

X - VARIATIONS DE LA CONCENTRATION EN METAUX LOURDS DANS L'EAU,  
LES MOLLUSQUES ET LE SEDIMENT D'UN BASSIN AMENAGE

par

N. VICENTE<sup>+o</sup>, D. CHABERT<sup>+</sup>

+ Laboratoire de Biologie Marine - Faculté des Sciences  
et Techniques de Saint-Jérôme - 13013 Marseille et  
o Fondation scientifique Ricard - Observatoire de la mer  
Ile des Embiez - 83140 Le Brusac

RESUME

L'étude des variations de la concentration en métaux lourds dans un bassin alimenté à partir des eaux d'une lagune voisine, est entreprise depuis le mois d'août 1977.

Les analyses ont porté sur une station lagunaire et dans le bassin mis en place pour le programme ECOTRON qui jouxte cette lagune. Elles concernent l'eau, les mollusques et le sédiment. Dans la station lagunaire, les mollusques tests sont des Gastéropodes Prosobranches : Trochocochlea carinata et dans le bassin des coques : Cerastoderma glaucum. Les résultats montrent que la concentration de ces métaux lourds varie au cours du temps en fonction des paramètres physiques et chimiques du milieu, et l'on note en particulier une corrélation significative entre la concentration globale de ces éléments dans le sédiment et la température. Les concentrations les plus importantes se rencontrent dans le sédiment, notamment en ce qui concerne le plomb (ex : 41,35 ppm au mois d'août, 8,40 ppm en février) et ces concentrations sont plus faibles chez les Bivalves filtreurs que dans les Prosobranches brouteurs :

ex : pour le Cadmium (valeurs exprimées en poids humide)  
0,30 ppm dans les coques au mois de septembre,  
1,20 ppm dans les troques " "

La mise en suspension du sédiment peut provoquer une augmentation de ces concentrations chez les Bivalves. Toutefois les concentrations des trois éléments et leur concentration globale sont faibles aussi bien dans l'eau que dans les mollusques, ou dans le sédiment, par rapport aux stations lagunaires continentales ou par comparaison avec des zones très contaminées.

ABSTRACT

The study of variations in the concentration of heavy metals inside a tank filled with the water of a neighbouring lagoon has been carried out since August 1977.

MOTS-CLES : Pollution, Métaux lourds, Lagune, Méditerranée.

KEY WORDS : Pollution, Heavy metals, Lagoon, Mediterranean sea.

The analysis concerned a lagoon station and the bath built for ECOTRON program, closed to this lagoon. They deal with water, molluscs and the sediment. Inside the lagoon station, the tested molluscs are Prosobranch Gastropods : Trochocochlea carinata and inside the basin, cockles : Cerastoderma glaucum. The results point out that the concentration of these heavy metals vary with the tissue in relation with physical and chemical medium parameters, and it can be particularly observed a significative correlation between both the whole concentration of these elements inside the sediment and the temperature. The most significant concentrations are met inside the sediment, particularly about the lead (for example : 41,3 ppm/wet weight in August, 8,40 ppm/wet weight in February) and these concentrations are lower for the filter feeding Bivalves than the grazing Prosobranches :

for example : as for the cadmium

0,30 ppm/wet weight in the cockles in September,  
1,20 ppm/wet weight in the troques "

As for the Bivalves, the putting in suspension of the sediment may bring the rise of these concentrations. However, the concentrations of the three elements and their global concentrations are weak as well in the water, the molluscs and the sediments, in comparison with the continental lagoon stations or with very contaminated zones.

L'étude des variations de la concentration en métaux lourds dans un bassin aménagé dans des marais salants désaffectés, et alimenté à partir d'une lagune voisine, est entreprise depuis le mois d'août 1977.

Les éléments choisis sont le cuivre d'une part qui entre normalement dans le métabolisme des organismes marins, mais qui étant utilisé en agriculture dans la région sous forme de sulfate de cuivre, peut être toxique à fortes concentrations. On estime, en effet, que des concentrations de l'ordre de  $10^{-2}$  ppm dans l'eau peuvent affecter la photosynthèse et la croissance des algues et par ailleurs les mollusques bivalves sont très sensibles à cet élément.

D'autre part, nous avons choisi deux éléments particulièrement toxiques pour les organismes marins : le plomb et le cadmium.

Des expériences in vitro ont montré que le plomb utilisé sous forme inorganique ( $(\text{NO}_3)_2\text{Pb}$ ) agit sur le développement des mollusques (Aplysies, coques) en le bloquant à un stade précoce (VICENTE et al. 1978). Les bivalves notamment peuvent capter le plomb et l'accumuler (PRINGLE et al., 1968). Il provoque également une inhibition des enzymes et l'altération du métabolisme des cellules.

Le cadmium, lui, provoque des troubles du métabolisme du calcium, les facteurs de concentration sont en moyenne de  $10^2$  à  $10^3$  dans les organismes marins (Rapport IDOE, 1972) et peuvent atteindre des valeurs de 4 500 (LOCKE, 1957).

Chez certains gastéropodes d'eau douce (Biomphalaria glabrata) il a été démontré que la fécondation est diminuée d'un quart et que les embryons ne peuvent se développer pour une concentration de 0,5 ppm (COURQUEUX, 1974).

Les analyses de ces éléments ont été effectuées sur des échantillons prélevés dans une station lagunaire et dans le bassin mis en place pour le programme ECOTRON qui jouxte cette lagune.

## I. METHODES ET TECHNIQUES

### 1. Choix des stations, mesures et prélèvements

Une fois par mois, depuis le mois d'août 1977, des prélèvements d'eau, de matières en suspension, de phanérogames, de mollusques et de sédiment sont effectués, en même temps que des mesures des paramètres physiques et chimiques (température de l'air, température de l'eau, oxygène, salinité, pH). Ces mesures sont faites en cinq stations situées dans la lagune du Brusac et dans le bassin expérimental ECOTRON - B3. Deux de ces stations sont voisines du littoral continental, deux autres près de l'île des Embiez et la cinquième dans le bassin expérimental.

Le présent travail ne concerne que la station lagunaire voisine du bassin et ce dernier qui constitue lui-même la seconde station.

Dans la station lagunaire, le sable est grossier et compact, occupé par des blocs rocheux et une pelouse à Cymodocea nodosa. La couche d'eau est peu importante, elle ne dépasse pas à la station 15 cm d'épaisseur. Les mollusques choisis sont abondants, il s'agit d'une espèce de troque : Trochocochlea turbinata (Born.). Ils rampent sur les cailloux et broutent les algues épilithes.

La station "Bassin" est occupée par un sable meuble vaseux et très épais. Des coques (Cerastoderma glaucum) y ont élu domicile. Le sédiment est surmonté par une couche d'eau de 1 m en moyenne.

Les prélèvements de sédiments dans les deux stations concernent les cinq premiers centimètres d'épaisseur.

### 2. Traitement des prélèvements

Les échantillons transportés au laboratoire dans des flacons de verre sont conservés au réfrigérateur à 4° C (eaux) ou au congélateur à - 18° C (mollusques, sédiment, phanérogames). Les échantillons traités d'eau, de mollusques et de sédiments sont ensuite analysés à l'aide d'un spectrophotomètre d'absorption atomique IL 251.

