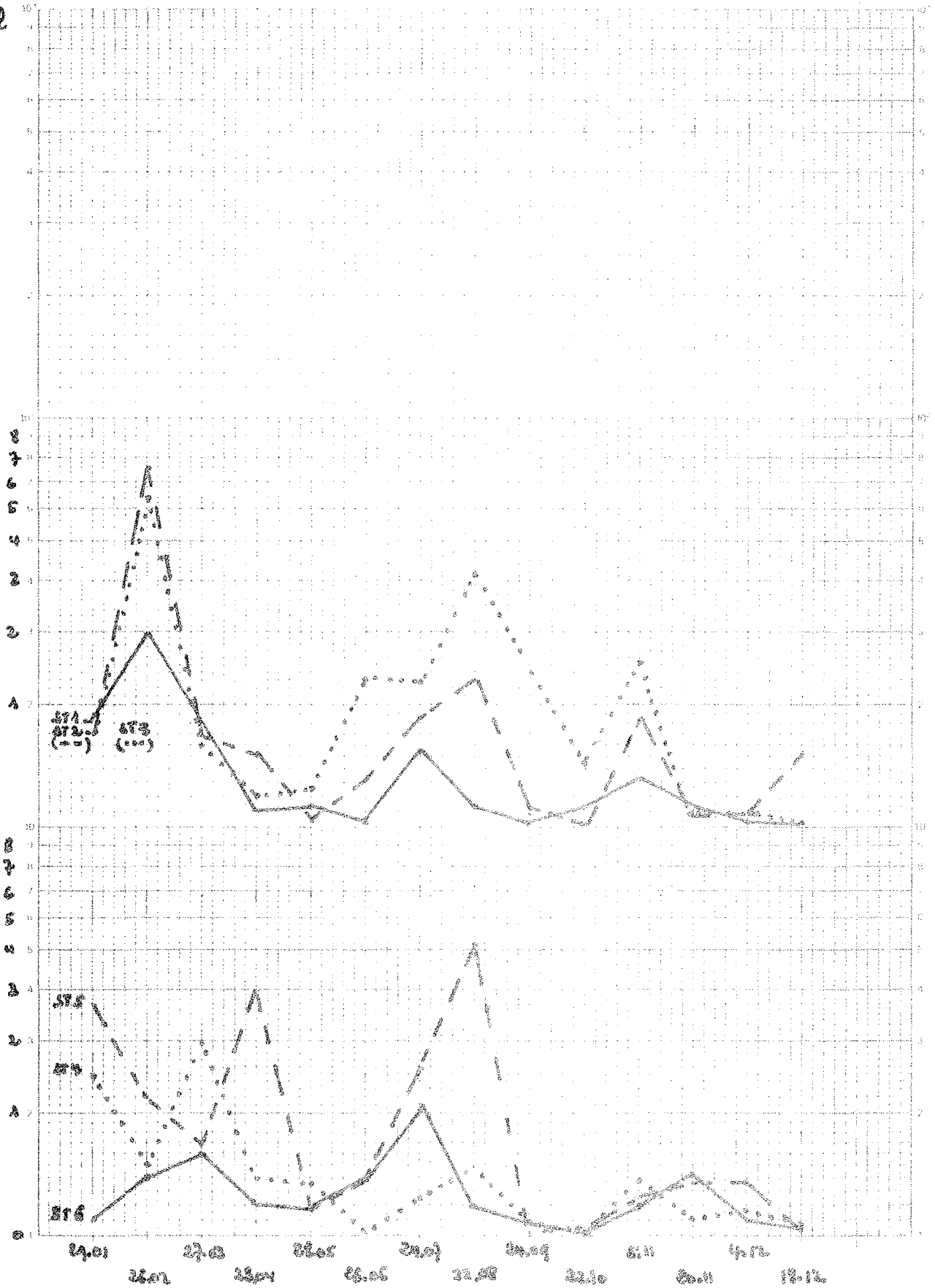
µg/l



Baies de Marennes-Oléron - 1979

TENEURS EN Cd TOTAL

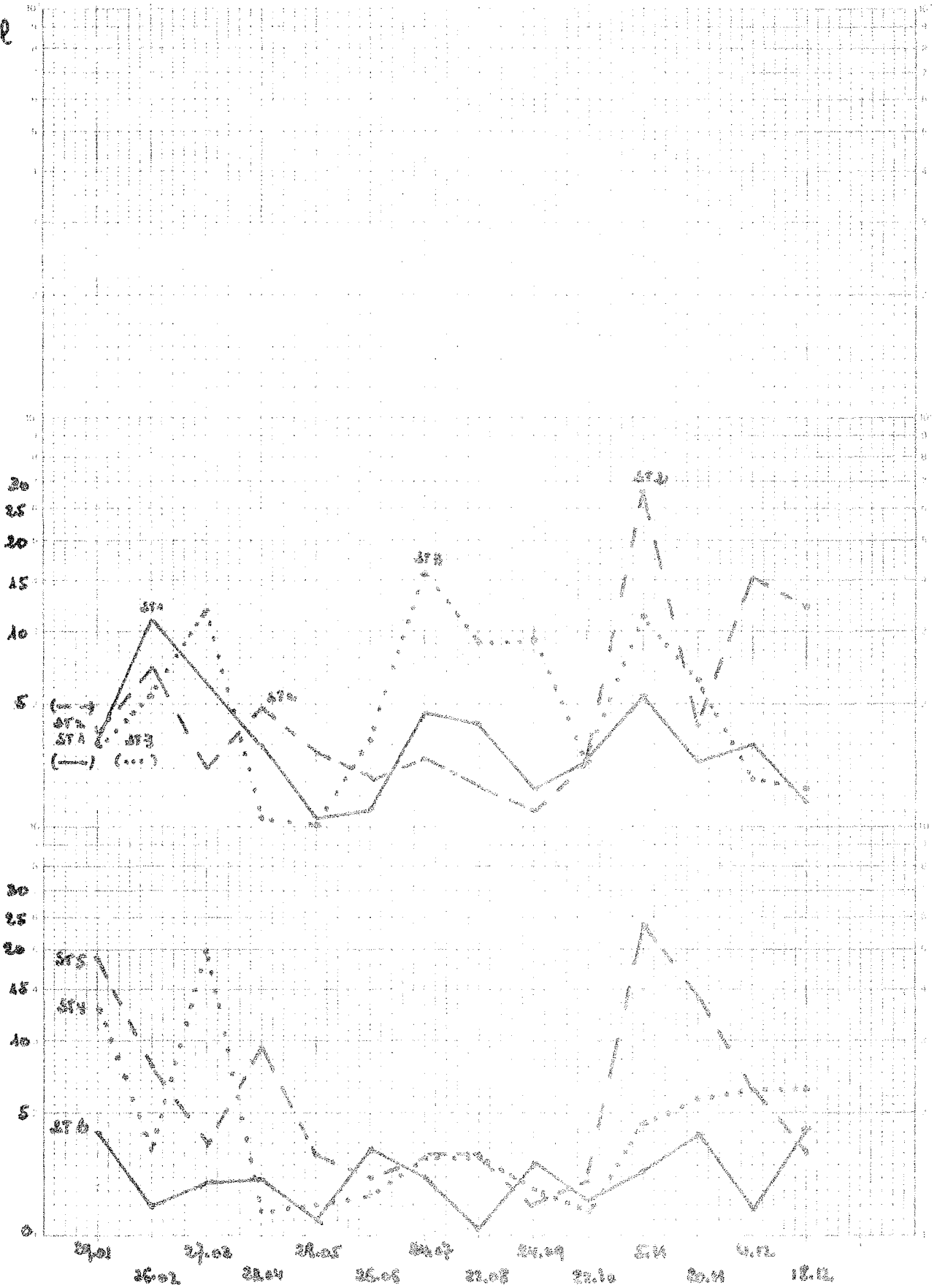
µg/l



Baies de Marennes-Oléron - 1979

TENEURS EN PB TOTAL

µg/l

