

Institut Scientifique et Technique  
des Pêches Maritimes

DERO/MR

IFREMER - Centre de Nantes

RECHERCHE DE LA CONTAMINATION  
EN CADMIUM DE LA GIRONDE

---

Contrat d'étude n° 83 213  
Ministère de l'Environnement  
Mission des Etudes et de la recherche  
"Milieux physique" eau, air, sol, pollutions

Rapport final

B. BOUTIER

Nantes, le 30 novembre 1984

Institut Scientifique et Technique  
des Pêches Maritimes

DERO/MR

IFREMER - Centre de Nantes

RECHERCHE DE LA CONTAMINATION  
EN CADMIUM DE LA GIRONDE

---

Contrat d'étude n° 83 213  
Ministère de l'Environnement  
Mission des Etudes et de la recherche  
"Milieux physique" eau, air, sol, pollutions

Rapport final

B. BOUTIER

Nantes, le 30 novembre 1984

## SOMMAIRE

|  |    |
|--|----|
| Introduction   | 2  |
| <u>ETUDE DE LA REPARTITION DES TENEURS EN CADMIUM DANS LES HUITRES DE GIRONDE<br/>(C. GIGAS)</u> | 4  |
| I - Méthode  | 4  |
| II - Résultats   | 4  |
| 1 - Cadmium  | 4  |
| 2 - Résultats concernant le cuivre et le zinc  | 7  |
| III - Interprétation   | 8  |
| 1 - Influence du facteur rive  | 8  |
| 2 - Augmentation des concentrations de l'aval vers l'amont                                       | 9  |
| <u>ETUDE IN SITU DE LA CINETIQUE D'ACCUMULATION DU CADMIUM PAR C. GIGAS</u>                      | 10 |
| I - Introduction   | 10 |
| II - Matériel et méthodes  | 10 |
| III - Résultats  | 11 |
| 1 - Première implantation  | 11 |
| 2 - Deuxième implantation  | 13 |
| IV - Interprétation  | 13 |
| 1 - Données générales sur les facteurs de l'accumulation<br>des métaux par les lamellibranches   | 13 |
| 2 - Discussion et interprétation des résultats   | 16 |
| Conclusion générale  | 21 |
| Bibliographie  | 23 |
| Figures  |    |

## INTRODUCTION

Depuis sa création, le RNO matière vivante surveille les niveaux de présence des métaux lourds chez les mollusques filtreurs du littoral français (*Crassostrea gigas*, *Mytilus edulis*). Par leur aptitude à accumuler certains polluants dans leurs tissus, ces animaux donnent en effet de bonnes indications sur la qualité du milieu où ils vivent, tout en atténuant notablement les variations à court terme caractéristiques du milieu aquatique (PHILLIPS DJH, 1976-1977 ; DARRACOTT A. et WATLING H., 1975).

Dès les premières campagnes RNO (BOUTIER, 1981), les huîtres prélevées en Gironde se sont révélées très chargées en métaux, notamment en Cadmium, dont la toxicité pour l'homme et les animaux supérieurs est bien établie (troubles rénaux, maladie dite "ITAI-ITAI").

Les teneurs en Cadmium et en Zinc relevées dans le milieu ne paraissant pas à l'époque de nature à expliquer l'enrichissement des huîtres de Gironde (plusieurs dizaines de  $\mu\text{g/g}$  en Cd), d'autres hypothèses ont été proposées :

- existence en Gironde de conditions particulières favorisant localement l'accumulation du Cadmium par l'huître. Cette hypothèse a été étudiée en examinant les niveaux de présence des métaux dans des huîtres prélevées à différents niveaux de l'estuaire

- transit rapide de sédiments très chargés en métaux lors des crues, mettant à la disposition des huîtres de fortes quantités de métaux qu'elles peuvent accumuler et stocker.

Cette hypothèse a été suggérée par l'existence de sédiments très chargés en métaux dans le domaine fluvio-estuarien et par la lenteur des cinétiques d'élimination des métaux chez l'huître. Selon OKAZAKI et al. (1981), la demi vie du cadmium dans *Crassostrea gigas* est de 40 jours. Nous l'avons testée en étudiant la cinétique d'accumulation des métaux dans des huîtres à faibles teneurs métalliques implantées à Dau et La Fosse en mai et en octobre 1983.

## ETUDE DE LA REPARTITION DES TENEURS EN CADMIUM

### DANS LES HUITRES DE GIRONDE (C. GIGAS)

#### I - METHODE

Les gisements d'huîtres ont été prospectés sur les deux rives de la Gironde d'amont en aval, depuis Bonne Anse jusqu'à Talmont (cf. figures 1 et 2). Pour disposer d'un nombre de données suffisant, nous avons regroupé les résultats provenant de campagnes différentes.

D'autres part nous avons mis à profit la présence d'huîtres et de moules à la Chambrette et à Cabiraux pour comparer en un même site les niveaux d'accumulation de ces deux espèces.

Après avoir été prélevés et conditionnés selon les méthodes en vigueur dans le cadre du RNO (BOUTIER, 1983), les animaux ont été analysés par spectrophotométrie d'absorption atomique (THIBAUD, 1983).

#### II - RESULTATS

##### 1 - Cadmium

L'examen du tableau 1 et des figures 1 et 2 fait ressortir plusieurs faits marquants.

##### a) Caractère élevé des niveaux de présence

Ils sont très supérieurs à ceux que l'on rencontre habituellement dans les huîtres du littoral français.

| RIVE DROITE   |          |      |        |       |
|---------------|----------|------|--------|-------|
| STATIONS      | DATES    | Cd   | Zn     | Cu    |
| Cordouan      | 16/06/83 | 12,5 | 2 085  | 225   |
| Bonne Anse    | 9/03/82  | 49,5 | 4 372  | 641   |
|               | 20/07/82 | 30,4 | 2 100  | 363   |
| Vaux          | 4/10/82  | 52,7 | 2 570  | 360   |
| Pontailiac    | 20/07/82 | 63,4 | 4 020  | 706   |
|               | 4/10/82  | 96   | 3 130  | 593   |
| Royan         | 4/10/82  | 105  | 3 215  | 710   |
| Vallières     | 26/06/82 | 88   | 2 523  | 344   |
|               | 4/06/82  | 95   | 2 305  | 454   |
| St Georges    | 4/10/82  | 105  | 2 830  | 595   |
| Suzac         | 4/10/82  | 76   | 3 725  | 580   |
| Meschers      | 26/06/82 | 107  | 3 058  | 405   |
| Dau           | 26/06/82 | 149  | 4 323  | 780   |
|               | 28/09/82 | 109  | 2 592  | 417   |
|               | 29/03/82 | 228  | 6 930  | 1 740 |
| Cabane        | 28/09/82 | 100  | 2 566  | 405   |
| Boeuf         | 28/09/82 | 118  | 3 046  | 463   |
| Talmont       | 4/10/82  | 150  | 3 170  | 597   |
| RIVE GAUCHE   |          |      |        |       |
| La Chambrette | 26/03/82 | 72   | 8 146  | 1 562 |
|               | 10/05/82 | 59   | 6 775  | 1 293 |
|               | 5/08/82  | 66   | 4 690  | 1 000 |
|               | 1/02/83  | 121  | 4 740  | 1 228 |
| Cabiraux      | 8/04/82  | 101  | 7 820  | 1 513 |
| La Fosse      | 6/04/82  | 132  | 9 036  | 1 771 |
| Mondésir      | 26/03/82 | 173  | 11 101 | 2 336 |

Tabl. 1.- Etude de la répartition géographique des teneurs en métaux dans les huîtres de Gironde. Résultats ( $\mu\text{g/g}$  de matière sèche).

Ainsi, des teneurs en cadmium de 105 µg/g de matière sèche ont été observées à Royan et à St Georges de Didonne (4/10/82). Les huîtres prélevées à Talmont le même jour contenaient 150 µg de cadmium par gramme de matière sèche, alors qu'un échantillon prélevé le 23/09/82 à Dau atteignait 228 µg/g.

Parallèlement, les huîtres des autres régions présentaient des teneurs beaucoup plus faibles. Par exemple, les moyennes de concentration en cadmium des huîtres de Brest et d'Arcachon s'élevaient en 1982 à 1,9 et 2,5 µg/g de matière sèche. La figure 1 situe les ordres de grandeur des teneurs en cadmium des huîtres du littoral analysées en 1979 dans le cadre du RNO. Cette situation s'est trouvée confirmée par les campagnes réalisées au cours des années suivantes (Bulletin RNO n° 20).

D'autre part, les prélèvements simultanés d'huîtres et de moules faits à la Chambrette et à Cabiriaux montrent que tout en accumulant trois fois moins que les huîtres (voir tableau 2) les moules de ces stations présentent des concentrations en métaux très supérieures à celles qui ont été observées dans les moules d'autres estuaires français (cf. tableau 3).

Ceci établit clairement l'importance du problème posé par le cadmium en Gironde et met en évidence le caractère original des niveaux inhabituels de cadmium observés dans cette région.

|                                    |    | Huîtres | Moules |
|------------------------------------|----|---------|--------|
| Cabiriaux<br>8/04/82               | Zn | 7 880   | 438    |
|                                    | Cu | 1 513   | 12,7   |
|                                    | Cd | 101     | 30,3   |
| Digue de la Chambrette<br>10/05/82 | Zn | 6 775   | 314    |
|                                    | Cu | 1 293   | 12,5   |
|                                    | Cd | 58,5    | 20,3   |

Tabl. 2 - Comparaison entre les teneurs en métaux des huîtres et des moules prélevées simultanément sur les mêmes stations. (microgrammes par gramme de matière sèche).

|   | Cd   | Cu   | Zu    |
|---|------|------|-------|
| Cabiriaux                                     | 30,3 | 12,7 | 438   |
| La Chambrette                                 | 20,3 | 12,5 | 314   |
| Seine - Digue nord du Havre<br>(moyenne 1982) | 3,7  | 8,8  | 134   |
| Loire - Villes Martin<br>(moyenne 1982)       | 1,5  | 7,9  | 108,5 |

Tabl. 3 - Comparaison des teneurs en Cd, Cu et Zn dans les moules de différents estuaires industrialisés (microgrammes par gramme de matière sèche).

b) Existence d'un gradient de concentration croissant de l'aval vers l'amont

Les concentrations passent de 50 à 150 microgrammes par gramme de matière sèche entre Bonne Anse et Talmont (rive droite).

c) Localisation des teneurs les plus fortes sur la rive droite

On a relevé 228 µg/g à DAU le 29/03/82. Par ailleurs la moyenne des concentrations mesurées entre Vallières et Talmont (120 µg/g) est supérieure à celle qu'on peut observer sur la rive gauche (103 µg/g).

2 - Résultats concernant le cuivre et le zinc

Si l'existence d'un gradient croissant de l'aval vers l'amont paraît indiscutable en ce qui concerne le zinc (voir tableau 1), le phénomène est beaucoup moins net pour le cuivre, dont les variations sont moins régulières.

La comparaison des résultats obtenus sur les deux rives conduit à des conclusions encore plus nuancées, puisque c'est sur la rive gauche que les teneurs moyennes les plus élevées sont observées (cf. tableau 4).

|   | Cd  | Zn    | Cu    |
|---|-----|-------|-------|
| Rive droite<br>Vallières - Dau          | 120 | 3 370 | 616   |
| Rive gauche<br>La Chambrette - Mondésir | 103 | 7 471 | 1 529 |

Tabl. 4 - Moyennes des teneurs en Cd, Zn et Cu des huîtres prélevées dans le cadre de cette étude (microgrammes par gramme de matière sèche).

### III - INTERPRETATION

#### 1 - Influence du facteur rive.

Le fait que les niveaux de présence de cadmium observés sur la rive droite soient légèrement supérieurs à ceux que l'on trouve sur la rive gauche peut s'expliquer par la courantologie. En effet, au jusant, c'est par le chenal nord de la Gironde que s'évacuent préférentiellement les eaux continentales, alors que pendant le flot la passe sud constitue la voie d'entrée principale des eaux marines dans le système estuarien (ALLEN et al., 1976).

Dans une certaine mesure, ce type de circulation pourrait donc soustraire la rive gauche aux apports continentaux, ce qui, si l'on admet que le cadmium est apporté par le fleuve, peut expliquer les résultats observés.

Le zinc est distribué de façon très différente puisque les teneurs relevées sur la rive gauche sont très supérieures à celles de la rive droite. Ceci pourrait être considéré comme l'indice d'un comportement différent de ces deux métaux au niveau de l'estuaire. Cependant, les données dont nous disposons ne permettent pas d'aborder ce problème. L'échantillonnage étudié était destiné à une étude descriptive des teneurs dans les organismes de l'estuaire. La localisation des stations de prélèvement, imposée par la présence de bancs naturels, n'est pas représentative de conditions hydrologiques comparables entre la rive nord et la rive sud.

## 2 - Augmentation des concentrations de l'aval vers l'amont

L'élévation des teneurs en cadmium dans les mollusques le long d'une radiale aval-amont a déjà été observée. FRAZIER (1979) a constaté que les concentrations de cadmium des huîtres de la rivière Rappahanock étaient presque multipliées par trois entre les stations aval et amont.

Deux facteurs principaux peuvent provoquer ce phénomène.

a) L'augmentation effective du cadmium disponible dans le sens aval-amont. Si l'on suppose que l'apport se trouve en amont, on explique très simplement le gradient de concentration par la dilution progressive de l'apport dans l'eau de mer.

b) Activation de l'accumulation en milieu dessalé. GEORGE et CARPENE (1977) observent in vitro que l'allure d'accumulation du cadmium par les branchies de la moule double quand la salinité passe de 33 à 17 ‰. Cette modification semble liée à la baisse d'osmolarité plutôt qu'à la baisse de salinité proprement dite.

Selon WRIGHT, cité par MOHLENBERG, la baisse de salinité entraînerait un surcroît d'activité compensateur des mécanismes d'absorption des ions essentiels. Le cadmium serait ainsi absorbé en même temps que le calcium dont il est un compétiteur.

Des dessalures importantes peuvent se produire au niveau des sites prospectés, notamment pendant les crues. Elles ajoutent certainement leur influence à l'effet de dilution de l'apport pour engendrer le gradient observé, mais elles ne sont pas à l'origine des fortes concentrations mesurées. On connaît en effet des zones soumises à des dessalures importantes où les teneurs en métaux ne s'écartent pas notablement de la normale (bassin de Marennes-Oléron, bassin d'Arcachon).

On peut donc conclure que cette étude "géographique" tend à identifier la partie amont du système girondin comme source ou comme vecteur du cadmium et du zinc mis en évidence dans les huîtres de la région.

ETUDE IN SITU DE LA CINETIQUE D'ACCUMULATION

DU CADMIUM PAR C. GIGAS

I - INTRODUCTION

Les très fortes concentrations en cadmium trouvées dans les huîtres de Gironde semblaient difficilement explicables par les niveaux de présence observés dans le milieu.

Les particularités géochimiques de l'estuaire ont suggéré l'existence d'un autre mécanisme. En effet, on a constaté que les sédiments de la zone fluviio-estuarienne, située en amont du système, sont particulièrement chargés en métaux (JOUANNEAU, 1982 ; DONARD, 1983).

Lors des crues, ces sédiments seraient mobilisés et transiteraient très rapidement jusqu'à l'embouchure sans que les processus d'appauvrissement qui apparaissent en temps normal aient le temps de se développer. De grandes quantités de métaux seraient ainsi mises à la portée des organismes filtreurs qui pourraient les absorber aussi bien sous forme dissoute que particulaire, et les stocker dans leurs tissus.