### 3. Analyse des métaux lourds

Les analyses portent sur trois éléments : le cuivre, le cadmium et le plomb. Le cuivre fait partie de ces métaux pouvant être régulés par les organismes puisqu'il entre dans leur composition et participe à leur métabolisme. Par contre, le plomb et le cadmium étrangers à l'organisme présentent un danger plus grand, et comptent parmi les polluants chimiques les plus redoutables, susceptibles d'être métabolisés et concentrés au niveau des chaînes alimentaires. Ils peuvent provoquer des lésions graves.

#### 3.1. Analyse de l'eau

La méthode utilisée nécessite 300 ml d'échantillon d'eau de mer ayant une concentration en Cu et en Cd de 0,5 à 50 µg/l environ, et en Pb de 1 à 200 µg/l environ (CETAMA, 1975). Le principe consiste en la formation de complexes des éléments avec le sel d'ammonium de l'acide pyrrolidinodithiocarboxylique -1, et extraction de ces chélates par la méthylisobutylcétone. Le dosage s'effectuant sur la phase organique.

#### 3.2. Analyse de la matière vivante

Les échantillons de troques et de coques (30 individus pour chaque lot) sont homogénéisés dans un mortier, puis minéralisés à l'aide d'un mélange d'acide perchlorique et d'acide nitrique (10 : 2). L'attaque est poursuivie durant 12 heures dans un bain-marie à 70° C (JOHANSSON, 1975). Les échantillons sont ensuite ajustés à 50 ml avec de l'eau distillée avant d'être analysés. Les valeurs sont exprimées en ppm/poids humide.

#### 3.3. Analyse du sédiment

L'analyse porte sur 1 gramme de sédiment poids sec. Les échantillons subissent une minéralisation totale par enlèvement de la silice, en utilisant de l'acide fluorhydrique concentré. Après l'attaque réalisée en bécher téflon sur bain de sable, la silice est volatilisée sous forme de tétrafluorure. Après complète destruction de la matière organique par un mélange d'acide perchlorique et nitrique, le résidu est repris par l'acide chlorhydrique N avant d'être analysé. Les valeurs sont exprimées en ppm/poids humide.

## II. RESULTATS

Les valeurs des paramètres physiques et chimiques et les concentrations en métaux lourds dans l'eau, les mollusques et le sédiment, sont reportées sur les tableaux 1 et 2. L'étude a porté sur 8 mois, d'août 1977 à mars 1978.

### 1. Concentrations en plomb

#### 1.1. Concentrations en plomb dans l'eau de mer

Elles ne sont pas détectables dans les deux stations sauf au mois d'octobre où cette concentration passe subitement

à 0,2 ppm ce qui est considérable dans la station "bassin" et à 0,02 ppm dans la station "lagune" qui est située au voisinage de la surverse du bassin. Ces fortes concentrations par rapport aux teneurs normales des eaux océaniques (0,03 ppb) peuvent s'expliquer par le bullage mis en route dans le bassin début octobre et qui a eu pour effet la mise en suspension du sédiment.

### 1.2. Concentrations dans les mollusques

Les Bivalves filtreurs du bassin qui jusqu'au mois d'octobre ne présentent pas de concentrations décelables, lors du prélèvement suivant en novembre, montrent brutalement une concentration de 2,30 ppm. Il en est de même après chaque remise en suspension du sédiment, en février 1978 par exemple où la concentration est très voisine : 2,20 ppm. La moyenne étant de 0,56 ppm/poids humide ( $\approx$  2,80 poids sec).

Les troques de la station lagune qui broutent les algues épilithes concentrent beaucoup plus le plomb puisque les valeurs trouvées varient de 1,10 à 2,30 ppm, avec des valeurs moyennes de 0,85 ppm/poids humide ( $\approx$  4,25 poids sec).

### 1.3. Le sédiment

Le sédiment meuble du bassin contient beaucoup plus de plomb que le sable grossier de la lagune.

- Concentrations moyennes dans la lagune : 8,92 ppm/poids humide ( $\approx$  13,70 poids sec) avec des pointes à 14,3 ppm ( $\approx$  22 ppm poids sec) au mois d'août et des valeurs minimales de 3,20 ppm ( $\approx$  4,9 poids sec) en janvier.
- Concentrations moyennes dans le bassin : 17,50 ppm ( $\approx$  39,7 poids sec) avec des pointes à 41,35 ppm ( $\approx$  94 ppm poids sec) au mois d'août et des valeurs minimales de 8,40 ppm ( $\approx$  19,05 poids sec) en février.

Ces valeurs sont au-dessous des seuils de contamination et de pollution des sédiments marins et de leurs eaux interstitielles en Méditerranée qui sont fixés respectivement à 60 ppm et à 100 ppm exprimés en poids sec (R. LAURENT et F. FERNEX, 1977).

## 2. Concentrations en cadmium

### 2.1. Dans l'eau

Les concentrations en cadmium de la station "lagune" et de la station "bassin" ne sont pas détectables sauf en novembre et janvier pour la station lagune où la concentration varie de 0,4 ppb à 1,3 ppb, valeurs supérieures à la normale des eaux océaniques (0,1 ppb). Dans le bassin, les concentrations n'augmentent jamais et ne sont pas détectables.

### 2.2. Dans les mollusques

Les concentrations dans les troques de la lagune varient entre 0,35 ppm et 2,50 ppm, les valeurs étant toujours plus basses en hiver (Max. en août : 2,50 ppm, Min. en octobre : 0,35) pour une moyenne de 1,07 ppm/poids humide ( $\approx$  5,35 ppm/poids sec).

Chez les coques, ces valeurs varient de 0,30 ppm en septembre à 1,25 ppm en août, avec une moyenne de 0,41 ppm/poids humide ( $\approx$  2,05 poids sec), ce qui est nettement inférieur.

### 2.3. Dans le sédiment

Les concentrations en cadmium varient de 0,70 ppm à 1,90 ppm avec une valeur moyenne de 1,51 ppm ( $\approx$  2,30 poids sec) dans le bassin alors que dans la lagune, les valeurs rencontrées varient de 1,05 ppm à 2,50 ppm, avec une valeur moyenne de : 1,92 ppm ( $\approx$  4,35 ppm/poids sec), ce qui est supérieur par rapport au bassin.

Cependant, dans les deux stations, ces valeurs sont nettement au-dessous du seuil de contamination (3 mg/kg poids sec) et du seuil de pollution des sédiments marins (40 mg/kg poids sec).

## 3. Concentrations en cuivre

Les concentrations en cuivre sont les plus importantes puisque cet élément se rencontre en plus grande quantité dans les eaux (teneur normale : 3 ppb) et entre normalement dans le métabolisme des animaux marins.

### 3.1. Teneurs dans l'eau

Ces teneurs peuvent être supérieures aux normales notamment dans le bassin à cause du voisinage d'un vignoble. Elles peuvent atteindre 6,6 ppb dans le bassin et dans la lagune. Les valeurs extrêmes dans le bassin sont : 2,4 ppb en septembre et 6,6 ppb en décembre, avec une moyenne de 4,7 ppb. Dans la lagune ces teneurs varient de 3 ppb en décembre à 6,6 ppb en octobre, avec une moyenne de 3,8 ppb. Toutefois, ces valeurs ne sont pas très importantes pour les eaux côtières, si on les compare avec la moyenne dans les eaux du littoral du Brusc : 9,5 ppb ou encore avec une zone polluée comme le port de Marseille où la concentration moyenne en Cu est de 16 ppb.