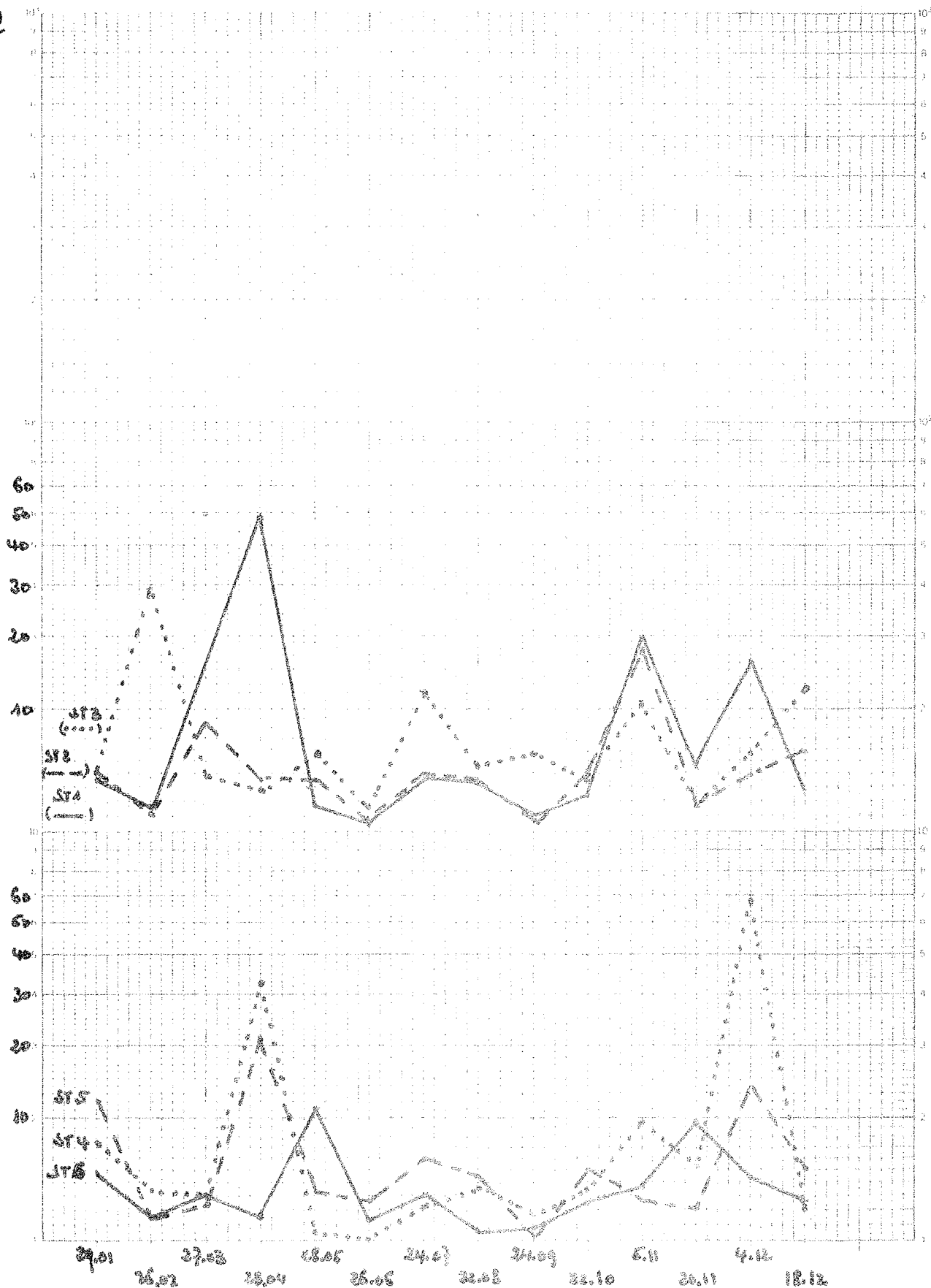


Baies de Marennes-Oléron - 1979

D 4

TENEURS EN CU TOTAL

log₁₀

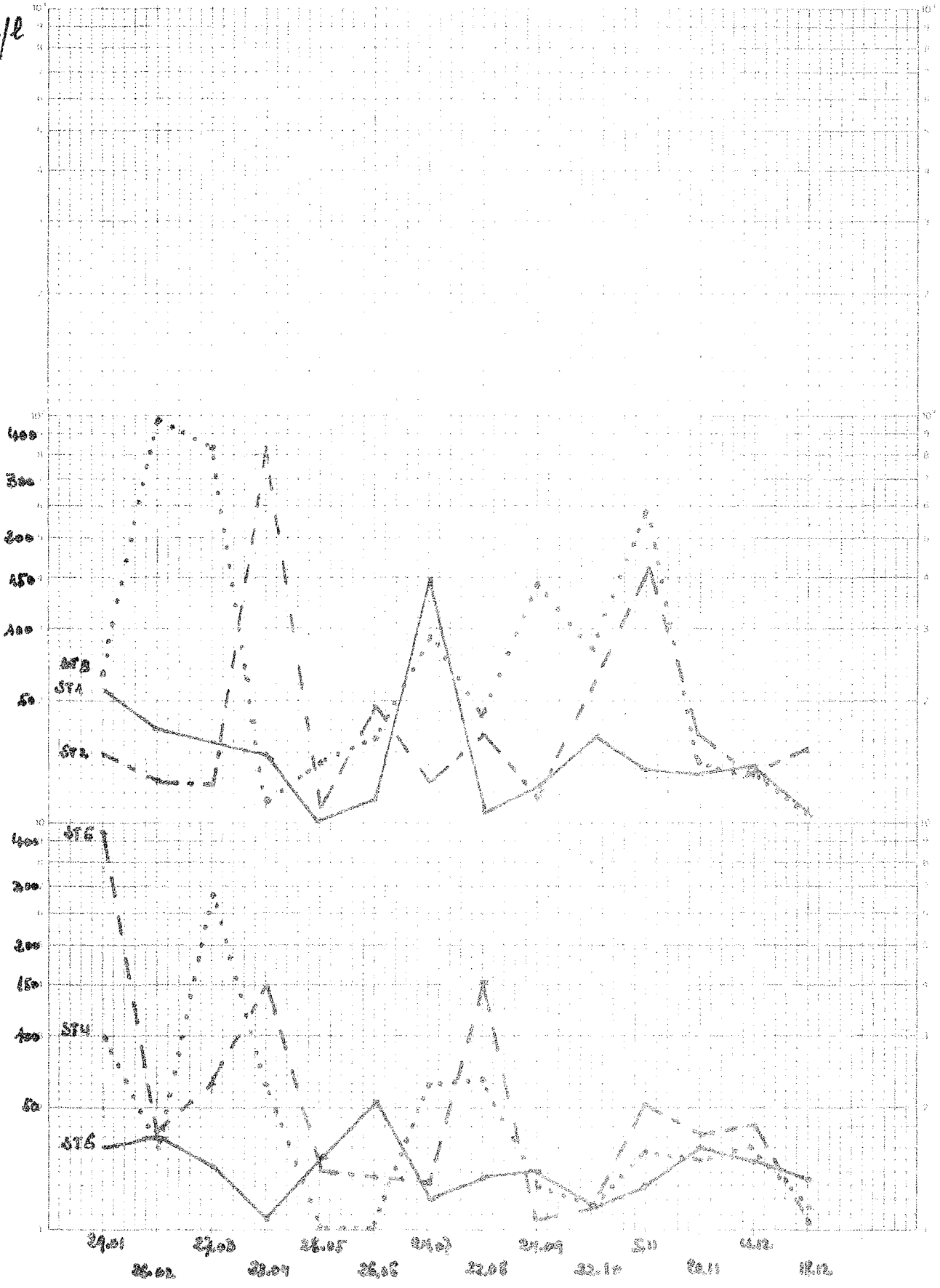


Baies de Marennes-Oléron - 1979

05

TENUEURS EN ZN TOTAL

µg/l



Baies de Marennes-Oléron