La rapidité de ce phénomène et son caractère aléatoire ne permettant pas son étude directe, nous avons utilisé la capacité intégratrice des huîtres pour essayer de mettre en évidence cet apport à caractère ponctuel.

II - MATERIEL et METHODES

Des lots d'huîtres tests de 3 ans provenant d'Arcachon ont été implantées en poches plastiques à la Fosse (R.C) et Dau (R.D.) à deux

époques de l'année (cf. tableau 5, figures 3 et 4). L'évolution des niveaux de présence des métaux dans les animaux implantés a été suivie en prélevant périodiquement (cf. tableau 5 et figure 6) des échantillons qui ont été conditionnés et analysés selon les méthodes en vigueur dans le cadre du RNO matière vivante (BOUTIER, 1983 ; THIBAUD, 1983).

### III - RESULTATS

L'ensemble des résultats est reporté sur le tableau 2. Les figures 7 à 22 représentent l'évolution des niveaux de présence des métaux (Zn, Cd, Pb, Cu).

#### 1 - Première implantation (10 mai 1983)

Les concentrations mesurées dans les huîtres implantées à Dau évoluent de façon irrégulière, ce qui indique que l'expérience a sans doute été perturbée par un phénomène non contrôlé (voir les figures 7 à 10).

A la Fosse, tous les métaux atteignent en six mois les niveaux observés dans le cadre du RNO (voir tableau 6).

|    | Témoïn<br>10/05/83 | 20/10/83<br>après 6 mois | La Fosse<br>Moyenne RNO 1982 |
|----|--------------------|--------------------------|------------------------------|
| Cd | 4,23               | 80,3                     | 81                           |
| Zn | 1 405              | 6 301                    | 4 294                        |
| Cu | 54                 | 837,3                    | 908                          |

Tabl. 6 - Comparaison entre les résultats de l'expérience de contamination et les concentrations moyennes à la Fosse (microgrammes par gramme de matière sèche).

La courbe d'accumulation est d'allure sigmoïde pour Zn, Cd et Cu, avec une nette inflexion entre les prélèvements du 11 juillet et du 10 août (cf. figures 11 à 13). Les concentrations passent en effet en un mois de 29,5 µg/g à 71,8 µg/g pour le cadmium, de 3 167 µg/g à 5 841 µg/g pour le zinc et de 250,5 µg/g à 637,2 µg/g pour le cuivre.

| 1ère implantation à Dau        |       |       |      |    | 1ère implantation à La Fosse   |       |       |      |     |
|--------------------------------|-------|-------|------|----|--------------------------------|-------|-------|------|-----|
| Echantillon prélevé à Arcachon | Zn    | Cu    | Cd   | Pb | Echantillon prélevé à Arcachon | Zn    | Cu    | Cd   | Pb  |
| 10 mai                         | 1 405 | 53,7  | 4,23 | 8  | 10 mai                         | 1 405 | 53,7  | 4,23 | 0,8 |
| 26 juillet                     | 1 044 | 93,5  | 3,66 | /  | 15 juin                        | 2 097 | 130,5 | 17,8 | 1,5 |
| 27 septembre                   | 4 090 | 608,5 | 36,9 | /  | 11 juillet                     | 3 167 | 250,5 | 29,5 | 2,2 |
| 26 octobre                     | 2 887 | 379,8 | 39,3 | /  | 10 août                        | 5 841 | 637,2 | 71,8 | 3,1 |
|                                |       |       |      |    | 20 octobre                     | 6 301 | 837,3 | 80,3 | 4,7 |

| 2ème implantation à Dau        |       |       |      |     | 2ème implantation à La Fosse   |       |       |      |     |
|--------------------------------|-------|-------|------|-----|--------------------------------|-------|-------|------|-----|
| Echantillon prélevé à Arcachon | Zn    | Cu    | Cd   | Pb  | Echantillon prélevé à Arcachon | Zn    | Cu    | Cd   | Pb  |
| 26 octobre                     | 2 427 | 79,5  | 3,85 | 2,1 | 20 octobre                     | 2 747 | 81,9  | 4,32 | 1,2 |
| 2 décembre                     | 3 369 | 177,7 | 8,9  | 2,1 | 6 décembre                     | 3 108 | 166,2 | 8,3  | 2,5 |
| 20 janvier                     | 3 425 | 200,8 | 9,9  | 2,3 | 20 février                     | 3 629 | 230,9 | 14,1 | 3,3 |
| 2 mars                         | 4 543 | 231,2 | 12,9 | 2,4 | 21 mars                        | 4 290 | 278,7 | 16,3 | 2,8 |
| 30 mars                        | 4 901 | 280,0 | 18,9 | 2,9 | 19 avril                       | 4 390 | 262,8 | 18,0 | 5,4 |
| 18 mai                         | 4 454 | 286,0 | 20,1 | 3,1 |                                |       |       |      |     |

Tabl. 5.- Etude de la cinétique d'accumulation des métaux par les huîtres en Gironde.  
Résultats (microgrammes par gramme de matière sèche).

Il est intéressant de remarquer que l'émission des produits sexuels a lieu pendant cette période et que par la suite les concentrations observés en Zn, Cd et Cu dans les huîtres semblent atteindre un palier.

Le plomb se comporte différemment des autres métaux en conservant une allure d'accumulation linéaire pendant toute la durée de l'expérience, passant de 0,8 µg/g de matière sèche le 10 mai à 4,7 µg/g le 20 octobre (cf. figure 14).

2 - Deuxième implantation (26 octobre à Dau et 20 octobre à La Fosse)

Les résultats obtenus sur les deux rives sont semblables pour tous les métaux étudiés, comme le montre le tableau 2. Par contre ils diffèrent notablement de ceux qui ont été obtenus à la suite de la première implantation (cf. tableau 5 et figures 15 à 22). L'accumulation du Cd, du Cu et du Zn se révèle beaucoup plus lente en hiver ; après six mois d'exposition, les teneurs sont beaucoup plus faibles que dans le cas de la première implantation. Elles sont également très en retrait par rapport aux résultats RNO, sauf pour le zinc (voir tableau 7).

|   | Zn    | Cu  | Cd | Pb  |
|---|-------|-----|----|-----|
| Niveau final - 1ère implantation<br>(10 mai-20 octobre) (µg/g M.S.)   | 6 301 | 837 | 80 | 4,7 |
| Niveau final - 2ème implantation<br>(20 octobre-19 avril) (µg/g M.S.) | 4 390 | 262 | 18 | 5,4 |
| Moyenne des teneurs RNO 1982<br>sur la Fosse (µg/g M.S.)              | 4 294 | 908 | 81 | 2,0 |

Tabl. 7 - Comparaison des résultats des deux expériences de contamination.

#### IV - INTERPRETATION

1 - Données générales sur les facteurs de l'accumulation des métaux par les lamellibranches

Deux grands types d'influences peuvent intervenir sur les niveaux de présence des métaux chez les mollusques filtreurs.

a) Les phénomènes "externes" agissant sur la biodisponibilité des métaux dans le milieu

La mesure des concentrations totales ne donne qu'une idée imparfaite de la disponibilité car les organismes n'absorbent pas de la même manière les différentes formes chimiques d'un élément. Ainsi, selon JACKIM et al. (1977), l'huître absorberait surtout les formes dissoutes du cadmium. Cette propriété est également observée chez d'autres mollusques. HARDY et al. (1981) ont montré que l'adjonction de sédiment lavé au milieu expérimental provoquait une très importante diminution de la vitesse de contamination des branchies de *Protothaca staminea*.

Cependant, il s'agit là de données obtenues in vitro. La Gironde est un milieu très différent, riche en particules chargées en métaux. Dans ce type d'environnement, les animaux filtreurs peuvent accumuler aussi bien à partir de la phase dissoute que du particulaire, à la seule condition que les métaux se trouvent sous une forme chimique assimilable. Nous manquons cependant de données pour évaluer la part des différentes formes dans la contamination globale observée chez ces animaux.

Parmi les formes dissoutes, les complexes organiques semblent plus facilement absorbables que les ions simples ou les complexes inorganiques. GEORGE et COOMBS (1977) ont montré que la vitesse de contamination et le niveau final de présence dans des moules pouvaient être doublés si le métal était complexé par un ligand organique (EDTA, alginate, humate, pectate).

ENGEL et FOWLER (1979) attribuent à la complexion des ions  $Cd^{2+}$  par les chlorures le fait que *C. virginica* absorbe moins le cadmium quand la salinité augmente.

La répartition entre les différentes formes dissoutes et le particulaire, qui dépend étroitement des paramètres physicochimiques du milieu (DONARD, BOURG, 1984) joue également un rôle essentiel sur la biodisponibilité des métaux et notamment du cadmium.

b) Variations de l'aptitude de l'organisme à accumuler les métaux disponibles

Elles sont régies par des mécanismes biologiques ou physiologiques qui peuvent trouver leurs facteurs déclenchants dans le milieu.

Les modifications biochimiques et physiologiques accompagnant les cycles saisonniers peuvent intervenir sur les concentrations en métaux tracés des organismes. PHILLIPS DJH (1976) a mis en évidence l'influence du poids sur les concentrations en métaux chez *Mytilus edulis*, ces deux paramètres variant en sens inverse.

La période de reproduction est accompagnée de transformations importantes ; modifications de la composition corporelle, variations rapides de poids au moment du frai.

Il n'est donc pas surprenant d'observer à cette occasion des variations des teneurs en métaux lourds.

Différents auteurs ont effectivement observé de telles variations (FRAZIER, 1975) qui dépendent étroitement de l'espèce observée et des métaux étudiés.

La biosynthèse des métallothionéines consécutive à l'absorption du cadmium est un processus biochimique qui permettrait à l'organisme de s'adapter au milieu où il se trouve en accumulant le métal sous une forme détoxifiée. Dans le cas du cadmium, ce rôle serait dévolu à des protéines légères riches en groupes cystéinyl (NOEL-LAMBOT, 1976-1978).

Selon le même auteur, Cu et Zn seraient liés à des protéines de poids moléculaire plus élevé. D'un point de vue global, CHOU et al. ont évalué à 50 % la proportion de cadmium fixé dans les tissus, le reste se trouvant sous forme libre.

c) Modifications de l'activité métabolique en réponse à des variations des paramètres du milieu

Les plus influents sont :

. la température, dont la hausse provoque une augmentation générale du métabolisme et entraîne corrélativement une accélération de l'accumulation des métaux (PHILLIPS, 1976 ; DENTON et al., 1981 ; ZAROOGIAN et CHEER , 1976)

. la salinité, dont la baisse provoque une augmentation de l'accumulation du cadmium. Ainsi, *Crassostrea virginica*, espèce voisine de celle que nous étudions, accumule cinq fois plus à 10 ‰ de salinité qu'à 20 ou 30 ‰ (ENGEL et FOWLER, 1979).

2 - Discussion et interprétation des résultats

a) Examen des courbes d'accumulation

La cinétique d'accumulation est très différente selon la date d'implantation. Ceci vaut pour Zn, Cu et Cd ; Pb a un comportement différent et s'accumule de façon linéaire tout au long de l'expérience.

Au cours des mois d'été (10 mai-20 octobre, première implantation à la Fosse) la contamination en Cu, Zn et Cd croît progressivement jusqu'au prélèvement du 11 juillet) (29,5 ppm de Cd) puis augmente brutalement entre le 11 juillet et le 10 août (71,8 ppm de Cd) pour reprendre une croissance plus modérée ensuite (voir le détail des valeurs et des allures de croissance sur le tableau 5 et les figures 7 à 13).

Le seul évènement susceptible d'expliquer une telle discontinuité pourrait être le frai ; en effet, durant cette période, les paramètres environnementaux n'ont subi aucune modification susceptible d'expliquer tout ou partie des variations observées. En particulier, aucune crue n'est intervenue et les analyses effectuées dans le cadre du RNO au niveau de Royan (station n° 2- font plutôt apparaître une légère baisse des niveaux de présence du cadmium dans l'eau pendant l'été (550 ng/l en avril, 320 ng/l en juillet - résultats RNO à paraître). Ceci pourra être confirmé à partir de données plus détaillées sur l'eau et les matières en suspension que doit fournir l'IGBA dans le cadre d'un travail en cours pour le Ministère de l'Environnement.

En hiver (2ème implantation : 20 octobre-19 avril à la Fosse, 26 octobre-18 mai à Dau), alors qu'on pourrait s'attendre à observer une contamination beaucoup plus rapide due au passage de sédiments terrigènes chargés portés par les crues, c'est une cinétique modérée et régulière qui est observée puisque les teneurs en Zn, Cd et Cu évoluent de façon quasi linéaire. Ainsi, en 6 mois, la teneur en Cd passe de 4,32 à 18 µg/g (voir tableau 5 et figures 15 à 22).

Il semble donc que les facteurs biologiques comme les modifications de composition corporelle accompagnant la période de reproduction jouent un rôle essentiel dans l'accumulation du cadmium par les huîtres implantées en Gironde.

b) Etude des coefficients d'accumulation journaliers

L'allure linéaire des cinétiques d'accumulation consécutives à la deuxième implantation aussi bien à Dau qu'à la Fosse nous autorise à définir pour chaque élément un coefficient journalier d'accumulation (en µg/g/j) qui n'est autre que la partie de la droite représentant les concentrations en cadmium dans la matière sèche en fonction du temps d'accumulation. Ces coefficients sont indiqués dans le tableau 8.

|    | Dau   | La Fosse |
|----|-------|----------|
| Zn | 11    | 9,4      |
| Cd | 0,08  | 0,08     |
| Pb | 0,005 | 0,018    |
| Cu | 0,95  | 1,04     |

Tabl. 8 - Coefficients journaliers d'accumulation en µg/g/j.

L'examen de ces coefficients appelle plusieurs remarques.

Sauf en ce qui concerne le plomb, il n'y a pas de différence importante entre les coefficients d'accumulation provenant de Dau et de la Fosse.

Le coefficient journalier d'accumulation du cadmium est de 0,08 µg/g/j. Il faudrait donc près de trois ans, si les conditions hivernales

étaient maintenues, pour atteindre les concentrations moyennes de 80 à 90 µg/g observées dans le cadre du RNO, alors qu'en été, ces valeurs sont atteintes en 6 mois.

Ceci met bien en évidence l'influence du facteur saisonnier sur l'accumulation du cadmium par les huîtres.

Les autres métaux se comportent de façon comparable, sauf le plomb qui conserve le même coefficient d'accumulation toute l'année.

Selon différents auteurs, les coefficients d'accumulation pour une espèce donnée dépendent des conditions de milieu et des concentrations de l'élément étudié dans l'eau.

WARD (1982) observe des coefficient un peu supérieur à 1 µg/g/j. Chez *Saccostrea commercialis* exposée à 10 µg/l de cadmium.

DENTON et BURDON-JONES (1981) citent des taux variant de 0,27 à 0,48 µg/g/j chez *Saccostrea echinata* exposée à 10 µg/l de cadmium.

POULSEN et al. (1982) décrivent une relation simple entre le coefficient d'accumulation journalier Y (en microgramme par gramme et par jour) chez la moule et le niveau X de présence de l'élément dans l'eau (en microgrammes par gramme).

$$Y = 83 X - 0,06$$

En appliquant cette formule au cas de la Gironde, on constate que pour obtenir un taux d'accumulation de 0,08 µg/g/j, il faudrait une concentration moyenne de 1,7 µg/l dans l'eau.

Si on fait l'hypothèse supplémentaire que les taux d'accumulation journaliers sont proportionnels aux teneurs à l'équilibre, on peut supposer que des moules placées dans les mêmes conditions auraient eu un taux d'accumulation trois fois moindre, soit 0,03 µg/g/j, puisque nous avons montré précédemment que placées dans les mêmes conditions, les moules accumulent trois fois moins que les huîtres.