### 3.2. Teneurs dans les mollusques

Dans les troques de la lagune, ces valeurs varient de 1,6 ppm en août jusqu'à 15,65 ppm au mois d'octobre, avec une moyenne de 11 ppm/poids humide ( $\approx$  55 ppm/poids sec). Dans les coques du bassin, le minimum atteint est de 1,40 ppm en février et le maximum : 2,55 ppm en décembre, la moyenne étant de : 1,95 ppm/poids humide ( $\approx$  9,75 ppm/poids sec).

Les Bivalves concentrent donc moins le cuivre que les Prosobranches. Ceci est confirmé par l'analyse de palourdes qui vivent dans la station "lagune" et qui renferment en moyenne 2,2 ppm de cuivre. Il en est de même pour le plomb : 2,5 ppm et le cadmium : 0,5 ppm, ce qui est comparable aux valeurs trouvées chez les coques du bassin.

### 3.3. Teneurs dans le sédiment

Les concentrations en cuivre sont supérieures dans le sédiment meuble et épais du bassin que dans le sédiment grossier très oxygéné de la lagune.

Les valeurs varient de 4,50 ppm à 9,35 ppm dans la lagune et de 8,8 ppm à 13,30 ppm dans le bassin. Les moyennes sont de 7,66 ppm ( $\approx$  11,80 ppm/poids sec) pour la lagune et de 10,51 ppm ( $\approx$  23,9 ppm/poids sec) pour le bassin ; mais là encore, ces valeurs sont très éloignées du seuil de contamination (30 ppm/poids sec) et du seuil de pollution (100 ppm/poids sec).

Les concentrations globales en plomb, cadmium et cuivre dans l'eau, les mollusques et le sédiment sont reportées sur les graphiques 1, 2 et 3 et donnent une bonne idée de l'évolution dans le temps de ces éléments dans les divers milieux. Si l'on considère uniquement les concentrations en plomb dans les troques et les coques (Fig. 4), on constate que les coques présentent une concentration quasi nulle ( $\approx$  0,5 ppm) sauf deux pics, l'un en novembre (2,3 ppm) l'autre en février (2,20 ppm), alors que dans les troques, la concentration varie de 1,10 ppm à 2,30 ppm. Ces concentrations sont toujours plus importantes dans les stations littorales (6,45 ppm en moyenne).

### III. CORRELATIONS ENTRE LES DIVERS PARAMETRES

Des matrices de corrélations entre les divers paramètres ont été établies pour les deux stations (tableaux n° 3 et 4).

#### 1. Eau de mer

##### 1.1. Station "lagune"

Les corrélations significatives entre les paramètres physico-chimiques eux-mêmes sont peu évidentes dans la station lagunaire :

. Une corrélation significative à 0,05 entre la température et la salinité ( $r = 0,71$ ).

. Corrélation très significative à 0,01 entre la température et l'oxygène ( $r = 0,89$ ).

. Corrélation également entre la concentration en métaux et les paramètres physico-chimiques et entre les métaux lourds eux-mêmes.

. Corrélation très significative (à 0,01) entre la concentration en cuivre et la température,  $r = 0,80$ , qui évoluent dans le même sens, lorsque la température augmente, la concentration augmente.

. Corrélation significative à 0,05 entre la concentration en cuivre et la salinité qui évoluent dans le même sens,  $r = 0,77$ .

. Corrélation entre le pH et la concentration en cadmium à 0,05,  $r = 0,70$ . Ces deux paramètres évoluent aussi dans le même sens.

. Corrélation très hautement significative (à 0,01) entre la concentration en plomb et la concentration globale,  $r = 0,96$ .

## 1.2. Station "bassin"

La seule corrélation légèrement significative entre les paramètres physico-chimiques se manifeste entre l'oxygène et la température  $r = 0,67$ , qui varient dans le même sens, mais cela est certainement dû au bullage du bassin.

Corrélation très hautement significative (à 0,01) entre la concentration en plomb et la concentration globale en métaux lourds,  $r = 0,99$ .

## 2. Mollusques

### 2.1. Troques de la station "lagune"

Corrélation très significative à 0,01 entre la concentration en plomb et la concentration en cadmium,  $r = 0,84$ , et, entre la concentration globale et la salinité, corrélation significative à 0,05,  $r = 0,72$ .

### 2.2. Coques de la station "bassin"

. Corrélation significative à 0,05 entre la concentration globale et la concentration en cadmium,  $r = 0,74$ .

. Corrélation très significative à 0,01 entre la concentration globale et la concentration en plomb,  $r = 0,83$ .

La corrélation chez les troques entre la pollution par le plomb et la pollution par le cadmium montre qu'au cours du temps, ces deux pollutions évoluent à peu près de la même manière avec des valeurs proches, alors que les concentrations supérieures de cuivre ne constituent pas une pollution.

Chez les coques, on note donc une corrélation entre la concentration globale et la concentration en cadmium d'une part, et surtout avec la concentration en plomb d'autre part, plus importante, le cadmium étant beaucoup plus abondant dans les coques que le plomb, bien qu'en quantité moindre par rapport aux troques, alors que les concentrations en plomb sont très voisines dans les deux espèces de mollusques.

## 3. Sédiment

Les concentrations en métaux lourds, les plus importants, se rencontrent dans les sédiments et notamment dans le sédiment sablo-vaseux épais du bassin.

### 3.1. Sédiment de la lagune

. Corrélation significative entre la concentration en plomb et la température,  $r = 0,77$ . Lorsque la température augmente, la concentration augmente.

. Corrélation significative entre la concentration en plomb et la salinité,  $r = 0,64$ . Lorsque la salinité diminue, la concentration augmente.



. Corrélation significative entre la concentration en plomb et l'oxygène,  $r = 0,64$ . Quand le taux d'oxygène diminue, la concentration en plomb augmente.

. Corrélation entre la concentration en cuivre et l'oxygène,  $r = 0,70$ . Varient en sens inverse.

. Corrélation entre la concentration en cuivre et le pH qui varient en sens inverse,  $r = 0,69$ .

. Corrélation entre la concentration en cadmium et la concentration en plomb,  $r = 0,72$ . Varient en sens inverse.

. Corrélation entre la concentration globale et la température,  $r = 0,85$ . Variation dans le même sens.

. Corrélation entre la concentration globale et la salinité qui varient en sens inverse,  $r = 0,69$ .

. Corrélation entre la concentration globale et l'oxygénation qui varient en sens inverse,  $r = 0,71$ .

. Corrélation entre la concentration globale et la concentration en plomb qui varient dans le même sens, le plomb étant l'élément dominant,  $r = 0,88$ .

### 3.2. Sédiment du bassin

Les corrélations significatives sont moins nombreuses.

. Entre la concentration en cadmium et la température qui varient dans le même sens,  $r = 0,64$ .

. Entre la concentration en plomb et la concentration en cadmium qui varient en sens inverse,  $r = 0,77$ .

. Entre la concentration en cadmium et la concentration en cuivre qui varient dans le même sens,  $r = 0,76$ .

. Entre la concentration globale et le pH qui varient en sens inverse,  $r = 0,74$ .