TECHNICAL REPORTS 1979

MERCURE

D6

µg/l
----- Hg total
- - - - - Hg soluble

1,25 -

1,00 -

0,75 -

0,50 -

0,25 -

M 1

M 2

M 3

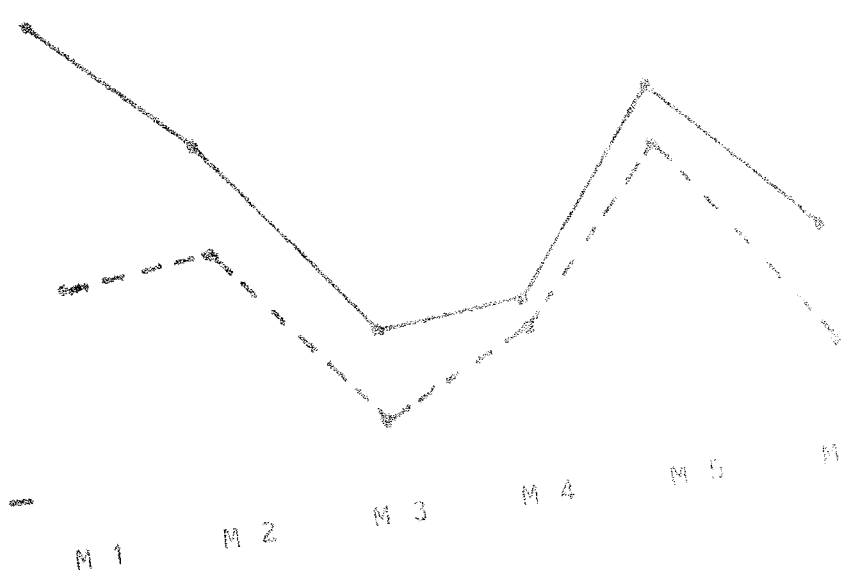
M 4

M 5

M 6

G 4

G 5

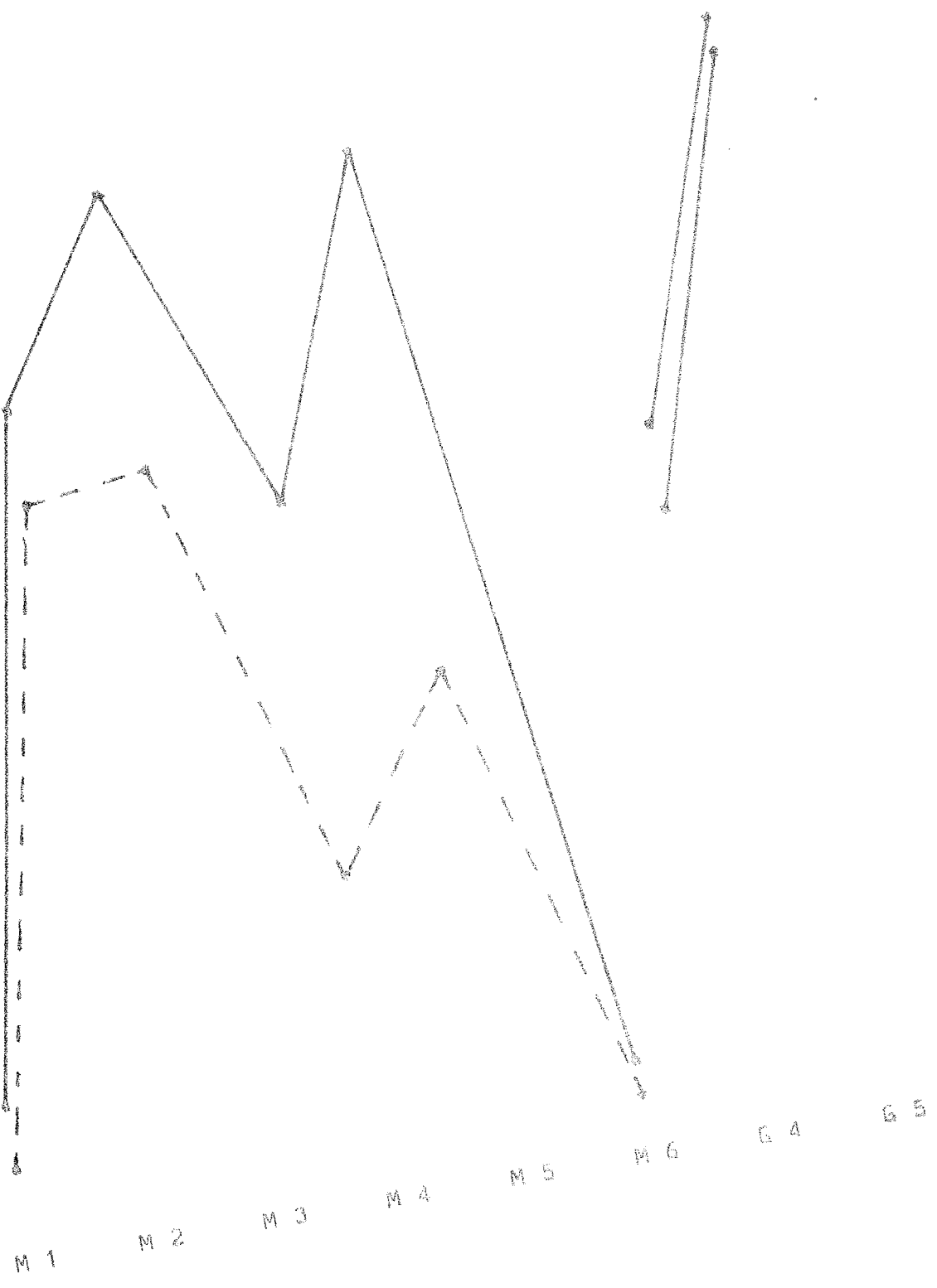