En reportant cette valeur dans la formule  $Y = 83 X - 0,06$ , on obtient  $x \approx 1 \mu\text{g/l}$ .

Les valeurs calculées par ce moyen sont bien sûr des ordres de grandeur ; l'étude de POULSEN a été réalisée en laboratoire sur la moule et l'utilisation d'un coefficient de proportionnalité entre les taux d'accumulation des deux espèces n'est pas forcément justifiée.

Ces réserves étant faites, on constate que la valeur de  $1\mu\text{g/l}$  obtenue à partir de l'équation de POULSEN n'est pas incompatible avec les niveaux de présence de cadmium trouvés dans l'eau de Gironde. En effet, les résultats RNO observés au niveau de Royan pendant l'hiver 1983-84 se situent entre 0,4 et 0,2  $\mu\text{g/l}$ . Il semble donc que pendant l'hiver l'accumulation du cadmium par les huîtres puisse s'expliquer par les niveaux de présence observés dans le milieu. Il n'en n'est pas de même en ce qui concerne le processus d'accumulation estivale.

### c) Comparaison des cinétiques d'absorption des différents métaux

L'examen des figures 7 à 22 montre qu'en été et en hiver les niveaux de présence du zinc, du cadmium et du cuivre évoluent de façon semblable dans les huîtres analysées.

. En été, l'accumulation est d'abord lente, puis elle devient très rapide entre juillet et août pour atteindre un palier en septembre.

.. En hiver, la cinétique d'accumulation est linéaire, chaque métal ayant son propre coefficient d'accumulation (cf. tableau 8).

Le zinc, le cadmium et le cuivre sont présents en quantité importante dans le particulaire de la partie amont du système (JOUANNEAU, 1983). Ces métaux se comportent globalement de façon comparable en milieu estuarien ; apport continental sous forme essentiellement particulaire, expulsion vers le large sous forme dissoute (DONARD et BOURG, 1984). Il n'est donc pas surprenant de constater qu'ils évoluent de façon similaire au niveau de la matière vivante.

A l'inverse des autres métaux étudiés, le plomb demeure à des niveaux relativement faibles variant de façon irrégulière entre 1 et 5  $\mu\text{g/g}$ . Ces teneurs s'écartent peu des moyennes habituellement observées sur une zone de référence comme le golfe du Morbihan ou la moyenne des résultats RNO en 1979 était de 2  $\mu\text{g/g}$  (Bulletin RNO n° 17).

Il semblerait donc que le plomb se comporte de manière sensiblement différente des autres métaux au niveau de la Gironde et qu'il soit plutôt l'objet d'apports diffus difficiles à identifier.

## CONCLUSION GENERALE

L'étude géographique des teneurs en métaux dans les huîtres de Gironde a montré que les niveaux de présence sont élevés (souvent plus de 100 µg/g de cadmium dans la matière sèche) et disposés selon un gradient croissant de l'aval vers l'amont. Ainsi, on a trouvé des concentrations de 150 µg/g à Talmont, qui est la station la plus amont de l'étude (prélèvement du 4/10/82) alors qu'à Bonne Anse, point situé très en aval, les résultats varient entre 30 et 50 µg/g (9/03 et 20/07/82).

Ceci conduit à identifier la partie amont de la Gironde comme source des métaux observés en quantité anormale dans les mollusques vivant en aval.

Les résultats que nous avons obtenus font par ailleurs apparaître une légère différence entre les deux rives, les huîtres de la rive droite apparaissant un peu plus chargées en cadmium que celle de la rive gauche (les moyennes observées sont respectivement de 120 et 103 µg/g).

Bien que la courantologie de la région puisse apporter une explication à ce phénomène, il convient de rester prudent dans l'interprétation ; en effet, l'étude du zinc et du cuivre ne vient pas confirmer ces résultats, mais révèle au contraire des niveaux très supérieurs sur la rive gauche. Ceci pose la question de savoir si les divergences observées traduisent un comportement géochimique différent de ces métaux dans l'estuaire ou si elles sont la conséquence de la localisation des points de prélèvement, qui, étant imposée par la présence des bancs naturels, ne permet pas une comparaison rigoureuse entre les deux rives.

L'étude in situ des cinétiques de contamination permet de distinguer nettement deux comportements différents selon la saison.

. En été, les concentrations en Cd, Cu et Zn des huîtres-tests augmentent de façon considérable, passant de 4,2 µg/g en mai à 71,8 µg/g en août pour le cadmium.

. En hiver, les cinétiques d'accumulation sont linéaires et beaucoup plus lentes. Ainsi les teneurs en cadmium des huîtres implantées en octobre passent de 4,3 à 18 µg/g en six mois.

L'examen de ces résultats à la lumière de travaux réalisés en laboratoire conduit à penser que l'accumulation hivernale du cadmium pourrait être expliquée par les niveaux de présence de cet élément dans le milieu estuarien de Gironde.

Par contre aucune explication de cette nature ne peut être avancée en ce qui concerne la brusque augmentation des teneurs observées en été sans avoir une connaissance détaillée des niveaux de présence dans le milieu à cette époque ; il semble que des facteurs biologiques saisonniers liés à la reproduction puissent prendre une part importante au déterminisme de ce phénomène.

La présence simultanée du zinc, du cadmium et du cuivre en quantité importante dans les organismes peut être rapprochée des fortes teneurs observées dans le particulaire de l'amont. Des informations plus complètes sur le transit de ces particules seront fournies par l'IGBA dans le cadre d'un travail en cours. En précisant les concentrations des métaux sur les zones étudiées ainsi que leur répartition, ce travail devrait permettre de mieux cerner les relations existant entre les niveaux de présence du cadmium dans le milieu et les cinétiques de contamination des organismes.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLEN (G.P.) et al., 1976.- Transport and deposition of suspended sediment in the Gironde estuary, France.- In "Estuarine processes" wiley edit. Academic Press.
- BOUTIER (B.), 1981.- Synthèse des résultats de la surveillance des micropolluants dans la matière vivante en 1979.- Rapport ISTPM.
- BOUTIER (B.), 1983.- In manuel des analyses chimiques en milieu marin, pp. 33-36. CNEXO-BNDO.
- CHOU (C.L.), UTHE (J.F.), ZOOK (E.G.), 1978.- Polarographic studies on the nature of cadmium in scallop, oyster and lobster.- J. Fish. Res. Board Can., 35 : 409-413.
- DARRACOTT (A.) et WATLING (H.), 1975.- The use of molluscs to monitor cadmium levels in estuaries and coastal marine environment.- Trans. Roy Soc. S. Afr., 41, Part. 4.
- DENTON (C.R.W.) et BURDON-JONES (C.), 1981.- Influence of temperature and salinity on the uptake, distribution and depuration of Hg, Cd and Pb by black lip Oyster *Saccostrea echinata*.- Mar. Biol. 64 : 317-326.
- DONARD (O.), 1983.- Biogéochimie et hydrodynamique d'un système estuarien macrotidal.- Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Université Bordeaux I.
- DONARD (O.) et BOURG (A.C.M.), 1984.- A biogeochemical model for toxic trace metal fluxes in the macrotidal Gironde estuary.- Communication CIEM "Symposium on contaminant fluxes through the coastal zone".
- ENGEL (D.W.) et FOWLER (B.A.), 1979.- Factors influencing cadmium accumulation and its toxicity to marine organisms.- Environ. Health. Perspec., 28 : 81-88.
- FRAZIER (J.M.), 1975.- The dynamics of metals in the american oyster *Crassostrea virginica*.- I Seasonal effects.- Chesapeake Sci., 16 (3) : 162-171.
- FRAZIER (J.M.), 1979.- Bioaccumulation of cadmium in marine organisms.- Environ. Health. Perspec. 28 : 75-79.

- GEORGE (S.G.), CARPENE (E.) and COOMBS (T.L.), 1977.- The effects of salinity on the uptake of cadmium by the common mussel *Mytilus edulis* (L.).- Physiology and behavior of marine organisms.- 12 th european symposium on marine biology.- Mac LUSKY (D.S.) and BERRY (A.J.), ed. Pergamon Press.
- GEORGE (S.G.) and COOMBS (T.L.), 1977.- The effects of chelating agents on the uptake and accumulation of cadmium by *Mytilus edulis*.- Mar. Biol., 39 : 261-268.
- HARDY (J.T.), SCHMIDT (A.L.) and APTS (C.N.), 1981.- Marine sediments and interstitial water : effects on bioavailability of cadmium to Gills of the Clam *Protothaca staminea*.- Bull. environn. Contam. Toxicol., 27 : 798-805.
- JACKIM (E.S.), MORRISSON (G.), and STEELE (R.), 1977.- Effects of environmental factors on radiocadmium uptake by four species of Marine bivalves.- Mar. Biol. 40 : 303-308.
- JOUANNEAU (J.M.), 1982.- Matières en suspension et oligo-éléments métalliques dans le système estuarien Gironde.- Comportement et flux.- Thèse de doctorat es sciences. Université de Bordeaux I.
- MOHLENBERG (F.) et JENSEN (A.), 1980.- The ecotoxicology of cadmium in fresh and seawater and water pollution with cadmium in Denmark.- The national agency of environmental protection, Denmark.
- NOEL-LAMBOT (F.), 1976.- Distribution of cadmium zinc and copper in the mussel *Mytilus edulis*.- Existence of cadmium binding proteins similar to metallothioneins experientia, 32 : 324-325.
- NOEL-LAMBOT (F.), BOUQUEGNEAU (J.M.), FRANKENNE (J.M.) et DISTECHE (A.), 1978.- Le rôle des métallothioneines dans le stockage des métaux lourds chez les animaux marins.- Rev. intern. oceanogr. med. XLIX : 13-20.
- OKAZAKI (K.) and PANIETZ (M.H.), 1981.- Depuration of twelve trace metals in tissues of the oysters *Crassostrea gigas* and *Crassostrea virginica*.- Mar. Biol. 63 : 113-120.
- PHILLIPS (D.J.H.), 1976.- The common mussel *Mytilus edulis* as an indicator of pollution by zinc, cadmium, lead and copper.- I effects of environmental variables on uptake of metals.- Mar. Biol., 38 : 54-69.
- PHILLIPS (D.J.H.), 1977.- The use of biological indicator organisms to monitor trace metal pollution in marine and estuarine environments. A review.- Environ. pollut., 13 : 281-317.
- POULSEN (E.), RIISGARD (H.U.) and MOHLENBERG (F.), 1982.- Accumulation of cadmium and bioenergetics in the mussel *Mytilus edulis*.- Mar. Biol., 68 : 25-29.

RNO.- Bulletin n° 17 et 20.- CNEXO-Ministère de l'Environnement.

THIBAUD (Y.), 1983.- In manuel des analyses chimiques en milieu marin,  
pp. 263-273.- CNEXO-BNDO.

WARD (T.J.), 1982.- Laboratory study of the accumulation and distribution  
of cadmium in the sidney rock oyster *Saccostrea commercialis*  
I. et R.)- Aust. J. Mar. Freshwater Res., 33 : 33-34.

WRIGHT (D.A.), 1978.- Heavy metal accumulation by aquatic invertebrates.-  
Appl. biol. 3 : 311-394.

ZAROGIAN (G.E.), CHEER (S.), 1976.- Accumulation of cadmium by the  
american oyster *Crassostrea virginica*.- Nature, 261 (5559) : 408-  
410.

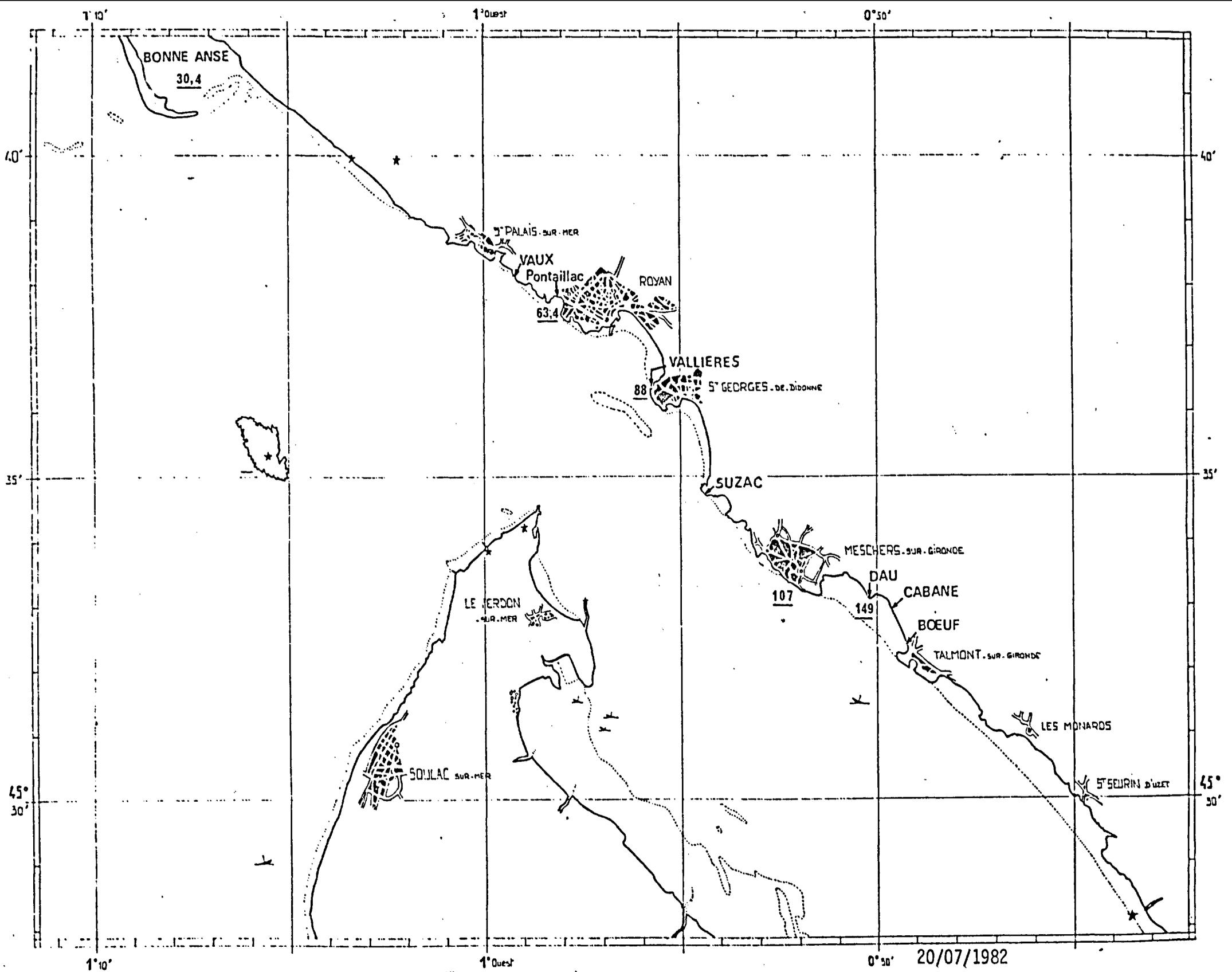


Fig. 1.- Répartition des teneurs en cadmium des huîtres de Gironde en été (26/06) (microgrammes/gramme de matière sèche)