. Entre la concentration globale et la concentration en plomb, corrélation très significative,  $r = 0,98$ . Variation dans le même sens.

. Entre la concentration globale et la concentration en cadmium qui varient dans le même sens,  $r = 0,84$ .

. Entre la concentration globale et la concentration en cuivre qui varient dans le même sens,  $r = 0,73$ .

Ces trois éléments s'accumulent en quantité importante dans le sédiment épais, notamment le plomb et le cadmium. Mais en quantité plus faible toutefois que dans les stations littorales.

## IV. DISCUSSION

L'analyse des métaux lourds dans deux stations voisines, l'une en milieu ouvert, l'autre en milieu semi-fermé contrôlé, apporte des enseignements quant à l'évolution de leur concentration en fonction du temps et des principaux paramètres du milieu.

Il apparaît de prime abord que les concentrations en plomb, cadmium et cuivre sont nettement inférieures à celles rencontrées en d'autres points du littoral voisin et du littoral méditerranéen lui-même, et ce aussi bien dans l'eau que dans les mollusques ou le sédiment.

Ainsi, dans des stations littorales voisines, les concentrations en plomb peuvent atteindre 150 ppb dans l'eau, 26,5 ppm/poids humide dans les troques et 36,5 ppm/poids humide dans le sédiment.

Pour le cadmium, ces valeurs sont respectivement : 3,5 ppb, 3,70 ppm et 3 ppm.

Pour le cuivre : 4,25 ppb, 17 ppm et 16 ppm.

Ces valeurs sont tout à faire raisonnables car cette zone n'est pas très affectée par la pollution industrielle. Par contre, si l'on se rapproche de la région toulonnaise voisine, ces éléments se rencontrent à des concentrations nettement supérieures, notamment pour le cuivre et le plomb :

. pour le cuivre, dans l'eau : 31 ppb en moyenne (AUBERT et al., 1975) et dans le sédiment : 155 ppm.

. pour le plomb, dans l'eau : 8,4 ppb et dans le sédiment : 127 ppm.

. pour le cadmium, dans l'eau : 0,7 ppb et 2,3 ppm dans le sédiment.

Cette dernière valeur est comparable à celles de la lagune et cela est très certainement dû à l'affluence des bateaux de plaisance dans la rade du Brusç, à la présence voisine d'un petit chantier naval, et aux cultures. Il est reconnu, en effet, que le cadmium peut provenir des peintures anti-salissures, des électro-dépôts (protection fer, cuivre, acier), des engrais, de certains fongicides et insecticides.

Le tableau n° 5 donne un aperçu des concentrations moyennes en métaux lourds dans cette région du littoral varois. Les valeurs sont exprimées en ppm/poids sec afin de pouvoir les comparer aux valeurs admises usuellement pour l'eau, les organismes et le sédiment.

Les concentrations en cuivre rencontrées chez les mollusques sont compatibles avec leur métabolisme, et les éléments toxiques plomb et cadmium n'atteignent pas les seuils de toxicité. Les concentrations tolérées au point de vue alimentaire sont de 5 ppm/poids sec de cadmium ( $\approx$  1 ppm/poids humide) pour les mollusques ; les coques du bassin atteignant une concentration moyenne de 0,4 ppm/poids humide. Pour le cuivre, les doses admises sont de 40 ppm/poids sec (16 ppm/poids humide) et les coques présentent des concentrations moyennes de 1,95 ppm/poids humide.

Les valeurs les plus couramment rencontrées selon le G.I.P.M. sont de 60 à 900 ppm/poids sec de cuivre et 2,8 à 6 ppm de plomb dans les huîtres (0,55 à 1,2 ppm/poids humide). Les concentrations en plomb dans les coques atteignent des valeurs moyennes de 0,85 ppm/poids humide.

La concentration globale dans l'eau est très faible et à peu de chose près, identique dans le bassin et dans la lagune, sauf au mois d'octobre. Venant à la fin de la saison chaude où le bassin n'était pas alimenté, le lancement de l'alimentation et surtout le bullage ont eu pour effet la mise en suspension de particules sédimentaires qui ont fait croître cette concentration globale.

C'est notamment la concentration du plomb qui augmente : 0,02 ppm pour le plomb alors qu'elle est non détectable pour le cadmium par la méthode utilisée, et de 0,0022 ppm pour le cuivre. Le mois suivant, la dilution fait retomber cette concentration à des valeurs plus normales.

Les plus fortes valeurs rencontrées dans les mollusques et le sédiment du bassin au mois de novembre peuvent s'expliquer par l'apport d'engrais agricoles dans le bac à phytoplancton (B1) dont le contenu est déversé dans le bassin ECOTRON (B3) qui se rejette lui-même par surverse dans la station "lagune".

En effet, l'analyse des engrais utilisés montre la présence de résidus métalliques (en ppm/poids sec) :

	Cuivre	Cadmium	Plomb
. Phosphates	11,8	6,4	3
. Nitrates	0,9	0,25	ND

Le mélange eau-engrais rajouté à l'eau du bassin B1 présente une concentration inférieure. Le mélange utilisé est le suivant : 3,84 kg d'engrais azoté + 1,1 kg d'engrais phosphaté pour 240 litres d'eau. Dans ces conditions, les concentrations en métaux lourds sont les suivantes :

Cuivre	Cadmium	Plomb
8 ppb	8,65 ppb	0 ppb

C'est le cadmium qui provoque donc la contamination la plus importante observée chez les coques au mois de novembre qui est due, en particulier, aux phosphates, alors que les nitrates présentent un degré de pureté convenable. Il convient donc de choisir les engrais très soigneusement pour l'enrichissement du bassin à phytoplancton.

La haute teneur en plomb trouvée chez les coques au mois de novembre (2,30 ppm) provient de la mise en suspension des particules sédimentaires, car le sédiment renferme de fortes concentrations en plomb.

Par ailleurs, lorsque le métabolisme des mollusques est très actif à la belle saison, ces concentrations sont élevées alors qu'elles décroissent à la saison froide, lorsque ce métabolisme est ralenti.

Il faut également tenir compte des synergies entre les divers éléments ; ces synergies varient en fonction des paramètres physico-chimiques du milieu. "Il faut noter le pouvoir synergique important du cadmium vis-à-vis des autres métaux toxiques et, principalement, du cuivre"(LEVESQUE, 1978). Cela se manifeste d'ailleurs par une corrélation significative entre la concentration en cadmium et la concentration en cuivre dans le sédiment épais du bassin. Il en est de même entre le plomb et le cadmium.

Ces premiers résultats montrent que par rapport aux stations du littoral du Brusc et a fortiori des zones portuaires en mer ouverte, la lagune du Brusc et les bassins d'expérimentation ne sont pas très affectés par la pollution due aux métaux lourds.

Mais il apparaît primordial de suivre de manière régulière l'évolution des concentrations en métaux lourds et autres micro-polluants comme les pesticides par exemple qui sont étudiés actuellement dans les chaînes alimentaires dans des bassins aménagés pour l'aquaculture. La réussite de telles opérations est conditionnée par la maîtrise de la pollution par ces éléments toxiques. La connaissance des phénomènes qui président à leur transfert d'un maillon à l'autre des chaînes alimentaires et leurs transformations dans le milieu comme dans les organismes permettra de juguler la contamination.