Baies de Marennes-Oléron Teneurs moyennes 1979 CADMIUM

07

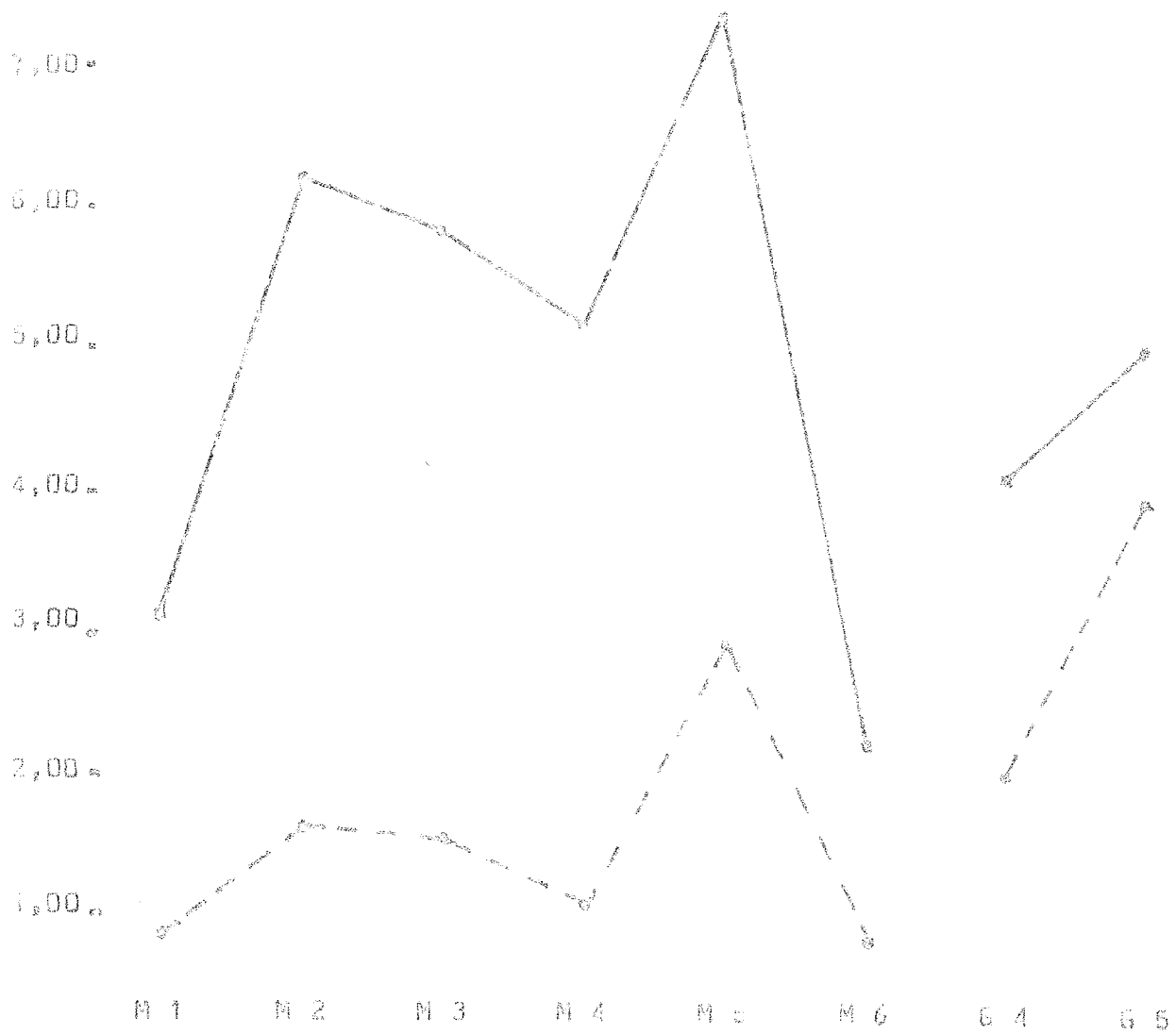
ug/l
1,25
1,00
0,75
0,50
0,25

— Cd total
- - - Cd soluble



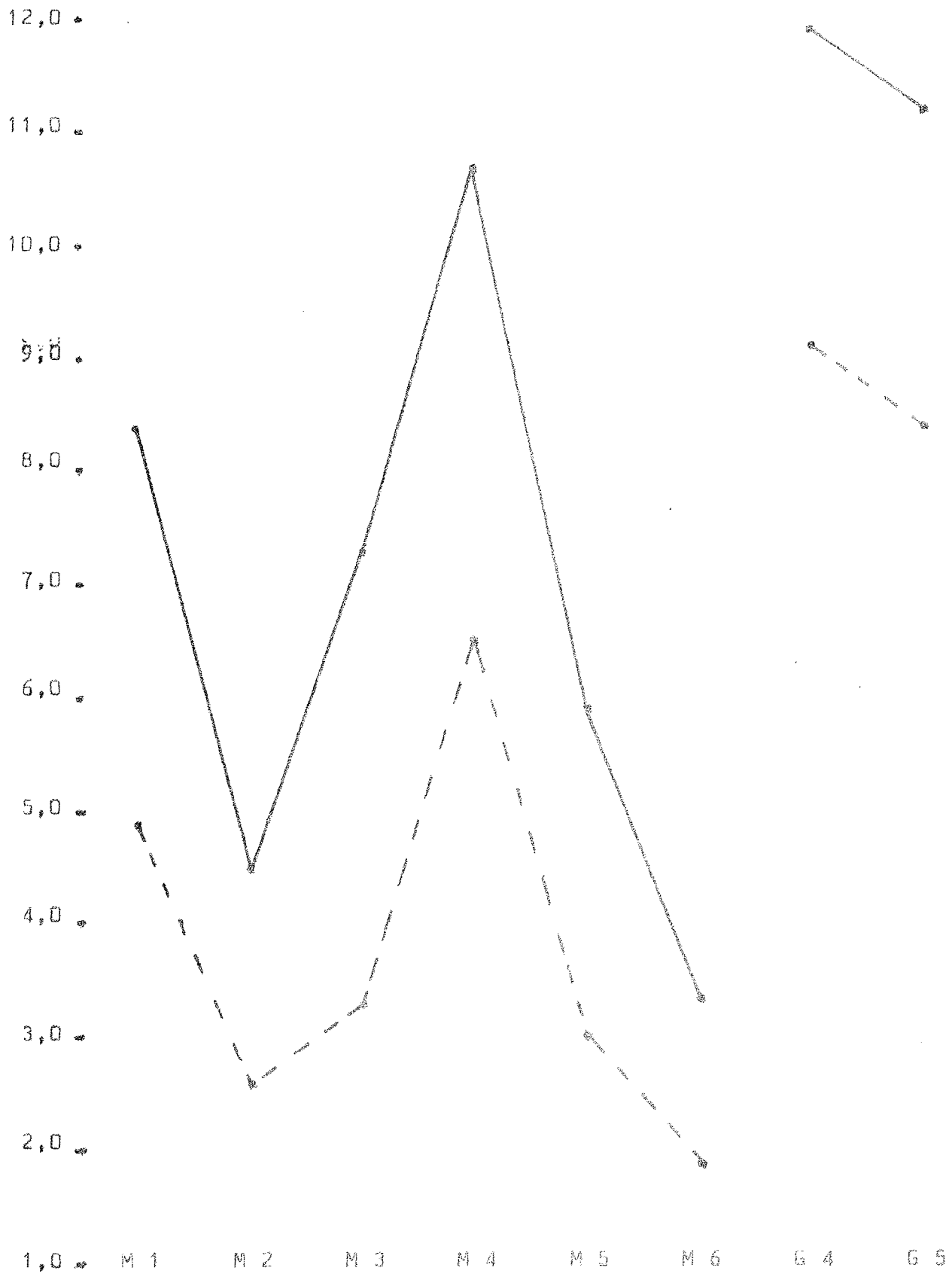
µg/l

— Pb total