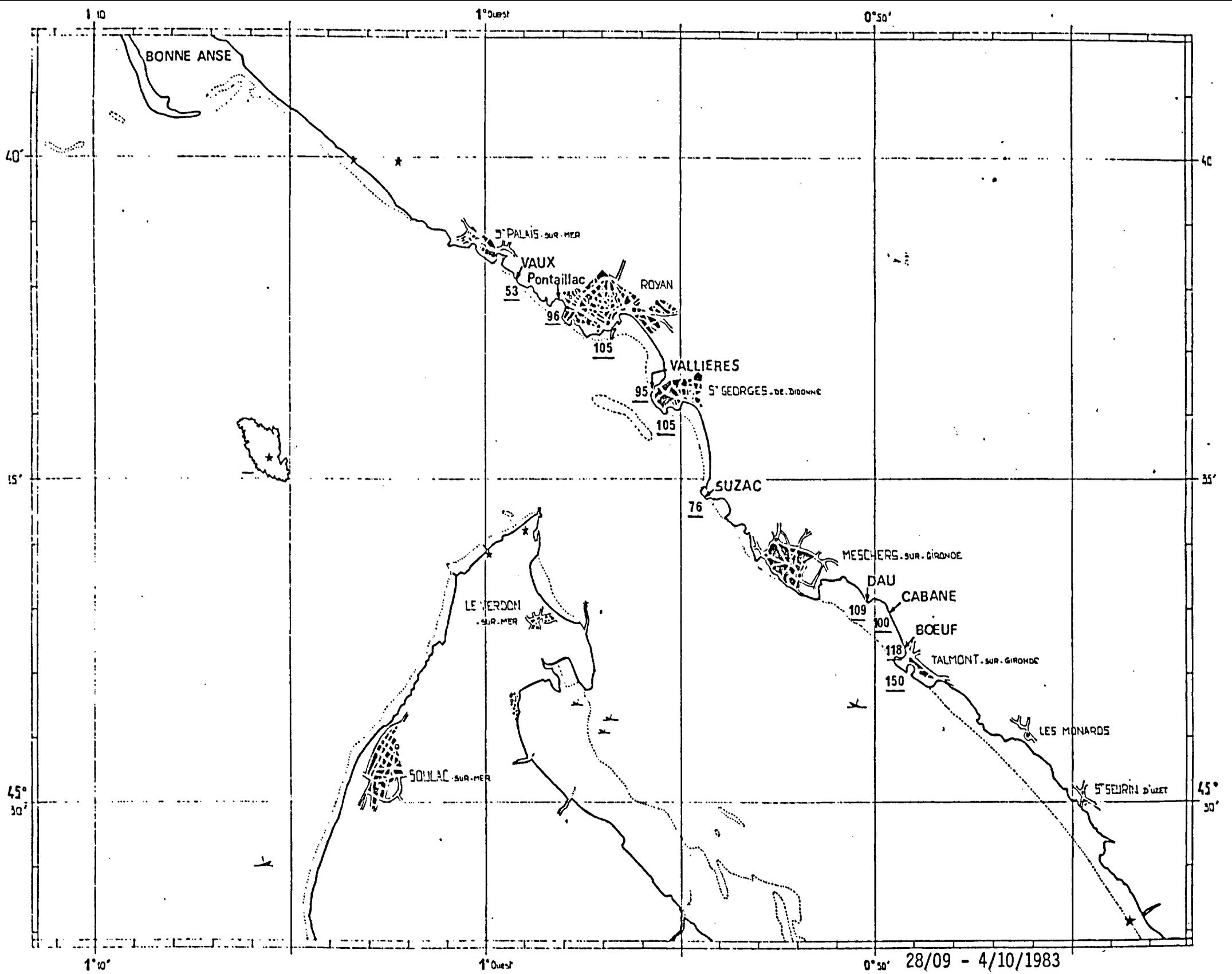


Fig. 2.- Répartition géographique des teneurs en cadmium des huîtres de Gironde (automne).  
(microgrammes/gramme de matière sèche)

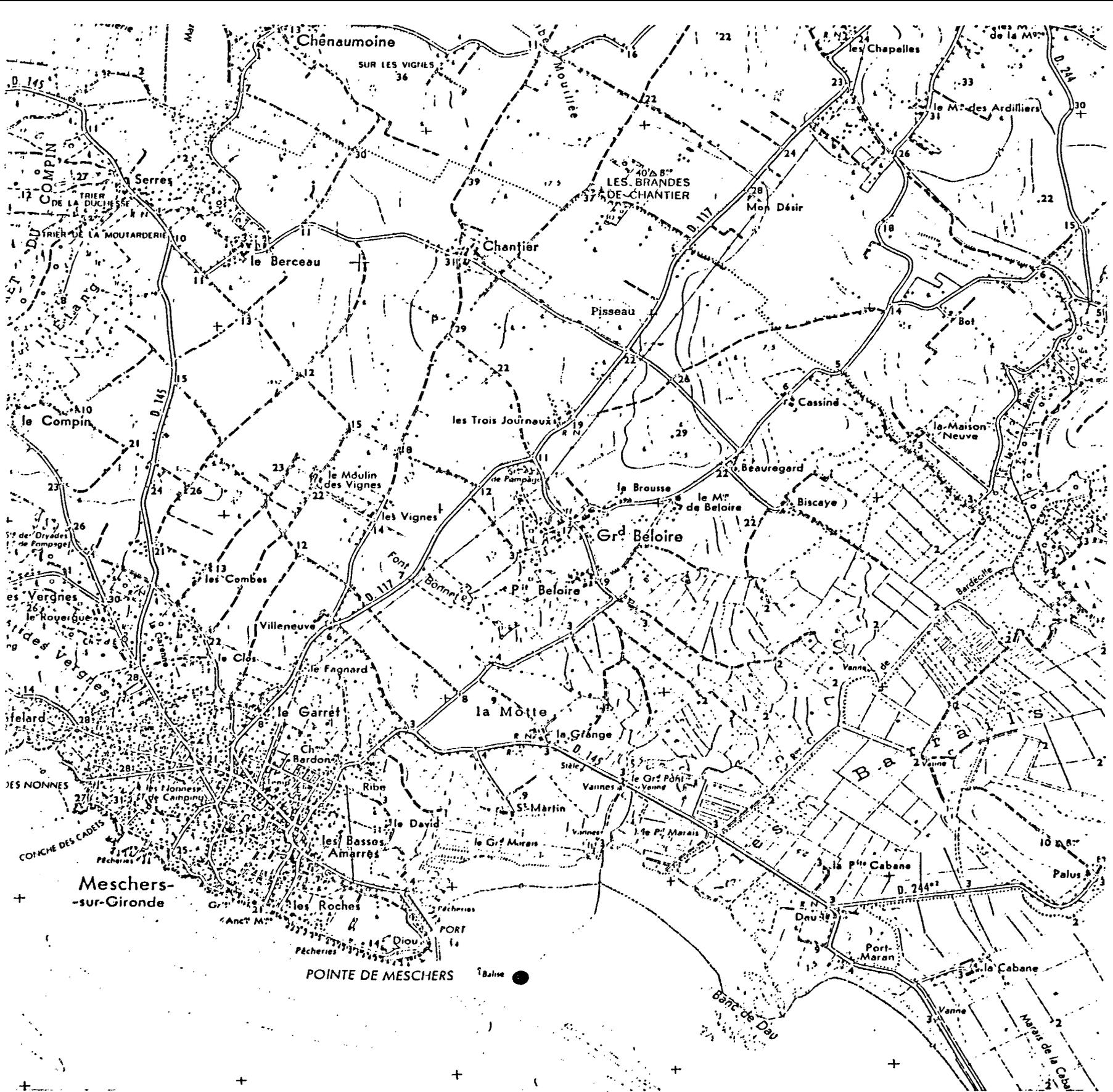


Fig. 3.- Implantation des huîtres destinées à l'étude de la cinétique de contamination sur la rive droite.



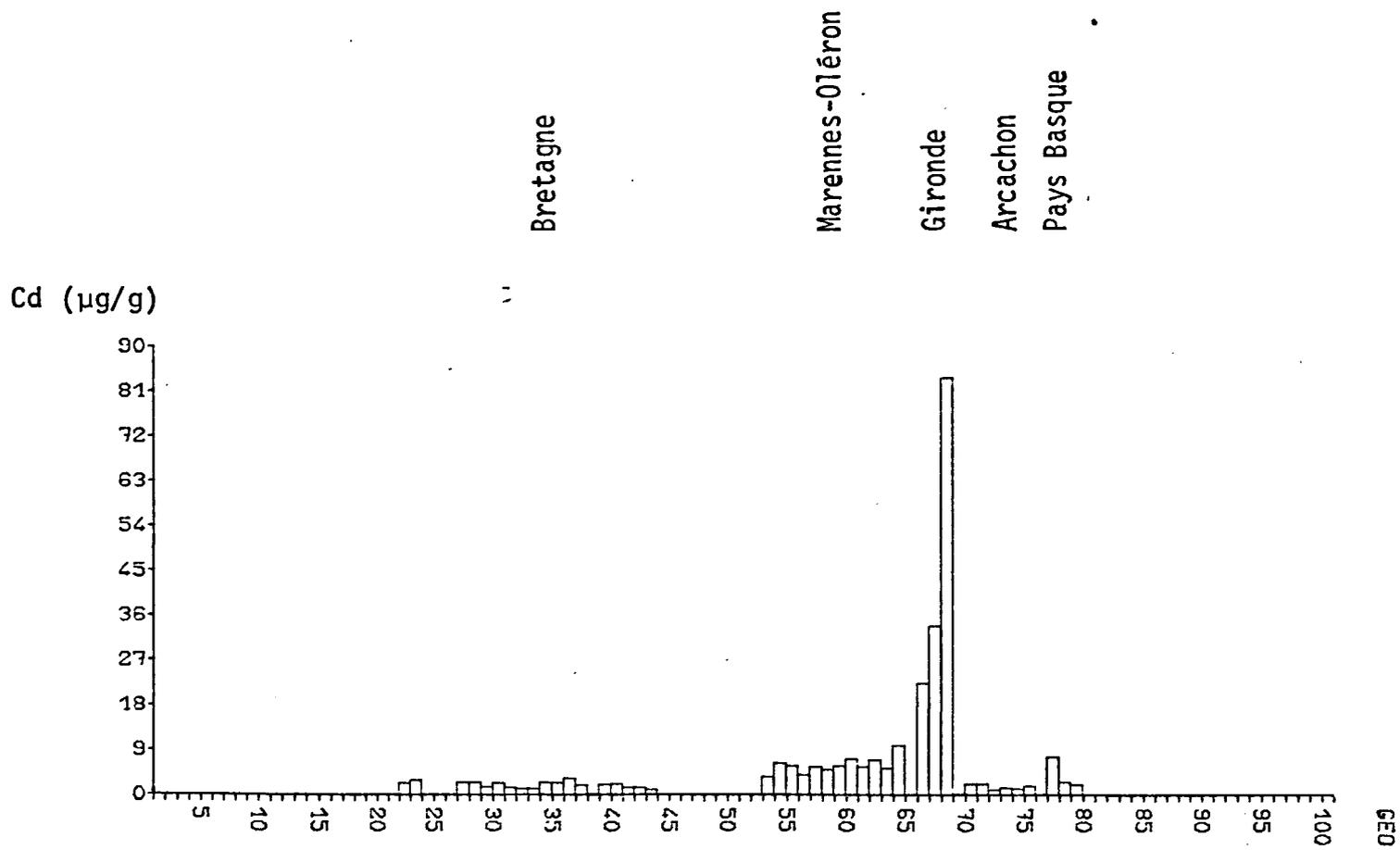
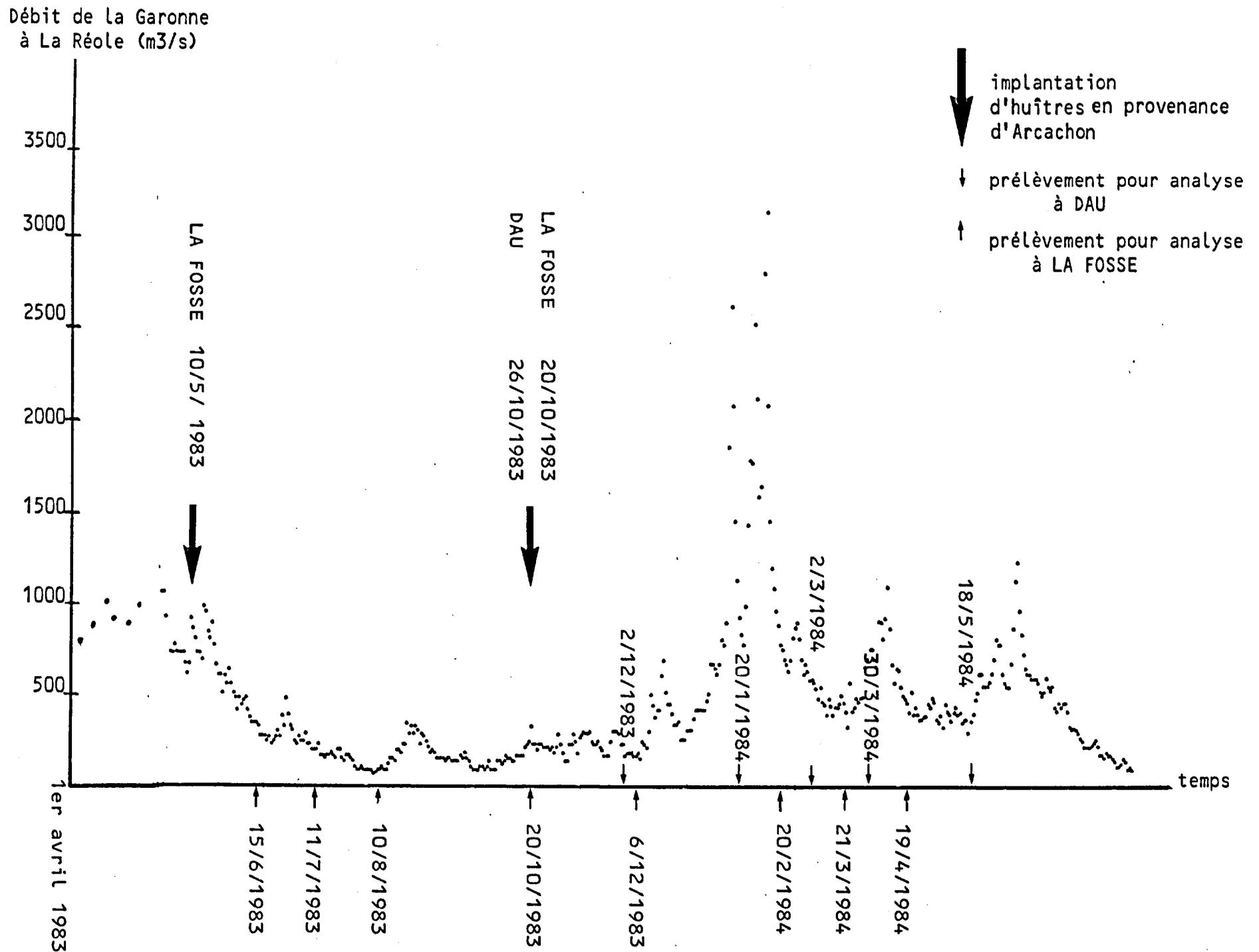


Fig. 5.- Concentration en cadmium des huîtres du littoral français (1979) en microgramme par gramme de matière sèche (BOUTIER, 1981).

Fig. 6.- Chronologie de l'expérience de contamination d'huîtres en provenance d'Arcachon.