Les études de ce genre doivent donc être conduites au plan analytique mais aussi et surtout au plan expérimental par des équipes pluridisciplinaires regroupant des biologistes, des chimistes et des biochimistes, pour une meilleure compréhension des phénomènes.

#### BIBLIOGRAPHIE

- AUBERT M., AUBERT J., GAUTHIER M., PETIT L., FLATAU G., PUEL D., LAUMOND F., BARELLI, M. - 1975 - Enquête nationale sur l'état sanitaire des zones marines côtières. Mer Méditerranée, Rapp. RNO, 3, 138 p.
- CETAMA - 1975 - Dosage de dix éléments métalliques par spectrophotométrie d'absorption atomique. Projet de Norme G.18. AFNOR. Norme expérimentale D 90-112. Avril 1976.
- COURQUEUX C.- 1974 - Les nuisances dues au cadmium. IRCHA, Juillet 1974, 41 p.
- G.I.P.M. - 1973 - Pour une politique de lutte contre la pollution des mers. Rapport. 271 p.
- I.D.O.E. - 1972 - Base line studies of pollutants in the marine environment and research recommendations : International Decade of Ocean Exploration (I.O.D.E.). Baseline conference, May 24-26, 1972, New-York.

- JOHANSSON C.G. - 1975 - Digestion methods for the determination of the total content of heavy metals, in manual of methods in aquatic environment research, FAO, Fish. Tech. Pap., 137, p. 200.
- LAURENT R., FERNEX F. - 1977 - Contribution de la géologie sédimentaire à l'étude de la pollution du Golfe de la Napoule. Rev. Int. Océanogr. Méd. XLVII, p. 97, 100.
- LEVESQUE L. - 1978 - Les micropolluants minéraux dans les eaux superficielles continentales. Le zinc. Le cadmium. Rapport n° 4, A.F.E.E., 118 p.
- LOCKE H.S. - 1957 - Chemical toxicity, H. Kempton, London, 259 p.
- PRINGLE B.H. - 1968 - Trace metal accumulation by estuarine mollusks. J. Sanitary Eng. Division, 94, p. 455, 475.
- VICENTE N., CHABERT D., ESCOUBET P. - 1978 - Contamination de mollusques méditerranéens par un métal lourd : le plomb. Tethys (sous presse).

Para- mètre mois	t° air	t° eau	O <sub>2</sub> ppm	S %	pH	Pb			Cd			Cu			Concentration en métaux		
						eau ppm	Troques ppm/ humid.	Sédiment ppm/ humid.	eau -	Troques -	Sédiment -	eau -	Troques -	Sédiment -	eau -	Troques -	Sédiment. -
Août	19,5	19,5	8	39,5	8	ND	2,20	14,30	ND	2,10	2,50	ND	1,60	8,30	ND	5,90	25,10
Sept.	23,6	23,4	4,8	38,2	8	ND	1,25	13,40	ND	1,20	2,30	0,0050	14,05	9,20	0,0050	16,50	32,20
Oct.	21,2	20	7	39,8	8,1	0,02	ND	10,80	ND	0,35	1,50	0,0066	15,65	8,50	0,0066	16,00	20,80
Nov.	13	14	7,8	37,2	8,2	ND	2,30	11,45	0,0013	2,05	2,80	0,0040	9,55	4,50	0,0053	13,90	18,75
Déc.	11,5	11	9,4	37,8	7,9	ND	ND	9,05	ND	0,40	2,10	0,0030	11,45	9,35	0,0030	11,85	18,50
Janv.	6,5	9	11,4	34,5	8,1	ND	ND	3,20	0,0004	0,40	1,05	0,0035	9,30	8,85	0,0039	21,55	13,10
Fév.	13	13	8	35,8	8,1	ND	1,10	4,6	ND	0,70	1,05	0,0047	11,55	5,70	0,0047	13,35	11,35
Mars	12,5	14,3	8	39	8	-	ND	4,6	-	1,35	2,10	-	15,00	6,90	-	16,35	13,60

Tableau 4 - Station "lagune"

Para- mètre mois	t° air	t° eau	O <sub>2</sub> ppm	S %	pH	Pb			Cd			Cu			Concentration en métaux Σ		
						eau ppm	Coques ppm/ humid.	Sédiment ppm/ humid.	eau —	Coques —	Sédiment —	eau —	Coques —	Sédiment —	eau —	Coques —	Sédiment. —
Août	19,5	20,5	9,8	37	7,9	ND	ND	41,35	ND	1,25	1,90	0,0044	2,30	11,50	0,0044	3,55	54,75
Sept.	24,2	23,2	4,4	38,6	8,1	ND	ND	10,5	ND	0,30	1,70	0,0024	2,50	9,80	0,0024	2,80	22
Oct.	21,2	20	7	39,8	8,1	0,2	ND	18,85	ND	0,35	1,40	0,0044	1,70	11,25	0,2044	2,05	31,5
Nov.	12	12	7,8	37,2	8,2	ND	2,30	28,45	ND	1,05	1,90	0,0060	1,85	9,70	0,0060	6,35	40,05
Déc.	12,5	10	9,4	37	8,2	ND	ND	12,20	ND	ND	1,45	0,0066	2,55	13,30	0,0066	2,55	26,95
Janv.	6,5	8	10	32,8	8,1	ND	ND	12,20	ND	ND	0,70	0,0065	1,70	7,65	0,0065	1,70	20,55
Fév.	15	10	9	35,8	8,1	ND	2,20	8,40	ND	0,35	1,65	0,0027	1,40	8,80	0,0027	3,95	18,85
Mars	13,8	11,6	8,5	40,5	8,1	—	ND	8,40	ND	—	1,45	—	1,75	12,10	—	1,75	21,95

Tableau 2 - Station "Bassin" B 3

















TABLEAU 3

					Pb			Cd			Cu			ΣP			
P	T <sub>2</sub>	S%	O <sub>2</sub>	pH	Eau	Troq.	Sed.	Eau	Troq.	Sed.	Eau	Troq.	Sed.	Eau	Troq.	Sed.	
T <sub>2</sub>	1	0,71	0,83	0,10	0,36	0,35	0,77	0,31	0,34	0,33	0,80	0,28	0,22	0,17	0,50	0,85	
S%		1	0,03	0,25	0,52	0,10	0,64	0,30	0,33	0,55	0,77	0,38	0,20	0,34	0,72	0,63	
O <sub>2</sub>			1	0,17	0,22	0,36	0,64	0,17	0,33	0,42	0,53	0,06	0,70	0,10	0,34	0,71	
pH				1	0,20	0,35	0,10	0,70	0,17	0,14	0,47	0,10	0,63	0,35	0,05	0,28	
Pb	Eau				1	0,42	0,13	0,22	0,39	0,25	0,04	0,61	0,17	0,96	0,63	0,05	
	Troq.					1	0,61	0,30	0,84	0,60	0,37	0,22	0,43	0,48	0,14	0,41	
	Sed.						1	0,05	0,52	0,72	0,31	0,33	0,17	0,10	0,57	0,88	
Cd	Eau							1	0,47	0,40	0,22	0,10	0,63	0,10	0,00	0,00	
	Troq.								1	0,80	0,51	0,10	0,47	0,44	0,10	0,34	
	Sed.									1	0,63	0,01	0,17	0,38	0,13	0,57	
Cu	Eau										1	0,37	0,45	0,17	0,46	0,90	
	Troq.											1	0,16	0,52	0,10	0,13	
	Sed.													1	0,03	0,10	0,57
ΣP	Eau														1	0,56	0,16
	Troq.															1	0,23
	Sed.																1