- - - Pb soluble



µg/l

— Cu total
- - - Cu soluble



Baies de Marennes-Oléron

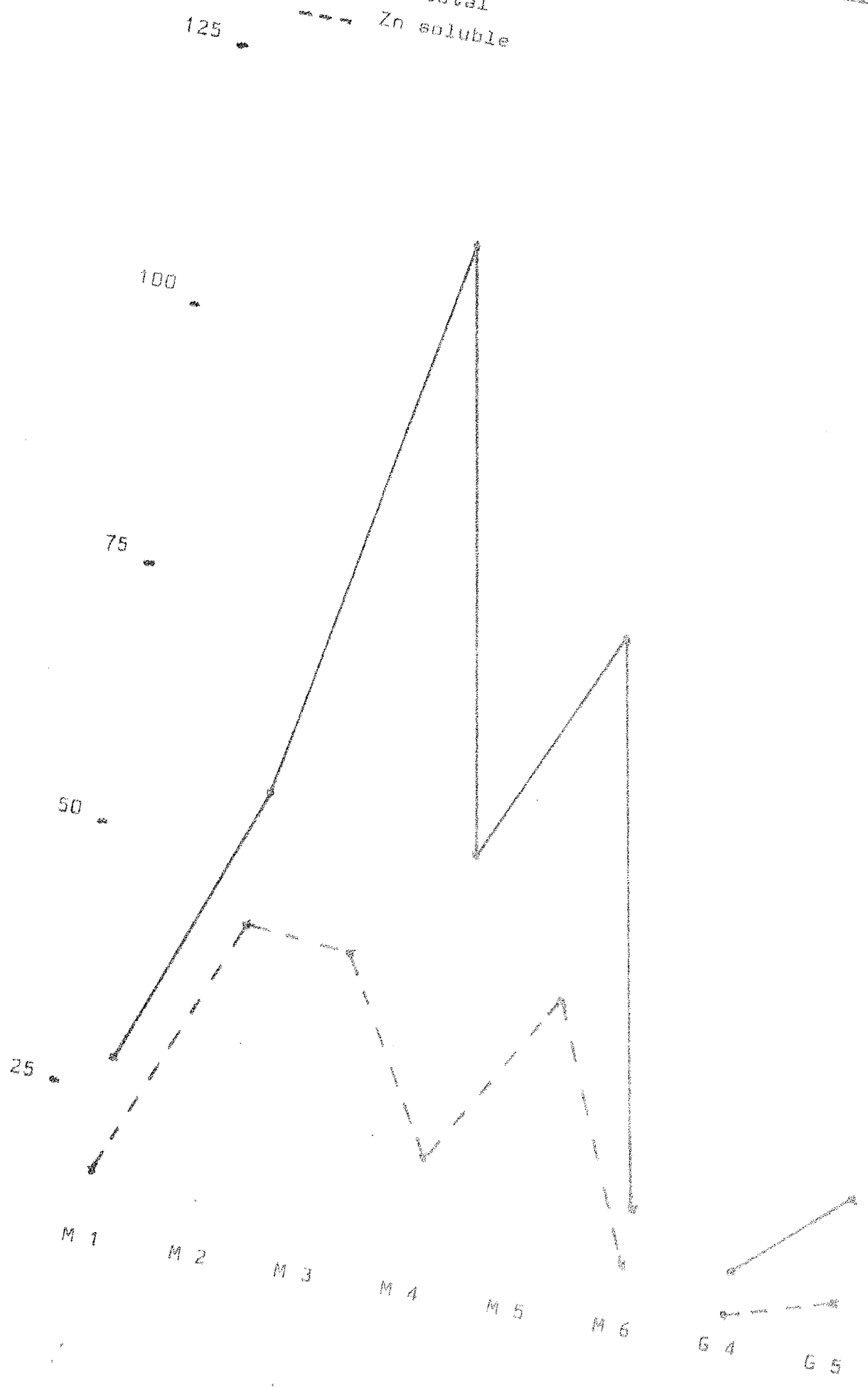
Teneurs moyennes 1979

ZINC

D.10

µg/l

— Zn total
- - - Zn soluble



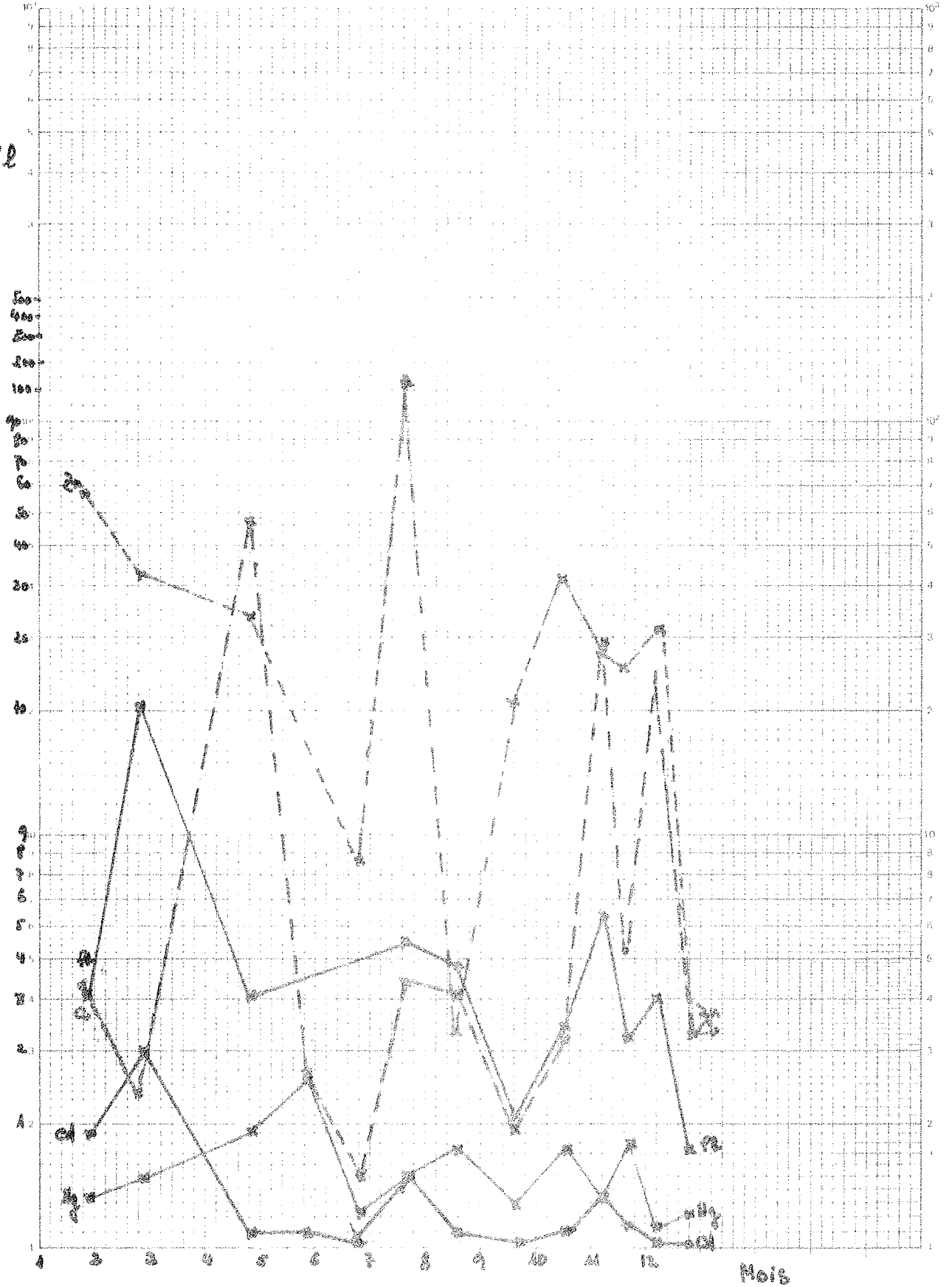
