

H950h201-MOD-M

G952  
RAI  
M

ISN 4  
G952  
C 259

nternes de la Direction des Ressources Vivantes de l'IFREMER

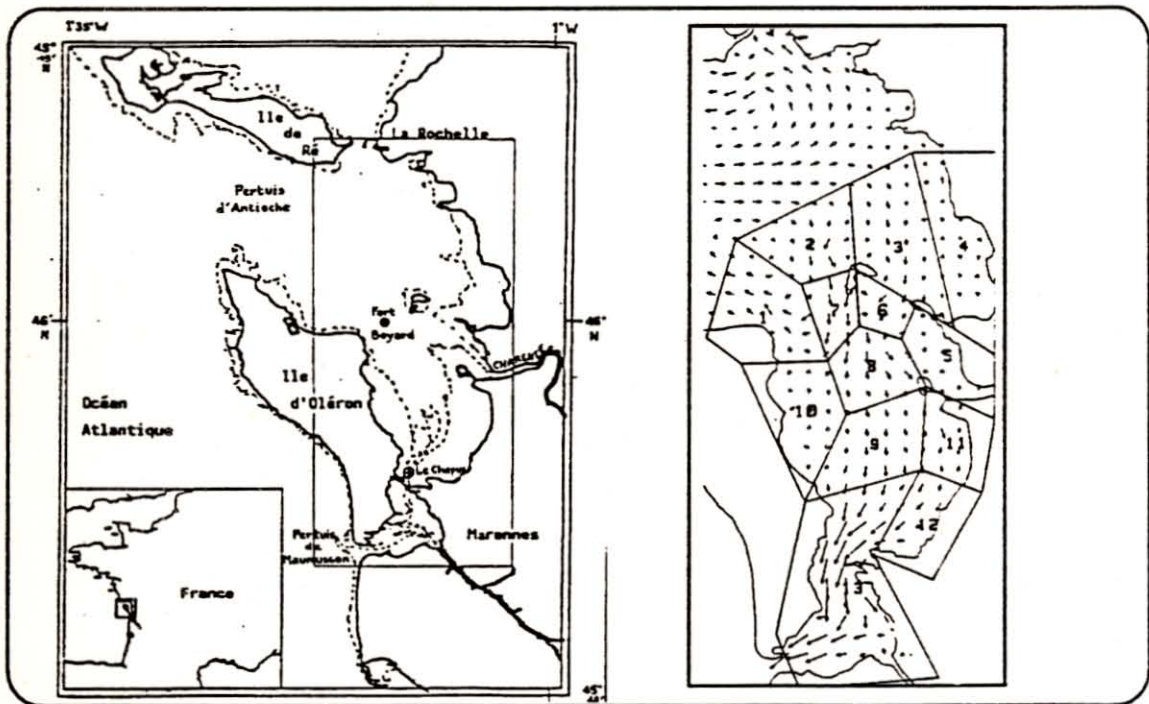
IFREMER  
BIBLIOTHEQUE  
LA TREMBLADE

# MODELISATION DE L'ECOSYSTEME DU BASSIN DE MARENNES-OLERON

## (RAPPORT 1992)

O. RAILLARD, P. SOLECHNIK, M. HERAL, J. PROU,  
S. BOUGRIER, D. RAZET, P. GEAIRON, L. BARILLE,  
L. GUEZENNEC.

IFREMER  
B.P. 128  
LA TREMBLADE  
17130  
FRANCE



53249  
H950Réal.  
MOD. M



IFREMER Bibliothèque de la Tremblade



OLR 03245

RIDRV-92-012 RA/LA TREMBLADE

Adresse : IFREMER  
 UREA  
 Mus de Loup  
 17390 LA TREMBLADE  
 Tél. : 46.36.18.41

DIRECTION DES RESSOURCES VIVANTES

DEPARTEMENT RESSOURCES AQUACOLES

STATION/LABORATOIRE LA TREMBLADE

AUTEURS (S) : O. RAILLARD, P. SOLETCHNIK, M. HERAL, J. PROU, S. BOUGRIER, D. RAZET, P. GEAIRON, L. BARILLE, L. GUEZENNEC.		CODE : RIDRV-92-02 RA/LA TREMBLADE
TITRE :  MODELISATION DE L'ECOSYSTEME DU BASSIN DE MARENNES-OLERON.		Date : Tirage en nombre :  Nb pages : 261 Nb figures : Nb photos :
CONTRAT (intitulé)  N° _____	DIFFUSION libre <input type="checkbox"/> restreinte <input type="checkbox"/> confidentielle <input type="checkbox"/>	

### RESUME

Les expérimentations en continu sur le site du Chapus au centre du bassin de Marennes-Oléron pendant le mois de mai 1991 et d'octobre 1991 ont permis de préciser la filtration des huîtres en fonction de la variabilité de la charge particulaire (chapitres 1 - 2 - 3). Ces nouveaux résultats permettent d'affiner les modèles de croissance des huîtres. Un nouveau modèle de croissance phytoplanctonique permet de démontrer la sensibilité du bassin de Marennes-Oléron aux apports de nitrates provenant de la Charente, et leur impact sur la croissance des huîtres (chapitre 4).

L'étude des caractéristiques mécaniques des vases et des biodépôts (chapitres 5 - 6) ainsi que l'étude de l'agitation (houle et clapots, chapitre 7) permet de modifier et de préciser les formulations d'un nouveau modèle de transport particulaire représentant la sédimentation et la remise en suspension des sédiments vaseux du bassin de Marennes-Oléron (chapitre 8).

Mots-clés : Séries en continu, filtration, *Crassostrea gigas*, modèle phytoplanctonique, sédiment, modèle de transport particulaire.

## SOMMAIRE

	Pages
<b>CHAPITRE I :</b>	<b>1</b>
ECOPHYSIOLOGIE <i>IN SITU</i> DE L'HUITRE <i>CRASSOSTREA GIGAS</i> DANS UN MILIEU MACROTIDAL (BASSIN DE MARENNES-OLERON - CHAPUS 1991).	
<b>CHAPITRE II :</b>	<b>36</b>
INFLUENCE DE LA CHARGE PARTICULAIRE SUR LA FILTRATION D'UNE POPULATION D'HUITRE <i>CRASSOSTREA GIGAS</i> DANS LE BASSIN ESTUARIEN DE MARENNES-OLERON (FRANCE) : ANALYSE DE DEUX CYCLES DE MAREE.	
<b>CHAPITRE III :</b>	<b>46</b>
LES VOIES DE CALCUL DE LA FILTRATION	
<b>CHAPITRE IV :</b>	<b>72</b>
MODELISATION DE LA PRODUCTION OSTREICOLE A MARENNES- OLERON : INTRODUCTION D'UN MODELE DE CROISSANCE PHYTO- PLANCTONIQUE.	
<b>CHAPITRE V :</b>	<b>145</b>
ETUDE DES VASES ET DES BIODEPOTS DE MARENNES-OLERON. CARACTERISTIQUES SEDIMENTOLOGIQUES.	
<b>CHAPITRE VI :</b>	<b>166</b>
CARACTERISTIQUES MECANIQUES DES VASES ET DES BIODEPOTS DE MARENNES-OLERON.	
<b>CHAPITRE VII :</b>	<b>207</b>
CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'AGITATION DANS LE BASSIN DE MARENNES-OLERON (HOULE ET CLAPOT).	
<b>CHAPITRE VIII :</b>	<b>236</b>
MODELE HYDRO-SEDIMENTAIRE DU BASSIN DE MARENNES- OLERON : PRESENTATION ET PREMIERS RESULTATS.	

## CHAPITRE I

**ECOPHYSIOLOGIE *IN SITU* DE L'HUITRE *CRASSOSTREA*  
*GIGAS* DANS UN MILIEU MACROTIDAL (BASSIN DE  
MARENNES-OLERON - CHAPUS 1991).**

**GUEZENNEC L. PROU J., HERAL M., RAZET D.,  
BOUGRIER S., SOLETCHNIK P.**

## **MATERIELS ET METHODES**

### **1. TRAVAIL EFFECTUE SUR LE SITE DU CHAPUS.**

L'expérience menée lors du stage fait suite à deux expériences similaires menées en 1988 et 1990. Elle vise à étudier le comportement d'une population d'huîtres (100 individus) soumise aux variations du milieu naturel. La durée de l'expérience (3 semaines) permet de tester les effets simultanés des cycles haute mer, basse mer et celui des vives-eaux, mortes-eaux.

De plus, les données acquises en continu sur le milieu (fluorescence et turbidité, salinité, température) permettront le calage des modèles courantologiques et sédimentologiques.

Le choix du mois de mai pour l'expérience est déterminé par l'apparition, en général, d'un bloom phytoplanctonique à cette période de l'année.

Les expériences précédentes (1988 et 1990) ont permis déjà d'appréhender la grande variabilité de la turbidité pendant les cycles vives-eaux, mortes-eaux et haute mer, basse mer. La teneur en pigments chlorophylliens varie avec la turbidité montrant l'effet important de la remise en suspension des sédiments et des composantes phytoplanctoniques associées.

Cette année, l'expérience fut reconduite dans le cadre d'un contrat C.E.E. alliant l'IFREMER et le RIJKSWATERSTAAT des Pays-Bas. L'équipe de Aad Small utilise pour le même objectif un tunnel benthique posé à même le sédiment, recouvrant une population de 400 à 500 Kg d'huîtres.

Pour comparer les deux méthodes, deux cycles de 24 heures (vives-eaux et mortes-eaux) ont été choisis (le 13 et le 21 mai).

La méthode IFREMER privilégie l'acquisition en continu et automatisée permettant une durée d'expérimentation de 3 semaines.

La méthode hollandaise basée sur des cycles de 24 heures oblige à des prélèvements discrets toutes les demi-heures mais privilégie l'authenticité des méthodes d'élevage (500 Kg en poches ostréicoles sur les sites mêmes d'élevage).

#### **1.1. Dispositif expérimental.**

Le dispositif expérimental est constitué d'un circuit de distribution d'eau et d'un laboratoire destiné au traitement des échantillons sur place.

Le circuit de distribution se compose d'un circuit principal alimentant 4 circuits auxiliaires (figure 3) utilisés pour diverses expériences sur *Crassostrea gigas*.

Ces dernières portent sur :

- les rejets de fécès et de pseudofécès et leur composition,
- la respiration,
- le comportement trophique de l'huître.

### **1.2. Mesures effectuées.**

Ces mesures ont été réalisées pour plusieurs paramètres physiques et biotiques touchant l'eau de mer circulant dans le race-way. Le race-way est un long bac de 2 mètres de long, contenant 100 huîtres (*Crassostrea gigas*) immergées sous 80 mm d'eau de mer (annexe II) afin d'étudier leur comportement trophique.

#### **1.2.1. Mesures en continu.**

Ces mesures ont porté sur les paramètres suivants :

- Les débits d'eau traversant le race-way et le bac fécès pseudofécès. Ils sont mesurés par des débitmètres SIGNET modèle 3-8500.101-OP.
- La température de l'eau à l'entrée du race-way mesurée grâce à une sonde thermométrique SIGNET modèle 3-8300.101-P.
- La fluorescence en entrée et en sortie du race-way mesurée par deux fluorimètres TURNER à flux continu modèle 112.
- La turbidité en entrée et en sortie du race-way mesurée par deux néphélomètres AF à flux continu modèle DRT 100B.

L'ensemble de ces appareils étant connecté à un micro-ordinateur GOUPIL G6 par l'intermédiaire d'une carte d'acquisition ANALOG CONNECTION de la société STRAWBERRY TREE INCORPORATION. Les données transmises par les différents capteurs sont ensuite gérées par le logiciel QUICKLOG et sont sauvées toutes les minutes dans un fichier journalier exploitable par la suite sous tableur (LOTUS 1-2-3).

Des mesures de la vitesse et de la direction du courant ont également été réalisées en continu grâce à une sonde VALPORT BFM 108 couplée à un ordinateur portable OLIVETTI M111 ; les données sont acquises toutes les minutes et enregistrées dans un fichier journalier.

L'ensemble des données ainsi recueillies sera traité ultérieurement ; les mesures enregistrées de néphélométrie et de fluorimétrie sont étalonnées à partir d'échantillons discrets d'eau prélevés à l'entrée et la sortie du race-way.

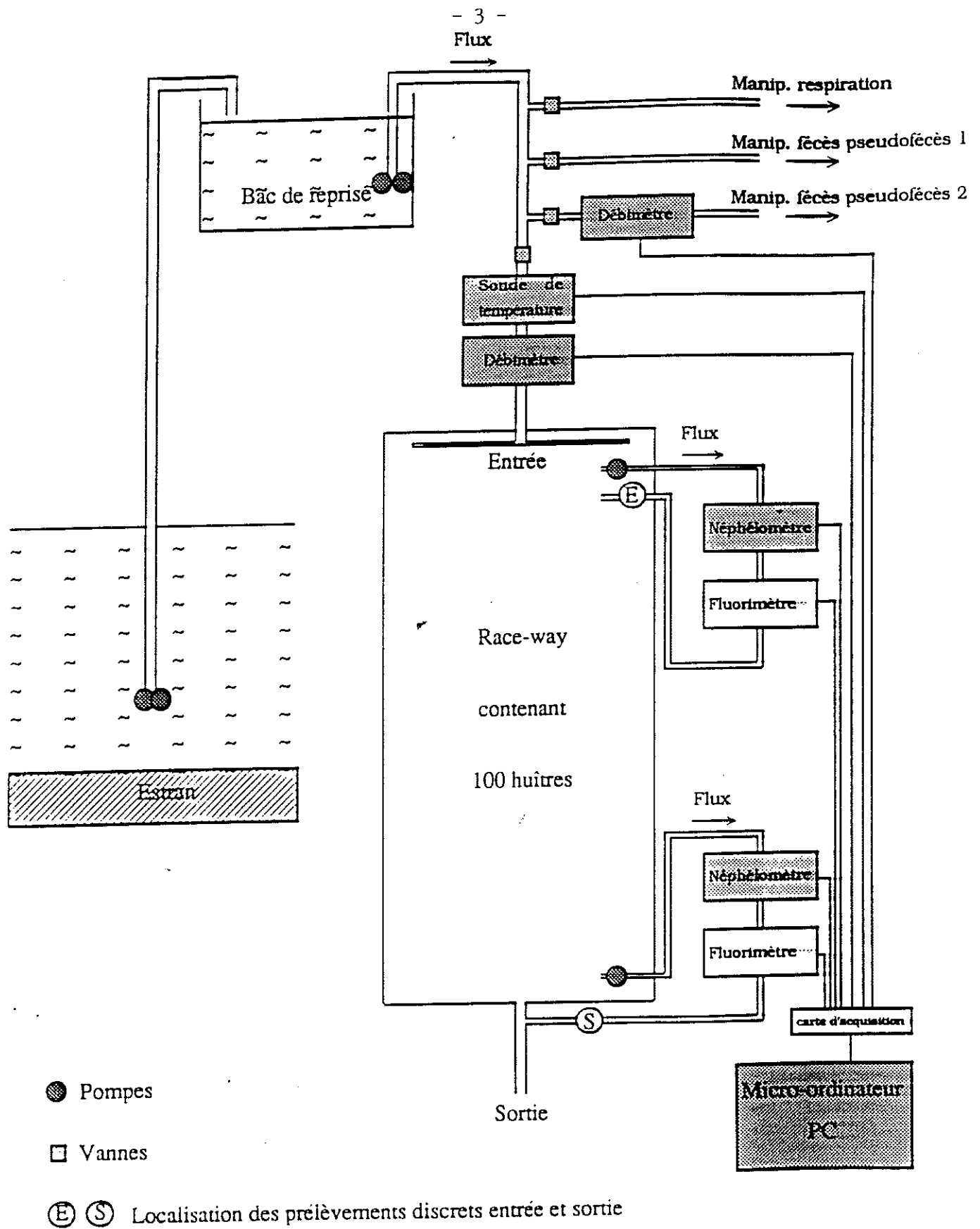


figure 3 : Schéma du protocole expérimental.

### **1.2.2. Mesures ponctuelles et prélèvements discrets.**

Les mesures effectuées toutes les heures lors des cycles de 24 heures et toutes les 2 heures hors cycles portent sur :

- La température et la salinité grâce à une sonde ELECTRONIC SWITCHGEAR type MC5.
- La température seule grâce à un thermomètre à mercure.
- La vérification des débits du bacs fécès pseudofécès et du race-way sur l'afficheur digital des capteurs SIGNET.

Parallèlement à ces mesures et aux mêmes heures étaient effectués des prélèvements discrets d'eau de mer à l'entrée et la sortie du race-way.

Ces prélèvements sont immédiatement traités dans le laboratoire installé sur le site. Chaque prélèvement effectué est marqué de la façon suivante : jour (dans le mois), heure de prélèvement, entrée ou sortie (jj-hh-e/s). Ce marquage étant ensuite réemployé tout au long du traitement.

Pour les volumes d'eau de mer prélevés toutes les deux heures (1 litre), les prétraitements ont concerné :

#### LES SESTONS.

- filtration d'un volume connu d'eau de mer (de 100 ml à 250 ml suivant la charge sestonique) sur filtre WHATMAN GF/C diamètre 47 mm préalablement taré après 24 heures au dessiccateur.
- stockage du filtre dans une boîte de pétri à l'étuve (60°C) dans l'attente d'une utilisation ultérieure en vue de l'étalonnage des turbidimètres.

#### LA CHLOROPHYLLE A ET LES PHEOPIGMENTS.

- filtration de 50 ml d'eau de mer additionnée de 1 ml de carbonate de magnésium ( $MgCO_3$ ) à 10 % sur filtre WHATMAN GF/C diamètre 25 mm.
- stockage du filtre dans un tube à vis, à l'abri de la lumière dans un congélateur à -30°C en vue d'une utilisation ultérieure pour l'étalonnage des fluorimètres.

#### LES C.H.N. (Carbone, Hydrogène, Azote).

- filtration de 50 ml d'eau de mer sur filtre WHATMAN GF/C diamètre 25 mm préalablement calciné au four à moufle à la température de 450°C durant 20 minutes.
- passage du filtre dans des vapeurs de HCl durant 1 minute afin d'éliminer les carbonates présents.



- stockage du filtre en boîte de pétri dans l'étuve à 60°C.
- le traitement de ce prélèvement se fera ultérieurement.

Pour les prélèvements réalisés toutes les heures (cycles de 24 heures uniquement) ; à partir des 2 litres échantillonnés, le prétraitement a porté, comme précédemment sur la préparation des échantillons en vue des travaux à effectuer sur : les C.H.N., la chlorophylle a et les phéopigments, les sestons, mais aussi sur d'autres paramètres étudiés seulement durant ces cycles :

#### LES SELS NUTRITIFS.

- prélever les premières eaux provenant de la filtration du sestion.
- les stocker dans un pillulier et les congeler (analyse ultérieure).

#### LA SYSTEMATIQUE PHYTOPLANCTONIQUE.

- prélever un litre d'eau de mer dans un bidon plastique d'un litre.
- ajouter 2 ml de formol (traitement ultérieur).

#### LA TAILLE DES PARTICULES.

- préfiltrer 50 ml eau de mer sur filtre 60  $\mu$ .
- passage de l'échantillon au compteur de particules (COULTER COUNTER, MULTISIZER 256 canaux).
- transférer les données concernant le nombre et la taille des particules dans un fichier géré par le logiciel MAIN sur micro-ordinateur compatible de marque TANDON.

## **2. TRAITEMENT DES ECHANTILLONS AU LABORATOIRE.**

### **2.1. Poids sec des huitres.**

A la fin de l'expérience, les 100 huitres du race-way sont ouvertes, leur chair est récupérée et stockée au congélateur à -30°C.

Les chairs de ces 100 huitres sont ensuite passées au lyophilisateur afin d'obtenir la masse totale, exprimée en gramme de poids sec, des 100 huitres dans le race-way.

La pesée s'effectue après 24 heures au dessiccateur.

## **2.2. Les sestons.**

- placer les boîtes de pétri 24 heures au dessiccateur.
- peser les filtres, soit P2 la masse trouvée.
- placer le filtre au four à moufle à 450°C durant 20 minutes afin de détruire la matière organique.
- récupérer les filtres et les placer dans leur boîte de pétri.
- placer ces boîtes 24 heures au dessiccateur.
- peser les filtres, soit P3 la masse trouvée.

L'intérêt de placer les filtres 24 heures au dessiccateur avant chaque pesée réside dans l'obtention d'un degré d'hygrométrie homogène entre les différentes pesées.

A partir des trois pesées effectuées pour chaque filtre.

P1 : poids du filtre avant filtration

P2 : poids du filtre après filtration

P3 : poids du filtre après passage au four

il est possible de déterminer pour chaque prélèvement :

le sestion total =  $P2 - P1$

la fraction de sestion minéral =  $P3 - P1$

la fraction de sestion organique =  $P2 - P3$

Les résultats ainsi obtenus sont exprimés en mg de sestion par litre d'eau de mer filtré.

## **2.3. La chlorophylle a et les phéopigments.**

Le dosage de la chlorophylle a et des phéopigments est ici effectué par fluorimétrie. La méthode consiste à mesurer la fluorescence avant (Fa) et après acidification (Fb) d'une solution acétonique de chlorophylle a et de phéopigments.

La diminution de fluorescence observée est en relation avec le pourcentage relatif de chlorophylle a par rapport à la somme chlorophylle a + phéopigments (Annexe III).

#### **2.4. Traitement informatique et exploitation des mesures.**

Les mesures obtenues suite au traitement au laboratoire, c'est-à-dire les masses de seston, les fluorescences, sont saisies dans deux fichiers indépendants sous LOTUS 1.2.3..

Parallèlement les mesures de vitesse et de direction du courant, de débits, de température, de la taille et du nombre des particules sont transférées de leur fichiers bruts à d'autres fichiers exploitables sous LOTUS 1.2.3..

Le travail effectué ensuite consiste en l'étalonnage de l'ensemble des mesures en tenant compte :

- des dilutions effectuées (sestons, chlorophylle a et phéopigments, taille des particules)
- des différents filtres utilisés (fluorimétrie) tant sur le terrain qu'au niveau du laboratoire
- des formules de calcul nécessaires à la détermination de certaines concentration (sestons et chlorophylle a + phéopigments).

Suite à ce travail une étude de la validité des paramètres traités a été possible afin de d'éliminer les valeurs aberrantes.

Une fois ce travail de nettoyage effectué, une étude graphique de l'évolution des différents paramètres à été possible sous LOTUS 1.2.3.. Cette étude aboutissant à la recherche de relations entre ces paramètres et à l'interprétation de ces relations.

## II. RESULTATS ET DISCUSSION.

### 1. LES ETALONS.

Sur les graphiques, l'échelle de temps est exprimée en heure relative par rapport au début de la manipulation. L'heure "0" correspondant à l'heure du début de l'acquisition des données pour la manipulation CHAPUS 91, c'est-à-dire au 11 mai 1991 à 15 heures. La manipulation finissant le 25 mai 1991 à 19 heures, ceci correspond à 340 heures en relatif.

#### 1.1. *Les sestons.*

Les résultats obtenus sur l'ensemble de la manipulation (figure 4) mettent en évidence une forte charge sestonique, celle-ci étant en moyenne de 75 mg/l d'eau de mer à l'entrée du race-way. Cette charge sestonique évolue de 20 mg/l d'eau de mer à 360 mg/l en entrée du race-way et de 14 mg/l d'eau de mer à 280 mg/l avec une moyenne se situant à 55 mg/l en sortie. On constate que la charge sestonique en sortie reste inférieure à la charge sestonique en entrée.

Ces fortes charges sestoniques traduisent un important phénomène de remise en suspension lié à la marée mais aussi aux conditions atmosphériques agissant sur les dépôts sédimentaires du bassin de Marennes-Oléron.

En ce qui concerne les fractions du seston total en entrée et en sortie, c'est-à-dire le seston minéral et le seston organique (figures 5 et 6), on constate des variations de concentration du même type que celles observées pour le seston total. Il apparaît de plus sur ces courbes que la fraction organique du seston reste toujours inférieure à la fraction minérale aussi bien en sortie qu'en entrée.

Pour l'entrée la concentration de seston minéral varie de 16 mg/l d'eau de mer à 320 mg/l. Le seston organique variant lui de 0.2 mg/l d'eau de mer à 38 mg/l. La fraction minérale représentant ici en moyenne 86% du seston total en entrée.

Pour la sortie, la concentration en seston minéral varie de 14 mg/l d'eau de mer à 250 mg/l. Le seston organique variant lui de 1 mg/l à 32 mg/l. La fraction minérale représentant 84% du seston total en sortie.

Une étude des différentes fractions du seston par rapport au seston total en entrée et en sortie nous a permis d'obtenir, sur LOTUS 1.2.3., par régression linéaire les équations de droite suivantes (figures 7,8,9,10) :

seston total  
(g/l d'eau  
de mer)

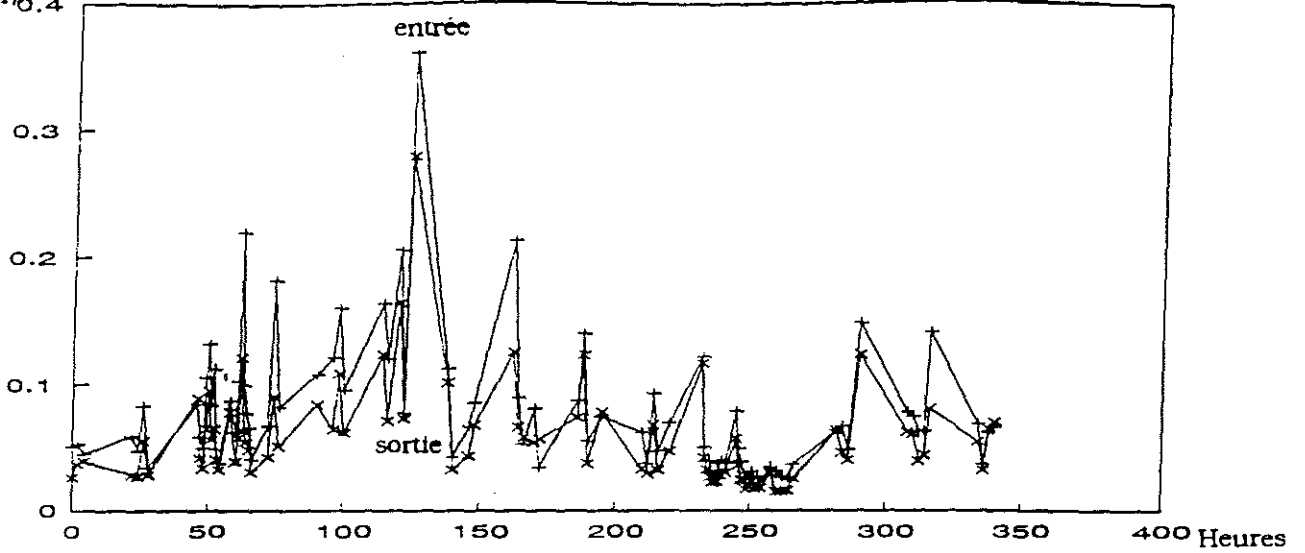


figure 4 : Evolution du seston total à l'entrée et à la sortie du race-way.

g/l d'eau de  
mer.

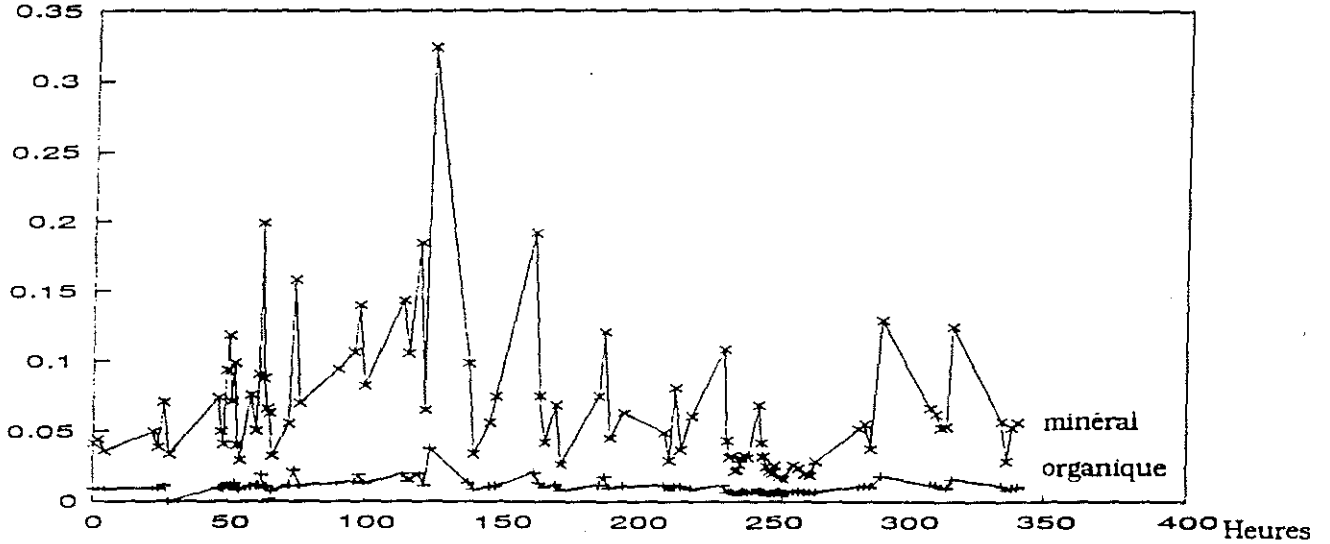


figure 5 : Evolution des fractions du seston à l'entrée du race-way.

g/l d'eau de  
mer.