Matrice de corrélations : Station Lagune



TABLEAU 4

					Pb			Cd			Cu			ΣP		
P	T <sup>s</sup>	S%	O <sub>2</sub>	pH	Eau	Coques	Sed.	Eau	Coques	Sed.	Eau	Coques	Sed.	Eau	Coques	Sed.
T <sup>s</sup>	1	0,52	0,67	0,43	0,37	0,40	0,42	0,00	0,41	0,64	0,30	0,45	0,43	0,32	0,14	0,40
S%		1	0,55	0,012	0,58	0,20	0,10	0,00	0,016	0,21	0,44	0,16	0,10	0,56	0,10	0,012
O <sub>2</sub>			1	0,006	0,27	0,05	0,17	0,00	0,03	0,37	0,35	0,26	0,11	0,26	0,05	0,10
pH				1	0,00	0,35	0,56	0,00	0,46	0,13	0,03	0,10	0,00	0,018	0,17	0,74
Pb	Eau				1	0,22	0,02	0,00	0,10	0,01	0,10	0,30	0,24	0,33	0,35	0,20
	Coques					1	0,006	0,00	0,38	0,02	0,43	0,49	0,42	0,25	0,33	0,02
	Sed.						1	0,00	0,88	0,77	0,43	0,31	0,59	0,02	0,46	0,38
Cd	Eau							1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Coques								1	0,72	0,28	0,10	0,27	0,10	0,74	0,75
	Sed.									1	0,03	0,64	0,76	0,002	0,53	0,84
Cu	Eau										1	0,42	0,02	0,10	0,18	0,35
	Coques											1	0,75	0,31	0,14	0,44
	Sed.												1	0,23	0,40	0,73
ΣP	Eau													1	0,34	0,06
	Coques														1	0,40
	Sed.															1

Matrice de corrélations : Station Bassin

TABLEAU 5

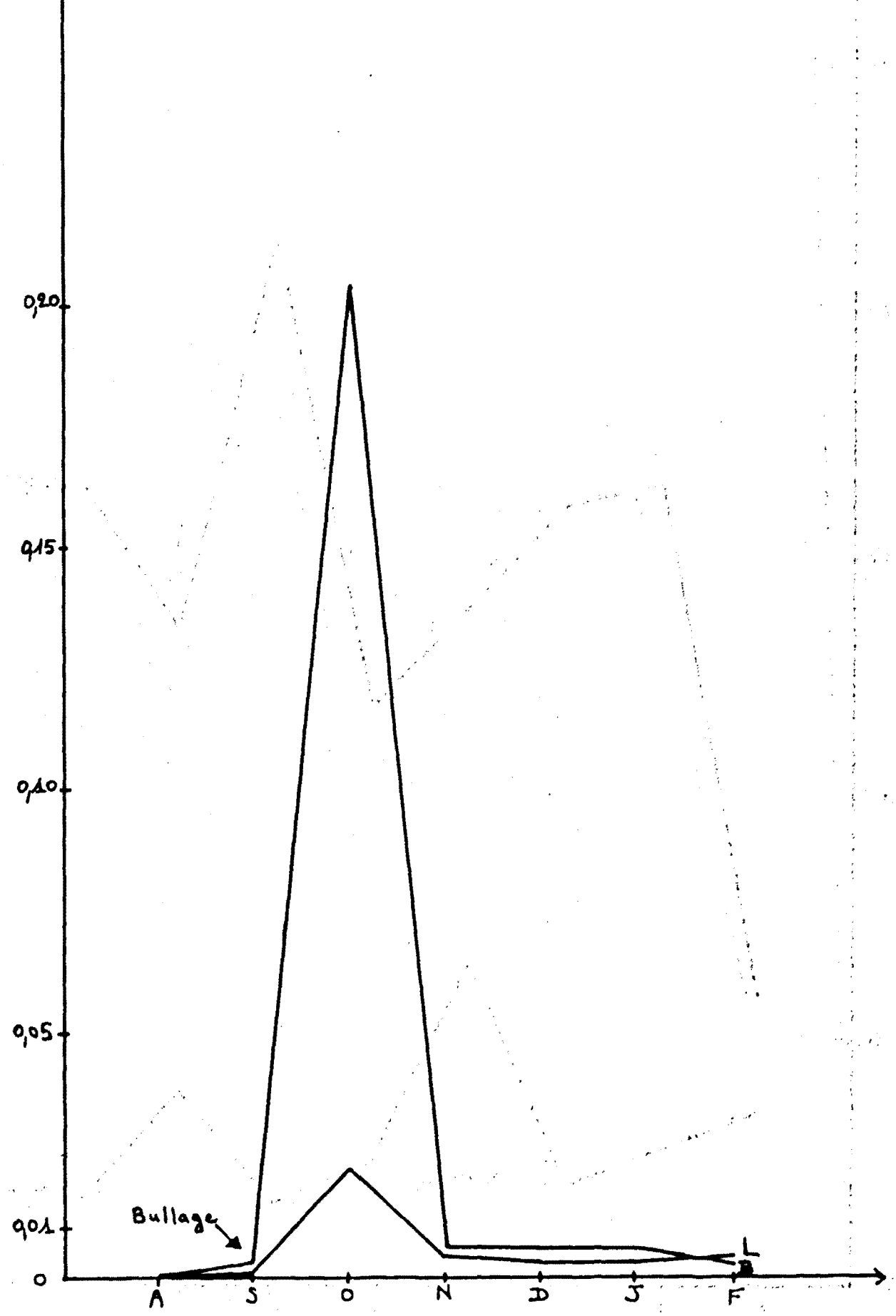
Concentrations moyennes en métaux lourds sur le littoral varois

Stations	Eau en ppb			Mollusques en ppm/poids sec			Sédiment en ppm/poids sec		
	Cu	Pb	Cd	Cu	Pb	Cd	Cu	Pb	Cd
Lagune du Brusac	4,6	< 3	< 0,6	55	4,25	5,35	11,80	13,7	4,35
Bassin ECOTRON	4,6	< 3	< 0,6	9,75	2,80	2,05	23,90	39,7	2,30
Littoral du Brusac	4,6	32,5	1,43	78	22,50	8,50	20,50	34,2	4,7
Rade de Toulon	31	8,4	0,7	100	37,50	9	115	127	2,3
Valeurs admises	3*	0,03*	0,1*	40	de 2,8 à 6	5	100	100	40

\* Teneurs des eaux océaniques.