Baies de Marennes-Oléron - 1979

D 11

Teneurs totales en métaux lourds

STATION 1

µg/l

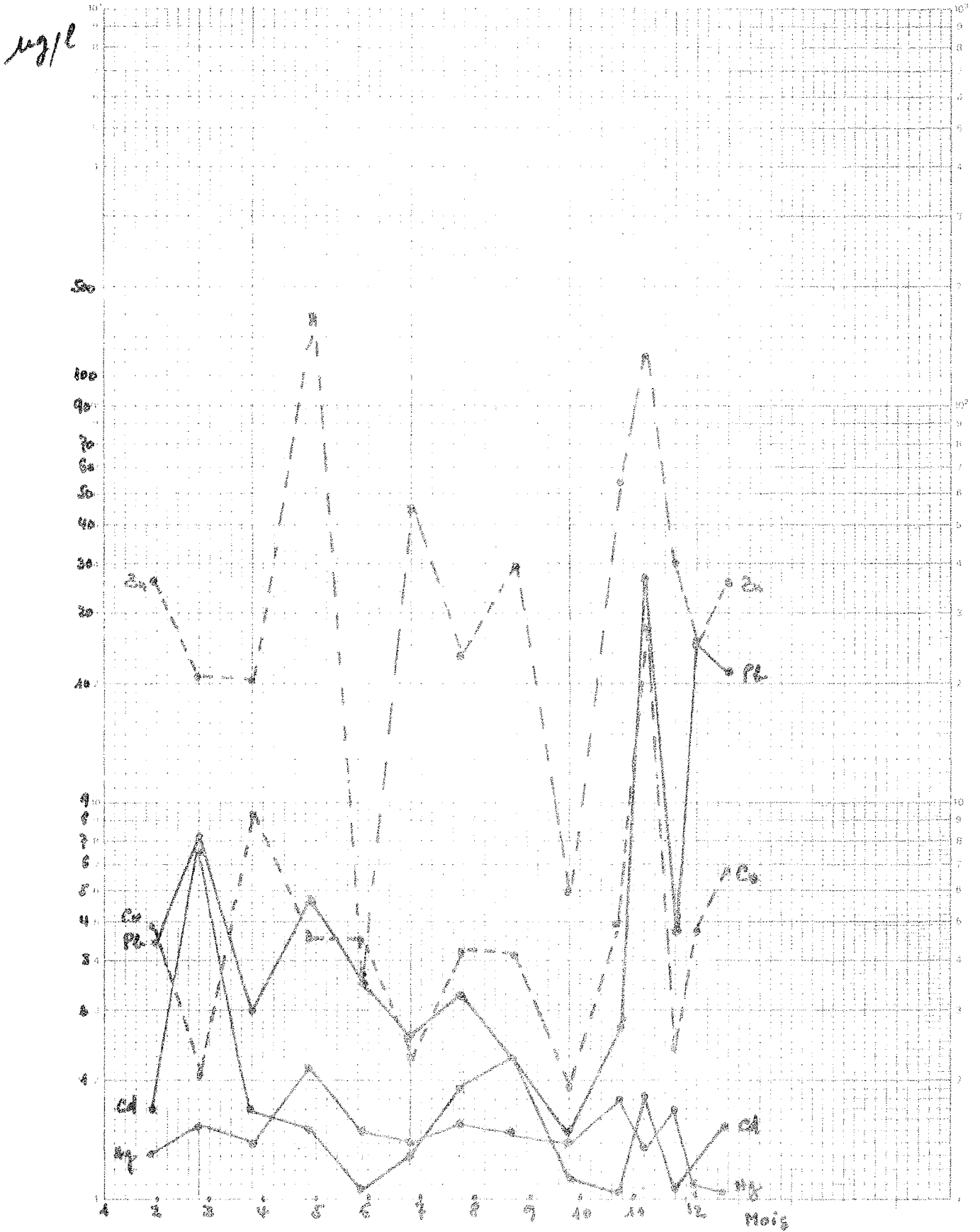


Baies de Marennes-Oléron - 1979

D 12

Teneurs totales en métaux lourds

STATION 2