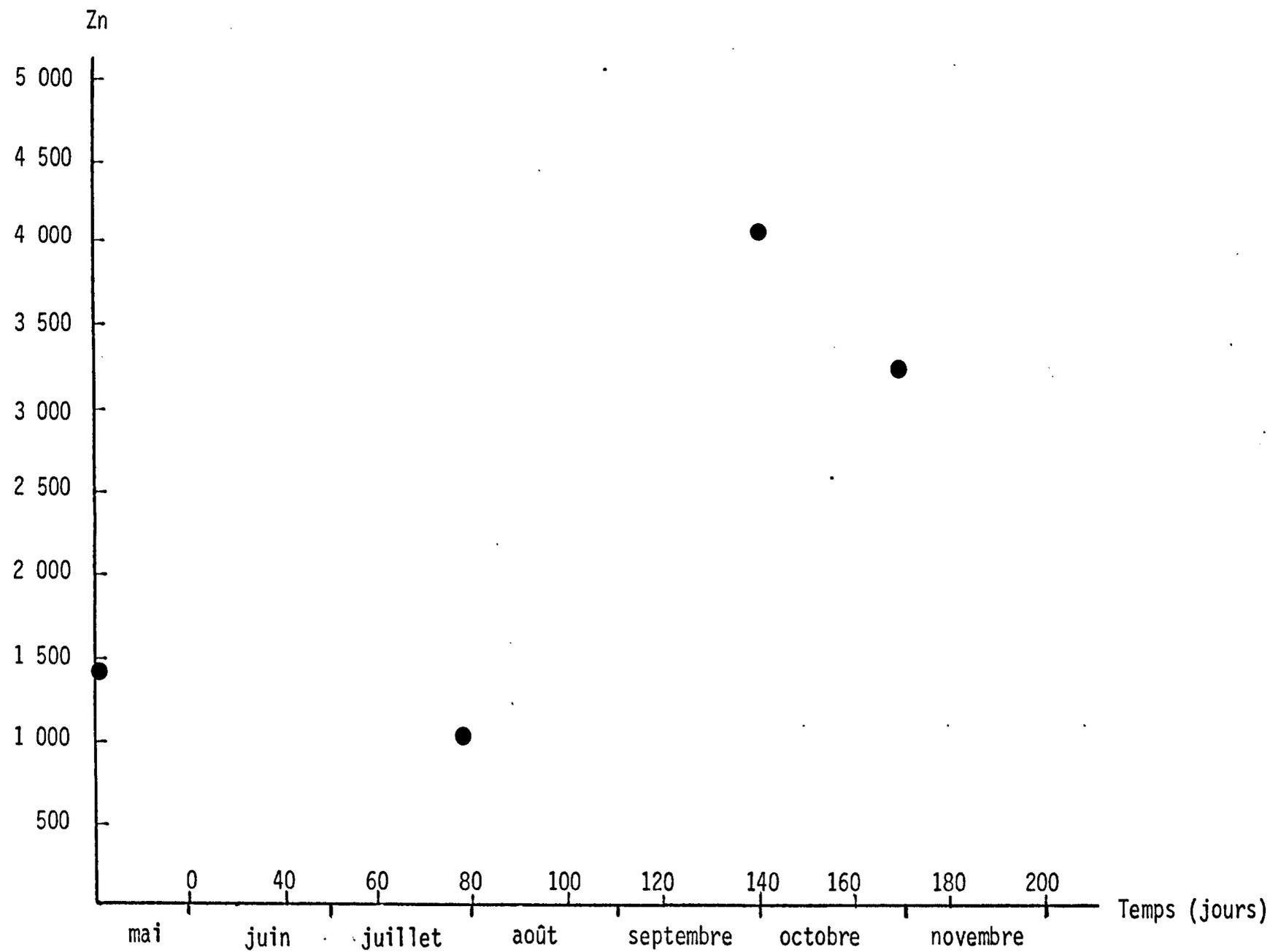


Fig. 7.- Evolution des teneurs en Zn dans les huîtres implantées à Dau le 10/05/83(en microgrammes par gramme de matière sèche.)

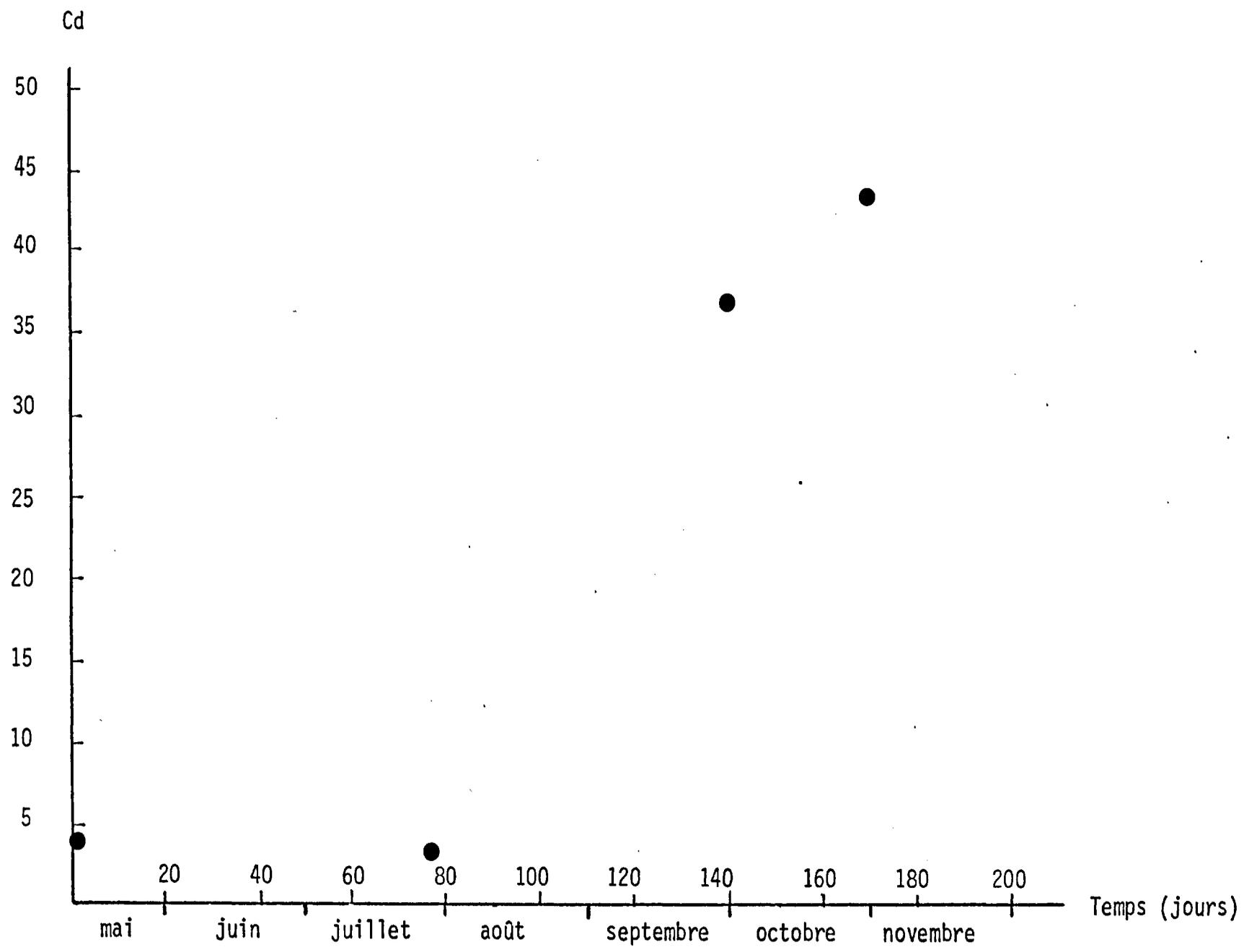


Fig. 8.- Evolution des teneurs en cadmium des huîtres implantées à Dau le 10/05/1983 (en microgrammes par gramme de matière sèche).

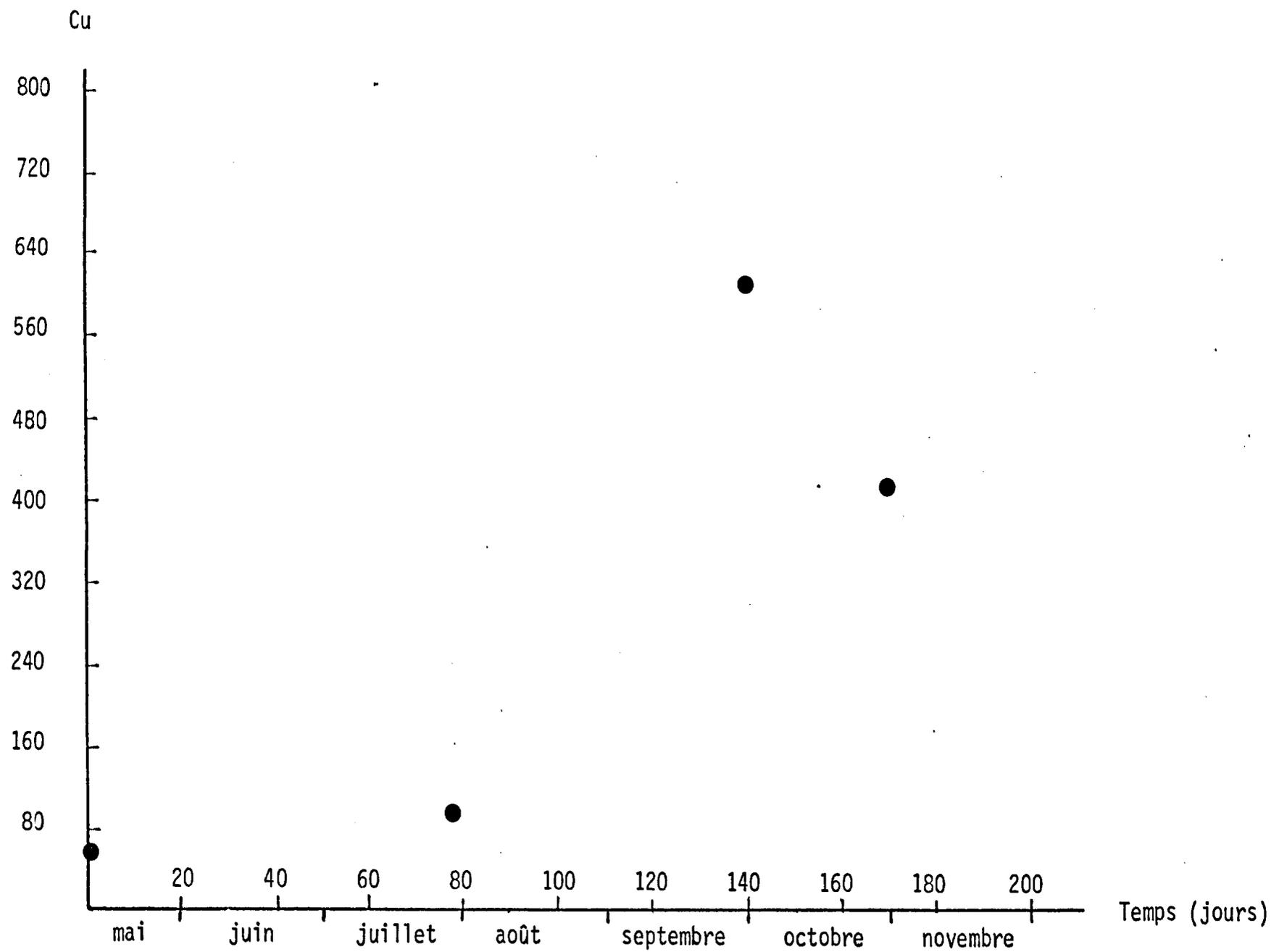


Fig. 9.- Evolution des teneurs en Cu des huîtres implantées à Dau le 10/05/1983 (en microgrammes par gramme de matière sèche).

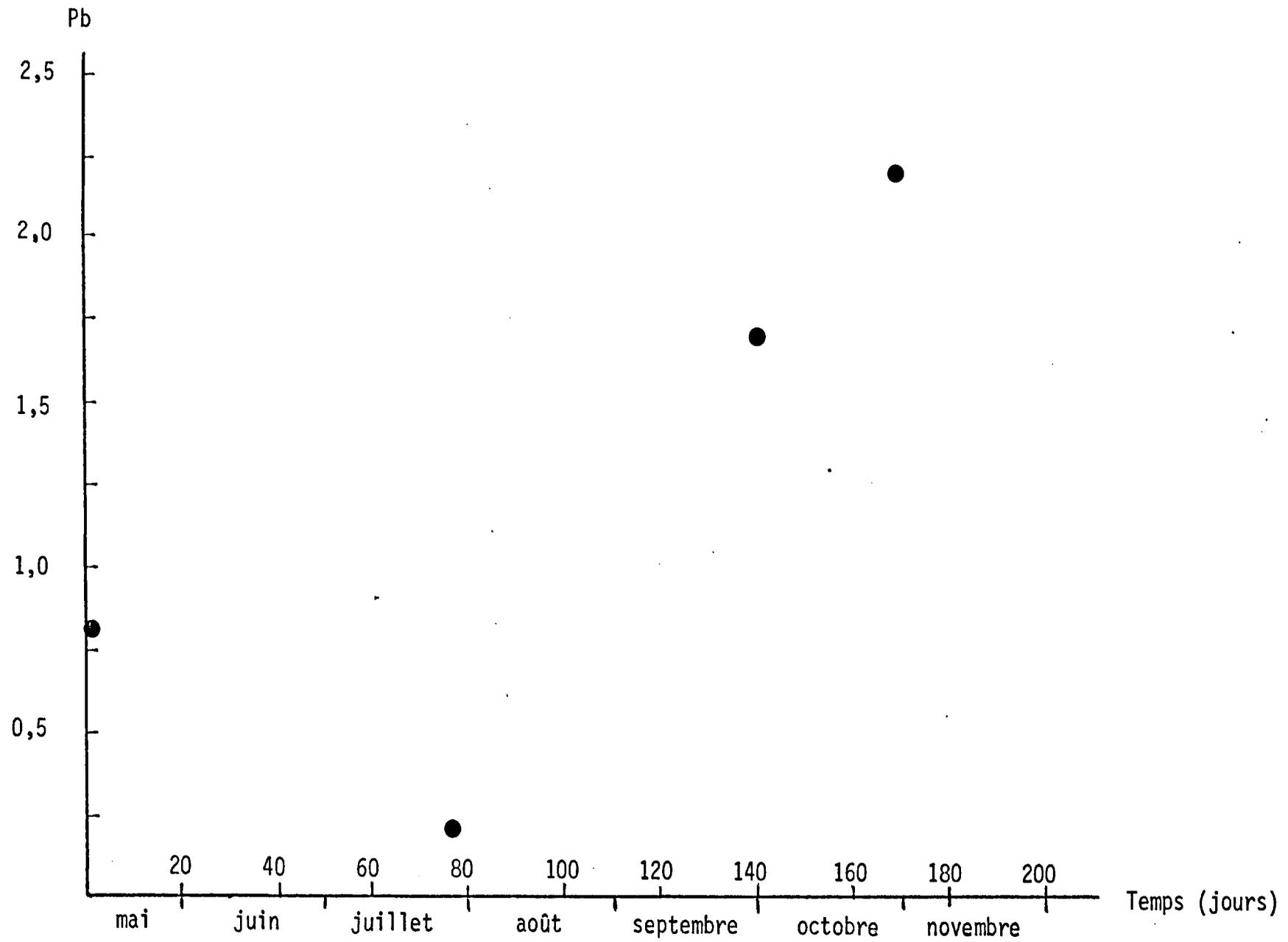


Fig. 10.- Evolution des teneurs en Pb des huîtres implantées à Dau le 10/05/1983 (en microgrammes par gramme de matière sèche).