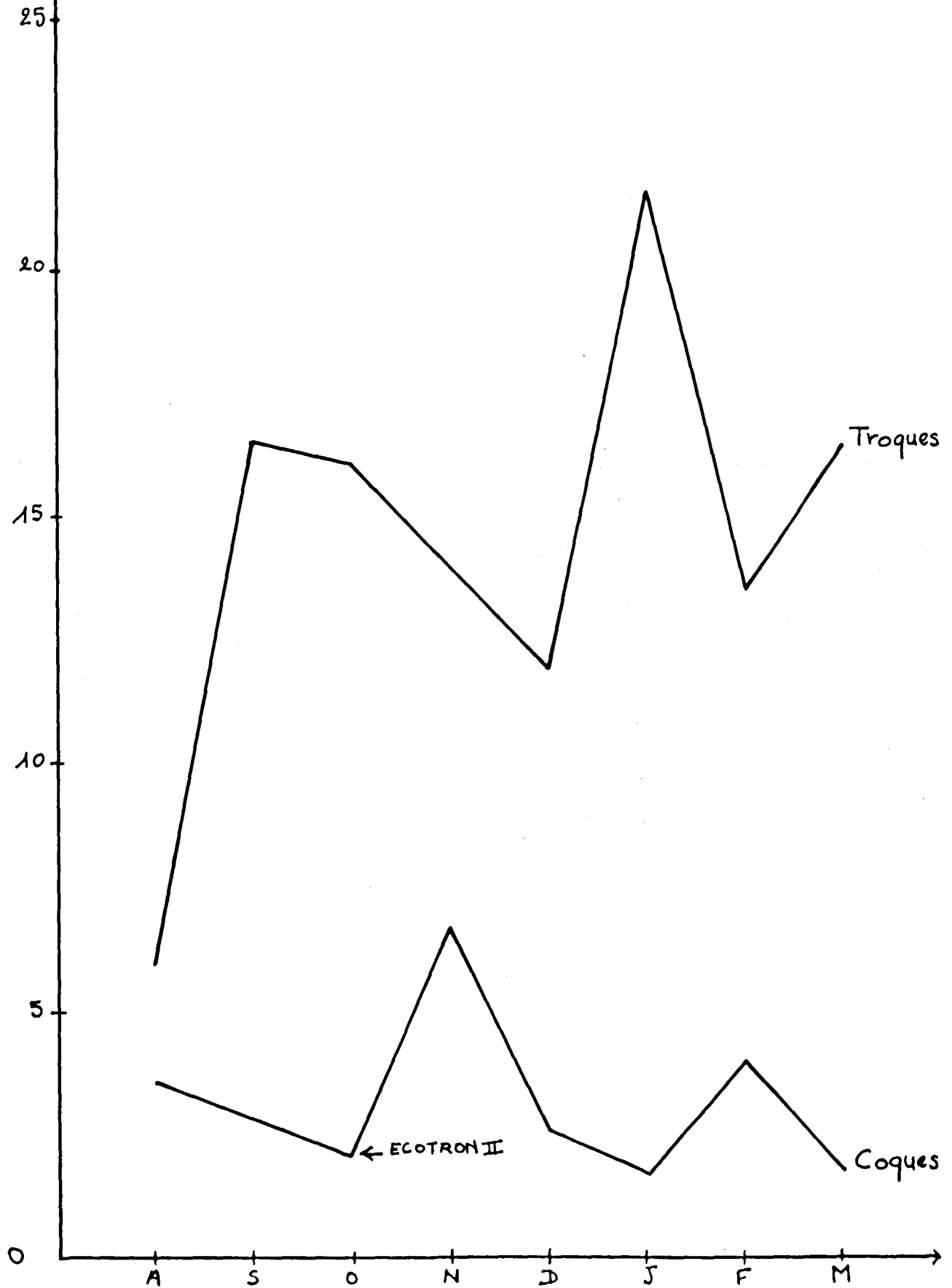
$\Sigma C$   
ppm

Fig. 1 :  $\Sigma$  métaux dans l'eau



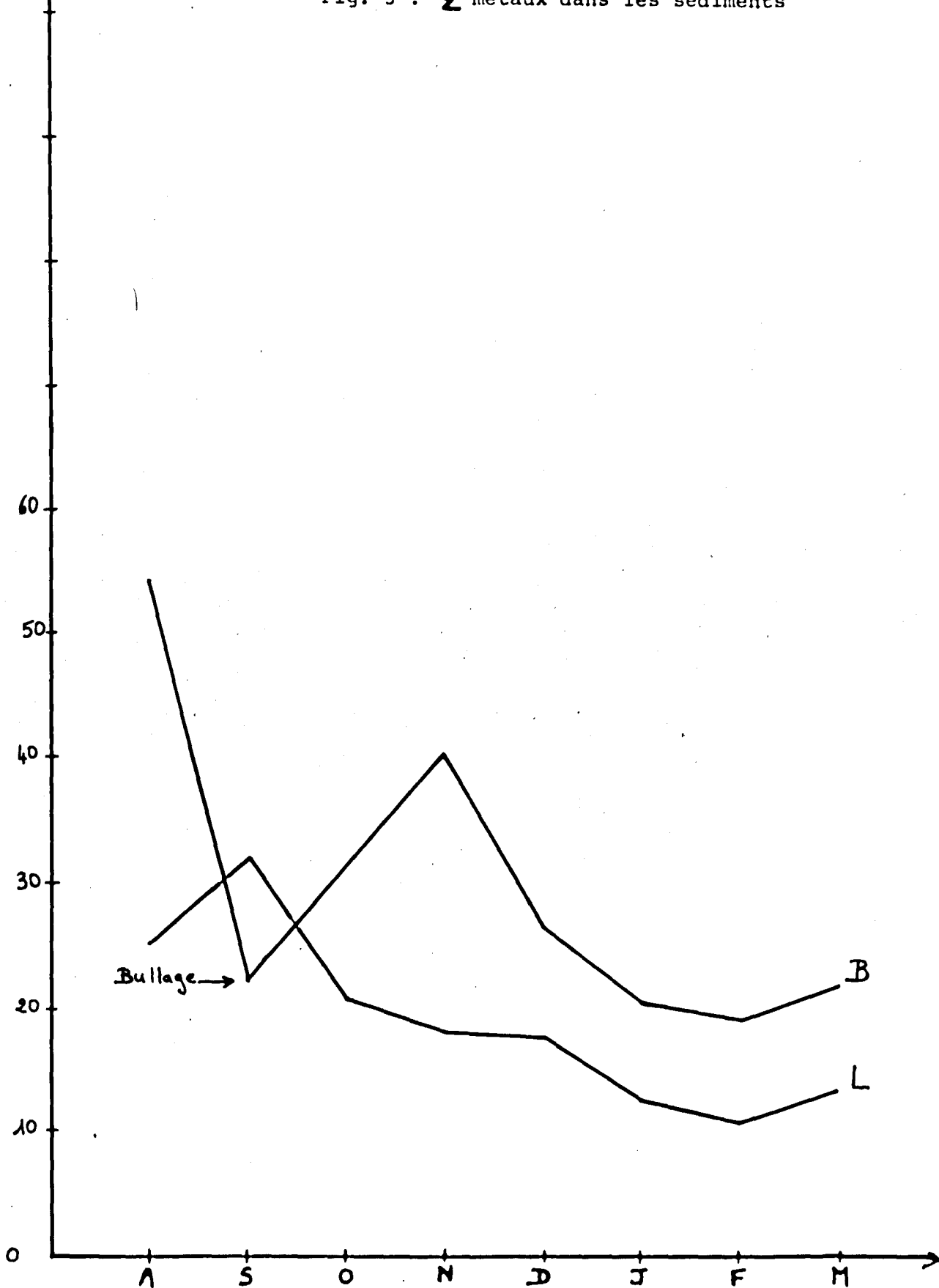
C  
ppm/↑  
pds hum.