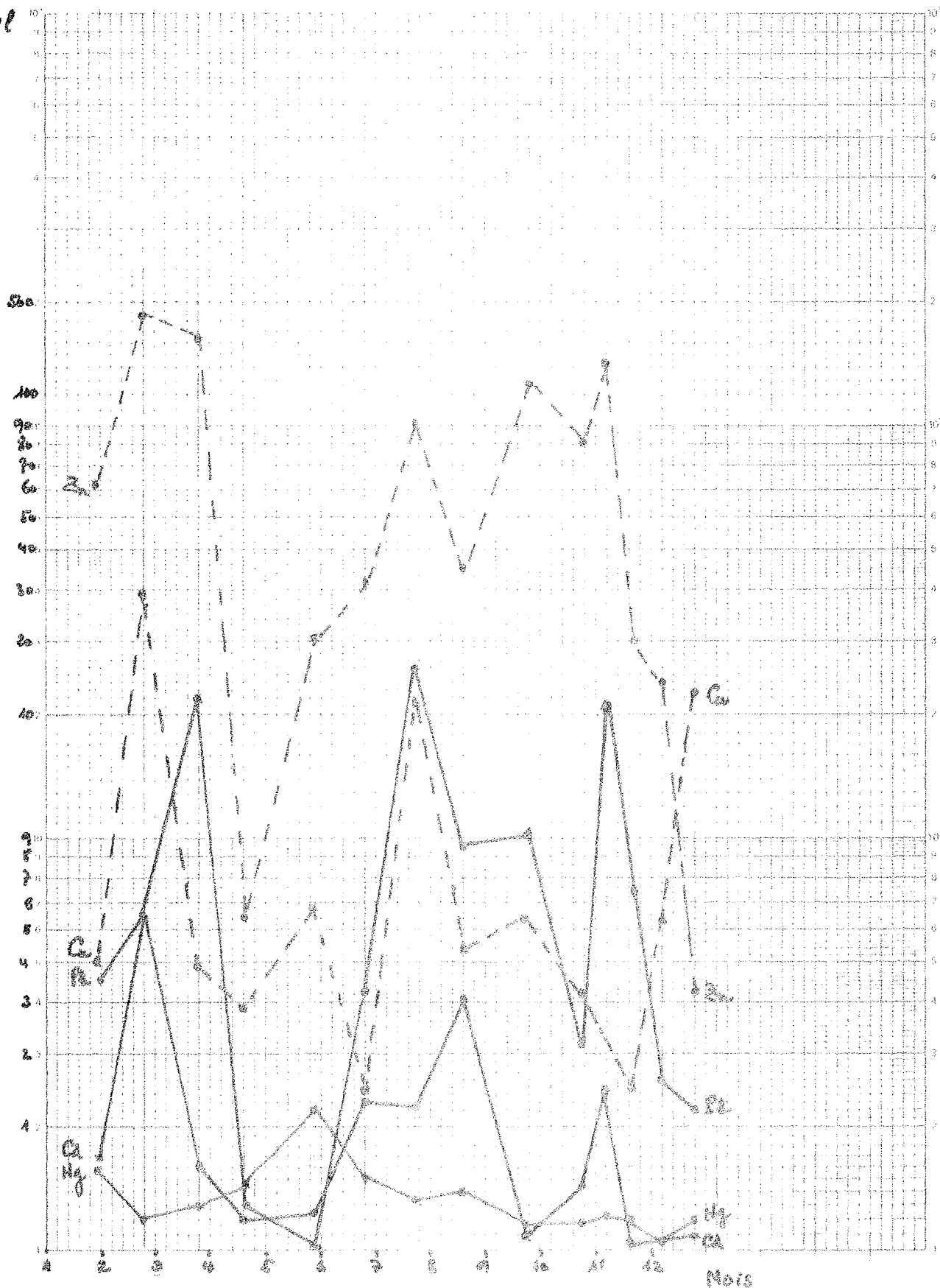
Baies de Marennes-Oléron - 1979

D 13

Teneurs totales en métaux lourds

STATION 3

mg/l

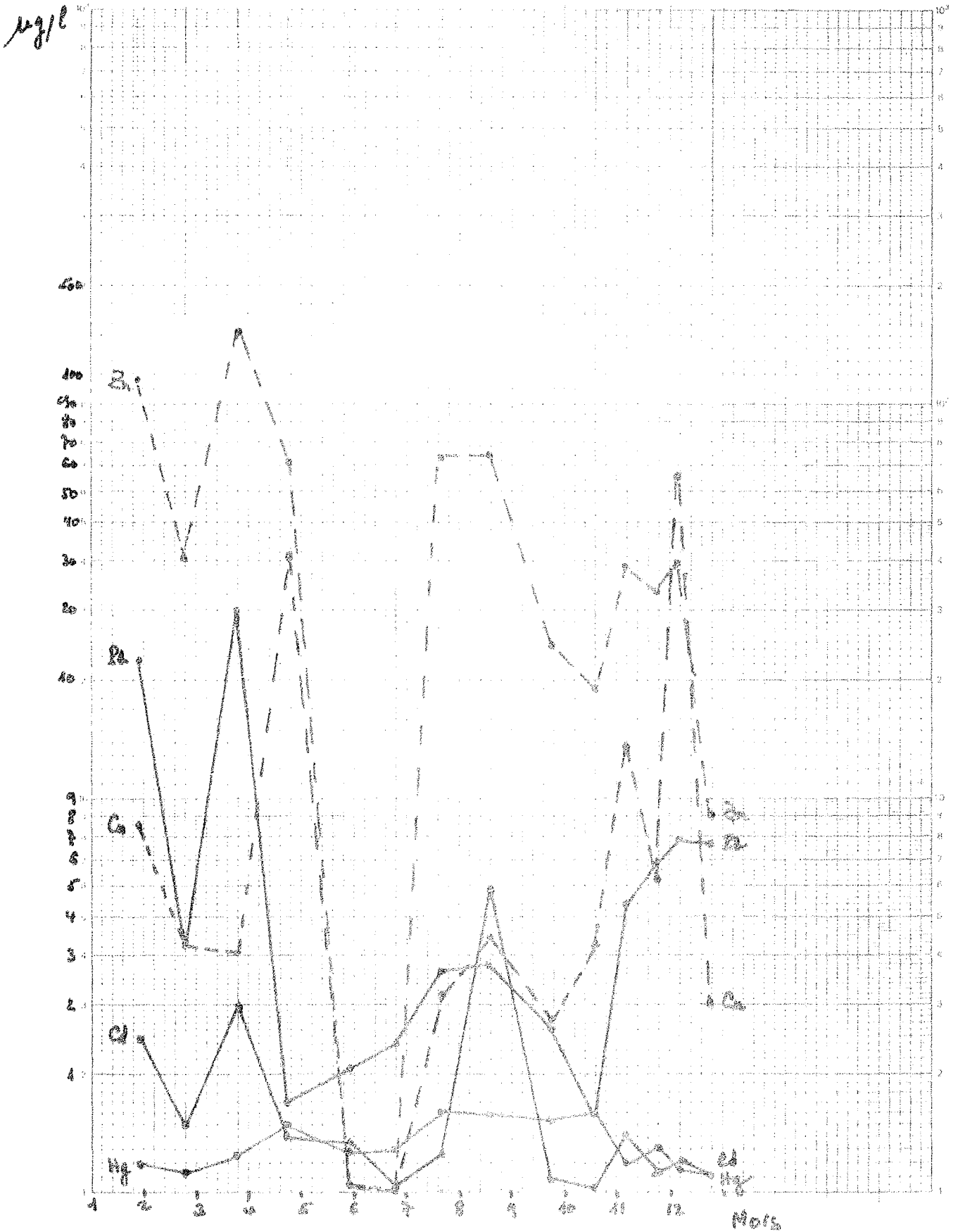


Baies de Marennes-Oléron - 1979

D 14

Teneurs totales en métaux lourds