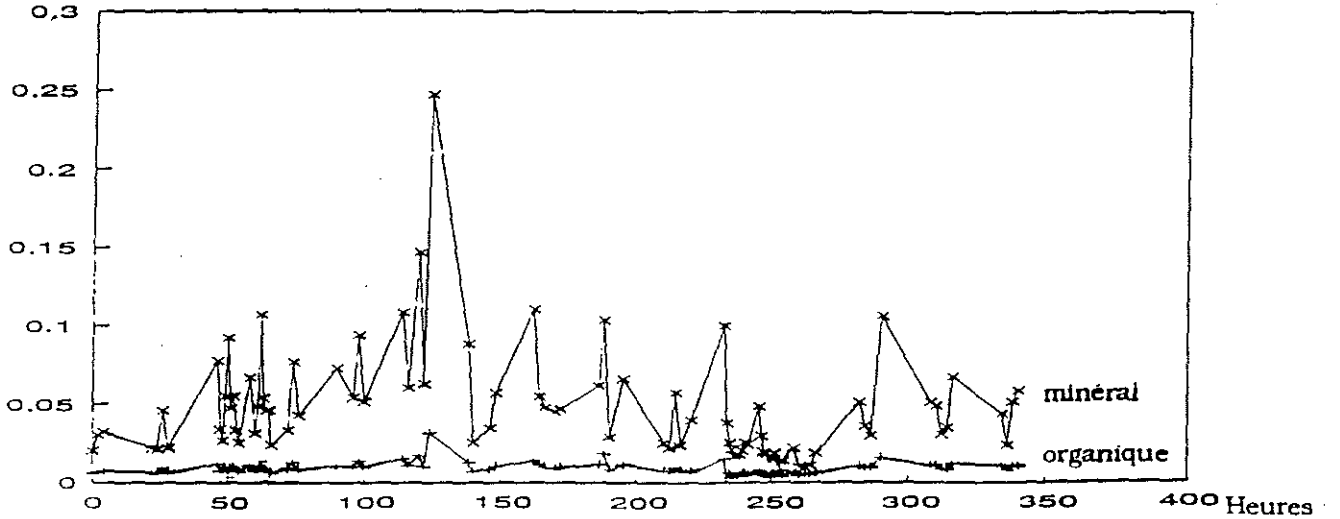
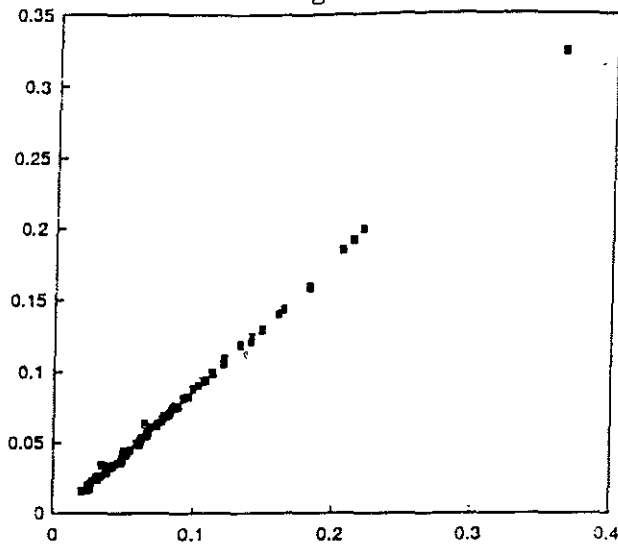


figure 6 : Evolution des fractions du seston à la sortie du race-way.

figure 7 :



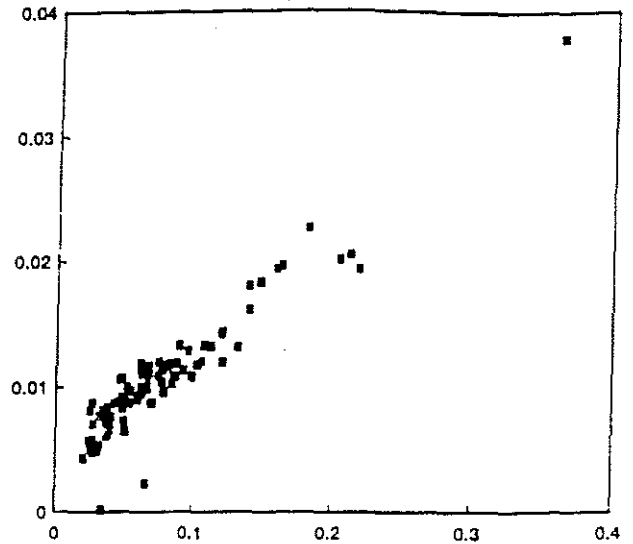
SESTON MINERAL ENTREE=f(SESTON TOTAL ENTREE) en mg/l d'eau de mer.

Sortie régression :

Constante	-0.0039581
Ecart type d'estimation Y	0.00169798
R au carré	0.9987838
Nombre d'observations	92
Degrés de liberté	90

Coefficient(s) X 0.91202507  
Ecart type de coef. 0.00335469

figure 8 :



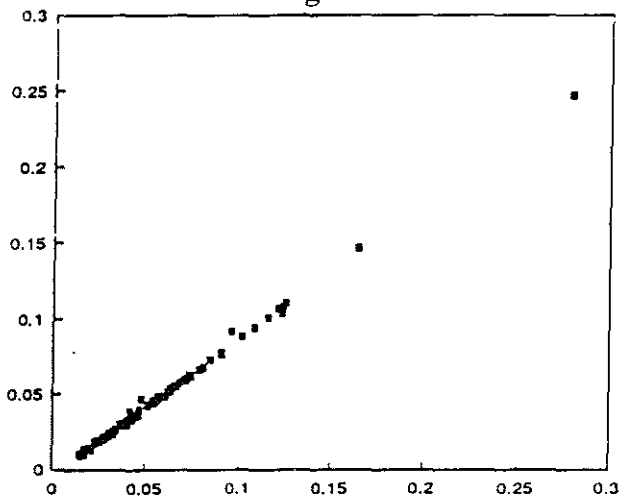
SESTON ORGANIQUE ENTREE=f(SESTON TOTAL ENTREE) en mg/l d'eau de mer.

Sortie régression :

Constante	0.0039581
Ecart type d'estimation Y	0.00169798
R au carré	0.88427761
Nombre d'observations	92
Degrés de liberté	90

Coefficient(s) X 0.08797493  
Ecart type de coef. 0.00335469

figure 9 :



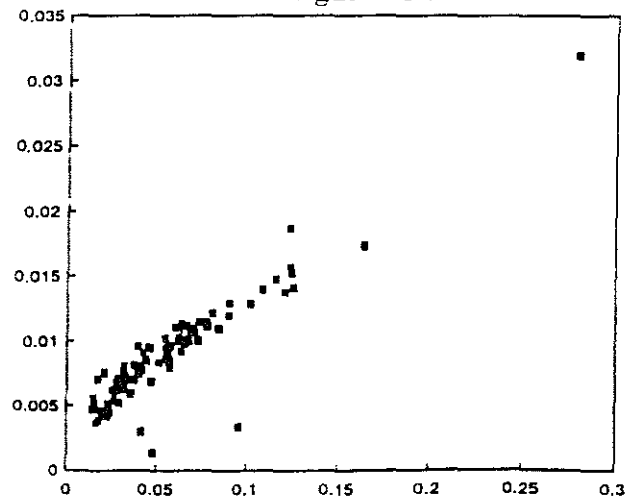
SESTON MINERAL SORTIE=f(SESTON TOTAL SORTIE) en mg/l d'eau de mer.

Sortie régression :

Constante	-0.0034602
Ecart type d'estimation Y	0.00162484
R au carré	0.99785638
Nombre d'observations	92
Degrés de liberté	90

Coefficient(s) X 0.90315973  
Ecart type de coef. 0.00441248

figure 10 :



SESTON ORGANIQUE SORTIE=f(SESTON TOTAL SORTIE) en mg/l d'eau de mer.

Sortie régression :

Constante	0.0034602
Ecart type d'estimation Y	0.00162484
R au carré	0.84256543
Nombre d'observations	92
Degrés de liberté	90

Coefficient(s) X 0.09684027  
Ecart type de coef. 0.00441248

$$SME = 0.91202507 * STE - 0.0039581$$

$$SOE = 0.08797493 * STE + 0.0039581$$

$$SMS = 0.90315973 * STS - 0.0034602$$

$$SOS = 0.09684027 * STS + 0.0034602$$

Avec:

SME : seston minéral entrée

SOE : seston organique entrée

STE : seston total entrée

SMS : seston minéral sortie

SOS : seston organique sortie

STS : seston total sortie

A partir de ces équations, une modélisation du pourcentage de seston minéral et organique en fonction du seston total a été possible (figure 11,12,13,14).

Suivant ces modèles nous pouvons déduire que :

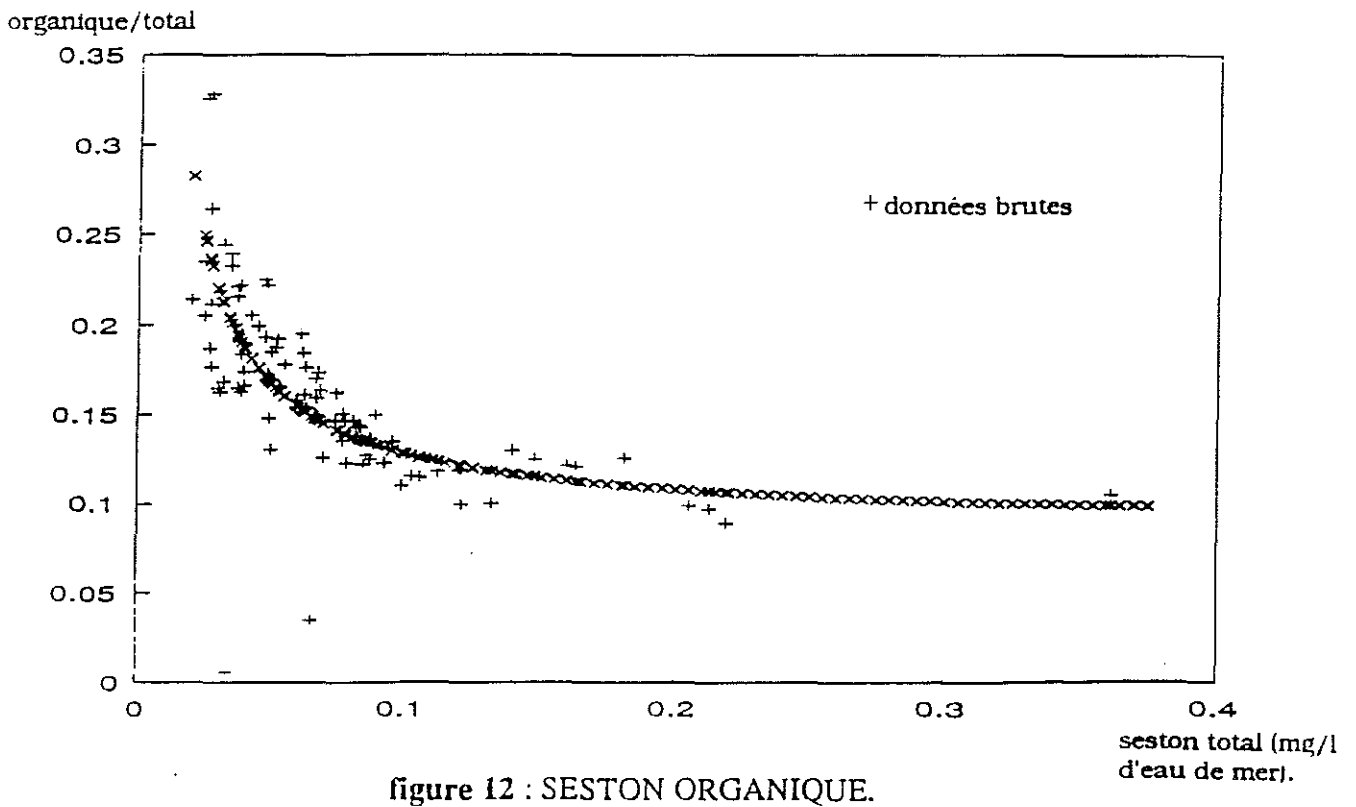
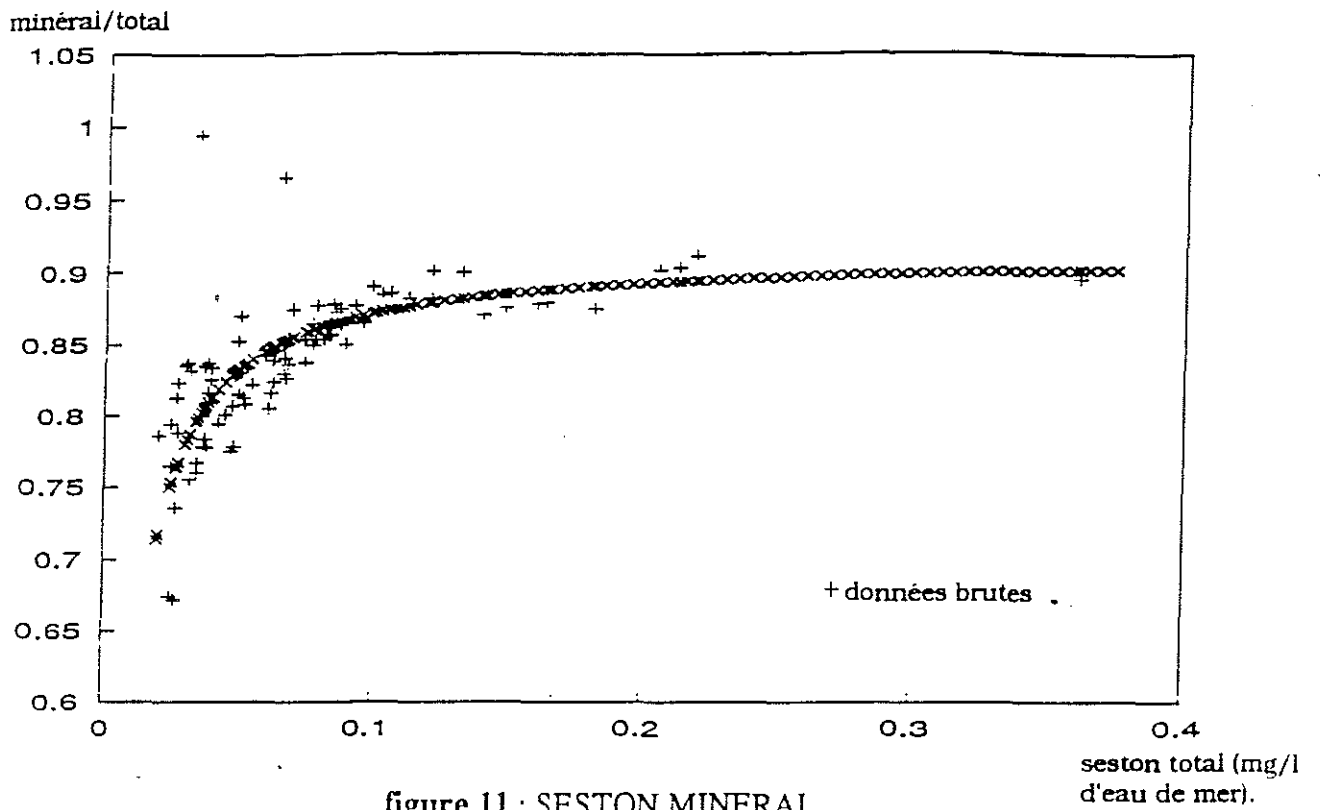
- Plus la masse de seston total est importante et plus la proportion de seston minéral est importante. Celle-ci tendant vers une limite de 0.9 (90% du seston total). La proportion de fraction organique quant à elle décroît pour tendre vers une limite de 0.1 du rapport organique/minéral soit 10 % de celui-ci. Les fortes valeurs du seston total sont liées à d'importants phénomènes de remise en suspension du sédiment constitué essentiellement de particules minérales. Pour les fortes charges de seston total nous sommes très proches des teneurs minérales et organiques du sédiment.

- Parallèlement, plus la masse de seston total est faible et plus la proportion de seston organique augmente. Celle-ci s'accroissant de manière très importante pour les faibles valeurs de seston total, inversement la proportion de seston minéral décroît très rapidement pour les faibles valeurs de seston total. Les particules de la fraction minérale du seston étant plus lourdes que celles de la fraction organique, elles sédimentent rapidement ne laissant plus qu'une forte proportion de seston organique en suspension dans l'eau de mer.

## **1.2. La chlorophylle a et les phéopigments.**

Sur l'ensemble des résultats obtenus au cours de la manipulation, nous pouvons constater le même type d'évolution entre les concentrations en chlorophylle a + phéopigments en entrée et en sortie (figure 15). Il faut cependant noter

### MODELISATION DE LA PROPORTION DES DIFFERENTES FRACTIONS DE SESTON A L'ENTREE DU RACE-WAY.





# MODELISATION DE LA PROPORTION DES DIFFERENTES FRACTIONS DE SESTON A LA SORTIE DU RACE-WAY.

minéral/total

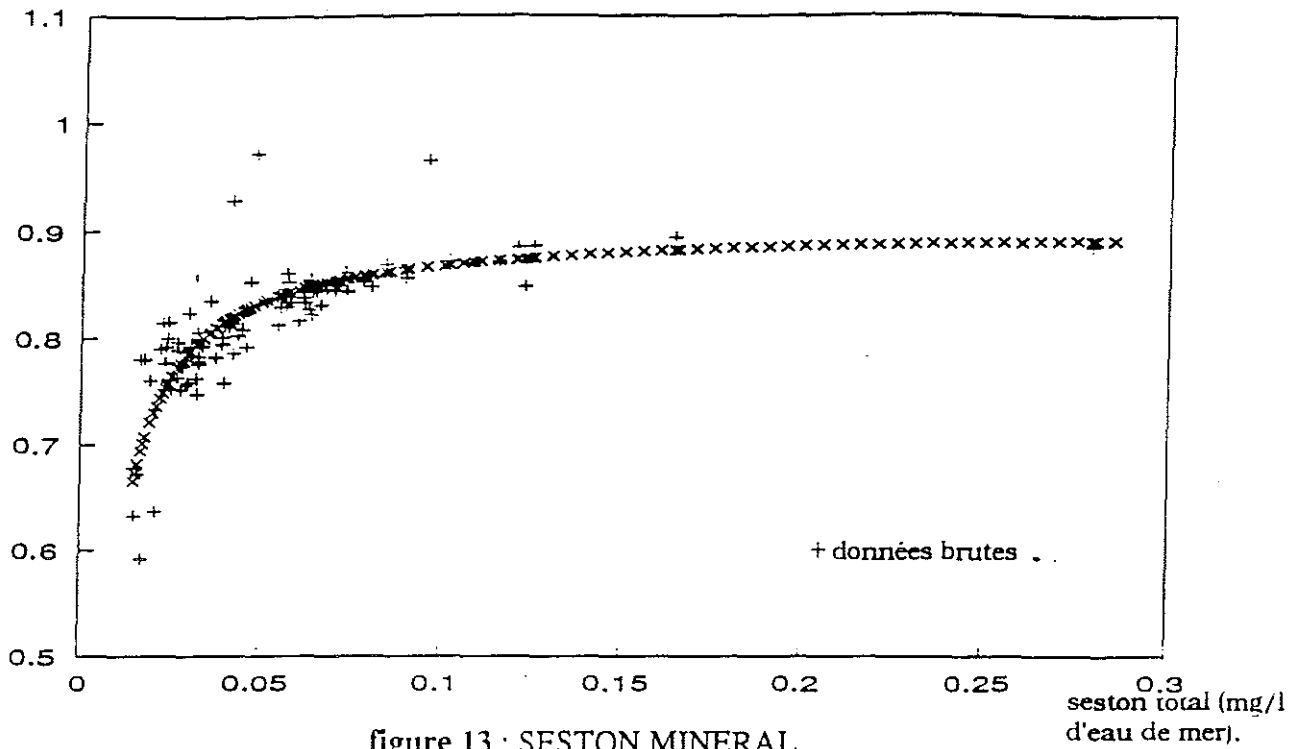


figure 13 : SESTON MINERAL.

organique/total

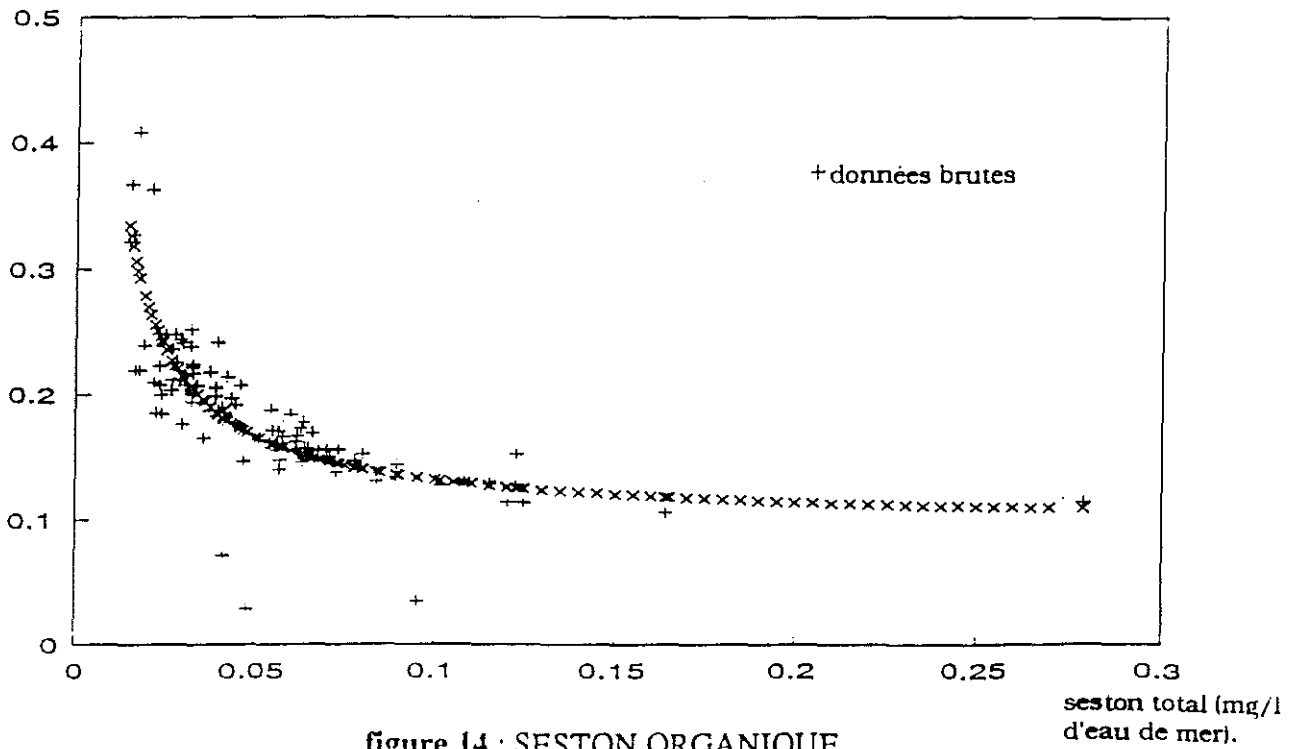


figure 14 : SESTON ORGANIQUE.

chlorophylle a +  
phéopigments  
( $\mu\text{g/l}$  d'eau de  
mer)

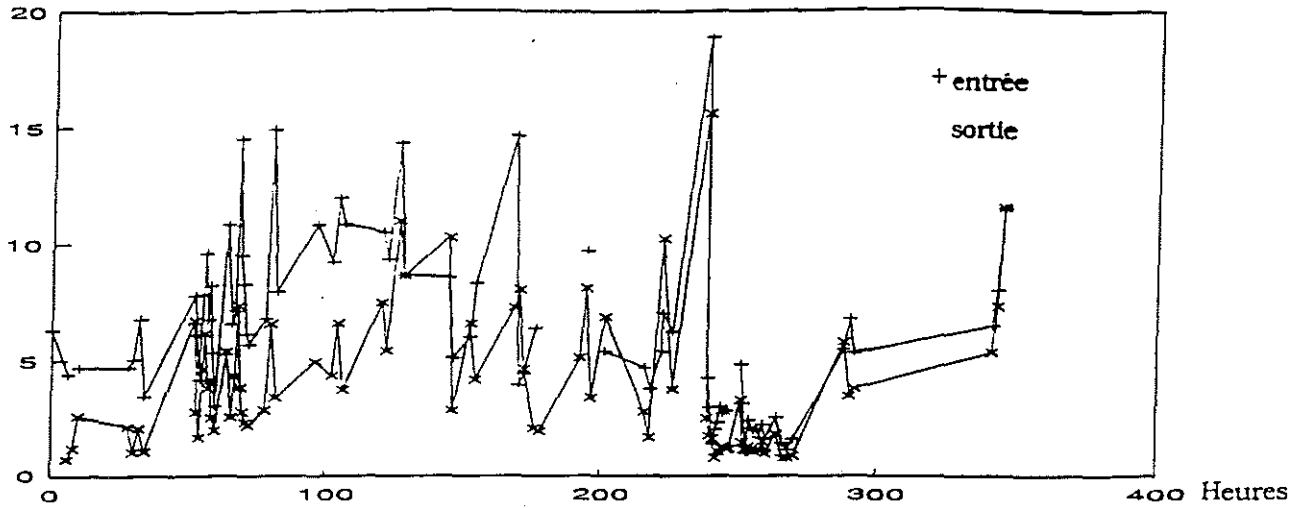


figure 15 : Evolution de la concentration en chlorophylle a et en phéopigments à l'entrée et à la sortie du race-way.

$\mu\text{g/l}$  d'eau de  
mer

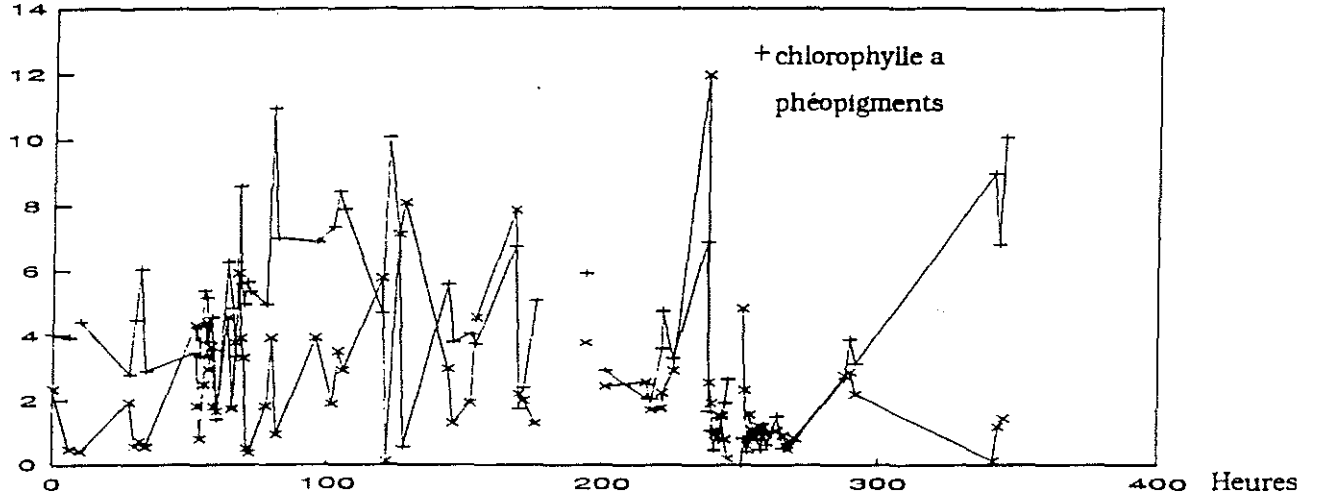


figure 16 : Evolution de la concentration en chlorophyll a et en phéopigments à la sortie du race-way.

$\mu\text{g/l}$  d'eau de  
mer

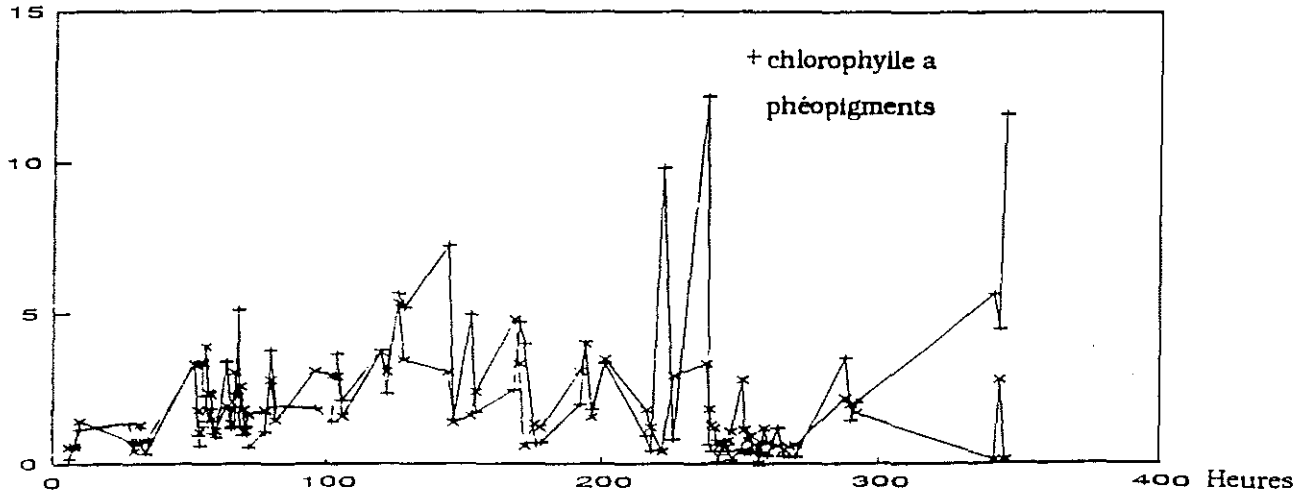


figure 17 : Evolution de la concentration en chlorophyll a et en phéopigments à la sortie du race-way.

que ces concentrations restent, à la sortie du race-way, inférieures à celles d'entrée. En entrée, ces concentrations varient de 0.9 µg/l d'eau de mer à 18.8 µg/l avec une moyenne se situant à 6.25 µg/l. En sortie, on observe une variation de 0.69 µg/l à 15.55 µg/l avec une moyenne de 4 µg/l.