Fig. 2 :  $\Sigma$  métaux dans les Mollusques



$\Sigma C$   
ppm  
pds hum.

Fig. 3 :  $\Sigma$  métaux dans les sédiments

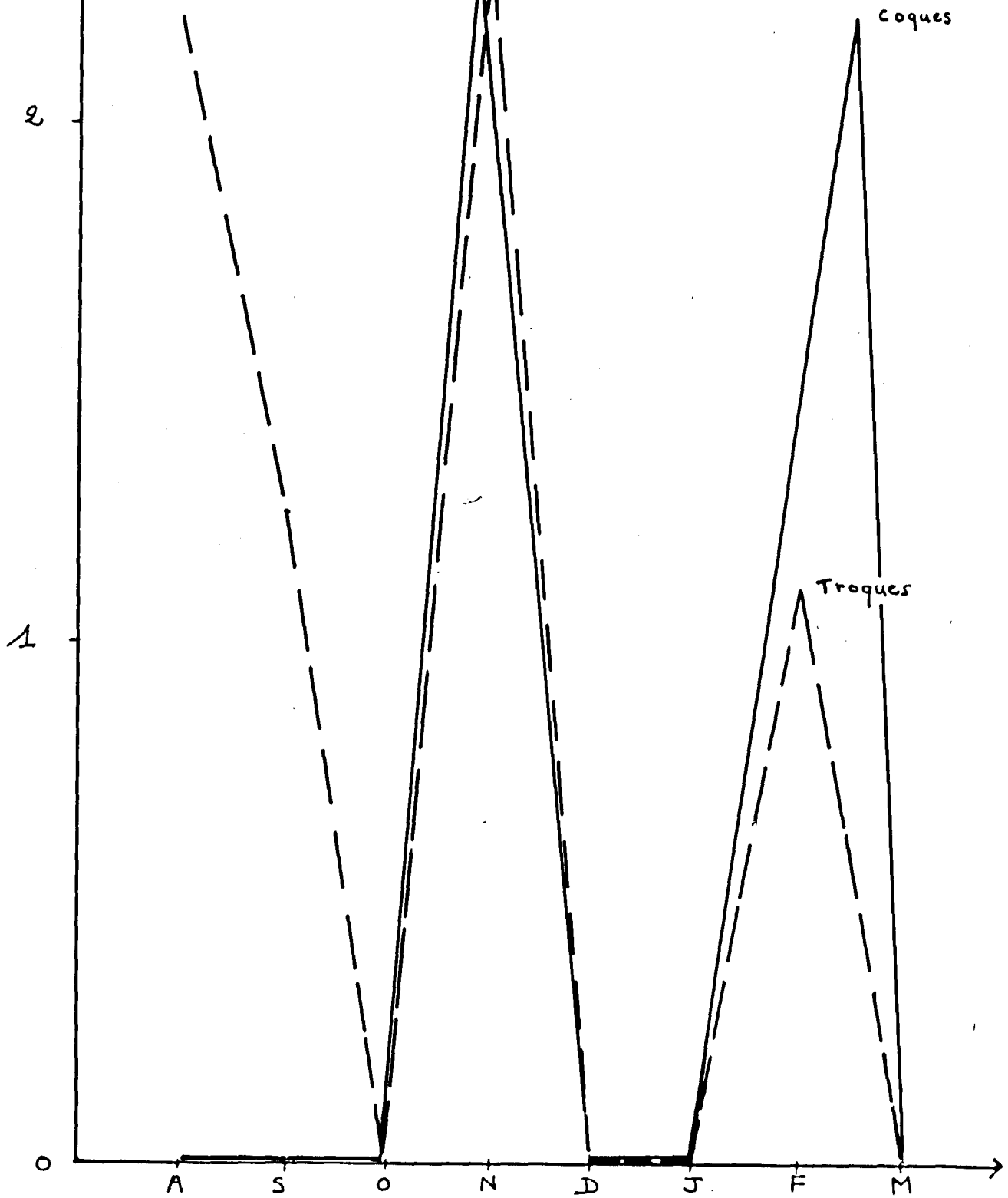


Pb  
ppm ↑  
/pds hum.

Fig. 4 : [Pb] dans les Mollusques

Lagune : - -

Bassin : —



COLLOQUE ECOTRON      DISCUSSION

Communication : N. VICENTE & D. CHABERT. Variation de la concentration en métaux lourds dans l'eau, les mollusques et le sédiment d'un bassin aménagé.

- Q: MAESTRINI : Vous n'avez pas dosé le mercure qui est pourtant le plus dangereux des métaux lourds, pourquoi ?
- R: VICENTE : Jusqu'à maintenant nous n'avions pas les moyens techniques de le faire. L'étude est en cours. A notre avis le plomb et le cadmium sont aussi dangereux que le mercure.
- Q: MAESTRINI : Les teneurs mesurées dans les sédiments sont-elles loin des seuils toxiques pour les animaux qui doivent être introduits ?
- R: VICENTE : Les teneurs mesurées sont très loin, non seulement des seuils toxiques mais également des seuils de contamination qui se situent un tiers au-dessus des teneurs mesurées. Il semble, d'autre part, que les bivalves concentrent moins les métaux lourds que les Prosobranches.
- Q: MAESTRINI : Ne pourrait-on pas se servir des Prosobranches pour piéger les métaux lourds ?
- R: VICENTE : On pourrait utiliser non seulement les Prosobranches qui pullulent sur le littoral mais d'autres mollusques comme les Aplysies très abondantes dans la lagune et qui concentrent énormément les métaux lourds.
- Q: DUFOUR : Les concentrations en micro-polluants évoluent dans les Cardium en fonction du temps. Y-a-t-il accumulation des polluants ou bien simplement passage avec élimination progressive dans le temps ? Dans ce cas ne pourrait-on pas faire dégorger les coquillages dans une eau réputée pure ?
- R: VICENTE : Près de la moitié de la concentration mesurée dans les coquillages se trouve dans les fécès. Il semble bien y avoir une élimination des polluants.
- Q: DUFOUR : Que pensez-vous de l'intervention des activités humaines dans les concentrations que vous avez observées dans l'eau de la lagune (traitement des vignes, tourisme, etc).
- R: VICENTE : La lagune elle-même est peu fréquentée. La pollution provient des ports de plaisance voisins.
- Q: LASSERRE : Vous notez de fortes concentrations en cuivre dans les sédiments. Si l'on admet un effet inhibiteur du cuivre sur le développement des bactéries on devrait observer de faibles valeurs de densités bactériennes dans les sédiments de la lagune. Est-ce le cas ?
- R: CAHET : Le cuivre n'est pas à l'état dissous mais lié à l'argile et à la matrice organique, il est complexé dans le sédiment. Le cuivre n'a apparemment pas d'influence sur le développement bactérien. Il aurait une action dans des conditions d'anoxie quand le cuivre est remis en solution dans les zones profondes.
- Q: CAHET : Est-ce qu'il ne serait pas utile de prévoir un fond de sable plutôt qu'un fond de vase pour éviter les effets néfastes à long terme ?
- R: VICENTE : En effet, nous avons observé que dans les sédiments grossiers les concentrations en métaux lourds sont moindres.