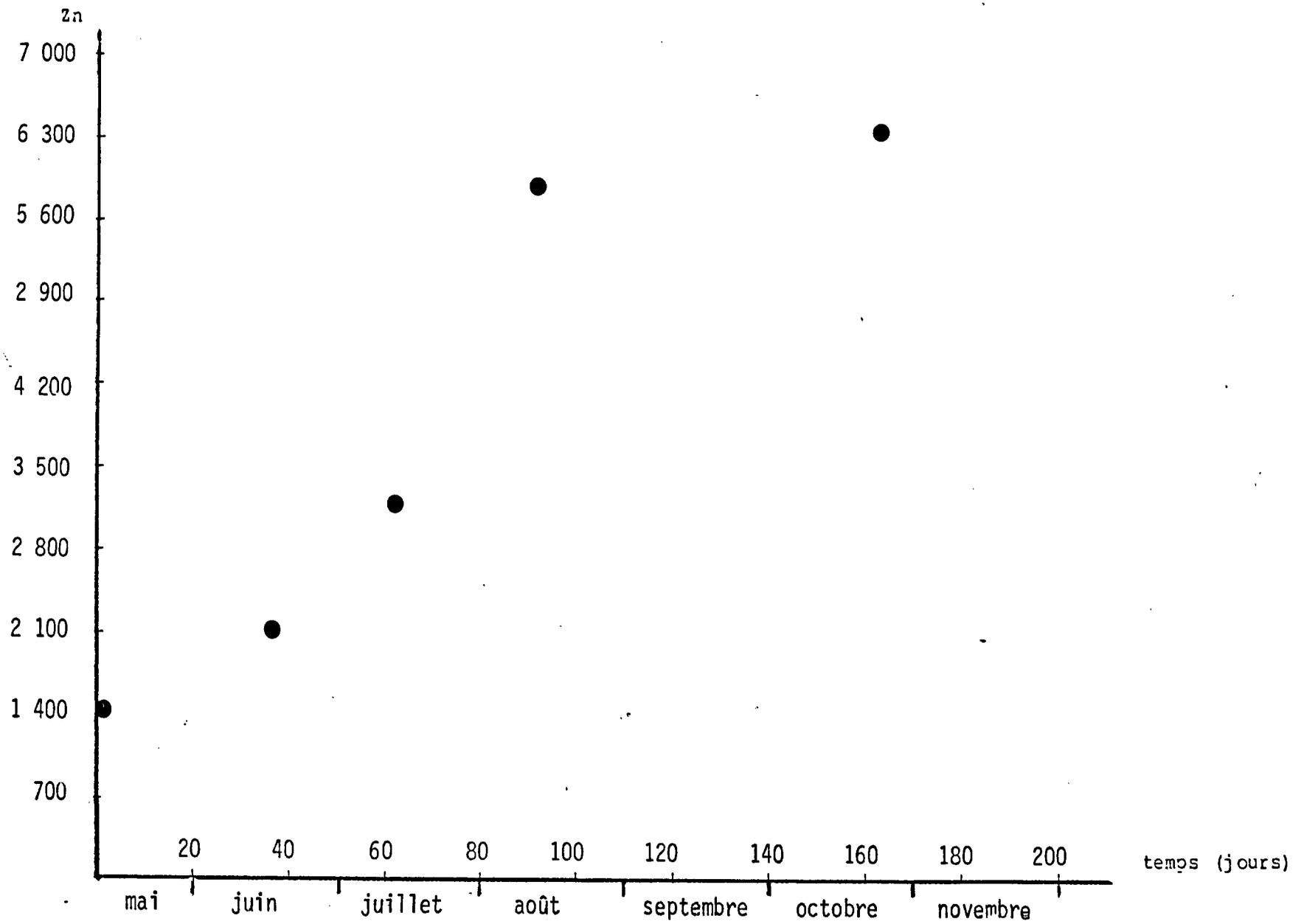


Fig. 11.- Evolution des teneurs en zinc des huîtres implantées à La Fosse le 10/05/1983.  
(en microgrammes par gramme de matière sèche).

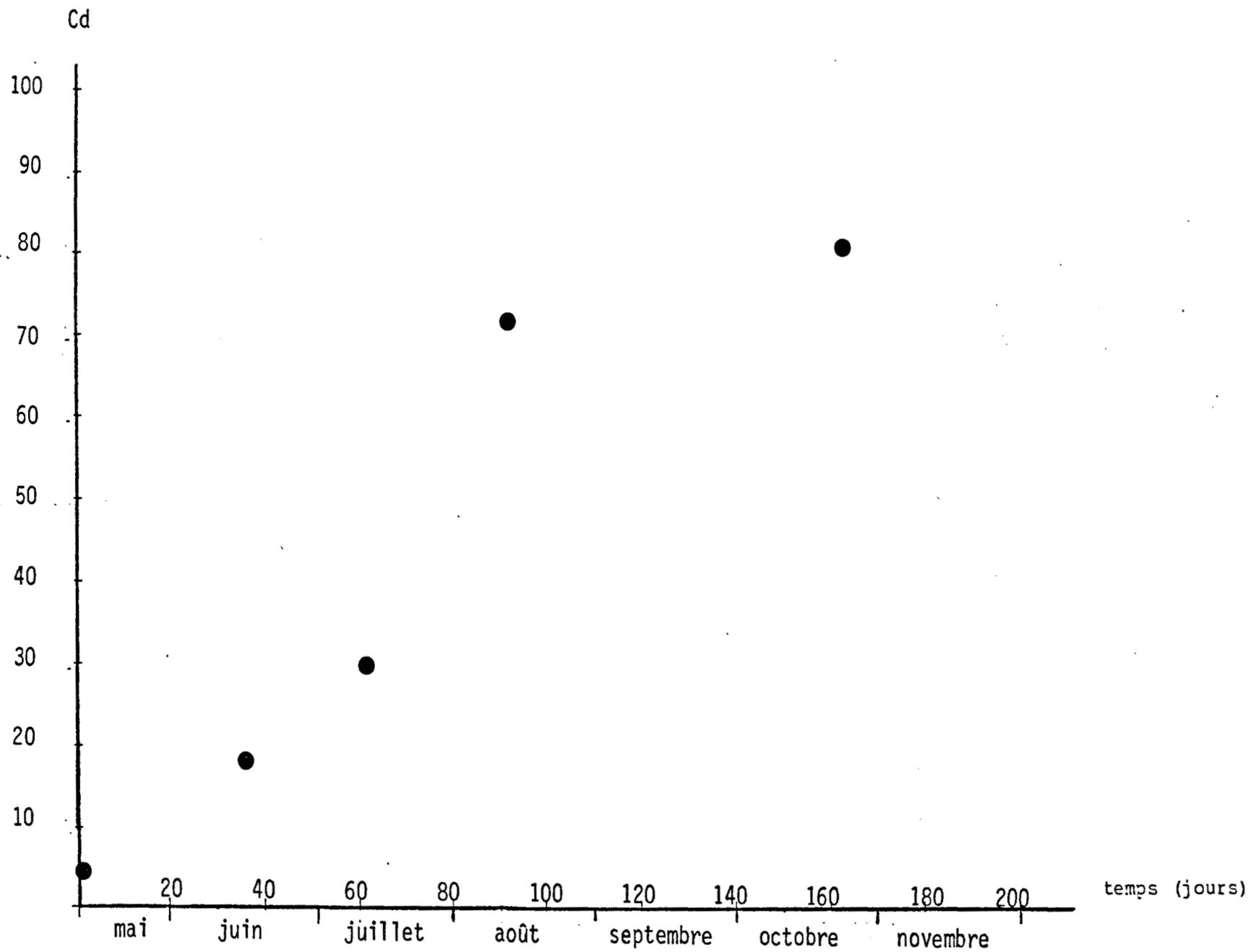


Fig. 12.- Evolution des teneurs en cadmium des huîtres implantées à la Fosse le 10/05/1983 (en microgrammes par gramme de matière sèche).

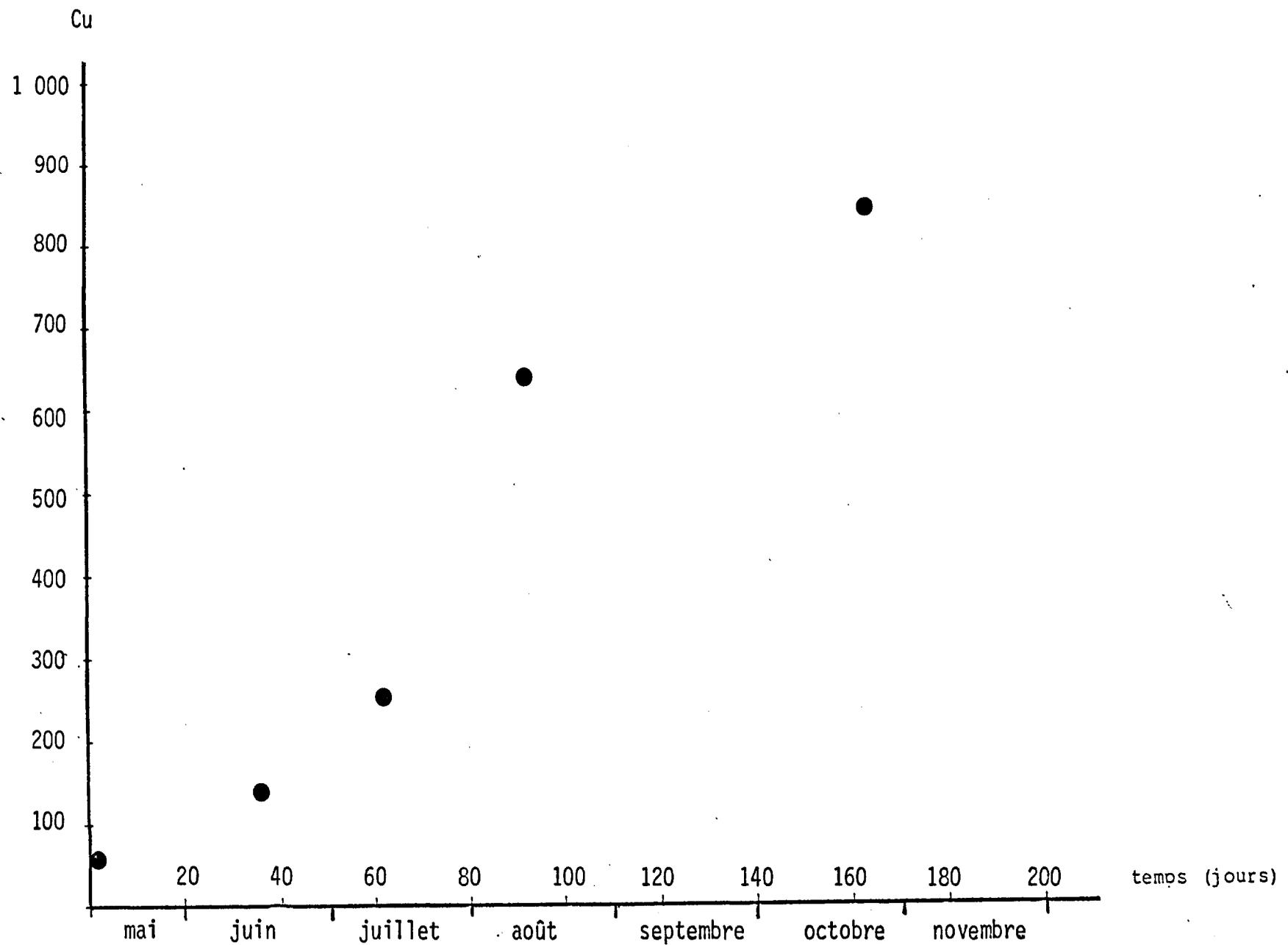


Fig. 13.- Evolution des teneurs en Cu des huîtres implantées à la Fosse le 10/05/1983 (en microgrammes par gramme de matière sèche).

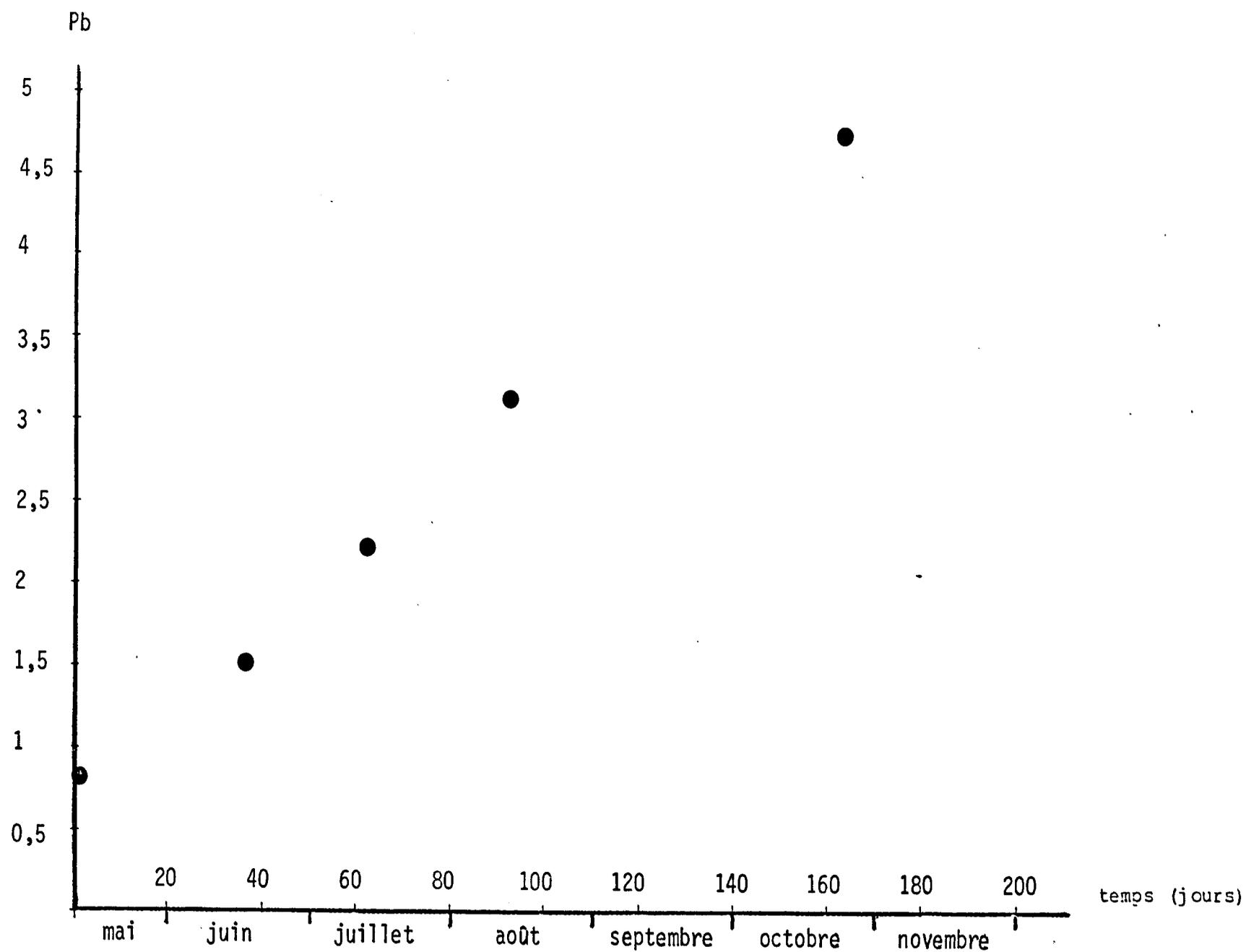


Fig. 14.- Evolution des teneurs en plomb des huîtres implantées à la Fosse le 10/05/1983 (en microgrammes par gramme de matière sèche).