STATION 4

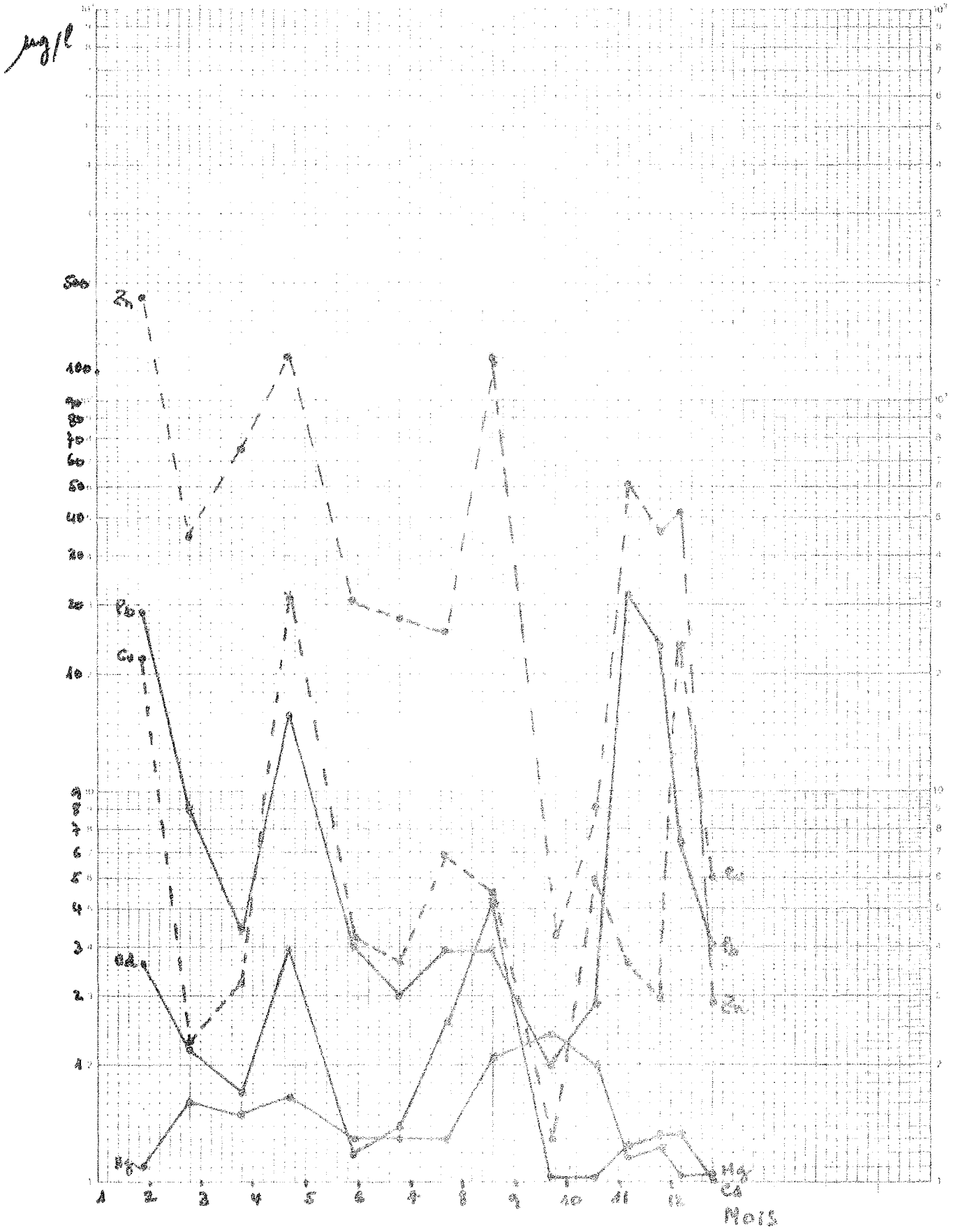


Baies de Marennes-Oléron - 1979

D 15

Teneurs totales en métaux lourds

STATION 5



Baies de Marennes-Oléron - 1979

D. 16

Teneurs totales en métaux lourds

STATION 6

mg/l