L'évolution comparée de la chlorophylle a et des phéopigments à l'entrée du race-way (figure 16) ne montre aucun lien visible entre ces deux paramètres. La concentration en chlorophylle a variant de 0 µg/l à 11 µg/l avec une moyenne se situant à 4 µg/l. La concentration en phéopigments variant de 0 µg/l à 12 µg/l avec une moyenne de 2.4 µg/l. Il n'a pas été possible de trouver de modèle simple liant la concentration en chlorophylle a et la concentration en phéopigments. Les variations de ces deux paramètres apparaissant, à ce stade du traitement indépendantes les unes des autres.

A la sortie du race-way (figure 17) nous retrouvons le même phénomène d'indépendance des paramètres qu'à l'entrée (figure 16). Il a ici aussi été impossible de trouver une relation simple liant chlorophylle a et phéopigments. La concentration de chlorophylle a variant de 0.1 µg/l d'eau de mer à 12.2 µg/l pour une moyenne de 2.2 µg/l. La concentration de phéopigments variant de 0.1 µg/l d'eau de mer à 5.3 µg/l avec une moyenne de 1.8 µg/l.

L'impossibilité de mettre en évidence une relation simple entre chlorophylle a et phéopigments est probablement due au fait que ces paramètres sont liés à des facteurs d'évolution des populations. Ainsi, il existe des inégalités de répartition spatiale du phytoplancton dans les masses d'eau. Ces inégalités étant liées à la profondeur, aux thermoclines, à l'abondance des nutriments (G.P.HARRIS, 1986).

### **1.3. Comparaison entrée sortie.**

Etude du taux de rétention (TR).

Le taux de rétention correspond au pourcentage de substance disparu entre l'entrée et la sortie du race-way. Il se calcule par la formule :

$$TR = (C \text{ entrée} - C \text{ sortie}) / C \text{ entrée}$$

Avec :

C entrée : la concentration de la substance à l'entrée du race-way.

C sortie : la concentration de la substance à la sortie du race-way.

Pour le paramètre seston, le taux de rétention permet de visualiser la diminution du seston total dans le race-way par rapport au seston entrant. Cette diminution est due à une consommation du seston par les huîtres du race-way, ainsi qu'à la sédimentation de certaines particules.

L'évolution du taux de rétention du seston au cours de la manipulation CHAPUS 91 (figure 18) apparaît irrégulière, en effet celle-ci varie de 10 % à 50 % avec une moyenne se situant aux environs de 30 %.

Pour la chlorophylle a + les phéopigments, l'évolution du taux de rétention (figure 19) est du même type que celle rencontrée pour les sestons (figures 18). De plus, les valeurs négatives et les pics importants se retrouvent aux mêmes heures et dates que ceux rencontrés pour les sestons. Cependant le taux de rétention moyen, environ 50 %, est plus fort que celui rencontré pour les sestons. Ceci est dû aux différentes tailles des particules ; en effet, la taille du phytoplancton étant généralement supérieure à celle des particules minérales, celui-ci est retenu dans des proportions plus grandes que le minéral lors de la filtration de l'eau de mer par les huîtres.

Les valeurs négatives rencontrées sur les figures 18 et 19 peuvent s'expliquer soit par une remise en suspension de certaines particules sédimentées lors de leur transit dans le race-way, soit par un important rejet ponctuel de particules par les huîtres. Il apparaît en effet que, bien qu'elles soient agglomérées avec du mucus, les pelotes de pseudofécès ne sont que peu cohésives et sont facilement remises en suspension (Kusuki, 1978).

Il est à noter que les irrégularités du taux de rétention, au cours de la manipulation ne traduisent pas le fait que certains jours les huîtres consomment plus de phytoplancton que d'autres. Les prélèvements effectués toutes les deux heures étant insuffisants pour visualiser d'éventuels phénomènes de ce type. C'est pourquoi une étude plus détaillée sur un cycle de 24 heures avec des prélèvements horaires a été effectuée.

## **2. CYCLE DU 13 ET 14 MAI 1991.**

Au cours de ce cycle, des prélèvements ont été effectués toutes les heures. Du 13 mai 13 heures au 13 mai 21 heures pour la première marée (coefficient 92,9 prélèvements réalisés) et du 14 mai 01 heure au 14 mai 09 heures pour la seconde marée (coefficient 95,8 prélèvements effectués).

Sur l'ensemble de ces deux séries de prélèvements (17 au total) et de mesures effectuées, seules seront traitées ici :

- l'évolution de la charge sestonique à partir des 17 prélèvements ponctuels.
- l'évolution de la chlorophylle a et des phéopigments à partir des 17 prélèvements ponctuels.
- l'évolution de la turbidité d'après les mesure en continu.
- l'évolution de la fluorescence d'après les mesures en continu.

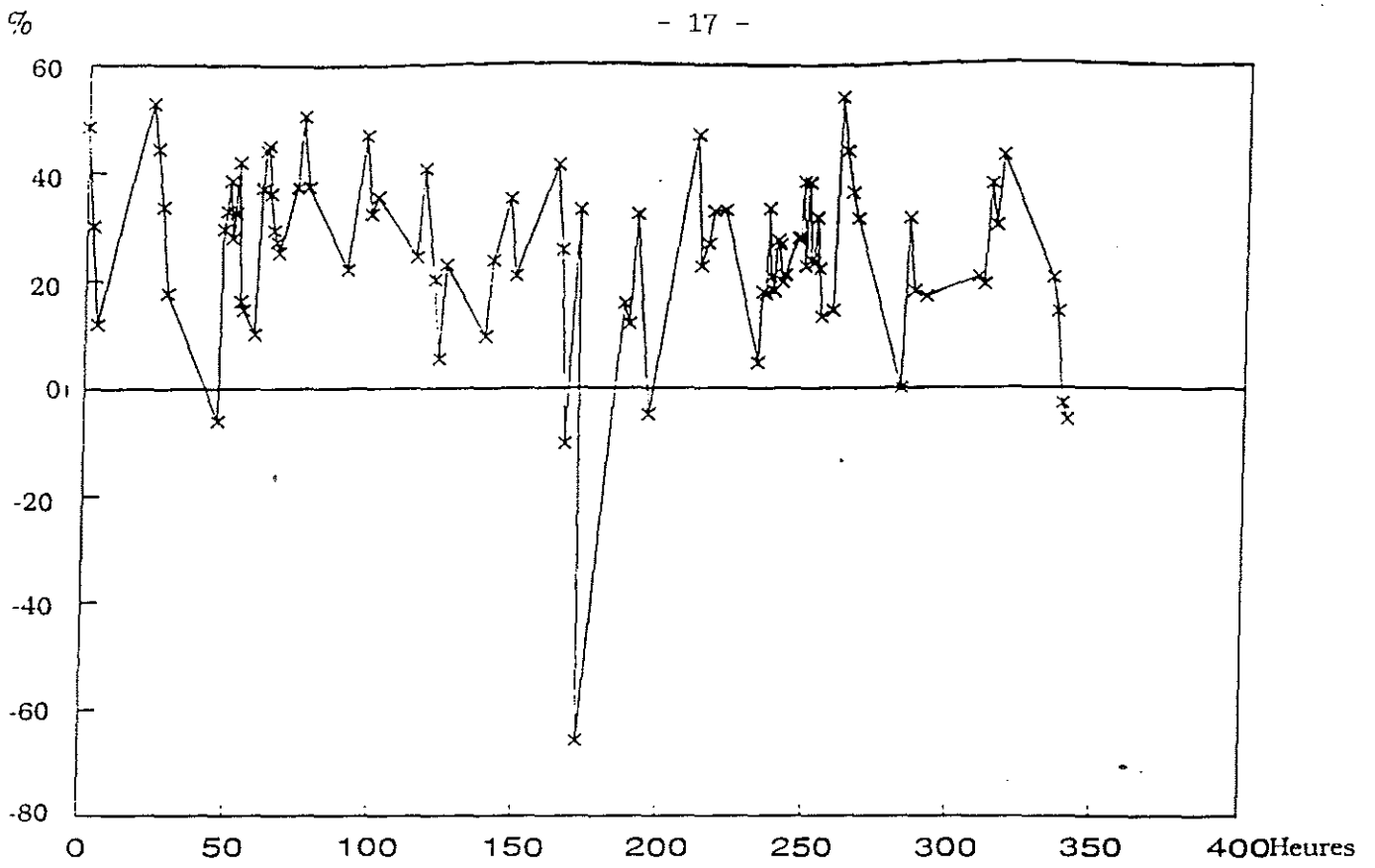


figure 18 : Taux de rétention du seston dans le race-way.

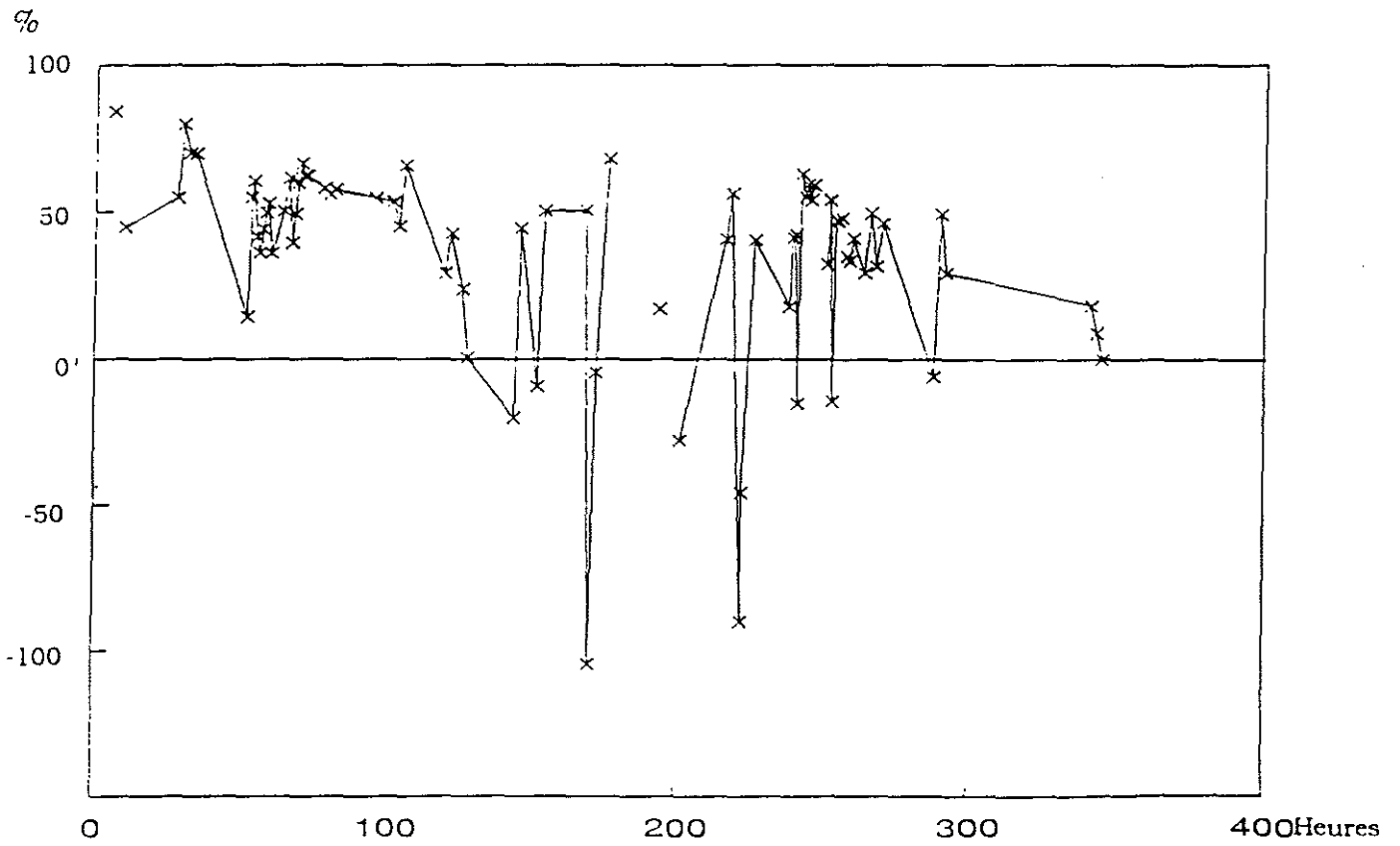


figure 19 : Taux de rétention de la chlorophylle a et des phéopigments dans le race-way.

- l'évolution de la température et du débit pour le race-way.
- l'évolution de la direction et de la vitesse du courant.
- l'évolution de la taille des particules.
- l'évolution du taux de rétention.
- l'évolution de la filtration.

## **2.1. Etalonnage des néphélomètres et des fluorimètres.**

A partir des échantillons discrets de seston et de chlorophylle a + phéopigments, il a été possible d'étalonner les signaux mesurés en continu à partir des fluorimètres (figure 21) et des néphélomètres (figure 20).

Une relation linéaire simple entre les valeurs déterminées à partir des échantillons discrets et les valeurs acquises en continu est établie pour les quatre paramètres.

Ces relations aboutissant aux équations de droites de régression suivantes (figures 28.29.30.31) :

$$\text{STE (mg/l)} = 19.99523 * \text{TuE} + 8.507907$$

$$\text{STS (mg/l)} = 17.16787 * \text{TuS} + 15.33553$$

$$\text{CHLORO. A + PHEO. (\mu g/l)} = 0.461052 * \text{FIE} - 3.80714$$

$$\text{CHLORO. A + PHEO. (\mu g/l)} = 0.399638 * \text{FIS} - 2.15913$$

Avec:

STE : seston total en entrée

TuE : turbidité en entrée

STS : seston total en sortie

TuS : turbidité en sortie

FIE : fluorescence en entrée

FIS : fluorescence en sortie

A partir de ces équations du type  $Y = a * X + b$  il a été possible de convertir l'ensemble des données brutes des fichiers turbidité et fluorescence pour l'ensemble du cycle en concentration de seston total exprimé en mg/l d'eau de mer et en concentration de chlorophylle a + phéopigments exprimé en  $\mu\text{g/l}$  d'eau de mer.

### CYCLE DU 13 ET 14 MAI 1991

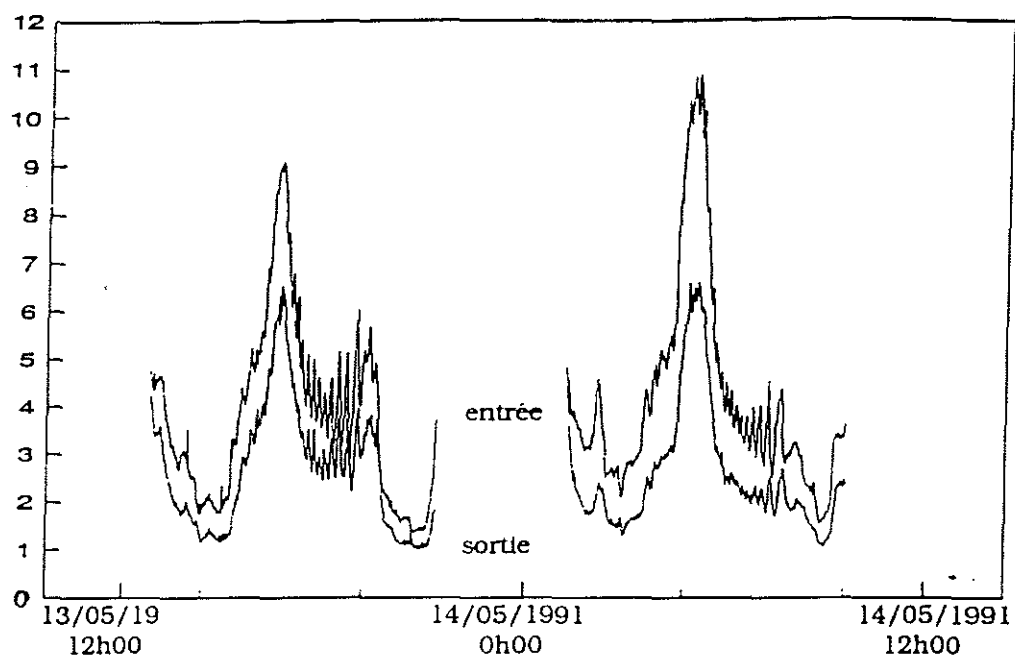


figure 20 : Evolution de la turbidité à l'entrée et à la sortie du race-way (données brutes sans unité).

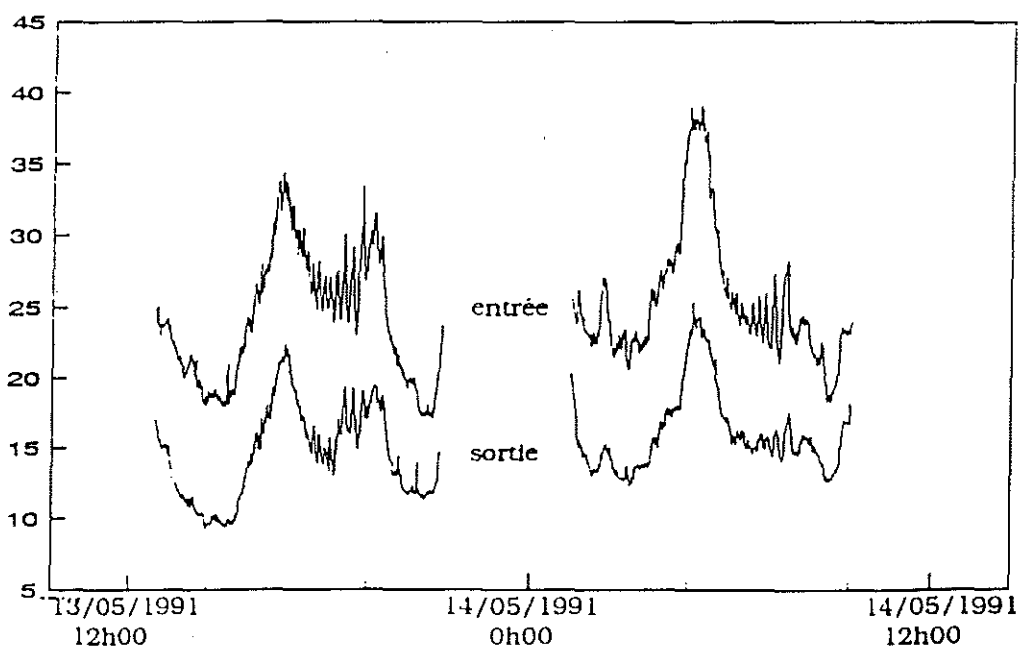
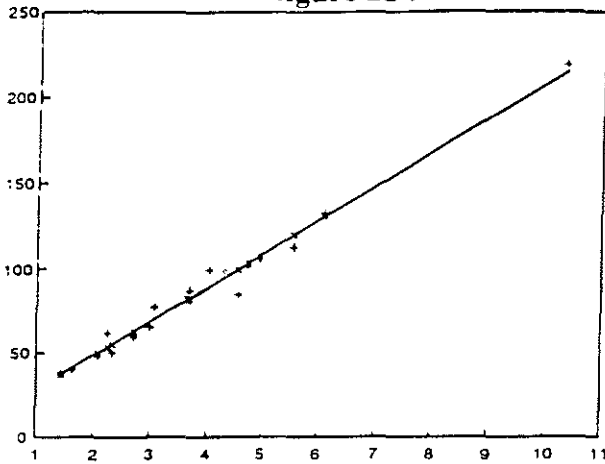


figure 21 : Evolution de la fluorescence à l'entrée et à la sortie du race-way (données brutes sans unité).

CYCLE DU 13 ET 14 MAI 1991

figure 28 :



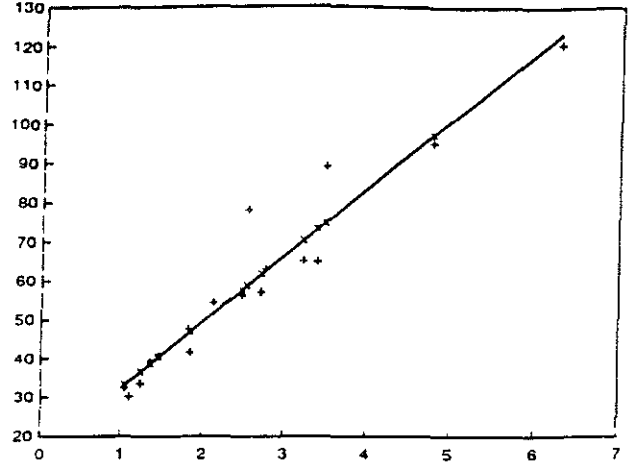
SESTON TOTAL ENTREE=I(TURBIDITE ENTREE)

Sortie régression :

Constante 8.507907  
 Ecart type d'estimation Y 6.33600  
 R au carré 0.980053  
 Nombre d'observations 17  
 Degrés de liberté 15

Coefficient(s) X 19.99523  
 Ecart type de coef 0.73653

figure 29 :



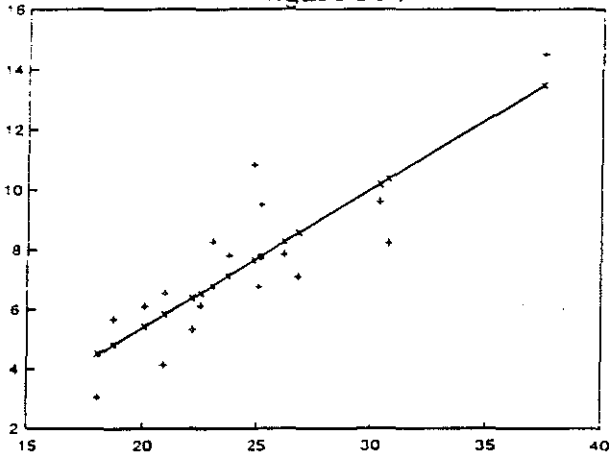
SESTON TOTAL SORTIE=I(TURBIDITE SORTIE)

Sortie régression :

Constante 15.33553  
 Ecart type d'estimation Y 7.20918  
 R au carré 0.920792  
 Nombre d'observations 17  
 Degrés de liberté 15

Coefficient(s) X 17.16787  
 Ecart type de coef 1.300093

figure 30 :



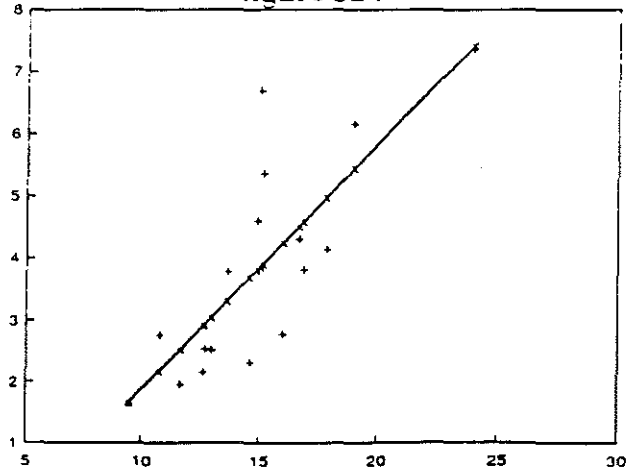
CHLOROPHYLLE A + PHEOPIGMENTS ENTREE=I(FLUORESCENCE ENTREE)

Sortie régression :

Constante -3.80714  
 Ecart type d'estimation Y 1.480464  
 R au carré 0.712583  
 Nombre d'observations 17  
 Degrés de liberté 15

Coefficient(s) X 0.461052  
 Ecart type de coef 0.075604

figure 31 :



CHLOROPHYLLE A + PHEOPIGMENTS SORTIE=I(FLUORESCENCE SORTIE)

Sortie régression :

Constante -2.15913  
 Ecart type d'estimation Y 1.114803  
 R au carré 0.616061  
 Nombre d'observations 17  
 Degrés de liberté 15

Coefficient(s) X 0.399638  
 Ecart type de coef 0.081459



Pour cela, il suffit de remplacer le paramètre X des équations (turbidité entrée, turbidité sortie, fluorescence entrée, fluorescence sortie) par sa valeur brute dans le fichier journalier.

On obtient ainsi des courbes d'évolution de la teneur en seston (figure 32) et en chlorophylle a + phéopigments (figure 33) de l'eau de mer à l'entrée et à la sortie du race-way pour le cycle du 13 et 14 mai 1991. L'application de ces équations à l'ensemble des données mesurées en continu au cours de l'expérience n'a pas été effectuée car, afin de tenir compte de la dérive éventuelle des instruments, il est préférable d'effectuer un étalonnage par petits segments d'une vingtaine d'heures comme celui-ci.

## **2.2. Evolution des sestons.**

Les figures 22 et 32 montrent l'évolution du seston total au cours du cycle.

Le premier étalonnage (13 mai 13 heures) montre des valeurs de seston pratiquement confondues. Ce prélèvement fait suite à un assec du race-way (simulation de marée basse). Pour expliquer ces valeurs de seston proches en entrée et en sortie on peut émettre l'hypothèse que les huîtres ne commencent pas leur travail de filtration immédiatement après l'arrivée de l'eau.

Au début et à la fin de chaque marée, les fortes valeurs de concentration en seston sont liées à la remise en suspension locale du sédiment. En effet à ces périodes du cycle les hauteurs d'eau sont faibles et l'onde de marée suffit, par génération d'un léger clapot, à remettre en suspension les sédiments très meubles de surface.

Dès que la hauteur d'eau augmente, la concentration en seston diminue jusqu'à moins de 50 mg/l.

Sur chaque marée du cycle, le grand pic observé correspond à l'augmentation de la vitesse de courant de flot. La figure 34 montre des vitesses allant jusqu'à 0.6 m/s. Ce courant suffit à provoquer un flux laminaire remettant en suspension les sédiments des estrans situés au nord du point de prélèvement. Ce courant de sud pouvant (figure 35) entraîner la charge turbide transportée par les eaux douces de la Charente.

Les observations concernant les proportions de seston minéral par rapport au seston organique (figures 23 et 24) correspondent à celles faites sur l'évolution globale de ces paramètres. On remarque bien ici que la fraction de seston organique reste toujours inférieure à celle du seston minéral.

### CYCLE DU 13 ET 14 MAI 1991

sestons (mg/l  
d'eau de mer)

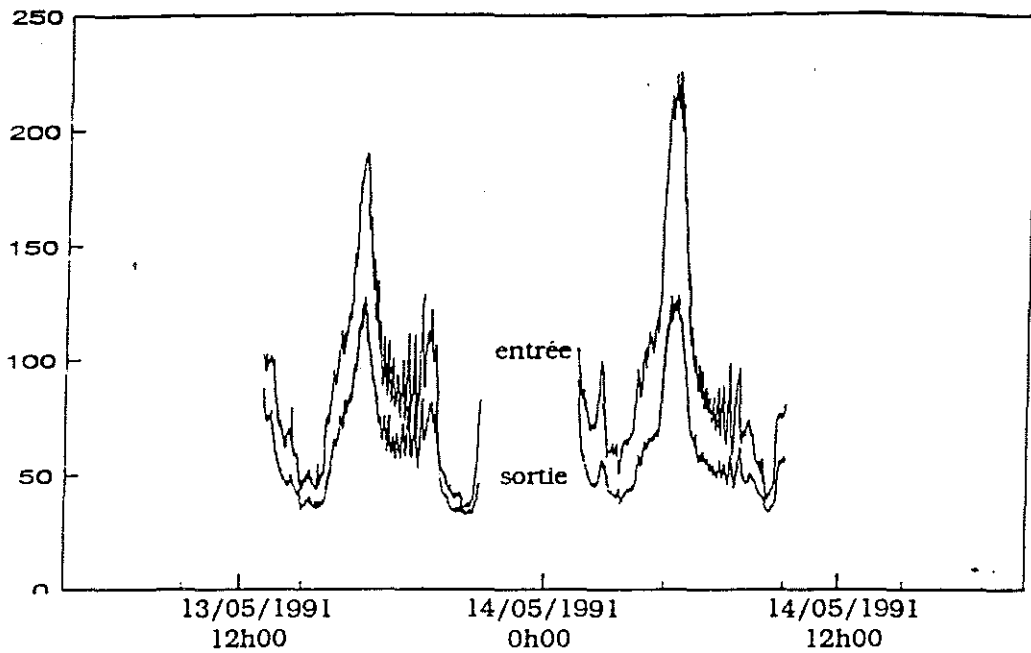


figure 32 : Evolution de la turbidité à l'entrée et à la sortie du race way (données étalonnées).

chlorophille a +  
phéopigments (  
µg/l d'eau de  
mer)

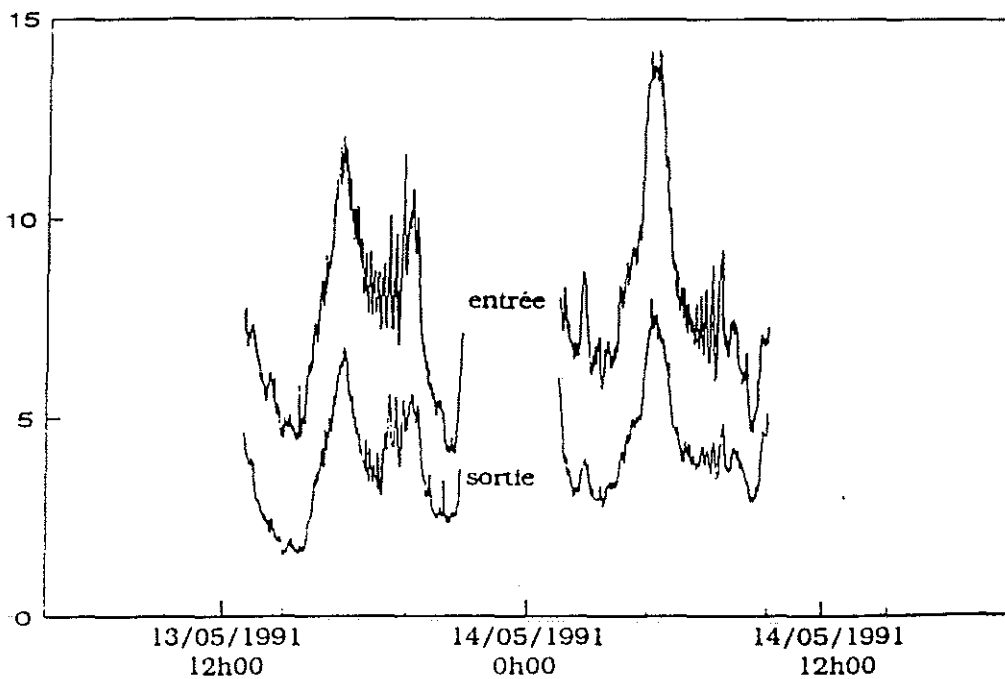


figure 33 : Evolution de la fluorescence à l'entrée et à la sortie du race-way (données étalonnées).