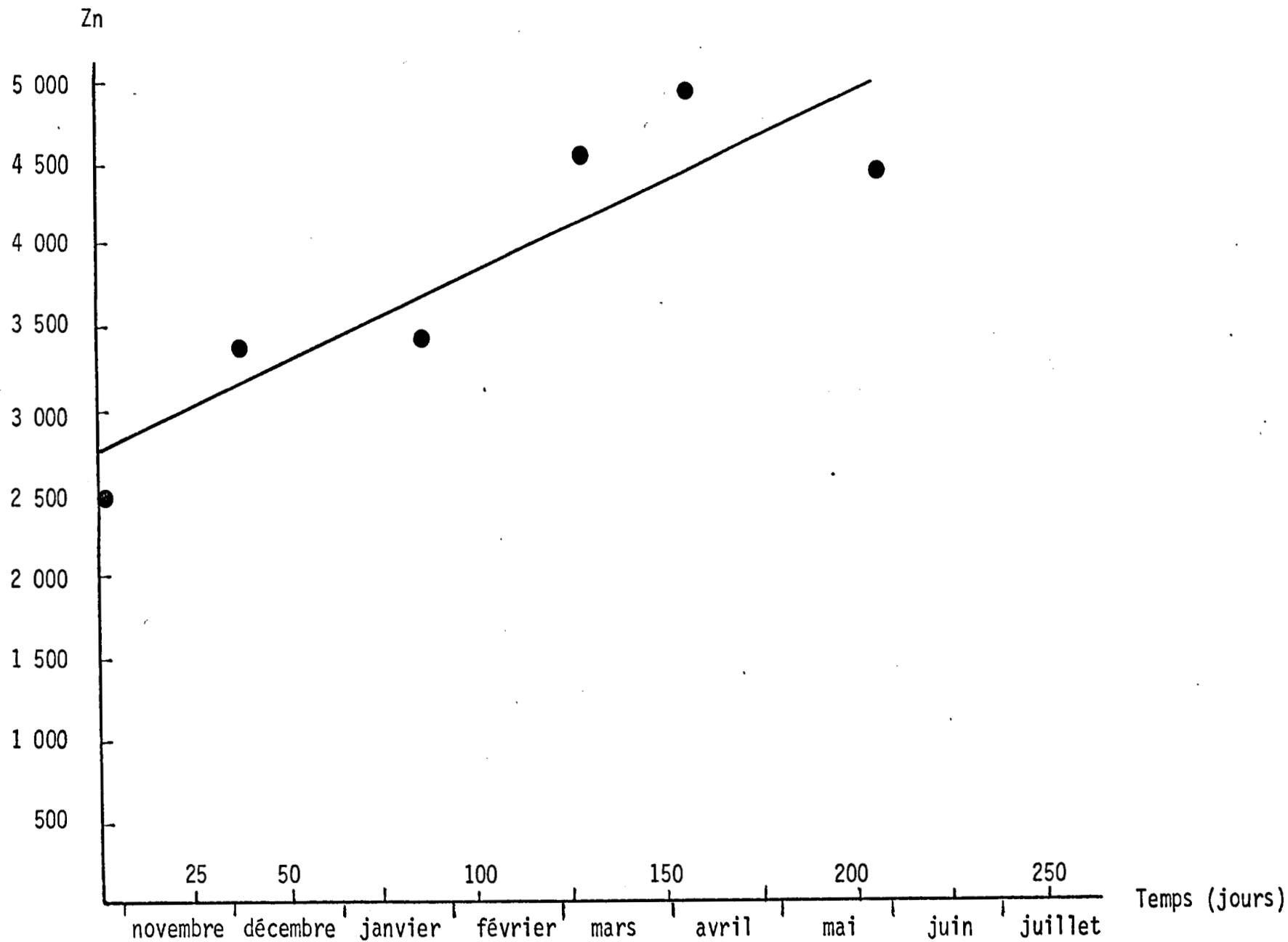


Fig. 15.- Evolution des teneurs en Zn des huîtres implantées à Dau le 26/10/1983.  
(en microgrammes par gramme de matière sèche).

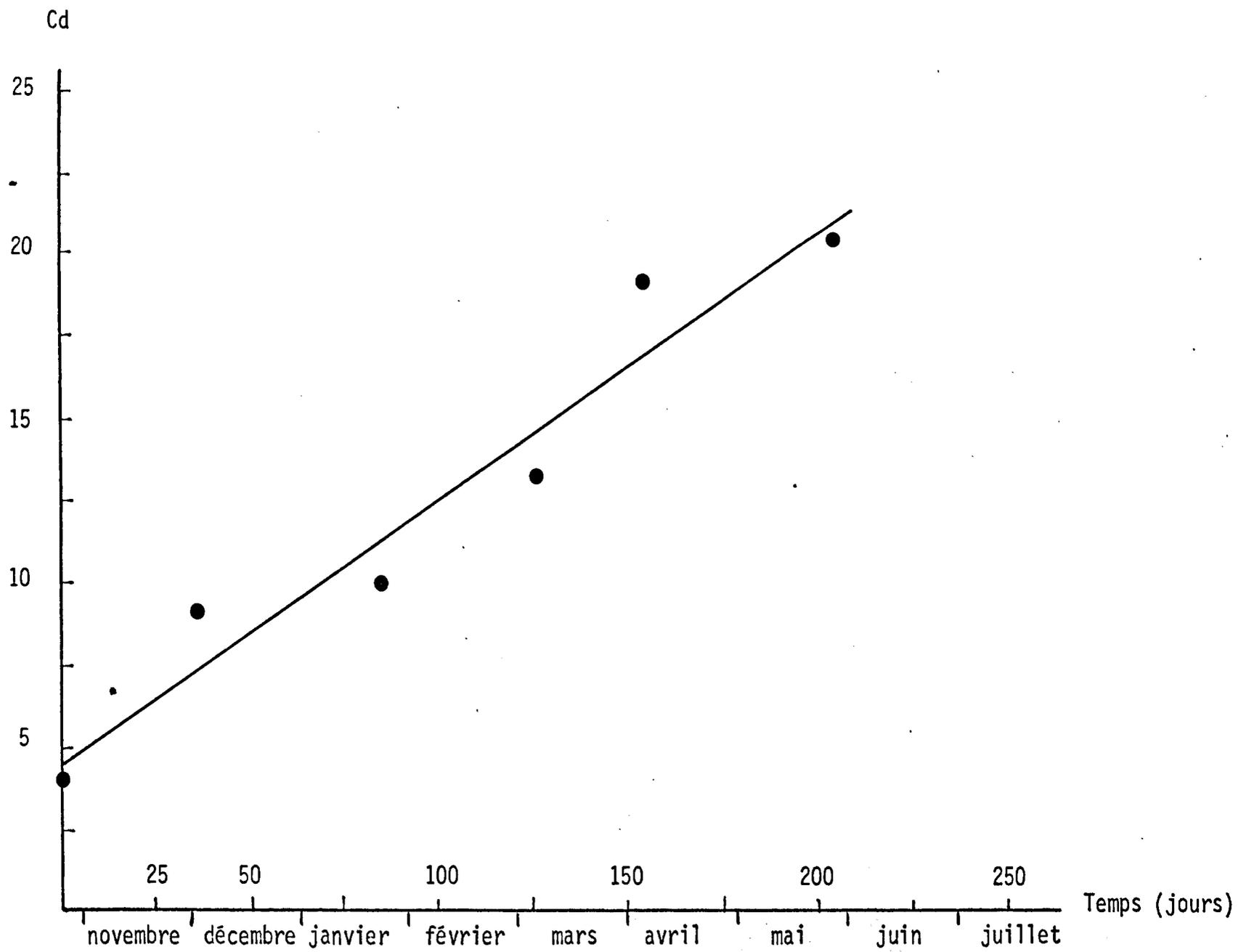


Fig. 16.- Evolution des teneurs en Cd des huîtres implantées à Dau le 26/10/1983 (en microgrammes par gramme de matière sèche).

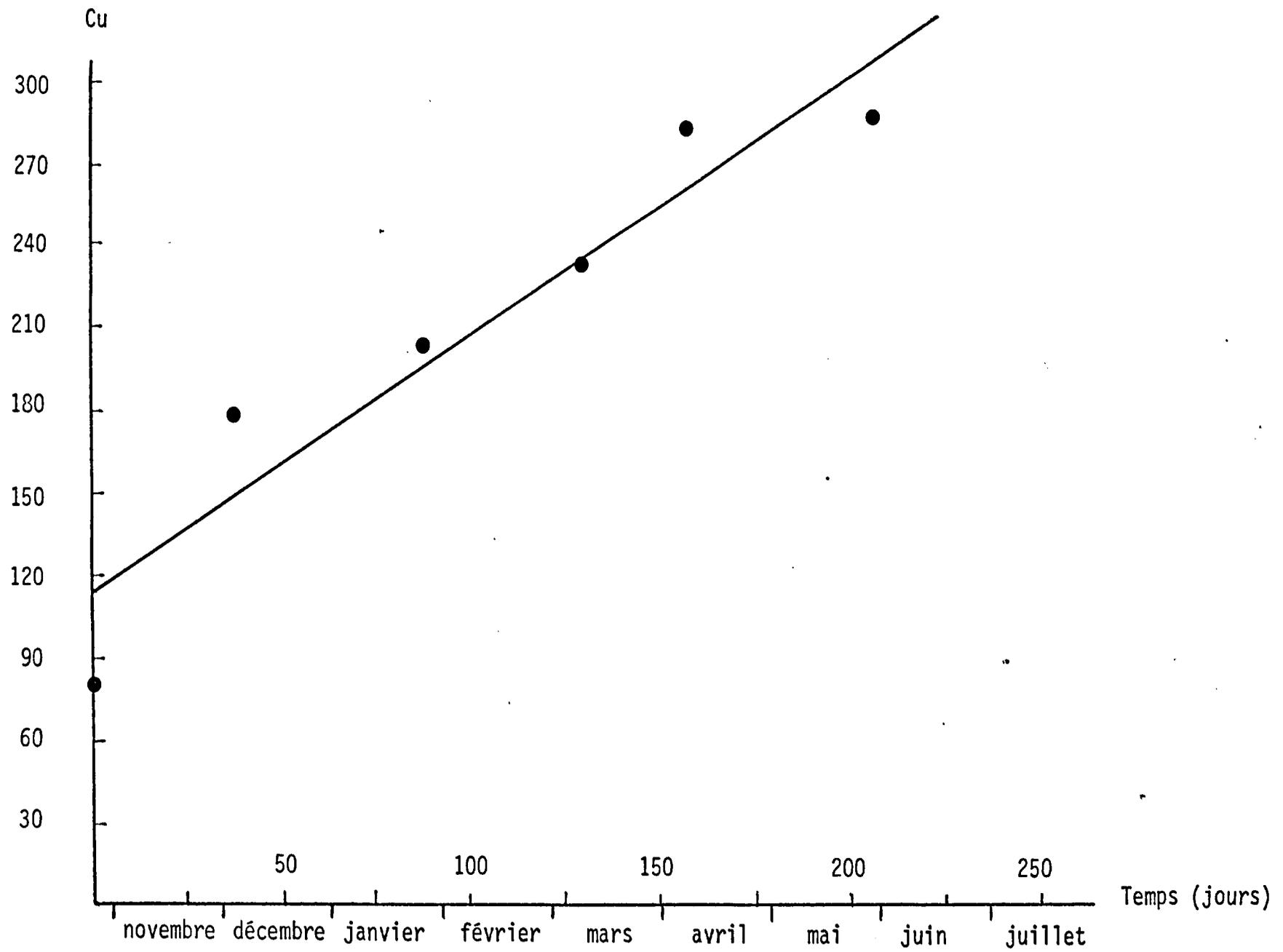


Fig. 17.- Evolution des teneurs en Cu des boîtes implantées à Dau le 26/10/1983  
(en microgrammes par gramme de matière sèche).

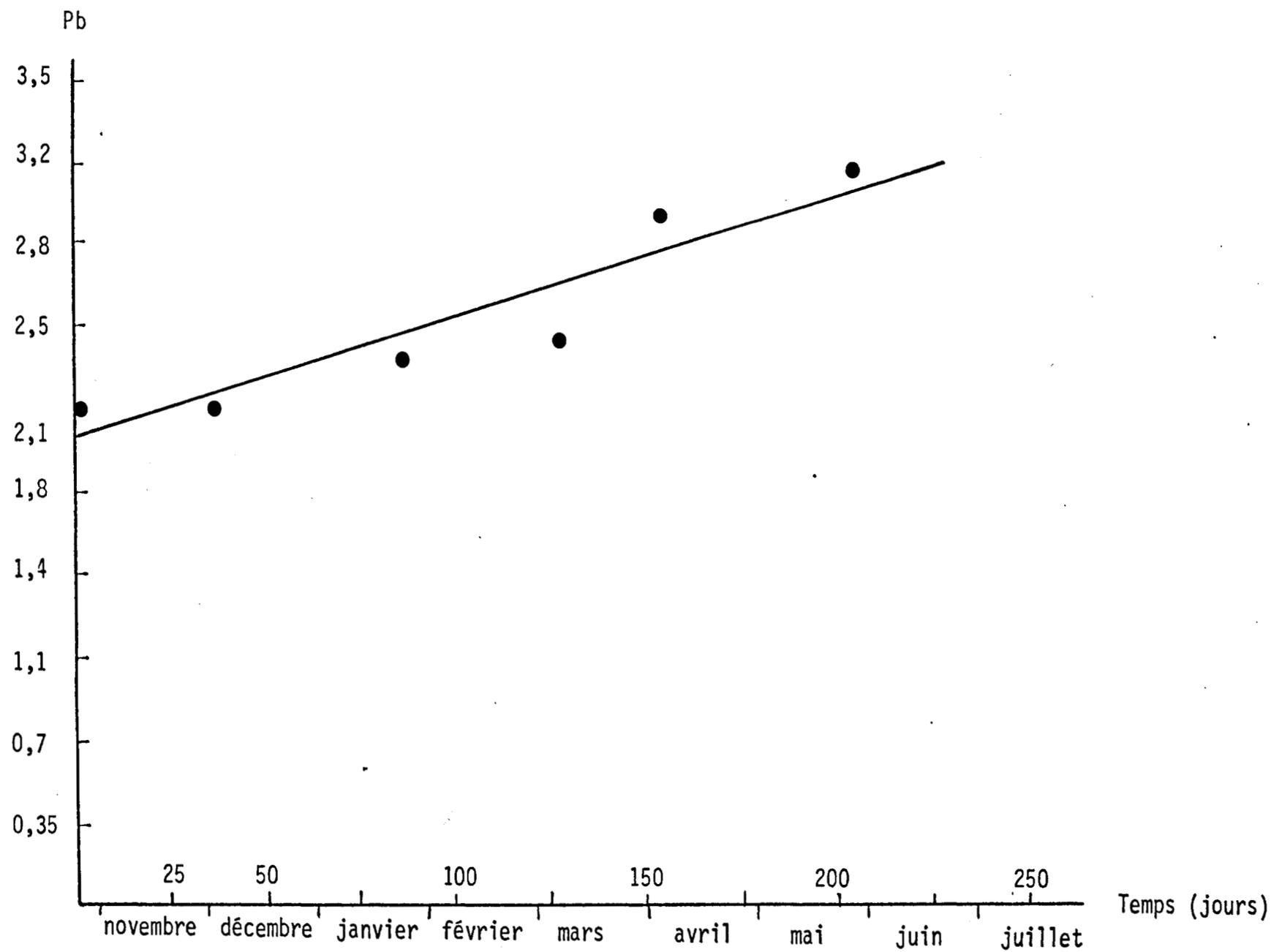


Fig. 18.- Evolution des teneurs en Pb des huîtres implantées à Dau le 26/10/1983 (en microgrammes par gramme de matière sèche).