### CYCLE DU 13 ET 14 MAI 1991

Vitesse en  
m/s

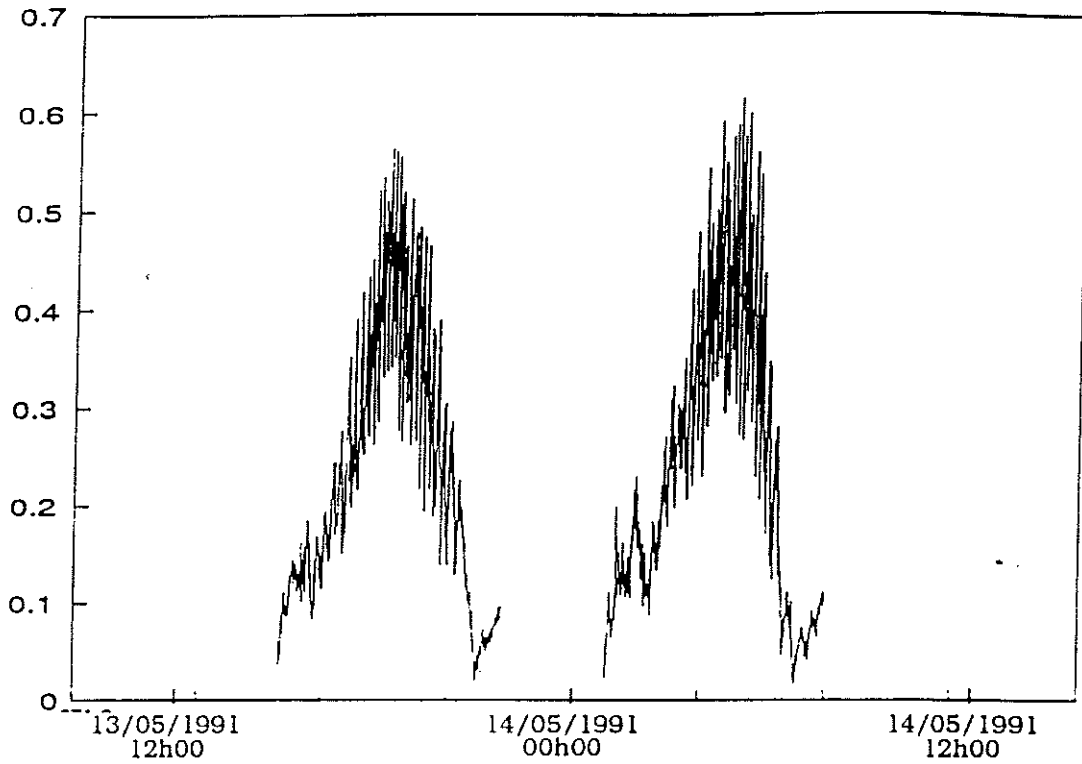


figure 34 : Evolution de la vitesse du courant au cours du cycle.

Direction en  
degrés par  
rapport au  
nord

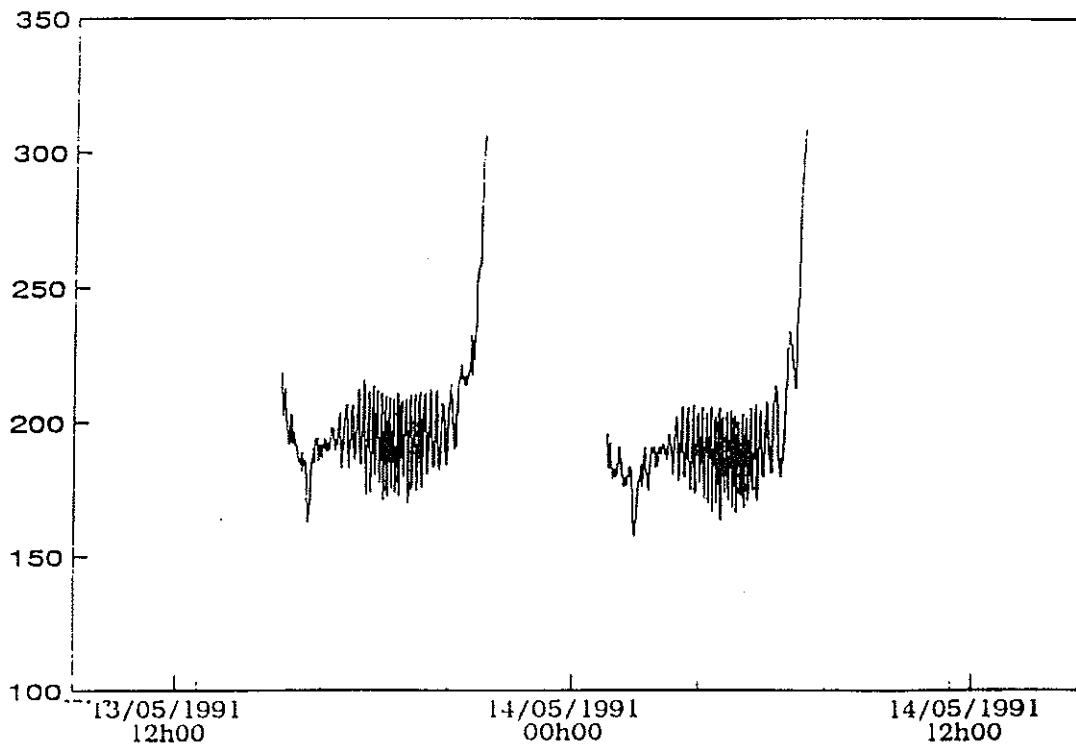


figure 35 : Evolution de la direction du courant au cours du cycle.

### CYCLE DU 13 ET 14 MAI 1991

g/l d'eau de mer.

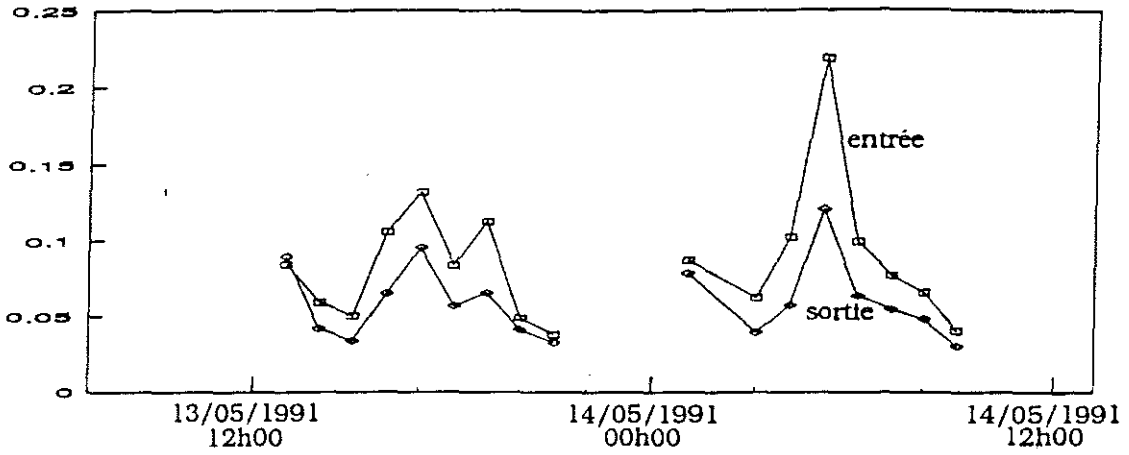


figure 22 : Evolution du seston total à l'entrée et à la sortie du race-way.

g/l d'eau de mer.

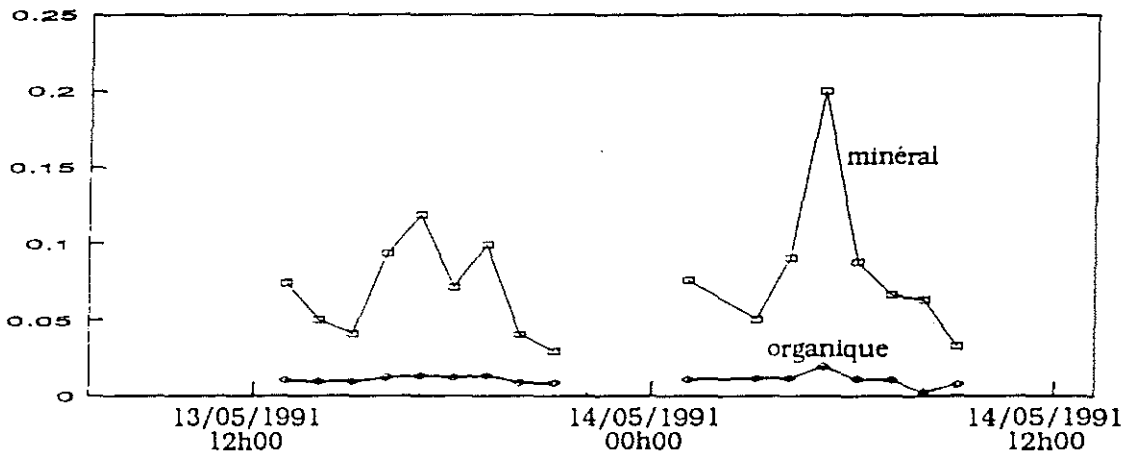


figure 23 : Evolution des fractions du seston à l'entrée du race-way.

g/l d'eau de mer.

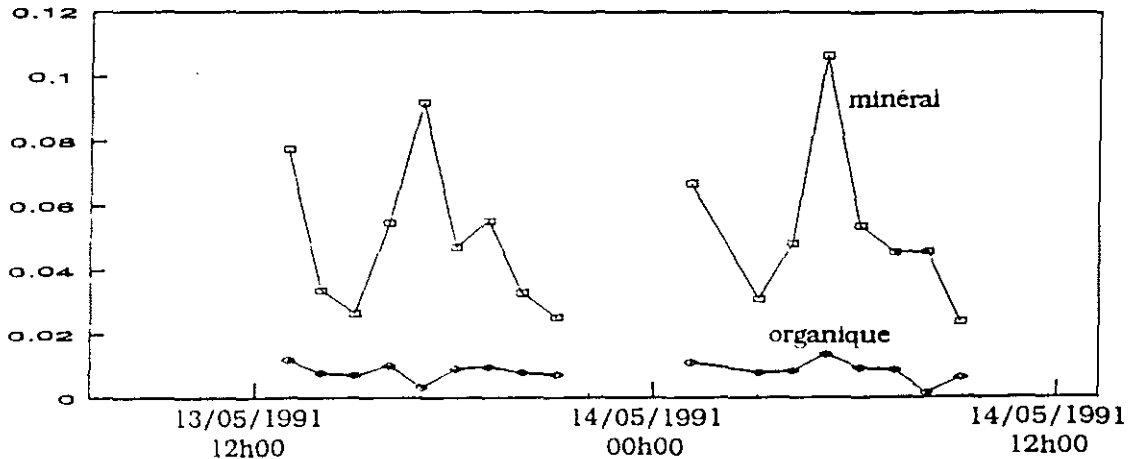


figure 24 : Evolution des fractions du seston à la sortie du race-way.

### **2.3. Evolution de la chlorophylle a et des phéopigments.**

L'évolution de la chlorophylle a + des phéopigments à l'entrée et à la sortie du race-way (figures 25 et 33) connaît le même type de variations que celles du seston total. On y retrouve les mêmes pics, avec cependant un décalage dans le temps entre ceux rencontrés à l'entrée et ceux retrouvés à la sortie. Ceci traduisant vraisemblablement un temps de transit plus long pour la chlorophylle a et les phéopigments dans le race-way (1 heure environ) par rapport à celui du seston.

En ce qui concerne l'évolution de la chlorophylle a et des phéopigments en entrée et en sortie, on peut dire qu'il existe une similitude dans l'évolution de ces deux paramètres. Il n'apparaît cependant pas y avoir de lien entre eux, les courbes d'évolution aussi bien en entrée qu'en sortie s'entrecroissant souvent. On peut remarquer en entrée (figure 26), que, la concentration en chlorophylle a est globalement inférieure à celle en phéopigment. Cette situation étant due à l'important apport de phéopigments par les eaux douces alimentant le bassin (Héral et al., 1983).

Le phénomène étant contraire en sortie (figure 27), la concentration en phéopigments y est globalement inférieure à celle en chlorophylle a ; les concentrations de sortie étant cependant inférieures à celle d'entrée. On peut penser que cette inversion dans le rapport des concentrations est due en partie au phénomène de sédimentation mais est surtout due à la filtration et au tri effectués par les huîtres sur les particules en suspensions. Pour confirmer cette hypothèse, une étude quantitative et qualitative de la teneur en phéopigments des fécès et pseudofécès apparaît nécessaire.

### **2.4. Evolution de la Température.**

Les variations de la température au cours du cycle n'ont été enregistrées que pour la seconde marée (14 mai 01 heure au 14 mai 09 heures)(figure 37).

La température variant dans cette partie du cycle de 15.5°C à 16.5°C. Cette variation de la température pouvant être due à l'arrivée des masses d'eau sur l'estran (réchauffement constaté au début de l'acquisition), à la chute de température liée à la levée du jour (variations constatées vers 5, 6 heures du matin) ou à l'arrivée d'une masse d'eau de température différente.

### **2.5. Evolution des débits.**

Les mesures de débit (figure 36) ont été réalisées afin de vérifier la constance de l'alimentation en eau des huîtres dans le race-way. L'enregistrement continu du débit étant utilisé pour déterminer le taux de filtration

### CYCLE DU 13 ET 14 MAI 1991

chlorophylle a +  
phéopigments  
( $\mu\text{g/l}$  d'eau de  
mer)

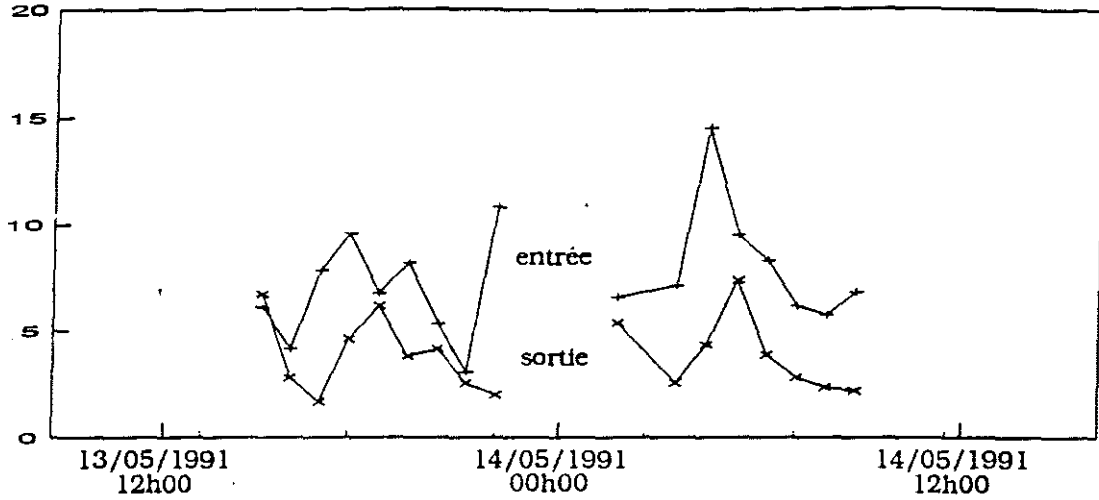


figure 25 : Evolution de la chlorophylle a + des phéopigments à l'entrée et à la sortie du race-way.

$\mu\text{g/l}$  d'eau  
de mer

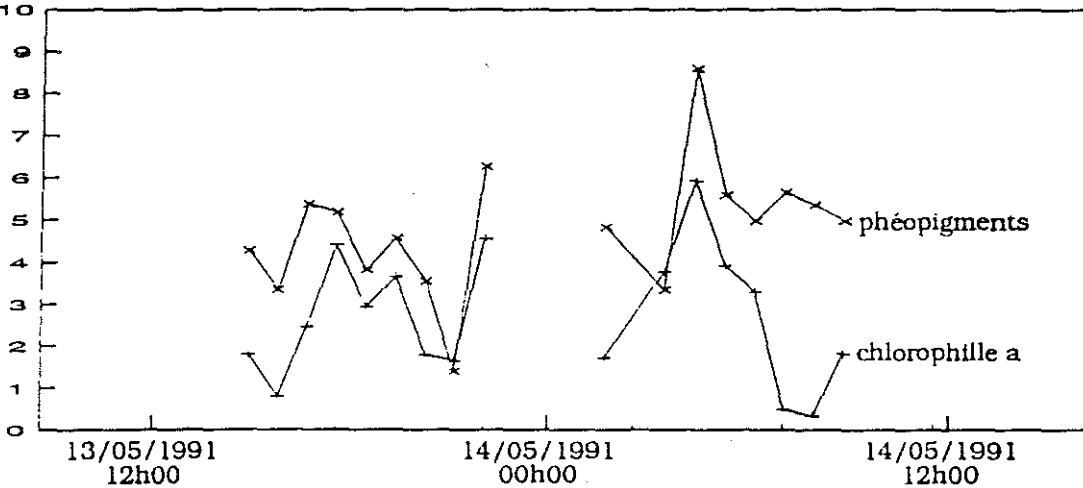


figure 26 : Evolution de la chlorophylle a et des phéopigments à l'entrée du race way.

$\mu\text{g/l}$  d'eau  
de mer

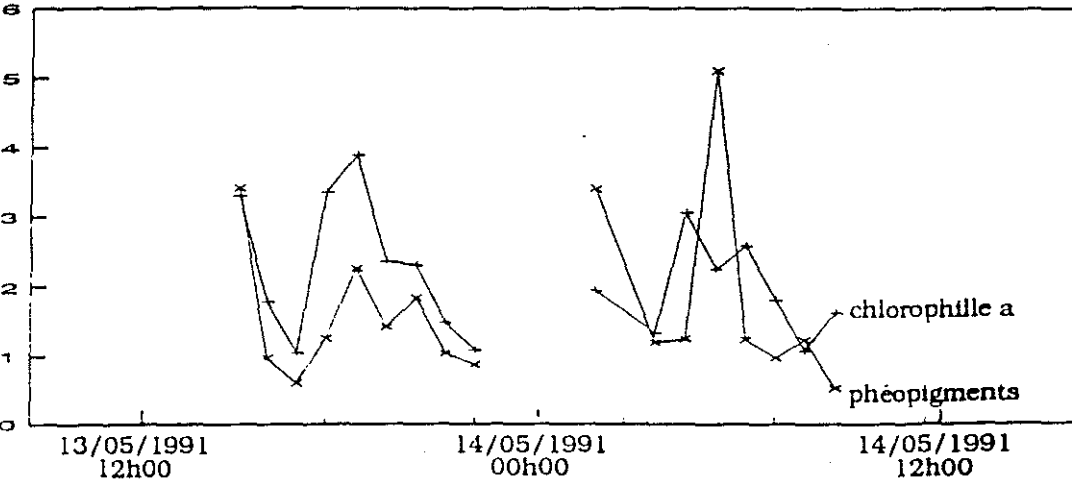


figure 27 : Evolution de la chlorophylle a et de phéopigments à la sortie du race-way.

### CYCLE DU 13 ET 14 MAI 1991

Débits en  
Litres/heures

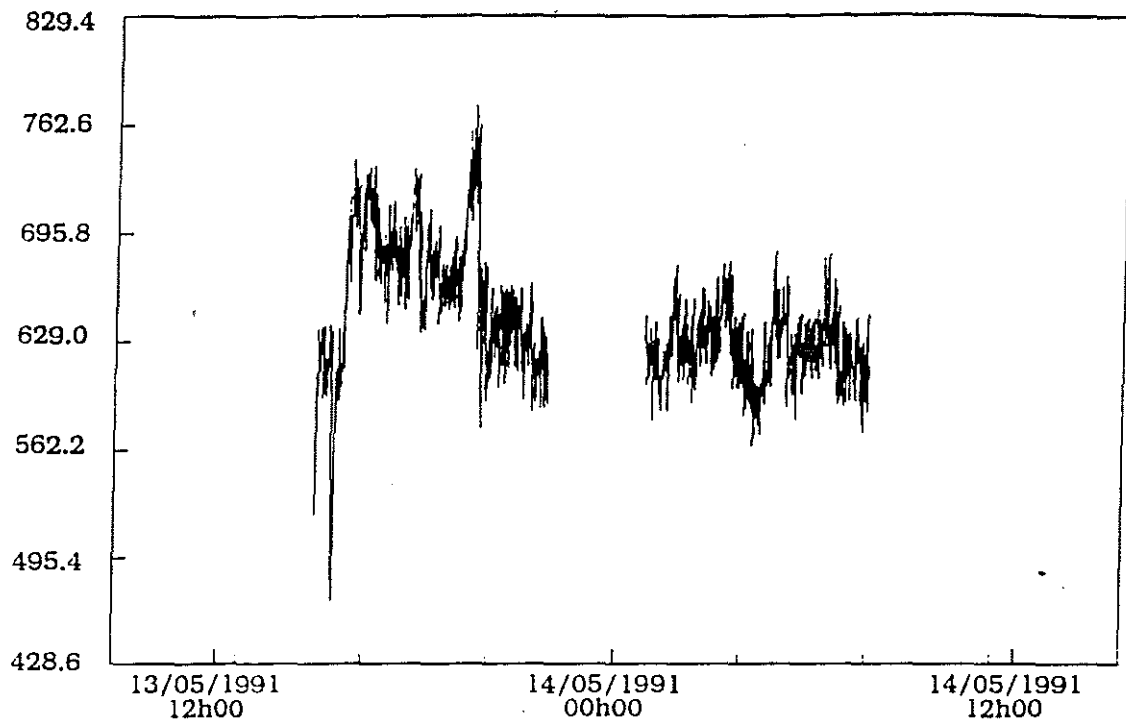


figure 36 : Evolution du débit d'eau de mer dans le race-way.

Température  
en °C

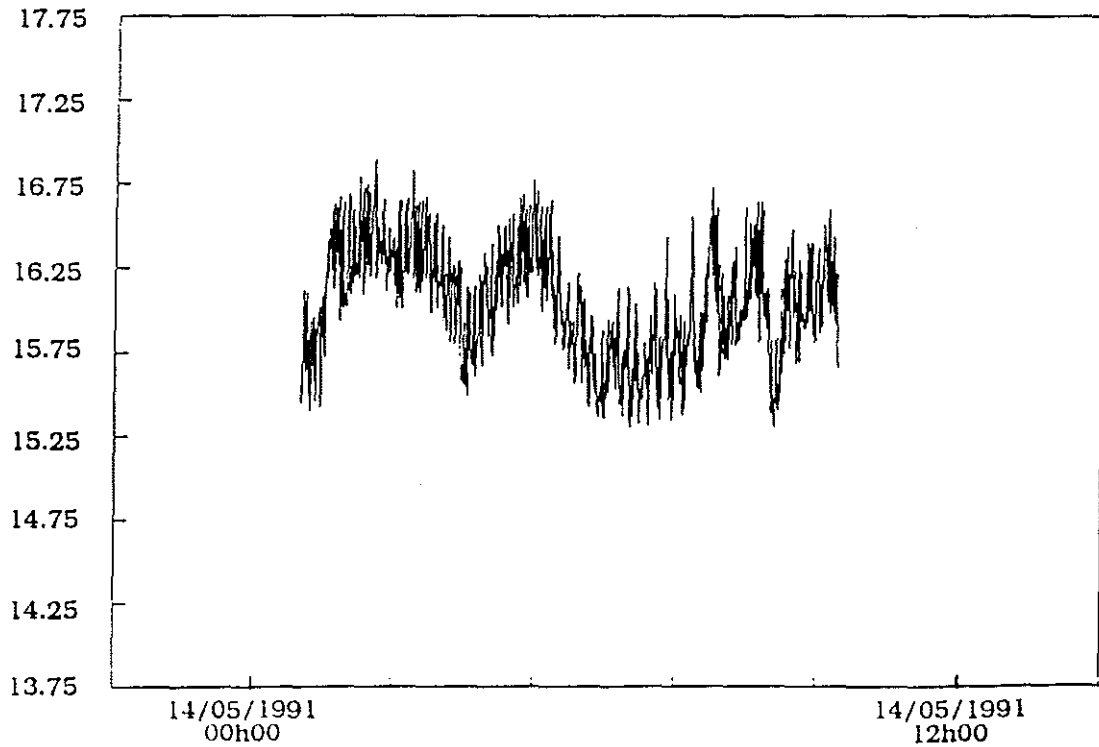


figure 37 : Evolution de la température de l'eau de mer entrant dans le race-way.

## **2.6. Evolution de la distribution du nombre de particules.**

Grâce aux mesures effectuées à partir du COULTER COUNTER une vérification du lien entre fortes charges sestoniques, et augmentation du nombre de particules par classe de taille a été possible. Ceci est visualiser sur la figure 38 pour laquelle, les distributions du nombre de particules à l'entrée du race-way ont été reportées pour 4 heures de prélèvements sur le graphique traduisant l'évolution du seston total.

A partir des résultats du COULTER COUNTER il est possible de déterminer le volume total des particules par litre d'eau de mer (exprimé en  $\text{mm}^3/\text{litre d'eau de mer}$ ).

En reliant les concentrations de seston exprimées en  $\text{mg/l}$  d'eau de mer et les volumes totaux de particules ( $\text{mm}^3/\text{l}$ ), il est possible de déterminer la masse volumique moyenne ( $\text{mg}/\text{mm}^3$ ) des particules en suspension dans l'eau donc du sédiment.

Cette masse volumique est la pente a de la droite d'équation :

$$\text{SESTON TOTAL (mg/l)} = a * \text{VOLUME DES PARTICULES (mm}^3/\text{l)} \text{ (figure 39)}$$

Le coefficient a, déterminé par régression linéaire du type  $Y = a * X$  (avec  $a = \frac{\sum (X_i * Y_i)}{\sum X_i^2}$ ) est égal à 2.86 (soit une masse volumique de  $2.86 \text{ mg}/\text{mm}^3$  ou  $2.86 \text{ g}/\text{cm}^3$ ). Cette masse volumique est proche des  $2.65 \text{ g}/\text{cm}^3$  utilisés par Dietrich (1982) pour ses calculs de vitesses de sédimentation.

## **2.7. Evolution du taux de rétention.**

Le taux de rétention (TR défini au paragraphe 1.1.) est étudié au cours du cycle pour le seston total et la chlorophylle a + les phéopigments.

La figure 41 représente le taux de rétention de seston total dans le race-way. Ce taux varie de 10 % à 40 % avec une moyenne se situant à 29 %.

La figure 42 représente le taux de rétention de chlorophylle a + phéopigments dans le race-way. Ce taux varie de 40 % à 65 % avec une moyenne se situant à 48 %.

La différence entre le taux moyen de rétention du seston total (29 %) et le taux de rétention moyen de la chlorophylle a + les phéopigments (48 %) s'explique par la différence de taille entre particules minérales (4 à 6 microns) et particules organiques fluorescentes (supérieures à 10 microns en général).



### CYCLE DU 13 ET 14 MAI 1991

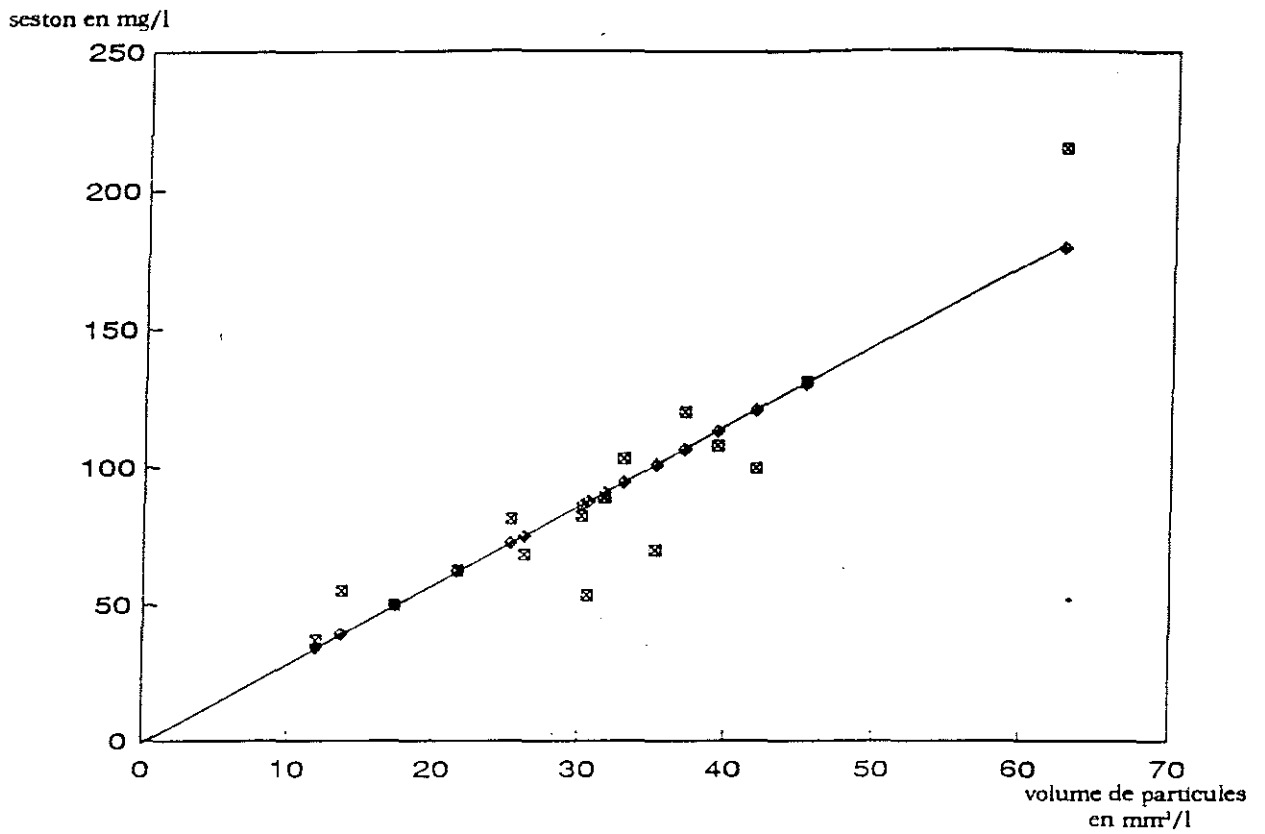


figure 39: Détermination de la masse volumique de la matière particulaire à l'entrée du race-way pendant le cycle du 13 mai.

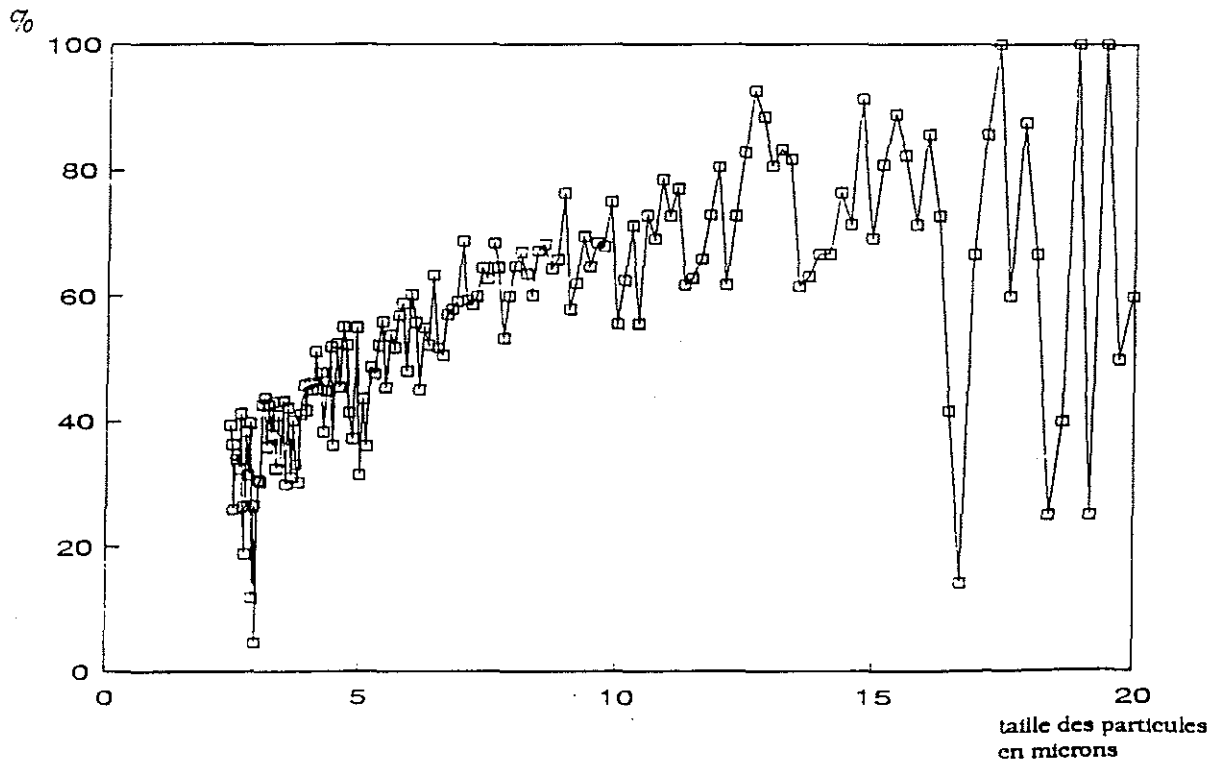


figure 40 : Evolution du taux de rétention des particules en fonction de leur taille entre entrée et sortie du race-way (le 14 mai à 5 heures).

CYCLE DU 13 ET 14 MAI 1991

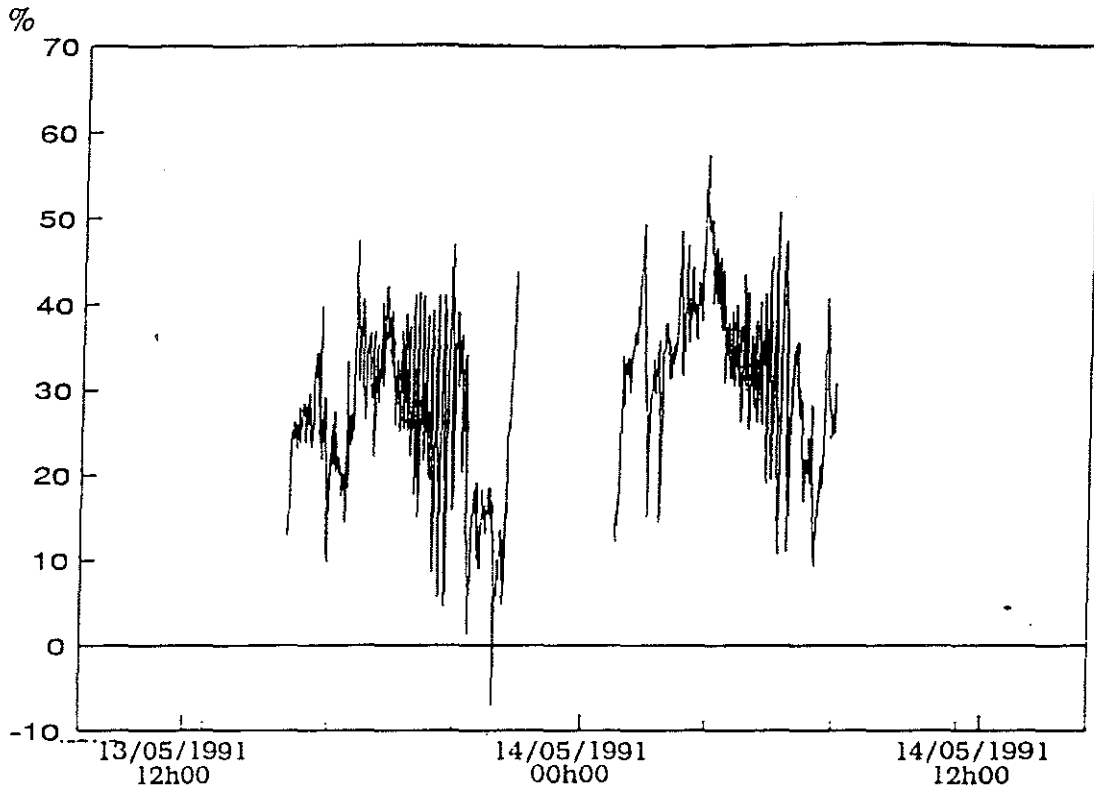


figure 41: Evolution du taux de rétention de seston total dans le race-way.

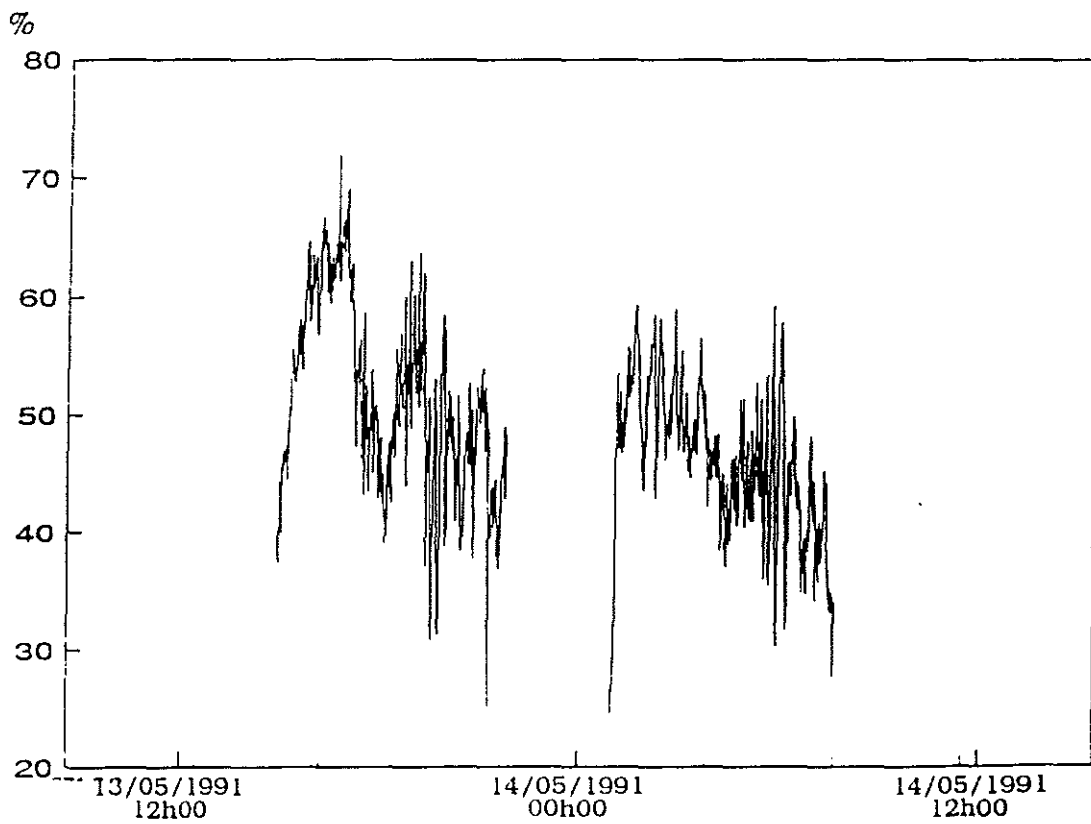


figure 42 : Evolution du taux de rétention de chlorophylle a + phéopigments dans le race-way

Ce phénomène est visualisé sur la figure 40 représentant le pourcentage de particules retenues dans le race-way en fonction de leur diamètre pour le 14 mai 1991 à 5 heures (charge sestonique de 225 mg/l d'eau de mer).

On visualise bien ici le fait que les particules de petite taille (4, 6 microns) ne sont que peu retenues alors que celles de taille supérieure le sont plus.

Ces résultats obtenus à partir du COULTER COUNTER confirment les taux de rétention calculés précédemment. On retrouve bien ici un taux de rétention d'environ 30 à 35 % pour les particules de diamètre de 4 à 6 microns (particules minérales) et de 50 % et plus pour les particules de diamètre supérieur à 10 microns (particules organiques fluorescentes).

Les particules de petite taille n'étant que peu ou pas retenues alors que celles de tailles plus importantes sont retenues par le filtre branchial.

Au milieu de chaque marée, lors des pics de forte charge sestonique, on note un accroissement du taux de rétention de seston total dans le race-way, alors que le taux de rétention de la chlorophylle a + de phéopigments diminue.

On peut émettre une hypothèse selon laquelle chez l'huître, en présence de fortes charges sestoniques, le phénomène de rétention est accru alors que le tri particulaire effectué sur le phytoplancton lui diminue.

### **2.8. Evolution de la filtration.**

La filtration (Filt) représente le volume d'eau de mer filtré par heure et par gramme de poids sec d'huître ; elle est définie par la formule :

$$\text{Filt} = (\text{Cent} - \text{Csort} / \text{Cent}) * \text{DEB} / \text{Psec}$$

Avec :

Cent : concentration du paramètre en entrée

Csort : concentration du paramètre en sortie

DEB : débit dans le race-way (litres/heure)

Psec : poids sec des huîtres (grammes)

seston en  
mg/l

### CYCLE DU 13 ET 14 MAI 1991

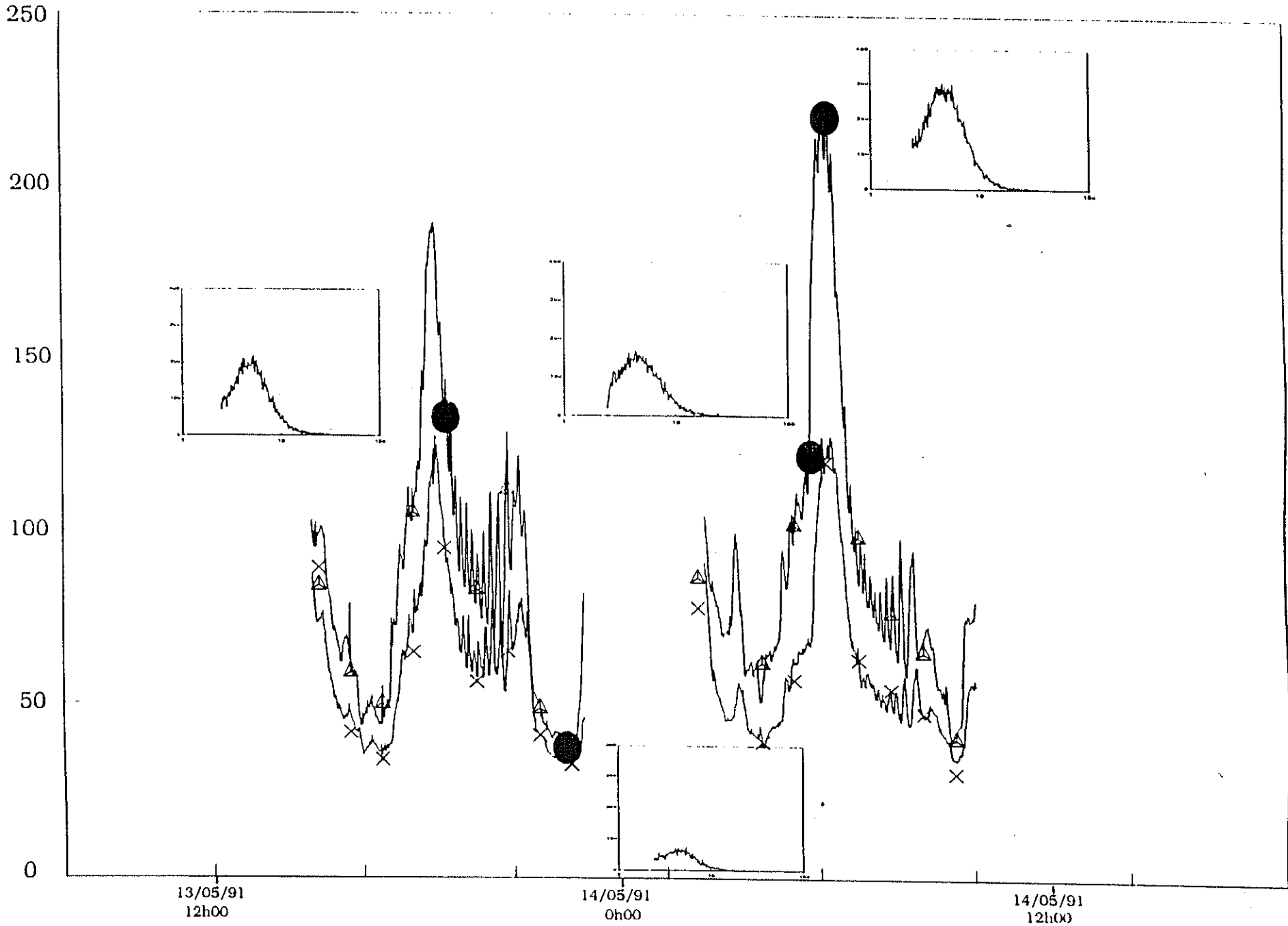


figure 38 : Evolution de la distribution du nombre de particules à l'entrée du race-way à différentes heures.

### CYCLE DU 13 ET 14 MAI 1991

litre d'eau de  
mer/heure/g  
de poids sec.

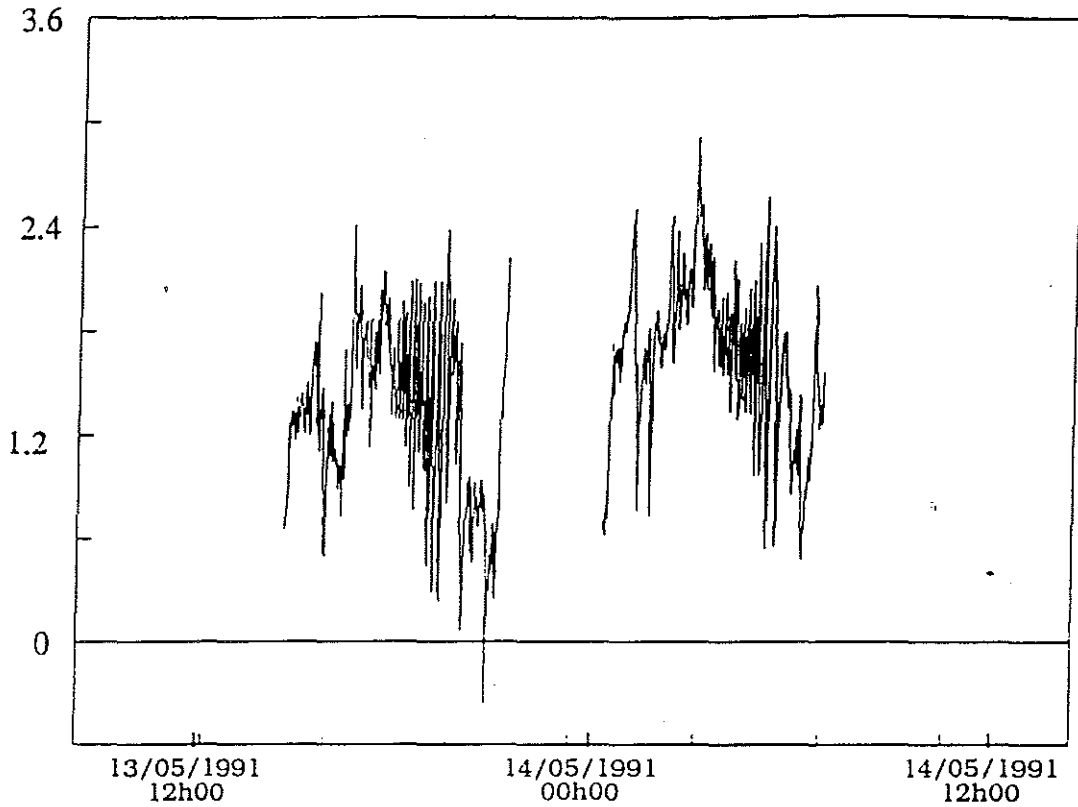


figure 43 : Evolution de la filtration calculée à partir du seston total.

litre d'eau de  
mer/heure/g  
de poids sec.

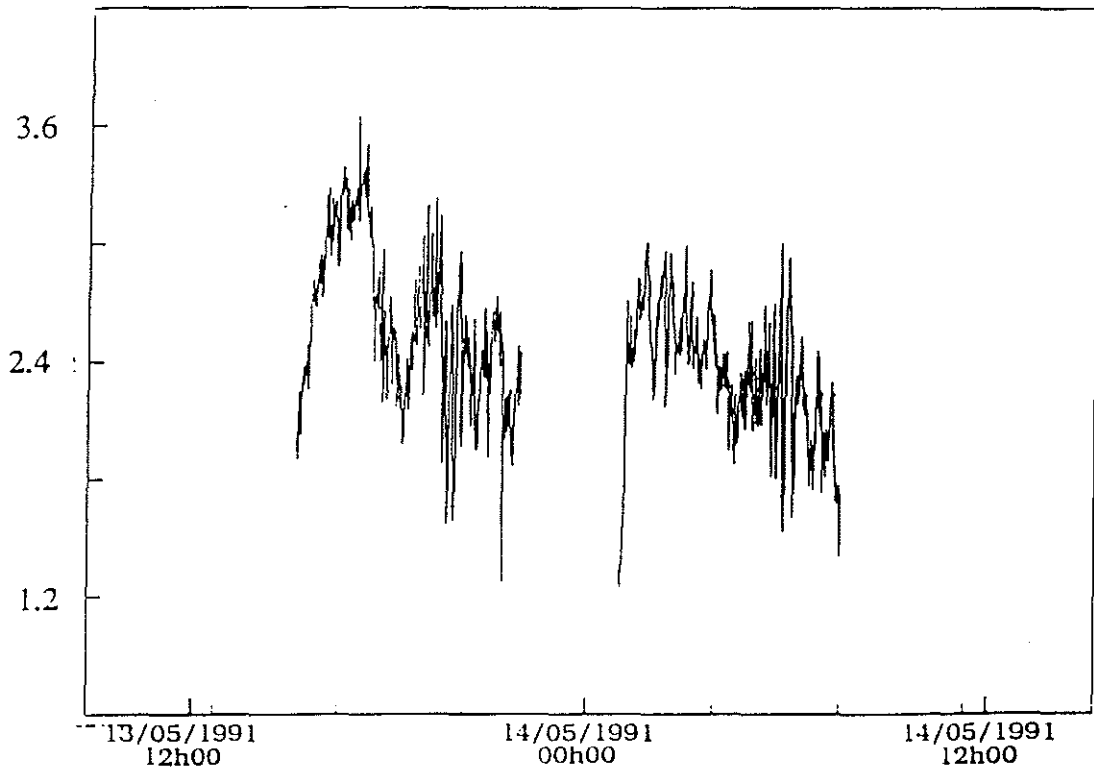


figure 44 : Evolution de la filtration calculée à partir de la chlorophylle a + phéopigments.

Les figures 43 et 44 présentent la filtration des 100 huîtres du race-way pour les paramètres seston et chlorophylle a + phéopigments. Le calcul de cette filtration a été réalisé pour un débit estimé constant évalué à 660 l/h et pour un poids sec d'huître de 1.3 g par animal soit 130 g de poids sec total.

En comparant les figures 43 et 44 on constate, que le volume d'eau de mer filtré par les huîtres diverge selon le paramètre utilisé pour le calcul.

Il s'échelonne de 0.6 à 2.5 litre/heure/gramme de poids sec d'huître avec une moyenne de 1.8 en utilisant le paramètre seston et de 1.8 à 3.6 avec une moyenne de 2.4 litres/heure/gramme de poids sec en utilisant le paramètre chlorophylle a + phéopigments.

Les résultats de filtration calculés lors du cycle corroborent ceux de 1988 et de 1990 (Augereau, 1990) s'échelonnant de 0 à 8 litres/heure/gramme de poids sec d'huître.

## BIBLIOGRAPHIE

Augereau O., 1990. Variabilité des conditions trophiques et comportement des huîtres sur le site du Chapus(1990).Rapport IUT BREST.

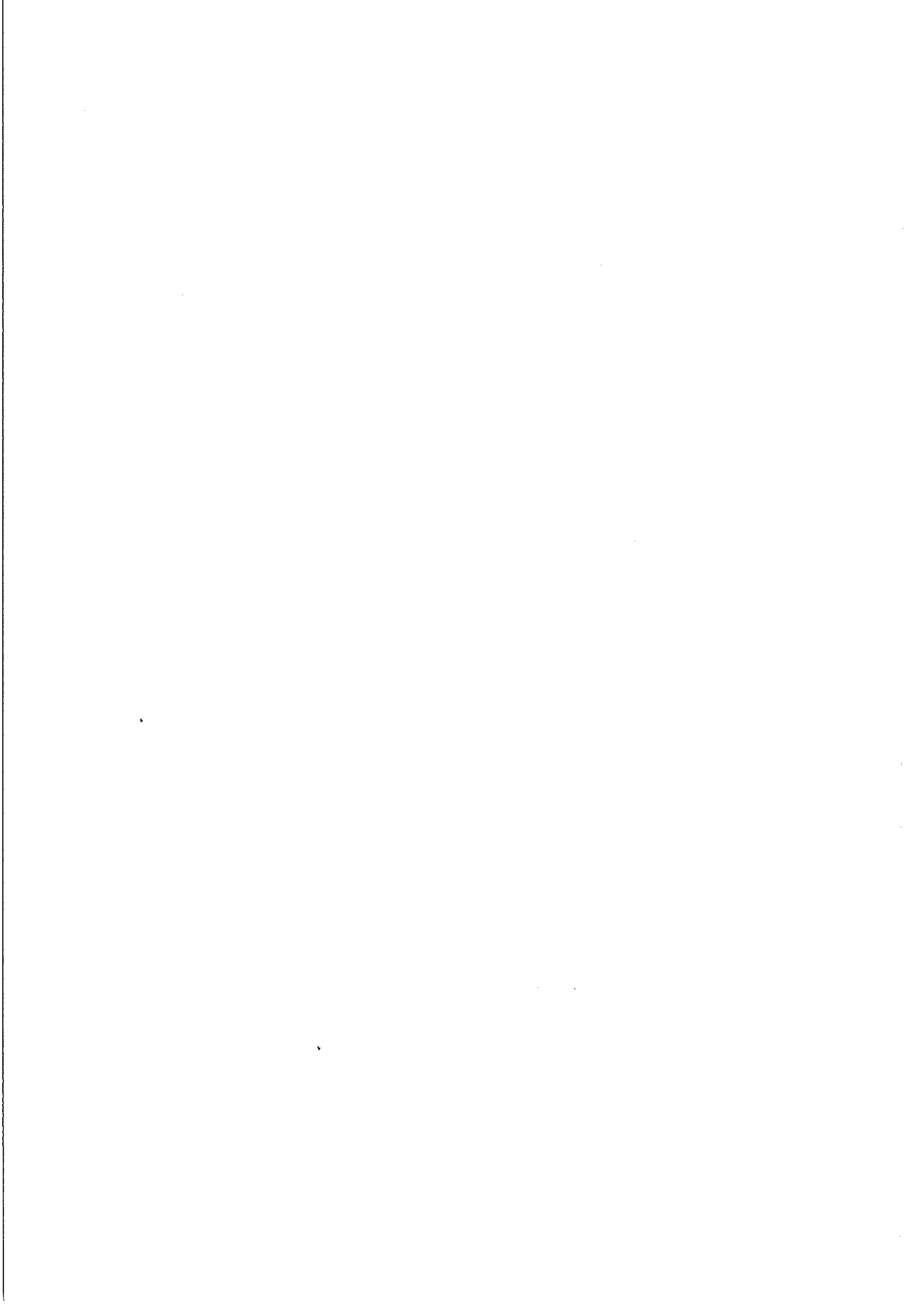
Bodoy A., 1988.Mortalités d'huîtres japonaises sur le banc de Ronce : Rapport provisoire au 4/08/1988. Rapport IFREMER : 26p.

Dietrich,W.A., 1982. Settling velocity of natural particles. Water Resour.Res.87:1952-1960.

Harris G.P.,1986.Phytoplankton ecology.Structure, Function and fluctuation.

Héral et al., 1983. Variations saisonnières de l'hydrobiologie du complexe estuarien de Marennes-Oléron. Rev.Trav.Inst.Pêches marit.,46 (2).

Kusuki Y.,1978. Fundamental studies on the deterioration of oyster growing grounds. III. Sinking rates and distance of transport of the faeces of Japanese oyster. Bull.Jap.Soc.Sci.Fish. 44(9):971-979.

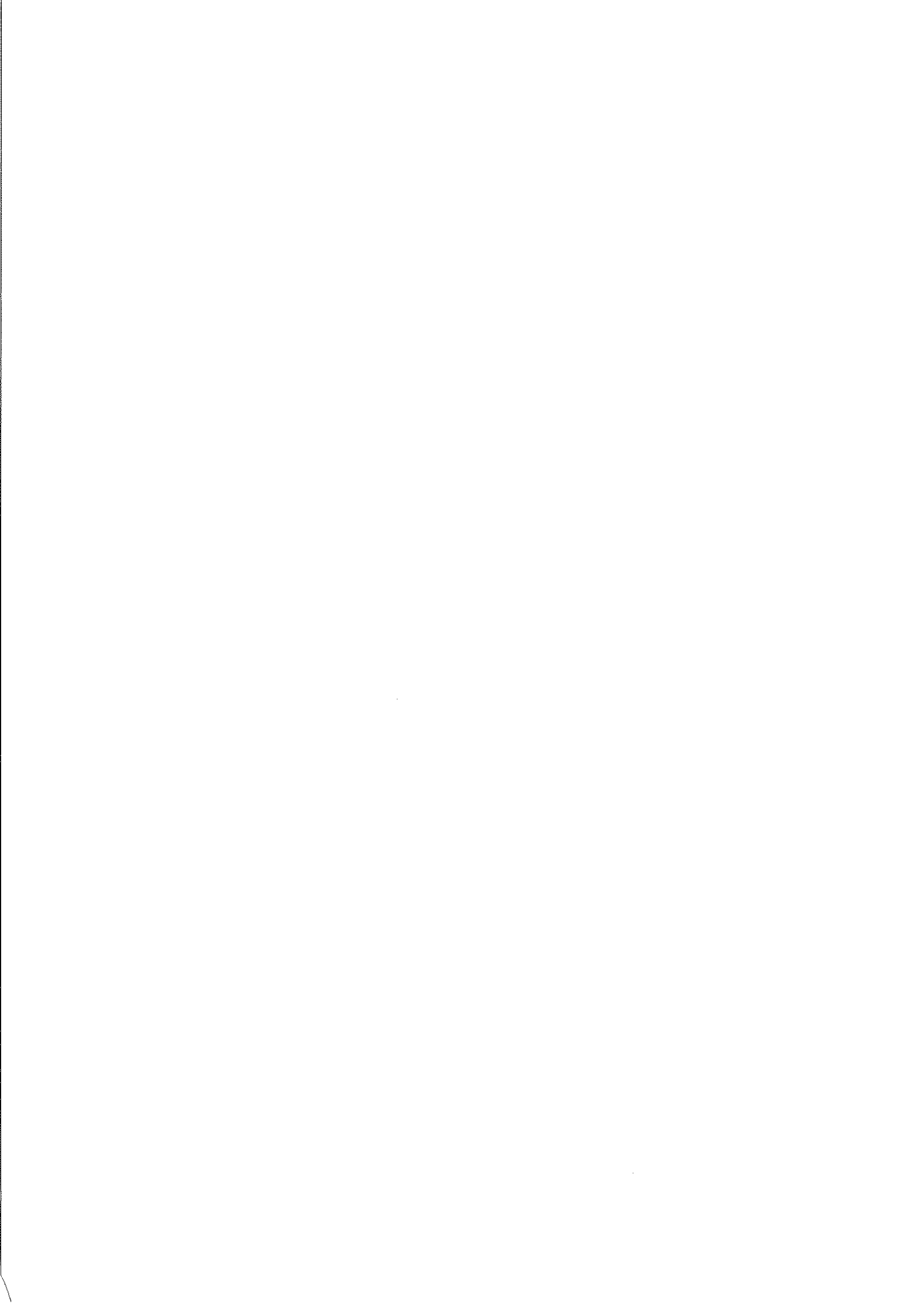




## **CHAPITRE II**

**INFLUENCE DE LA CHARGE PARTICULAIRE SUR LA  
FILTRATION D'UNE POPULATION D'HUITRE  
*CRASSOSTREA GIGAS* DANS LE BASSIN ESTUARIEN DE  
MARENNES-OLERON (FRANCE) : ANALYSE DE DEUX  
CYCLES DE MAREE.**

**SOLETCHNIK P., PROU J., HERAL M., BARILLE L.,  
RAZET D., GUEZENNEC L.**



**INFLUENCE DE LA CHARGE PARTICULAIRE SUR LA FILTRATION  
D'UNE POPULATION D'HUITRE *CRASSOSTREA GIGAS* DANS LE  
BASSIN ESTUARIEN DE MARENNES-OLERON (FRANCE) : ANALYSE  
DE DEUX CYCLES DE MAREE.**

par

Patrick SOLECHNIK, Jean PROU, Maurice HERAL, Laurent BARILLE, Daniel  
RAZET et Loïc GUEZENEC.