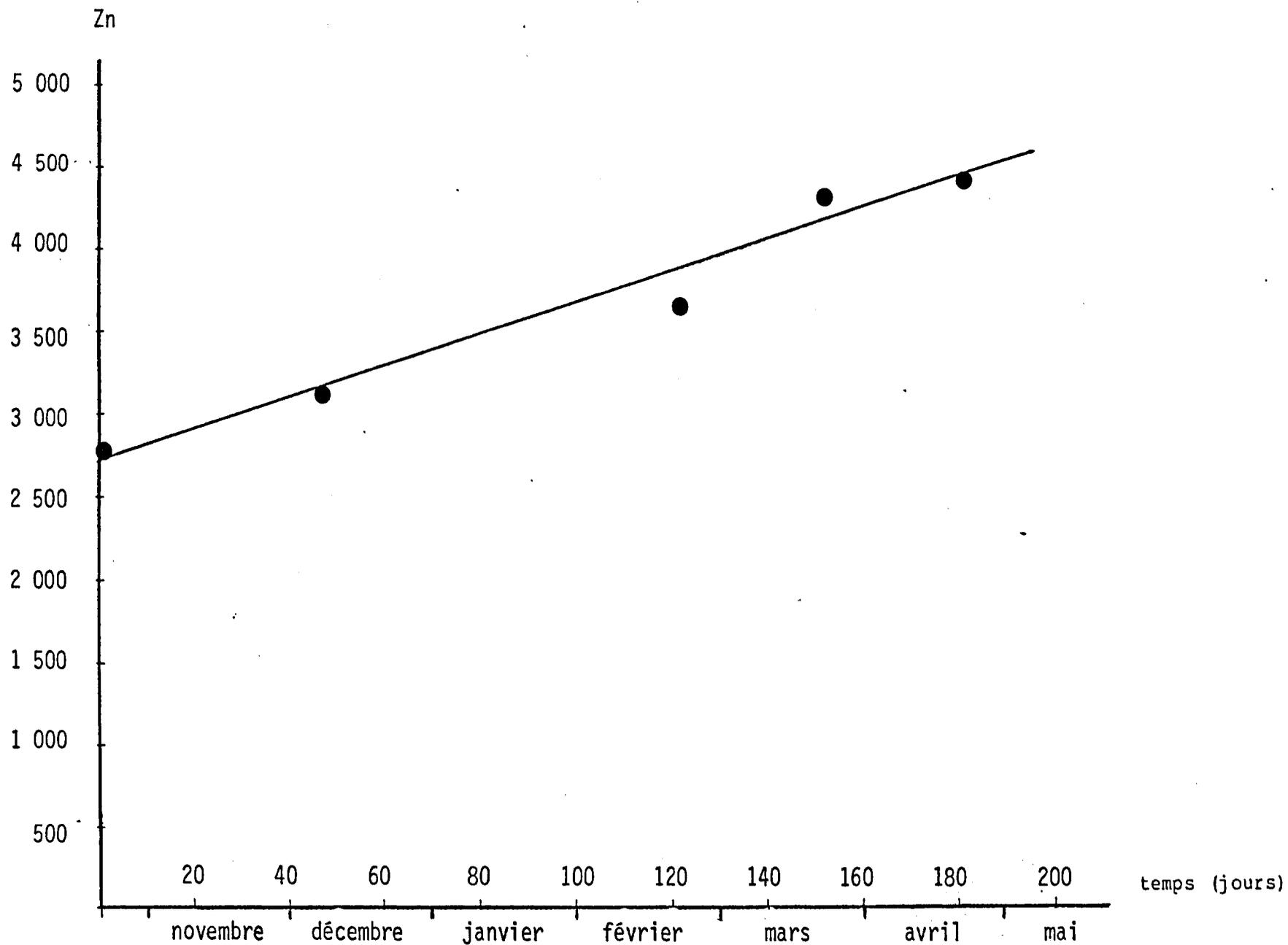


Fig. 19.- Evolution des teneurs en Zn des huîtres implantées à la Fosse le 20/10/1983 (en microgrammes par gramme de matière sèche).

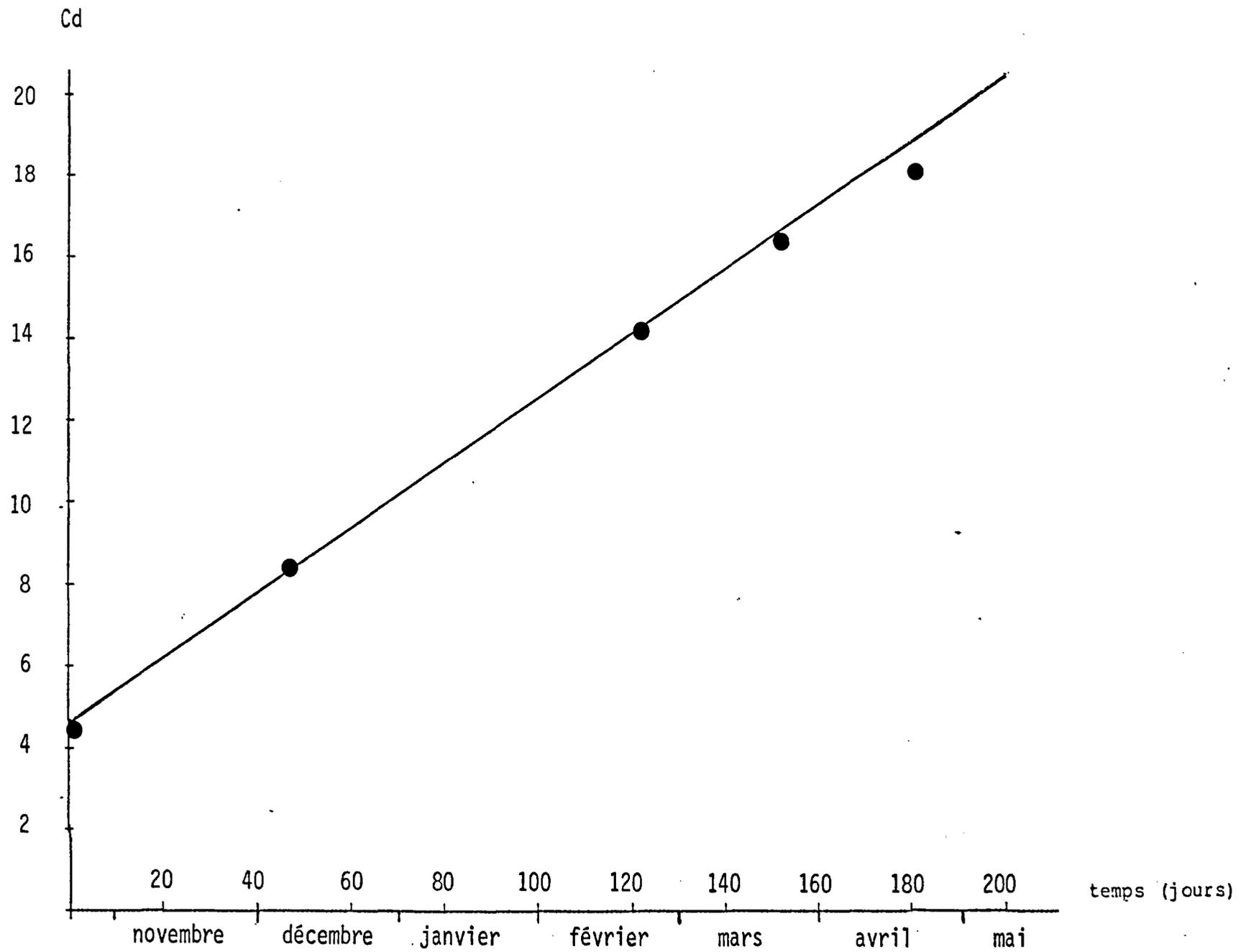


Fig. 20.- Evolution des teneurs en Cd des huîtres implantées à la Fosse le 10/10/1983 (en microgrammes par gramme de matière sèche).

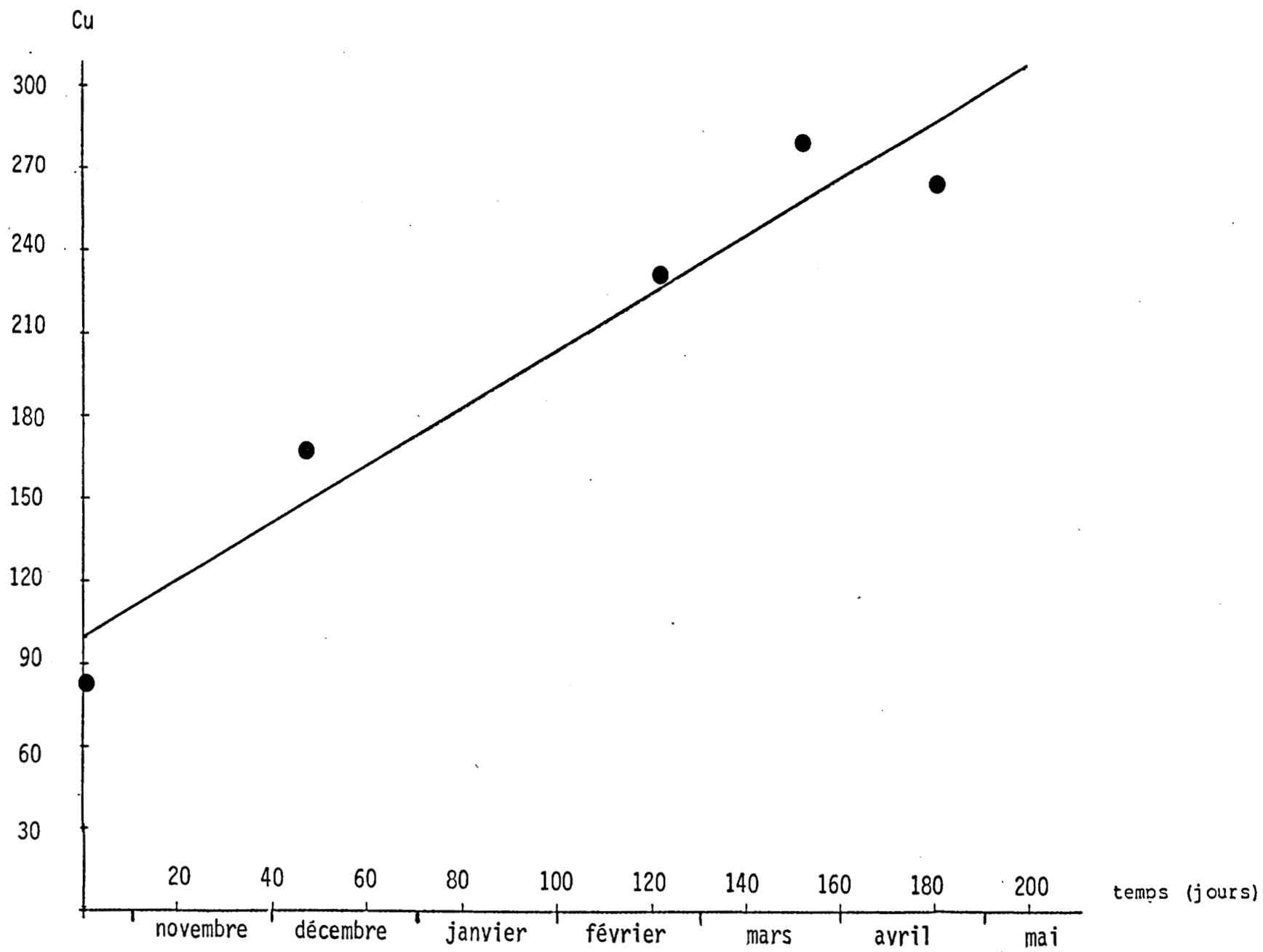


Fig. 21.- Evolution des teneurs en Cu des huîtres implantées à la Fosse le 20/10/1983 (microgramme par gramme de matière sèche).

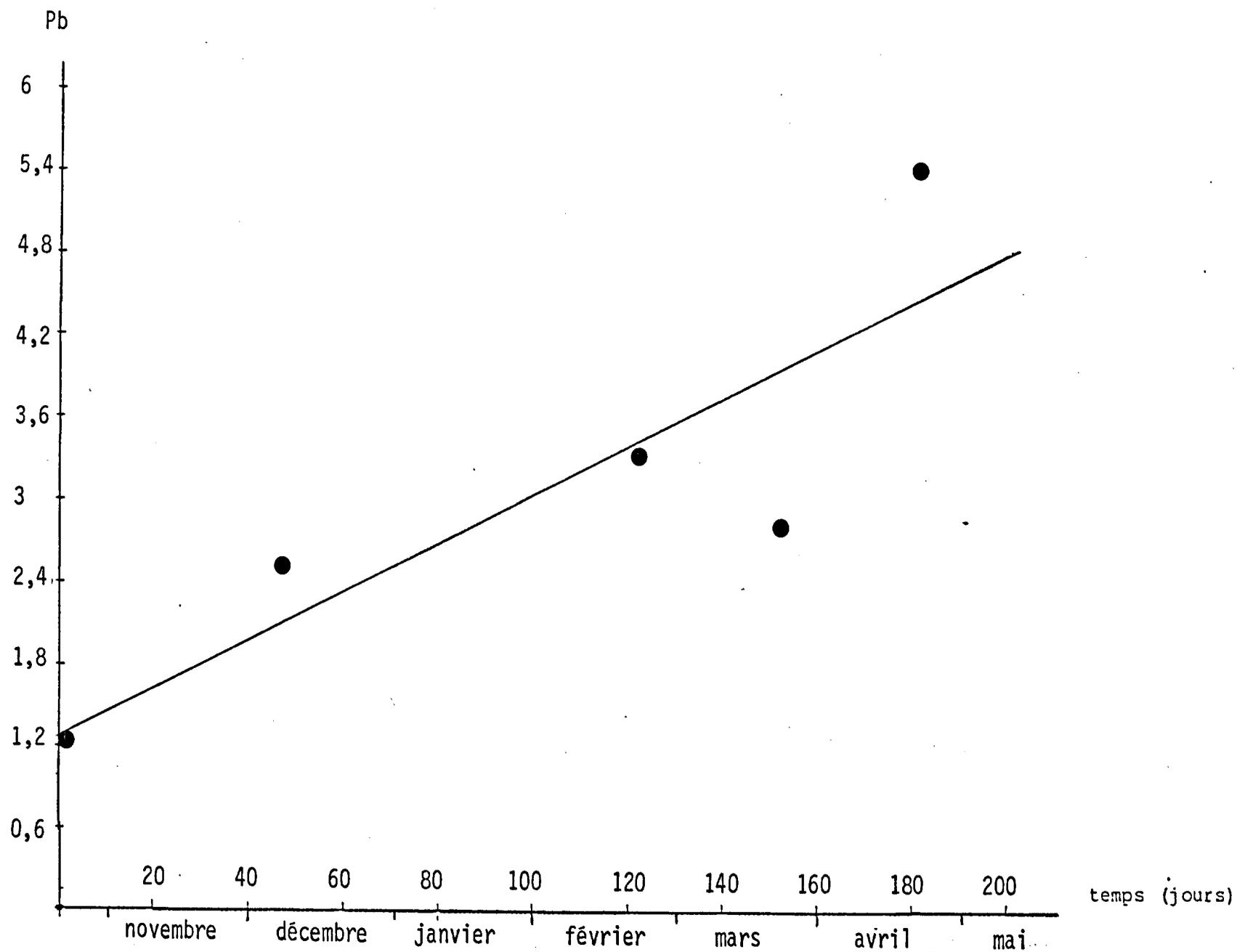


Fig. 22.- Evolution des teneurs en Pb des huîtres implantées à la Fosse le 20/10/1983 (microgrammes par gramme de matière sèche).