IFREMER, LABEIM-UREA, B.P. 133, F-17390 La Tremblade

**RESUME** : La filtration d'une population de 100 huitres a été suivie pendant 16 jours dans un raceway par l'enregistrement en continu à l'entrée et à la sortie du raceway de la turbidité et de la fluorescence *in situ*. Les conditions expérimentales sont très fluctuantes avec des charges sestoniques qui peuvent varier lors d'un cycle tidal de 40 mg.l<sup>-1</sup> à 300 mg.l<sup>-1</sup>. Parallèlement la biomasse chlorophyllienne présente des variations synchrones de 7 à 20 µg.l<sup>-1</sup> associées à la remise en suspension du phytobenthos et des biodépôts d'huitres, générée par le cycle alternatif des courants. La filtration de la population pendant un cycle de vives eaux, oscille entre 1,2 et 2,8 l.h<sup>-1</sup> par animal pour une rétention calculée avec la turbidité et entre 2,4 et 4,8 l.h<sup>-1</sup> par animal pour une rétention calculée avec les biomasses phytoplanctoniques. Pendant un cycle de mortes eaux la filtration oscille respectivement entre 0,7 et 2,4 l.h<sup>-1</sup> par animal et entre 0,5 et 4,3 l.h<sup>-1</sup> par animal. La filtration de la population fluctue pendant le cycle de marée avec la charge sestonique, elle diminue lorsque celle-ci est supérieure à 100 mg.l<sup>-1</sup> correspondant à une biomasse chlorophyllienne supérieure à 7 µg.l<sup>-1</sup>. Cette baisse de l'activité de filtration est nette pendant les marées basses des cycles de vives eaux.

**ABSTRACT** : Filtration of oyster population (100 animals) have been followed during 16 days in raceway systems with continuous recorder of the input and output of the raceway for *in situ* turbidity and fluorescence. Experimental conditions were fluctuated with particulate matter which varied during a tidal cycle from 40 mg.l<sup>-1</sup> to 300 mg.l<sup>-1</sup>. During the same period the phytoplanktonic biomass presented synchronous variations form 7 to 20 µg.l<sup>-1</sup> bound with sediment resuspension of phytobenthos and oyster biodeposit created by alternating currents. Filtration of oyster population during a neap tide cycle, variated between 1.2 and 2.8 l.h<sup>-1</sup> by animal for a calculated retention based on turbidity and between 2.4 and 4.8 l.h<sup>-1</sup> by animal for a retention calculated with phytoplanktonic biomasses. During a spring tide cycle, oysters filtration varied respectively from 0.7 to 2.4 l.h<sup>-1</sup> animal and 0.5 to 4.3 l.h<sup>-1</sup> by animal. Filtration of the oyster population fluctuated during the tidal cycle with the load of particulate matter. At higher rate, upper than 100 mg.l<sup>-1</sup> which correspond to phytoplanktonic biomass higher than 7 µg.l<sup>-1</sup> filtration decreased. It was clear during the low tide of the spring tide.

## INTRODUCTION

Déterminer la filtration moyenne d'une population d'huître dans un écosystème macrotidal soumis à de grandes variations de turbidité pourrait être considéré comme un travail élémentaire fort simple. Pourtant de nombreuses expérimentations *in vitro* ont été effectuées sur l'étude de la filtration des mollusques. La moule *Mytilus edulis* (pour une synthèse voir Bayne et Newell, 1983) et l'huître américaine *Crassostrea virginica* (pour une synthèse voir Dame, 1972) ont été les espèces les plus étudiées. Au contraire peu de travaux ont été réalisés au laboratoire sur l'huître japonaise *Crassostrea gigas*. Lee et Chin (1981) et Gerdes (1980) ont déterminé des relations allométriques entre poids et filtration pour une gamme restreinte de température. Kusuki (1977) constate que les mesures individuelles de filtration mesurées en laboratoire avec des souches algales sont plus faibles que celles estimées dans le milieu naturel. Walne (1972) trouve une relation étroite entre la vitesse du courant, la filtration et la température. Ultérieurement Fiala-Médioni et Copello (1984) montrent l'influence négative de fortes charges de cellules phytoplanctoniques cultivées sur la filtration de cette espèce. Néanmoins peu de travaux ont été réalisés sur l'impact de la variabilité des conditions trophiques sur la filtration de l'huître.

Deslous-Paoli et al. (1987) avec de l'eau d'un milieu estuarien trouvent que la quantité et la qualité de la nourriture n'ont pas d'effet sur la filtration individuelle, exception faite des fortes charges en seston minéral. Pour ces auteurs, le taux de filtration de *Crassostrea gigas* calculé par les pigments chlorophylliens est en moyenne de  $4,03 + 2,19 \text{ l.h}^{-1}\text{gcs}$  entre octobre et mai et  $5,55 + 0,35 \text{ l.h}^{-1}\text{gcs}$  entre juin et septembre. Pour cette espèce les variations saisonnières sont peu sensibles avec cependant une augmentation estivale liée au cycle de reproduction de cette espèce. Outin (1990) étudie *in situ* l'écophysiole d'une population d'huître *Crassostrea gigas* (60 huîtres) en fonction de la saison dans un écosystème lagunaire et trouve que la filtration moyenne varie de  $2,80 \text{ l.h}^{-1}\text{gcs}^{-1}$  en novembre pendant la phase de repos sexuel à  $8,60 \text{ l.h}^{-1}\text{gcs}^{-1}$  fin juin chez des animaux en phase active de maturation. Par ailleurs pour les individus les plus jeunes une relation linéaire existe entre la filtration et la température. Héral et al. (1989) mesurent *in situ* en continu pendant 9 jours la filtration de 5 huîtres soumises à des fluctuations importantes de la charge sestonique. Ces auteurs montrent que la filtration moyenne calculée avec les signaux des turbidimètres ( $2 \text{ l.h}^{-1}\text{g}^{-1}$  de poids sec) est 3 fois inférieure à celle obtenue avec les signaux des fluorimètres.

Pour toute approche de bilan d'énergie ou de modèle de réseau trophique dans un écosystème, c'est le comportement d'une population d'huîtres qui est intéressant à déterminer contrairement aux expériences précédentes où une analyse individuelle de la physiologie des individus a été réalisée (sauf Outin, 1990). Dans ce travail nous nous sommes attachés à définir la filtration moyenne d'une population d'huître en continu pour déterminer si les variations de la quantité et de la qualité de la nourriture pendant un cycle de marée de mortes eaux et de vives eaux induisent des fluctuations de la filtration moyenne d'une population d'huître.

## MATERIELS ET METHODES

Le site expérimental est situé au centre du bassin de Marennes-Oléron dans un secteur représentatif des conditions hydrologiques des parcs ostréicoles (fig. 1) sur un site découvrant à un coefficient de marée de 70. Les expérimentations sont réalisées pendant 18 jours du 10 au 26 mai 1991. Les mesures en continu de la fluorescence et de la turbidité sont réalisées selon le protocole décrit par Razet et al. (1990). L'eau pompée à 50 cm au-dessus de l'estran alimente un raceway contenant 100 huîtres adultes calibrées âgées de 3 ans et pesant un poids sec moyen individuel de 1,3 g au début de l'expérience et de 1,76 g en fin d'expérience, soit un taux journalier de croissance de 0,02 g de chair sèche. L'eau, avant d'entrer dans le raceway passe successivement par une sonde de température, un débitmètre, un néphélomètre et un fluorimètre (fig. 2). L'eau de

sortie de raceway passe par un deuxième néphélomètre et un deuxième fluorimètre. Dans le raceway un flux laminaire d'eau est créé, la hauteur d'eau est de 18 cm, le volume du bac est de 65 litres, le débit d'eau varie autour de 650 l.h<sup>-1</sup>, débit réglé afin de ne pas remettre en suspension les fèces et pseudofèces, pour obtenir une rétention mesurable entre l'entrée et la sortie en fonction de la précision des appareils, et pour avoir un temps de résidence de l'eau dans le raceway inférieur à 5 minutes.

Tous les capteurs (température, débitmètres, turbidimètres, fluorimètres) sont directement connectés par une carte d'acquisition Analog Connection à un micro-ordinateur. Le logiciel Quicklog permet de visualiser en temps réel les informations transmises par les différents capteurs. Les données sont stockées toutes les minutes dans un fichier journalier. Parallèlement, les mesures de la vitesse et de la direction du courant sont réalisées grâce à un courantomètre Valport BFM 108 couplé à un micro-ordinateur. Les résultats présentés dans ce travail concernent deux cycles de 24 heures, l'un en vives eaux l'autre en mortes eaux. Des prélèvements discrets sont réalisés toutes les heures pour étalonner les signaux des turbidimètres et des fluorimètres. Des régressions permettent de transformer pour chaque cycle les valeurs de turbidité en charge sestonique et les valeurs de fluorescence en somme des pigments chlorophylliens (chlorophylle a et phéopigments). Ces régressions sont toutes significatives au seuil de 95 % (tableau 1). Lors de ces deux périodes (mortes eaux et vives eaux) les huitres vivantes sont retirées du raceway pendant 24 h et remplacées par des coquilles d'huitres de mêmes caractéristiques que les huitres vivantes pour déterminer la sédimentation dans le raceway. Des passages en direct, analyse de la même eau par les deux turbidimètres et par les deux fluorimètres, permettent d'étalonner les appareils entre eux.

Après étalonnage des différents signaux, les caractéristiques du milieu sont présentées avec un point moyen toutes les 15 minutes obtenu par moyenne mobile de 19 valeurs stockées toutes les minutes.

Le calcul de la filtration est effectué pour des circuits ouverts selon la formule (Vahl, 1972) :

$$F = \frac{D \times (C1 - C2)/C1}{n}$$

où C1 est la concentration par litre à l'entrée du raceway diminuée du taux de sédimentation, C2 est la concentration par litre à la sortie du raceway, D est le débit exprimé en l.h<sup>-1</sup>, n est le nombre d'huitres présentes dans le raceway (100). La filtration est exprimée en l.h<sup>-1</sup> par animal. Les paramètres utilisés pour calculer le taux de filtration sont la charge sestonique et la biomasse phytoplanctonique.

En début d'expérimentation, un échantillon de 100 individus est disséqué et la biomasse est lyophilisée (24 h) puis pesée. En fin d'expérimentation les animaux sont traités de manière identique. Pour les comparaisons entre le début et la fin de l'expérimentation et pour comparer les données avec nos résultats déjà obtenus sur ce site, une standardisation du poids sec est effectuée selon la formule (Bayne et al., 1987) :

$$Y_s = \left( \frac{W_s}{W_c} \right)^b \times Y_c$$

où Ys est l'activité physiologique de l'animal standard, Ws est le poids de l'animal standard fixé pour l'huitre *Crassostrea gigas* à 1 g, b correspond à l'exposant allométrique pour la filtration chez *Crassostrea gigas*. Le coefficient retenu est égal à 0,4 (Bougrier, com. pers.)

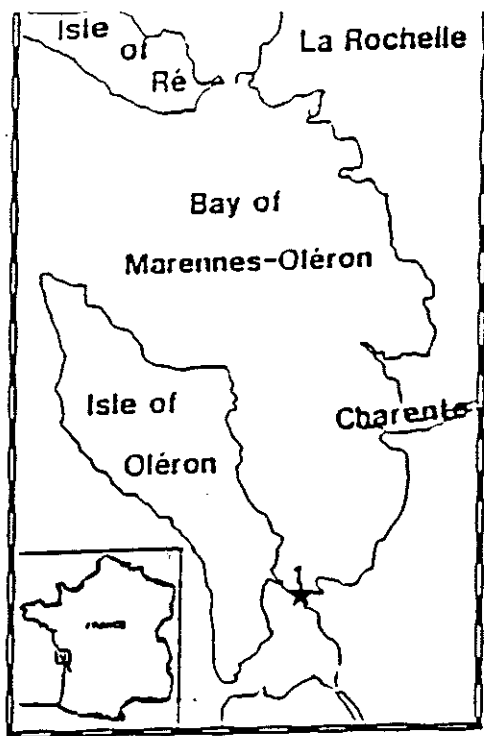


Figure 1 : Localisation de la station échantillonnée

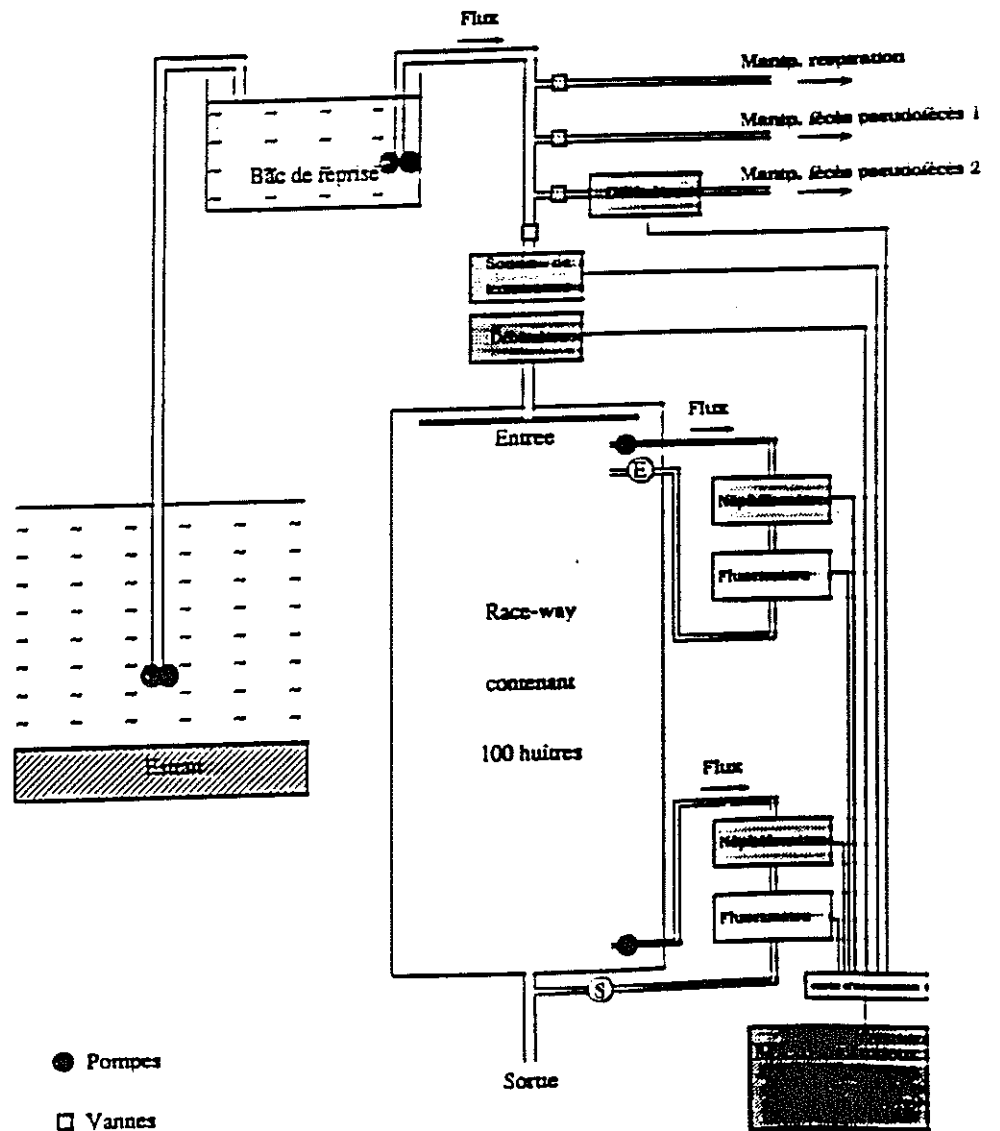


Figure 2 : Protocole expérimental.

● Pompes

□ Vannes

⊕ ⊙ Localisation des prélèvements discrets entrée et sortie

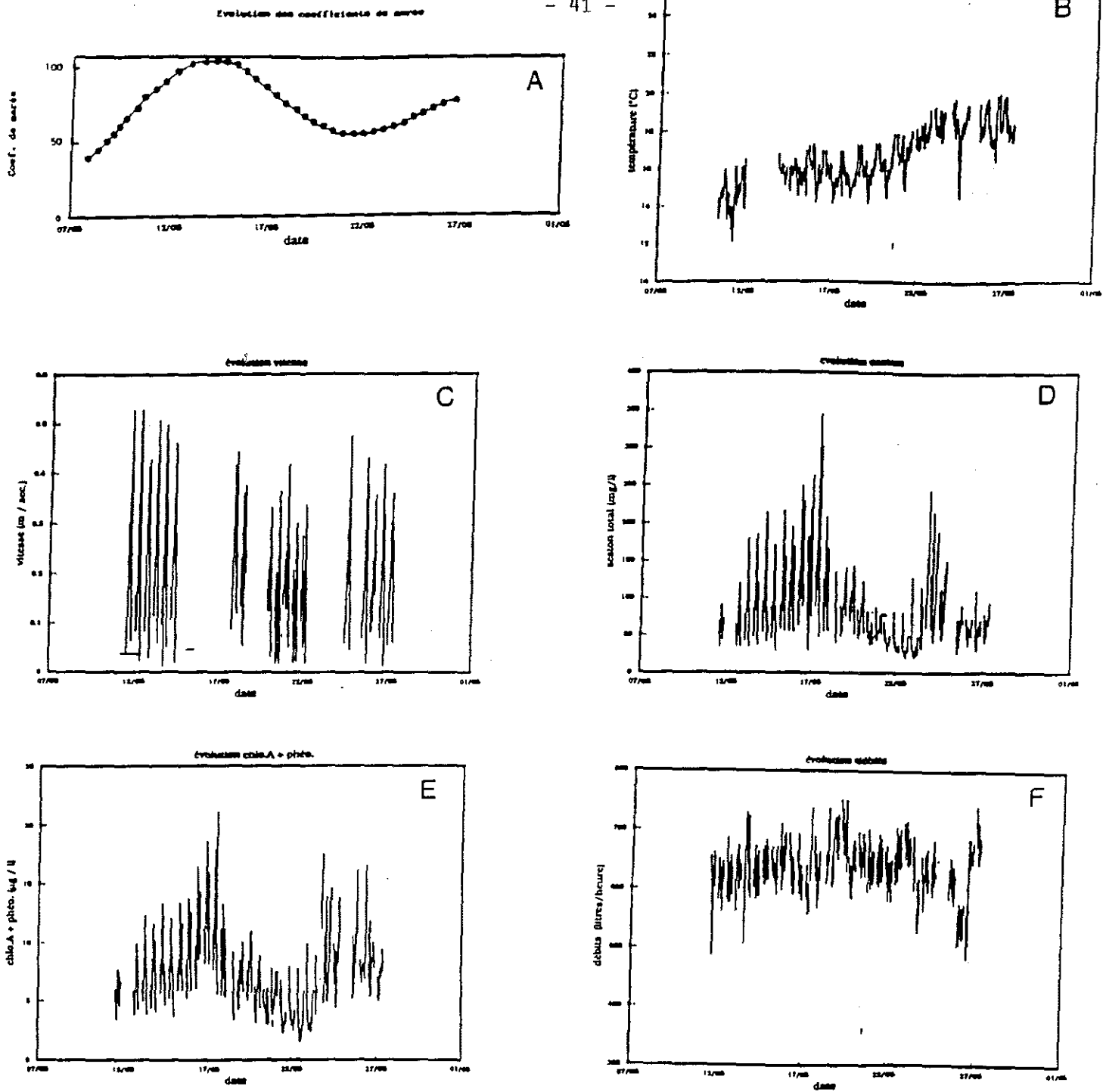
*Conditions expérimentales*

L'évolution de la température suit une tendance générale à l'échauffement passant respectivement de 14°C à 19°C en fin d'expérimentation. Le cycle jour nuit présente des fluctuations marquées pouvant atteindre 2°C entre le jour et la nuit (fig. 3).

Par l'étalonnage (équation 3, tableau 1) le signal du turbidimètre est transformé en charge sestonique. L'évolution du seston (fig. 3) met nettement en évidence l'influence du cycle mortes eaux-vives eaux (fig. 3) avec cependant le 24 mai et le 25 mai une augmentation de la charge sestonique qui pourrait être attribuée à d'autres facteurs favorisant une remise en suspension du sédiment (vent...). Les cycles de marée sont caractérisés par des fortes valeurs de seston au début et à la fin de chaque marée avant et après l'émersion des parcs ostréicoles en liaison étroite avec la remise en suspension locale du sédiment. A mi-marée, le courant de flot maximal atteint 0,5 m.s<sup>-1</sup> en vives eaux et 0,3 m.s<sup>-1</sup> en mortes eaux présentant en mortes eaux un double pic correspondant à des directions différentes du courant (Prou, com. pers.).

**Tableau 1 :** Régressions utilisées pour le calcul du taux de sédimentation, pour la transformation des signaux généraux turbidité, charge sestonique, fluorescence, biomasse phytoplanctonique, pour la transformation de la fluorescence en biomasse pour le cycle du 13 mai et pour le cycle du 21 mai.

<p>1. Régression passage en direct des deux turbidimètres</p> <p><math>(Tu \text{ entrée}) = 1,012482 \times (Tu \text{ sortie}) + 0,234865</math></p> <p><math>R^2 = 0,99</math>                      <math>n = 976</math></p>
<p>2. Régression taux de sédimentation turbidimètres</p> <p><math>(Tu \text{ sortie}) = 0,980701 \times (Tu \text{ entrée}) - 0,05296</math></p> <p><math>R^2 = 0,993</math>                      <math>n = 1692</math></p>
<p>3. Régression générale seston</p> <p><math>Y = 19,736 \times (Tu \text{ entrée}) + 9,997</math> (en mg.l<sup>-1</sup>)</p> <p><math>R^2 = 0,915</math>                      <math>n = 168</math></p>
<p>4. Régression Générale chlorophylle a + phéopigments</p> <p><math>Y = 0,469902 \times (Fluo \text{ entrée}) - 3,96601</math> (en µg.l<sup>-1</sup>)</p> <p><math>R^2 = 0,760</math>                      <math>n = 83</math></p>
<p>5. Régression chlorophylle a + phéopigments pendant le cycle du 13 mai 1991</p> <p><math>Y = 0,461052 \times (Fluo \text{ entrée}) - 3,80714</math> (en µg.l<sup>-1</sup>)</p> <p><math>R^2 = 0,712</math>                      <math>n = 17</math></p> <p><math>Y = 0,399638 \times (Fluo \text{ sortie}) - 2,15913</math> (en µg.l<sup>-1</sup>)</p> <p><math>R^2 = 0,616</math>                      <math>n = 17</math></p>
<p>6. Régression chlorophylle a + phéopigments pendant le cycle du 21 mai 1991</p> <p><math>Y = 0,08434 \times (Fluo \text{ entrée}) - 1,90781</math> (en µg.l<sup>-1</sup>)</p> <p><math>R^2 = 0,86</math>                      <math>n = 15</math></p> <p><math>Y = 0,09487 \times (Fluo \text{ sortie}) - 2,80393</math> (en µg.l<sup>-1</sup>)</p> <p><math>R^2 = 0,876</math>                      <math>n = 18</math></p>



**Figure 3 :** Evolution des différents paramètres physiques et hydrobiologiques du 10 au 26 mai 1991. A : Coefficients de marée, B : température en °C, C : Vitesse du courant en ms<sup>-1</sup>, D : Charge sestonique en mg.l<sup>-1</sup>, E : Fluorescence en µg.l<sup>-1</sup> de chloro a et phéopigments, F : Débits à l'entrée du raceway en l.h<sup>-1</sup>.



Les signaux de fluorescences sont transformés en biomasse phytoplanctonique totale (somme de la chlorophylle a et des phéopigments) par l'équation 4 (tableau 1) (fig. 3). La biomasse phytoplanctonique suit le même signal que la charge sestonique comme déjà décrit par Héral et al. (1989) et par Razet et al. (1990) indiquant que la nature des biomasses fluorescentes correspond principalement à des remises en suspension du phytobenthos et des biodépôts. L'évolution des débits d'eau pénétrant dans le raceway montre des fluctuations oscillant entre 500 et 750 l.h<sup>-1</sup> avec un débit moyen de 620 l.h<sup>-1</sup>.

**Le temps de séjour des particules dans le raceway :** Il est calculé par injection de phytoplancton et par injection de vase en suspension à l'entrée du circuit d'eau du raceway et après détection par les fluorimètres et les turbidimètres entrée et sortie. Le temps de séjour moyen trouvé est de 3 minutes. Pour les calculs de rétention les signaux de sortie sont avancés de 3 minutes pour être comparés aux signaux d'entrée.

### **Taux de sédimentation**

Le passage en direct entre les deux turbidimètres permet d'étalonner les appareils entre eux. La mesure est effectuée pendant 24 heures après les mesures de taux de sédimentation afin d'éviter des dérives éventuelles des appareils de mesure (Equation 1, tableau 1). L'équation 2 (tableau 1) montre que sur les 2 cycles (mortes eaux et vives eaux) la sédimentation dans le raceway est de 2 - 4 %, atteignant 5-6 % dans les cas extrêmes de très faibles turbidités. Le taux de sédimentation pour le phytoplancton déterminé par la différence entre fluorimètre entrée et sortie est considéré comme négligeable, inférieur au seuil de sensibilité de nos techniques de mesure.

### **Filtration**

#### **- Estimée par la charge sestonique**

Cycle de vives-eaux : les quantités filtrées varient entre 1,2 et 2,8 l.h<sup>-1</sup> par huitre (fig. 4). Pour le premier cycle de marée, la moyenne de la filtration est de 1,8 l.h<sup>-1</sup> par huitre et de 2,1 l.h<sup>-1</sup> par huitre pour le deuxième cycle avec un poids moyen par huitre de 1,38 g. Ceci représente en tenant compte du coefficient d'allométrie, une filtration qui varie entre 1,4 et 3,2 l.h<sup>-1</sup>.gcs<sup>-1</sup> avec une moyenne de 2 l.h<sup>-1</sup>.gcs<sup>-1</sup> et de 2,4 l.h<sup>-1</sup>.gcs<sup>-1</sup> pour le deuxième cycle de marée.

Cycle de mortes eaux : les filtrations varient de 0,7 à 2,4 l.h<sup>-1</sup> par huitre (fig. 4). Pour les deux cycles de marée, la filtration oscille autour d'une valeur moyenne de 1,9 l.h<sup>-1</sup> par huitre pour un poids moyen de 1,52 g. En tenant compte du coefficient d'allométrie la filtration varie de 0,9 à 3,2 l.h<sup>-1</sup>.gcs<sup>-1</sup> avec une moyenne de 2,2 l.h<sup>-1</sup>.gcs<sup>-1</sup>.

#### **- Estimée par les biomasses chlorophylliennes**

Cycles de vives eaux : La filtration fluctue entre 2,4 et 4,8 l.h<sup>-1</sup> par huitre avec une moyenne de 3,5 l.h<sup>-1</sup> par huitre de 1,38 g pour le premier cycle et de 3 l.h<sup>-1</sup> par huitre pour le deuxième cycle (fig. 4), ce qui correspond respectivement à une filtration de 4 l.h<sup>-1</sup>.gcs<sup>-1</sup> et de 3,4 l.h<sup>-1</sup>.gcs<sup>-1</sup>. Ces mesures sont proches du double de celles évaluées par la charge sestonique. Il apparait par ailleurs une fluctuation nette du signal lors des deux cycles de marées avec une baisse sensible (jusqu'à 1 l.h<sup>-1</sup> par animal) lorsque les biomasses phytoplanctoniques sont supérieures à 8 µg.l<sup>-1</sup> ce qui correspond à des charges sestoniques supérieures à 100 mg.l<sup>-1</sup>.

Cycles de mortes eaux : la filtration varie de 0,5 à 4,3 l.h<sup>-1</sup> par animal avec une moyenne de 3 l.h<sup>-1</sup> pour le premier cycle (fig. 4) et de 3,5 l.h<sup>-1</sup> pour un animal de 1,52 pour le deuxième cycle ce qui représente respectivement 3,5 l.h<sup>-1</sup>.gcs<sup>-1</sup> et de 4,1 l.h<sup>-1</sup>.

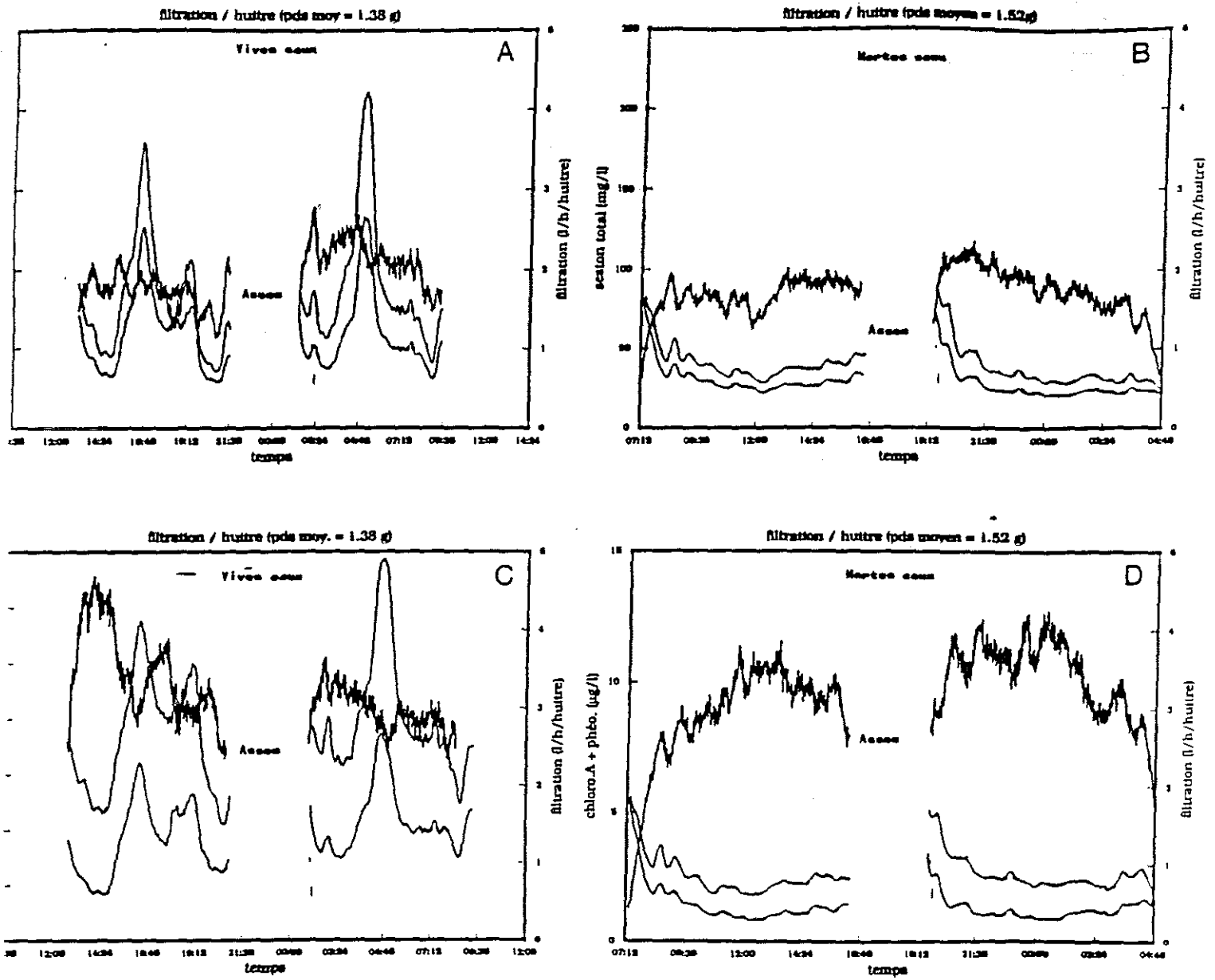


Figure 4 : Evolution des taux de filtration en l.h<sup>-1</sup> par animal calculés par la charge sestonique (A et B) et par les pigments chlorophylliens (B et D), évolution des sigaux entrée et sortie de la charge sestonique (A et B) et de la biomasse phytoplanctonique (C et D).

1.gcs<sup>-1</sup> ce qui est de nouveau le double des valeurs de filtration. Les filtrations les plus basses trouvées par le calcul basé sur la charge sestonique sont mesurées en début de cycle lorsque la biomasse chlorophyllienne est de 5 µg.l<sup>-1</sup> correspondant à des charges sestoniques de 80 mg.l<sup>-1</sup>.

## DISCUSSION-CONCLUSION

La filtration des huîtres calculée à partir du signal de turbidité est 2 fois plus faible que celle calculée avec le signal de fluorescence. Ceci est à mettre en relation avec le fait que l'optimum de taille de rétention de l'huître *C. gigas* est de 7,4 µm pour des eaux turbides. Une adaptation du filtre branchial améliore sa sélectivité dans des eaux peu turbides avec un optimum de taille de rétention de l'huître *C. gigas* qui s'abaisse à 5,6 µm (Deslous-Paoli et al., 1987). Par ailleurs, le spectre des particules en suspension à cette station montre une nette dominance des particules à cette période de l'année entre 1,9 µm et 5 µm. Pour cette gamme de taille de particules, l'efficacité de rétention de l'huître varie de 20 % à 50 % (Héral, 1985), ceci explique donc nettement la différence entre les deux estimations de la filtration.

Lors des fortes turbidités en particulier pendant les cycles de marée de vives eaux, lorsque la turbidité est supérieure à 100 mg.l<sup>-1</sup>, la filtration baisse sensiblement de 25 %.

Gerdes (1983) et Deslous-Paoli et al. (1987) trouvent pour *C. gigas* un taux de filtration moyen respectif de 4,8 lh<sup>-1</sup>.gcs<sup>-1</sup> et 4,7 lh<sup>-1</sup>.gcs<sup>-1</sup> qui sont proches de la valeur moyenne trouvée dans cette expérience 3,5 lh<sup>-1</sup>.gcs<sup>-1</sup>. La filtration oscille entre 0,5 et 4,8 lh<sup>-1</sup> par animal sans pouvoir déterminer si les fluctuations sont influencées par un comportement individuel ou liées à des fluctuations de l'ensemble de la population.

Cependant une mesure du taux d'activité des huîtres, estimée par l'ouverture des valves lors d'une expérience similaire (fig. 5) montre que, en dehors des périodes d'assec, 90 % des huîtres sont actives. Il semblerait donc que les fluctuations de la filtration seraient liées plutôt à une modulation de l'activité de filtration induisant une forte variabilité physiologique avec une filtration moyenne de la population plus faible que celle trouvée par d'autres auteurs n'ayant travaillé que sur quelques individus (Gerdes, 1983 ; Deslous-Paoli et al., 1987).

### ACTIVITE EN POURCENTAGE

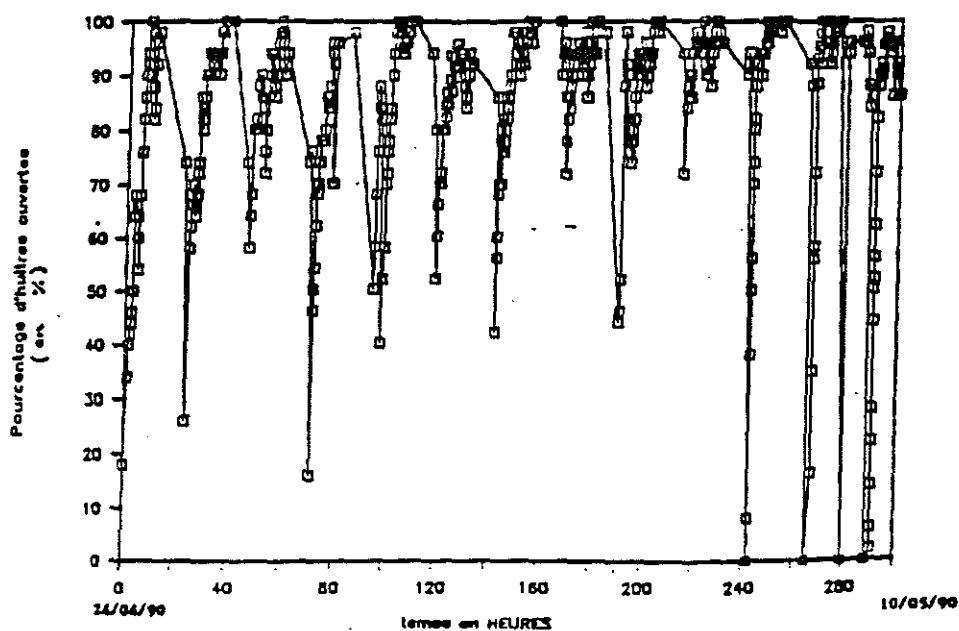


Figure 5 : Evolution du pourcentage de l'activité des huîtres.

## BIBLIOGRAPHIE

- Bayne B.L., Hawkins A.J.S. and Navarro E., 1987. Feeding and digestion by the mussel *Mytilus edulis* L. (Bivalvia : Mollusca) in mixtures of silt and algal cells at low concentrations. *J. exp. Mar. Biol. Ecol.*, 111 : 1-22.
- Bayne B. and Scullard C., 1977. Physiological energetics of marine mollusc. In : *The Mollusca*, Wilburg K.M., Saleuddin A.S.M. Ed., Academic Press. Londres, 4 (1) : 407-515.
- Dame R.F., 1972. The ecological energy of growth, respiration and assimilation in the intertidal American oyster *C. virginica*. *Mar. Biol.*, 17 : 243-250.
- Deslous-Paoli J.M., Héral M., Boromthanarat W., Razet D., Garnier J., Prou J. and Barillé L., 1987. Evolution saisonnière de la filtration de bivalves intertidaux dans des conditions naturelles. *Océanis* 13, 4-5 : 575-579.
- Fiala-Médioni A. and Copello M., 1985. Relation trophique entre l'huître et le milieu : influence de la concentration et de la taille des particules. Bases biologiques de l'Aquaculture, Montpellier 1983. IFREMER, *Actes coll.*, 1 : 63-74.
- Gerdes D., 1983. The pacific oyster *C. gigas*. Part 1. Feeding behavior of larvae and adults. *Aquaculture*, 31 : 195-219.
- Héral M., 1985. Evaluation of the carrying capacity of Molluscan Shellfish Ecosystems. Aquaculture Shellfish Culture Development and Management. International Seminar in La Rochelle, mars 1985. IFREMER edit. : 297-318.
- Héral M., Razet D. and Prou J., 1989. Acquisition de données en continu sur la matière particulaire de la baie estuarienne de Marennes-Oléron pendant le bloom printanier planctonique : effet sur le taux de filtration de l'huître *Crassostrea gigas*. Note CIEM C.M/K : 34, Shellfish Committee, 14 p.
- Kusuki Y., 1977. On measurement of the filtration rates of the japanese oyster. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, 43, 9 : 1069-1076.
- Lee B.K. and Chin P., 1981. Effects of body size, temperature-salinity and starvation on the rate of filtration in *Crassostrea gigas* and *Mytilus edulis*. *Publ. Inst. Mar. Sci. Nat. Fish. Univ. Busan*, 13 : 37-41.
- Outin V., 1990. Ecophysiologie de l'huître *Crassostrea gigas* (Thunberg) en milieu naturel : Rôle des populations d'une lagune méditerranéenne dans les transferts des matières particulaires et dissoutes. Thèse Université Paris 6, 130 p.
- Razet D., Héral M., Prou J. and Sornin J.M., 1990. Variations des productions de biodépôts (féces et pseudoféces) de l'huître *Crassostrea gigas* dans un estuaire macrotidal : baie de Marennes-Oléron. *Haliotis*, 10 : 143-161.

## **CHAPITRE III**

**LES VOIES DE CALCUL DE LA FILTRATION.**

**SOLETCHNIK P., HERAL M., RAZET D., GEAIRON P.**

## I. INTRODUCTION

Dans le cadre des études de physiologie, la fonction de filtration intervient dans le calcul du bilan énergétique, ou permet de déterminer la quantité d'aliment consommé par les mollusques filtreurs. Cette fonction peut également être considérée dans les relations avec le poids de l'animal, la température et un certain nombre d'indices de qualité et de quantité de l'aliment dont se nourrit le bivalve.

Dans un contexte de coopération internationale entre scientifiques anglais, espagnols et français, une expérimentation physiologique sur les mollusques a été réalisée en septembre 1991 à l'IFREMER La Tremblade. De nombreux objectifs motivent cette expérimentation : la comparaison inter espèces, la confrontation des techniques mises en oeuvre par les différentes équipes, la comparaison d'échelle entre une population et des individus isolés, etc...

Dans cette étude, l'auteur s'est attaché à présenter les résultats obtenus en filtration de l'huître *Crassostrea gigas*, dans une étude comparative croisant : la population, les individus, les conditions alimentaires envisagées et différentes voies d'accès au calcul de la filtration.

## II. MATERIEL ET METHODE

L'étude porte simultanément sur une population de 100 individus et sur des individus isolés (fig. 1).

Le matériel utilisé pour l'étude de la population, comprend 2 fluorimètres, 2 néphélomètres placés en entrée et en sortie du raceway (fig. 2). Les données sont visualisées et acquises sur microordinateur. Elles permettent le traitement en continu des signaux et des mesures de filtration. Débit et température sont également enregistrés en continu.

Pour l'étude individuelle, chaque huître est placée sur un poste de filtration à partir duquel les mesures sont réalisées et les prélèvements effectués (fig. 2).

4 conditions alimentaires sont utilisées au cours de cette expérience :

Condition 1 (C1) : *Skeletonema sp.* cultivé en bassin extérieur (bloom naturel).

Condition 2 (C2) : alimentation "témoin" à base d'eau de mer "naturelle" non filtrée.

Condition 3 (C3) : eau de mer + vase littorale.

Condition 4 (C4) : cultures axéniques de *Tetraselmis sp.* et *Thalassiosira 3H*.

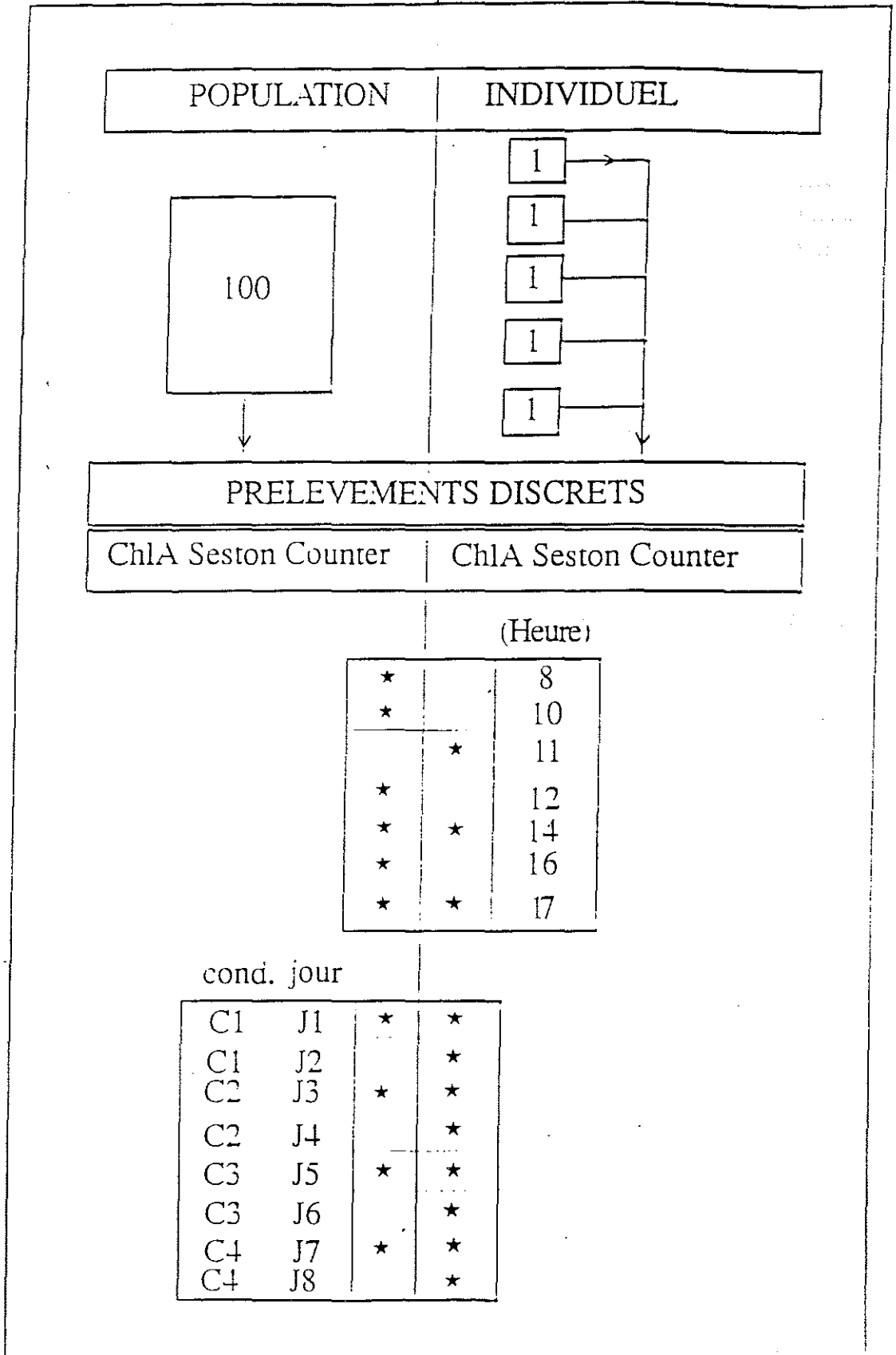


FIGURE - 1 - Protocole Expérimentale

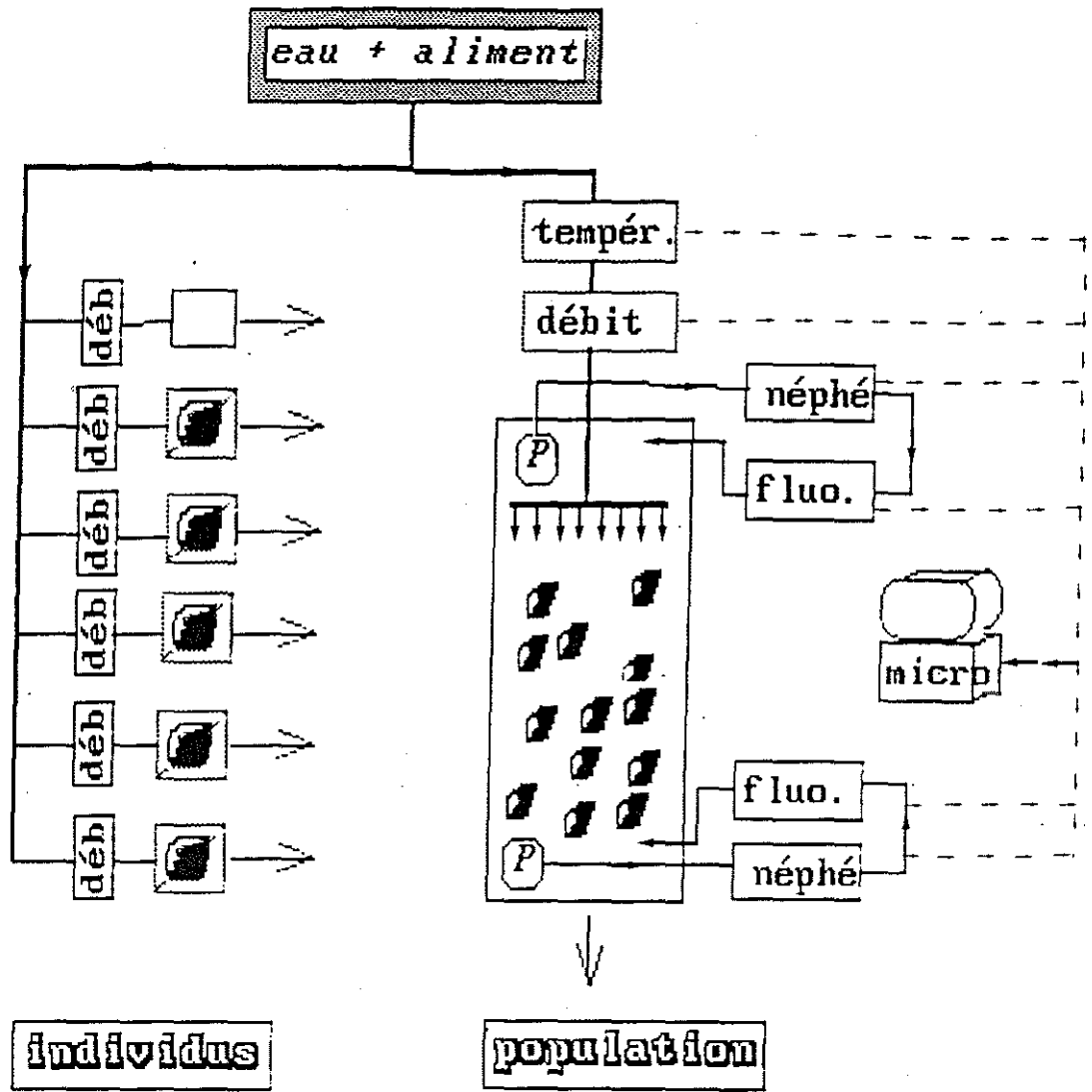


FIGURE - 2 - infrastructure expérimentale



Chaque condition est reproduite 2 jours de suite pour l'étude individuelle et 1 jour seulement dans le cas de la population (fig. 1). En plus de l'enregistrement en continu effectuée sur la population, des échantillons d'eau sont prélevés régulièrement. Sur ces prélèvements, sont mesurés la chlorophylle a et les pigments de phéophytine, la matière particulaire (taille supérieure à  $0,45 \mu$ ) organique et minérale, le nombre et le volume des particules (taille supérieure à  $2,4 \mu$ ) (fig. 1).

Pour la population, le protocole d'étude sur un cycle de 24 h est le suivant :

8 h - 17 h : activité de filtration,  
17 h - 19 h 30 : mesures de sédimentation,  
19 h 30 - 8 h : mesures d'autocalibration.

L'autocalibration permet de ne plus faire référence qu'à un seul appareil, pour les calculs dérivés utilisant les données relatives brutes.

En terme de mesures de filtration, les différentes sources de calcul sont présentées sur la figure 3.

La filtration (F) est calculée selon la formule suivante :

$$F = (E - S)/E * D/W^{-b}, \text{ avec :}$$

E : donnée en "entrée" de l'infrastructure expérimentale,  
S : donnée en "sortie" de l'infrastructure expérimentale,  
D : débit (en litres/heure),  
W : biomasse sèche (grammes),  
b : coefficient d'allométrie = 0,439(\*)

Les résultats sont ainsi présentés en litre par heure et en référence à une huitre de poids sec standard de 1 g (l/h.STD 1 g). Les variables E et S sont présentées en troisième ligne de la figure 3. Des 13 voies de filtration proposées, 6 concernent l'enregistrement en continu et 7 les prélèvements discrets. La voie 13, ainsi que les voies 7 et 8, solutions intermédiaires, alternatives du traitement en continu des données, ne sont pas prises en considération dans cette étude.

Pour le calcul de la filtration en continu, 6 voies ont été identifiées dans un premier temps à travers trois techniques utilisant les données de fluorescence ou de turbidité (fig. 3).

(\*) S. Bougrier, com. pers.

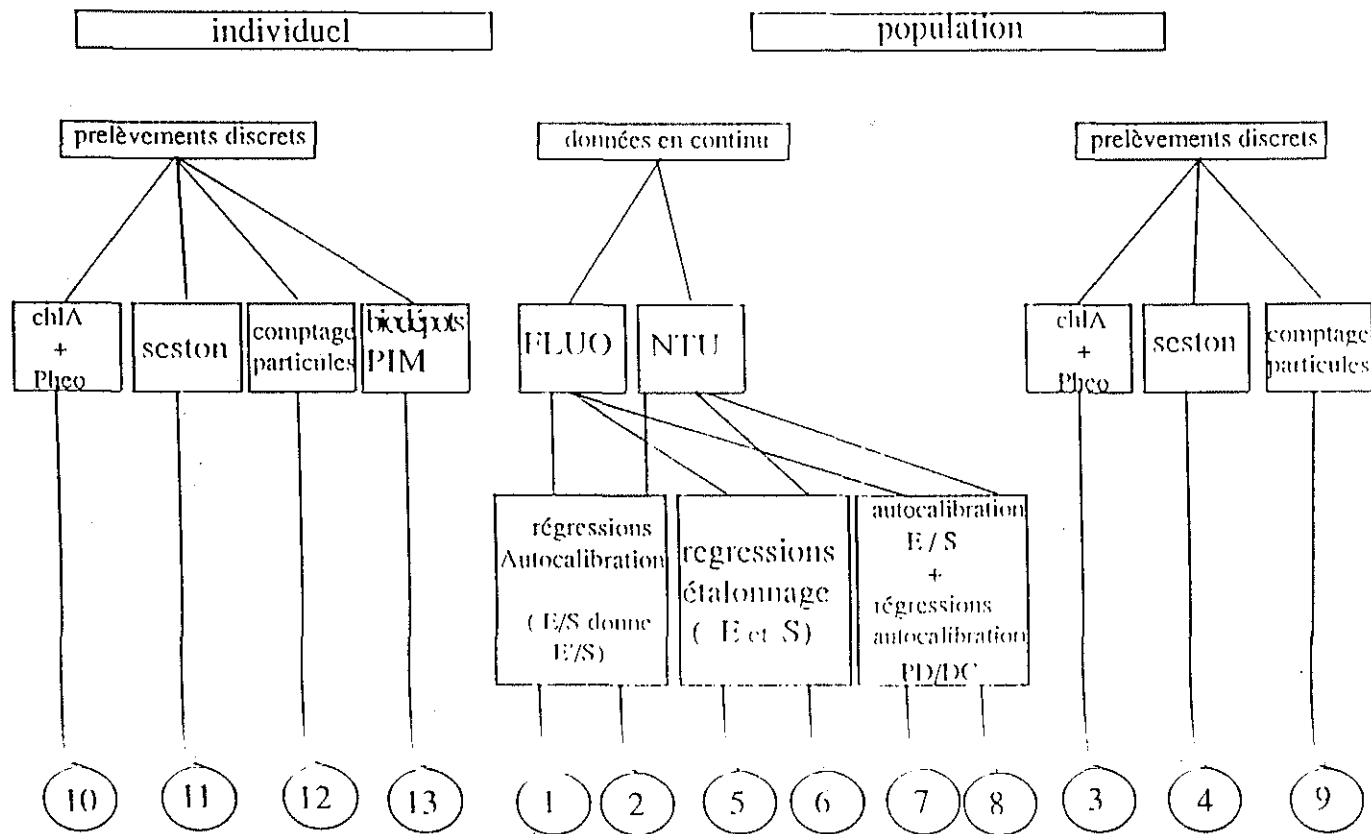


FIGURE - 3 - Les voies de calcul de la filtration

Le première technique est basée sur l'autocalibration des deux néphélomètres et des 2 fluorimètres. Cette autocalibration permet l'expression directe de la rétention, puis de la filtration à partir des données en continu (voies 1 et 2).

Une deuxième technique repose sur la transformation par étalonnage des données en continu en valeurs de chlorophylle ou de matière particulaire. L'expression de la filtration en continu s'effectue ensuite à partir des signaux ainsi décrits en entrée et sortie de l'infrastructure expérimentale (voies 5 et 6).

La troisième technique est un compromis des deux premières, passe par l'autocalibration et par l'étalonnage d'un seul appareil sur les deux utilisés (voies 7 et 8). Cette technique n'est pas développée dans le présent travail.

Dans le contexte particulier à cette expérimentation, les très faibles valeurs de turbidité ne permettent pas de réaliser l'étalonnage des néphélomètres (coefficient de corrélation trop faible). Ainsi, la voie 6, de calcul de la filtration, ne peut être développée.

#### **\* Débits**

Ils sont sensiblement équivalents pour la population et les individus (tableau 1), fluctuant de 0,10 à 0,17 l/mn.g poids sec (fig. 4).

#### **\* Température**

Comprises entre 22 et 24°C pour la condition 1 qui utilise des bassins extérieurs d'eau stagnante, elle évolue de 23 à 25,5°C pour les 3 autres conditions, au cours de la journée (fig. 5).

#### **\* Poids**

La filtration étant une fonction allométrique du poids des huîtres, il est important de connaître le poids moyen de la biomasse d'huître utilisé comme population ainsi que les poids individuels (tableau 2).

#### **\* Alimentation**

Le protocole expérimental repose sur l'utilisation de 4 conditions alimentaires particulières (fig. 6 et fig. 7).

Qualitativement, aux 4 conditions correspondent des spectres de distribution de taille des particules bien précis (fig. 6). Pour la condition 1, on constate l'absence de pic en début de journée ; puis un pic de taille se développe progressivement de 6 à 8  $\mu$  (bloom phytoplanctonique). Le spectre de la condition 2 est très variable, avec une importante proportion de petites particules de taille inférieure ou égale à 2  $\mu$ . Le pic est

CONDITION ALIMENTAIRE	POPULATION	INDIVIDUS
C1	0.15	0.18
C2	0.12	0.13
C3	0.12	0.14
C4	0.12	0.15

TABLEAU -1- Débits moyens (l / mn / g. pds sec)

Condition	Population		Individus	
	Biomasse	Pds.Moy.	Poids Moyens (g)	
	(g)	(g) J1	J1	J2
C1	77.5	0.77	0.97	0.94
C2	95.9	1.03	1.11	1.02
C3	96.1	0.85	1.07	1.35
C4	96.8	0.88	1.20	1.11

TABLEAU - 2 - Poids moyens et biomasses

VOIES	CONDITIONS ALIMENTAIRES			
	1	2	3	4
12	**		*	
10				
11		*	**	

TABLEAU - 3 - mise en évidence statistique d'une variabilité individuelle :

\* au seuil de 1 %

\*\* au seuil de 5 %

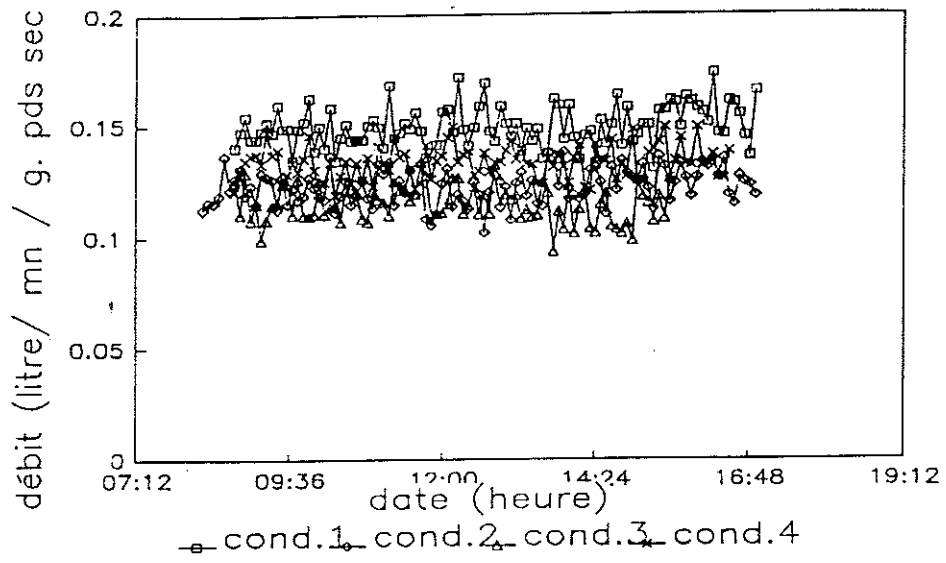


FIGURE - 4 - Débits

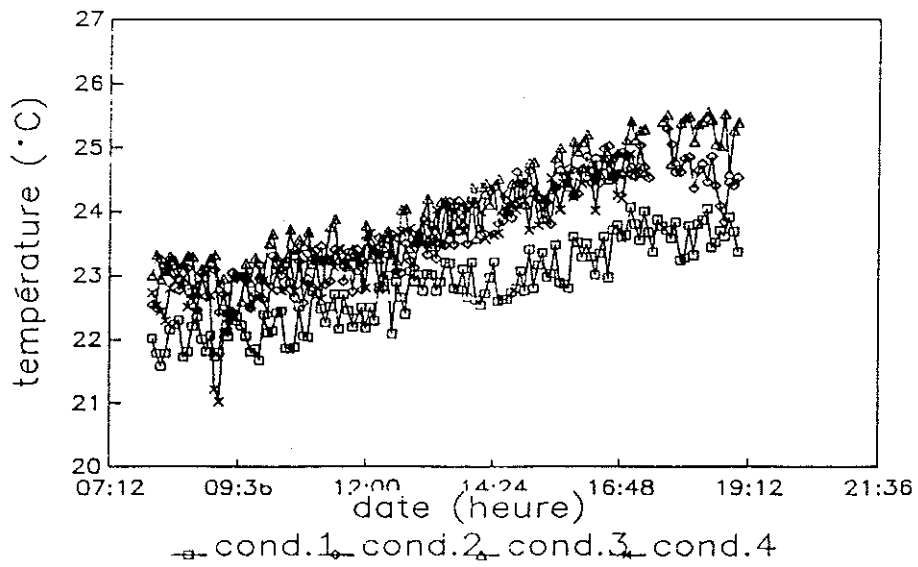


FIGURE - 5 - Température

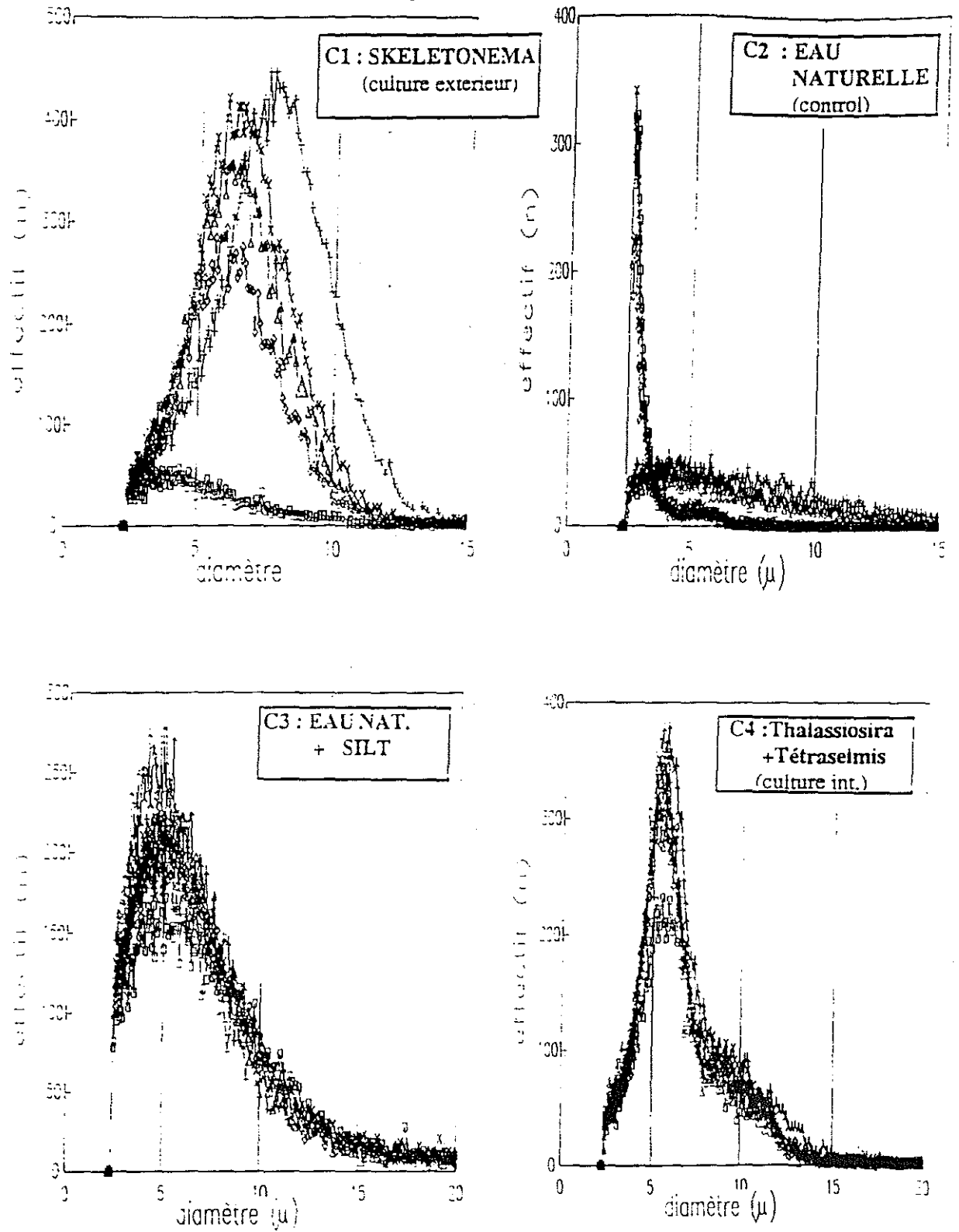


FIGURE - 6 - Distribution de taille des particules caractérisant les 4 conditions alimentaires

conditions environnementales

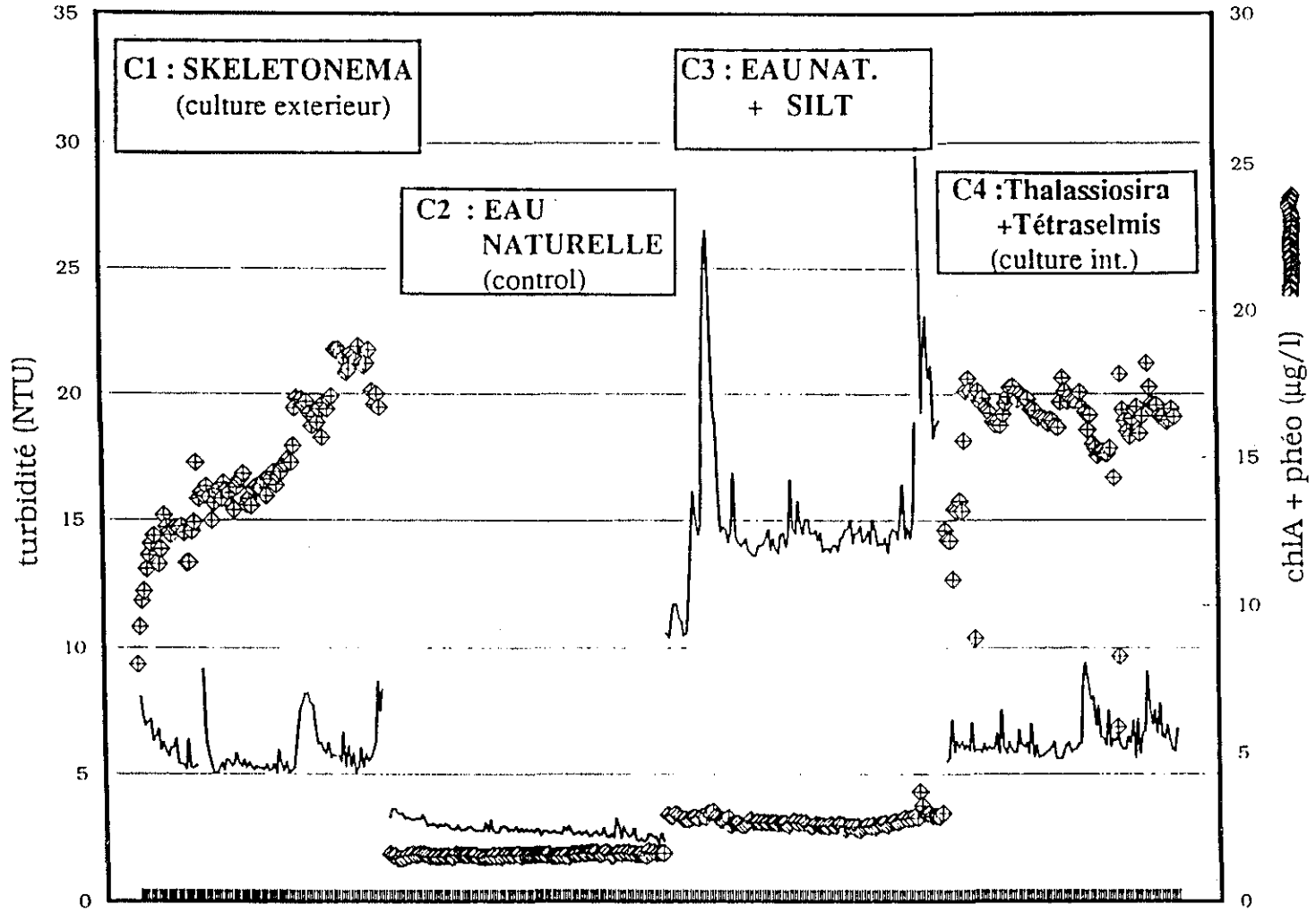


FIGURE - 7 - caractéristiques des 4 conditions alimentaires

aux alentours de 5  $\mu$  pour la condition 3, et 2 pics apparaissent à 5-6  $\mu$  et 8-10  $\mu$  respectivement pour *Thalassiosira* 3H et *Tetraselmis* en condition 4.

Quantitativement, en terme de chlorophylle a et phéopigment (fig. 7), on vérifie le développement du bloom de *Skeletonema* en cours de journée (10 à 20  $\mu\text{g/l}$ ) en condition 1 (condition alimentaire instable) et le maintien des valeurs supérieures à 13  $\mu\text{g/l}$  pour la condition 4. Les valeurs relatives de turbidité sont très faibles pour les conditions 1, 2 et 4, inférieures à 10 NTU. L'équivalent en matière particulaire en suspension, donnerait des valeurs proches de 10 mg/l pour les conditions 1, 2 et 4 et de 30 à 40 mg/l pour la condition 3. Ces dernières valeurs restent néanmoins extrêmement faibles, comparées aux valeurs de 150-200 mg/l qui sont atteintes facilement dans la baie de Marennes-Oléron.

Une autre façon d'apprécier la qualité de l'aliment, en faisant référence à la physiologie digestive de l'animal, est de comparer la durée du transit digestif des différents types d'aliment proposés. Après un léger conditionnement et un "nettoyage digestif", à partir d'une chlorophycée : *Tetraselmis* sp. (faeces de couleur verte), le temps de transit digestif est mesuré sur une série de 4 à 5 huîtres alimentées sur les différentes conditions alimentaires. Bien que la réponse soit soumise à une forte variabilité individuelle, la figure 8 issue d'une analyse de variance sur les différentes conditions alimentaires, laisse apparaître des résultats significativement différents entre la condition 3 (vase) et les 3 autres conditions. Une autre différence significative existe entre le contrôle (eau de mer = condition 2) et la condition 4 (algues de culture en salle). Aucune différence n'apparaît entre le contrôle et la condition 1 (*Skeletonema* en culture extérieure). Pour référence, la condition 5 représente des résultats obtenus *in situ* en baie de Marennes-Oléron.

### III. RESULTATS - DISCUSSION

Dans le cadre d'une analyse multivariable des données de filtration calculées sur la base des prélèvements discrets, plusieurs problématiques ont été abordées, telles que l'effet du rythme journalier et des conditions alimentaires sur la filtration, la comparaison des différentes voies de calcul de la filtration (10, 11, 12 et 3, 4, 9) (fig. 3), l'étude de la variabilité individuelle et la comparaison des résultats de filtration entre population et individus.

Dans un deuxième temps, sont développés les résultats des données en continu.

#### \* *Rythme d'activité journalier*

Dans le cas de la population, les prélèvements discrets sont effectués à 8, 10, 12, 14, 16 et 17 h. On note des filtrations de 1 à 2 l/h. g poids sec vers 8 h (fig. 9A), puis



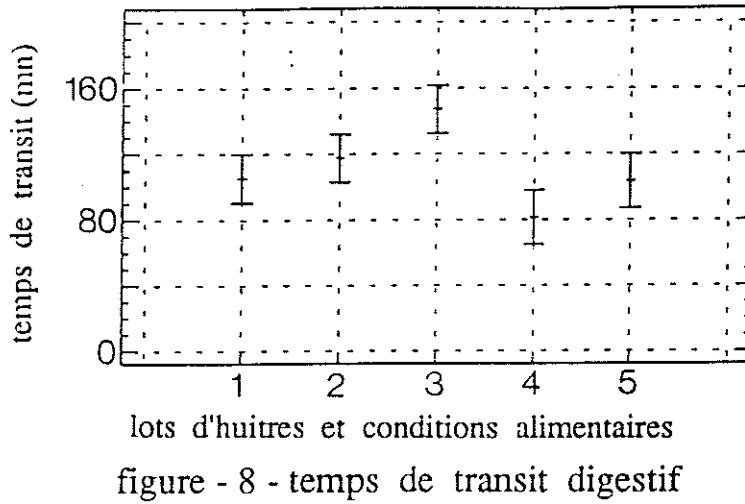


figure - 8 - temps de transit digestif

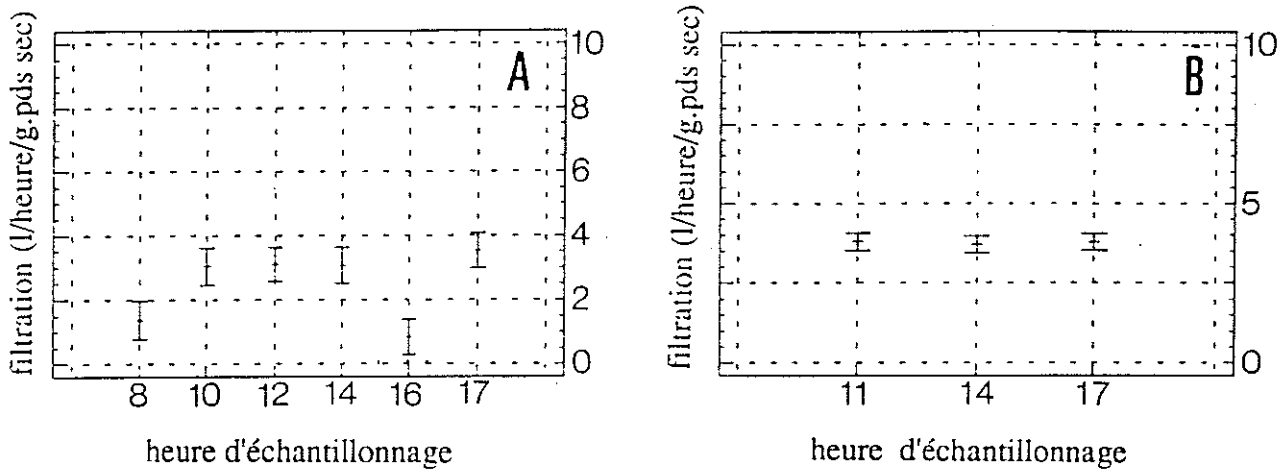


figure - 9 - valeurs de filtration au cours des différents échantillonnages  
A : population ; B : individus

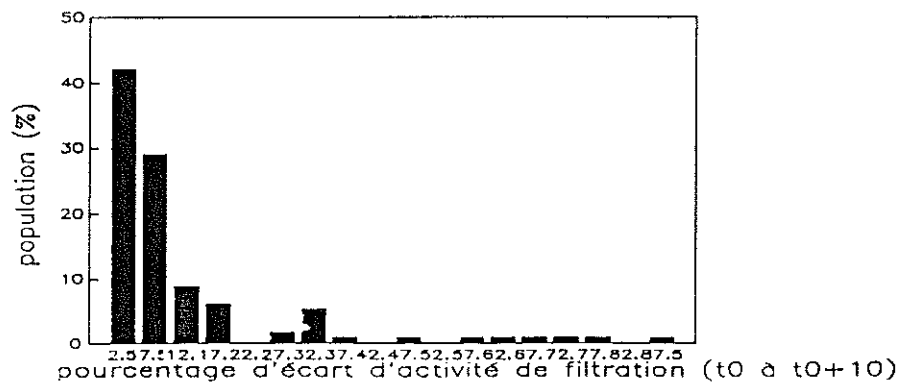


figure - 10 - variation de la filtration individuelle

de 2,4 à 3,6 jusqu'à 16 h, une chute à 1 l/heure à 16 h et une reprise d'activité vers 17 h (3,0 à 4,0). Ce rythme serait cohérent avec celui de la population (fig. 9B).

Les faibles taux de filtration enregistrés à 8 h peuvent être expliqués par la perturbation de mise en route de l'enregistrement en continu de la rétention. Les résultats obtenus à 16 h, restent suspects. Les résultats obtenus en individuel (3,4 à 4,0) sont supérieurs à ceux obtenus sur la population en période d'activité (2,4 à 3,6 l/h.g poids sec).

#### **\* Variation de l'activité de filtration à courte échelle temporelle**

Au niveau des postes individuels de filtration, 2 mesures de Counter Coulter étaient effectuées à 10 mn d'intervalle pendant la durée du prélèvement discret, afin de juger d'une éventuelle modification de l'activité des huitres durant cette période. Près d'une centaine de données ont ainsi pu être obtenues. Le pourcentage d'écart d'activité de filtration apparaît sur la figure 10. Les classes 2,5 et 7,5 % sont les plus importantes et comprennent plus de 70 % de la population.

Les écarts d'activité enregistrés, des classes 2,5 et 17,5 %, peuvent être expliqués par une variabilité méthodologique liée à la précision des mesures. Un deuxième pic de plus faible amplitude apparaît pour la classe 32,5 et pourrait être interprété comme une variation réelle d'activité de filtration, de 25-40 %, affectant 8 à 10 % de la population. Cette hypothèse reste à confirmer.

#### **\* Variabilité individuelle**

L'idée est d'estimer la variabilité intra condition (ou variabilité individuelle) et la variabilité inter condition alimentaire pour les différentes voies de calcul de la filtration à partir des prélèvements discrets : voie 10, chlorophylle et phéopigments ; voie 11 : seston ; voie 12 : comptage particulaire.

Les résultats sont présentés dans le tableau 3. La figure 11 présente l'ensemble des résultats, selon un axe d'abscisse où les 4 conditions se succèdent chronologiquement. Le protocole mis en oeuvre au cours de cette expérimentation ne prévoyait pas d'étude particulière sur ce thème. La variabilité de réponse individuelle apparaît significativement distincte de la variabilité inter individus pour certaines conditions alimentaires et pas pour d'autres, et différemment selon la voie considérée de calcul de la filtration. Cette réponse ambiguë est difficilement interprétable.

#### **\* Effet de la condition alimentaire sur la filtration - comparaison des résultats obtenus en individuel et sur la population.**

L'effet de la condition alimentaire, sur le niveau de filtration, est mis en évidence dans 5 cas sur 6 (tableau 4).

VOIES	population	individus
12		**
10	**	***
11	*	**

TABLEAU - 4 - mise en évidence d'une variabilité significative inter conditions : \* au seuil de 5 % ; \*\* au seuil de 1 %  
\*\*\* au seuil de 1 ‰

conditions alim.		1	2	3	4
POP.	maxi	2.4	1.6	4.2	3.5
	mini	1.4	0.8	3.2	2.7
IND.	maxi	4.1	5.1	4.1	3.0
	mini	3.5	4.5	3.5	2.3

TABLEAU - 5 - Résultats de filtration aux limites (mini - maxi). Comparaison inter-conditions pour la population et les individus .

voies		couter	chl A	seston
POP.	maxi	3.25	3.55	1.80
	mini	2.40	2.80	1.15
IND.	maxi	4.65	5.00	2.10
	mini	3.95	4.30	1.50

TABLEAU - 6 - Résultats de filtration aux limites (maxi- mini) Comparaison de différentes voies de calcul de la filtration

L'ensemble des résultats est présenté sur la figure 12, voie par voie. On constate une différence essentielle au niveau de la condition 2, dont les valeurs de filtration sont systématiquement plus faibles pour la population, et plus fortes pour l'individuel.

Quelque soit la voie utilisée pour la calcul de la filtration, les résultats obtenus en condition 2 (condition témoin) sont significativement différents de la condition 3 (vase) pour la population, et de la condition 4 (algues de culture) pour les individuels. Les valeurs de filtration pour la condition 2, varient de 0 à 3 pour la population, et de 3 à 6,5 pour les individuels.

La constance du résultat obtenu, permet de s'interroger sur les causes d'une telle différence existant entre la population du raceway et les individus isolés et sur les possibilités de développer des modèles obtenus à partir d'individus isolés, à des populations entières.

La figure 13 et le tableau 5 synthétisent les résultats de filtration obtenus condition par condition pour la population et les individus, toutes voies de calcul confondues.

Ainsi, la réponse de la population et des individus aux différentes conditions alimentaires, est totalement différente, avec les conditions 3 et 4 dominant les conditions 1 et 2 pour la population, et la condition 2 devant les conditions 1, 3 et 4 pour les individus.

#### **\* Comparaison des voies de calcul de la filtration**

La figure 14 présente les résultats. On note une concordance de réponse entre population et individus, avec des valeurs de filtration significativement plus faibles pour la voie de calcul 11 (seston) comparé aux voies 10 et 12 (respectivement chlorophylle a + phéophytine et counter) (tableau 6).

Les voies 12 et 10 (counter et chl a) sont en effet 2 méthodes qui ne considèrent pas les petites particules, soit parce qu'elles ne sont pas chlorophylliennes (voie 10), soit parce qu'elles ne sont pas comptées (voie 12). Le counter utilisé au cours de l'expérience, ne prend en compte les particules qu'au-delà de 2,4  $\mu$  de diamètre, quant la voie 11 (seston) retient toutes particules au-dessus de 0,45  $\mu$ .

Sachant que pour l'huître *Crassostrea gigas*, environ 30 % de la masse de matière particulaire en suspension, comprise dans les petites tailles de particules (0-10  $\mu$ ) n'est pas retenue par les cils latéraux frontaux (Barillé, com. pers.), la la filtration calculée sur la base des prélèvements discrets de seston, se trouve plus faible que celle calculée par les 2 autres méthodes dont les résultats sont, par ailleurs, très similaires.

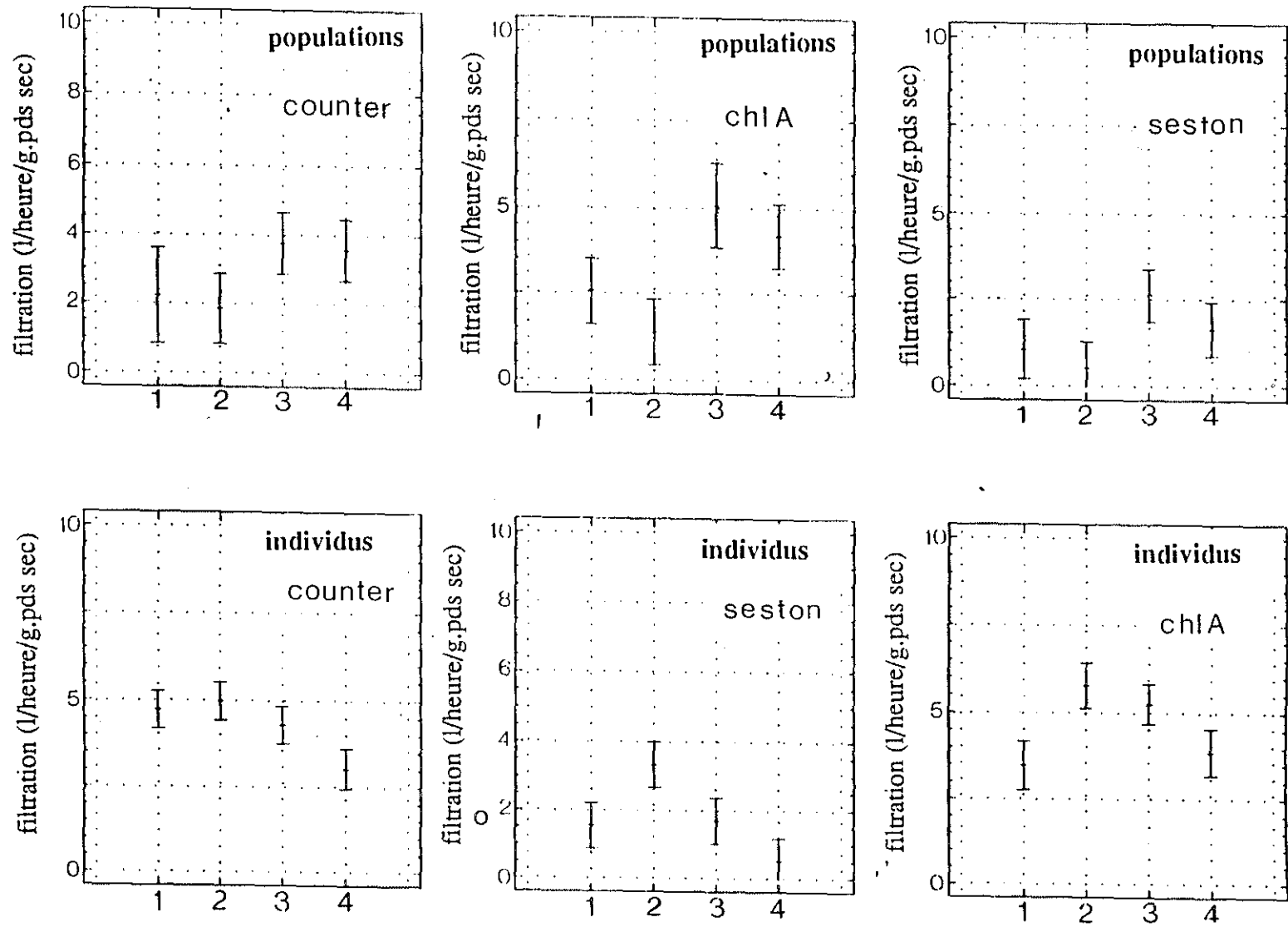


figure - 12 - effet de la condition alimentaire sur la filtration . comparaison de différentes voies de calcul , de la population et des individus .

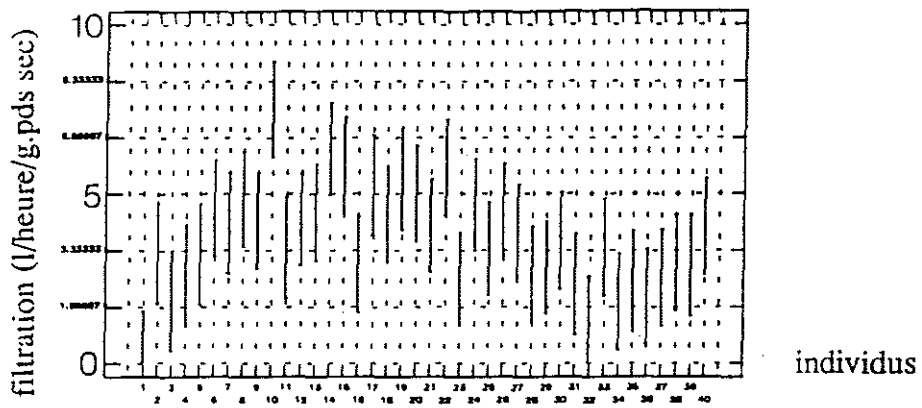


figure - 11 - variabilité individuelle de la filtration

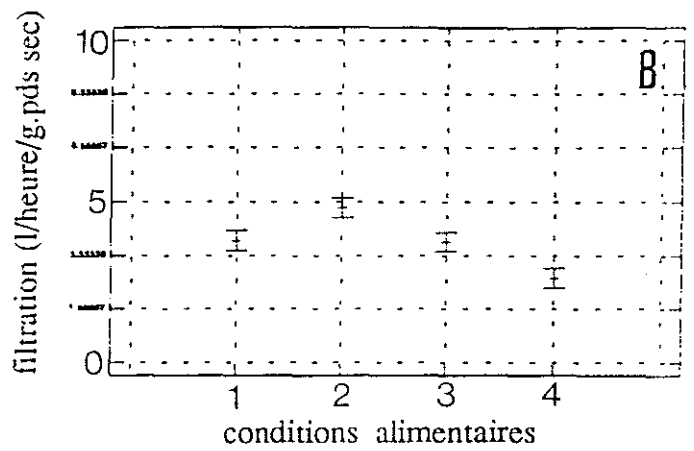
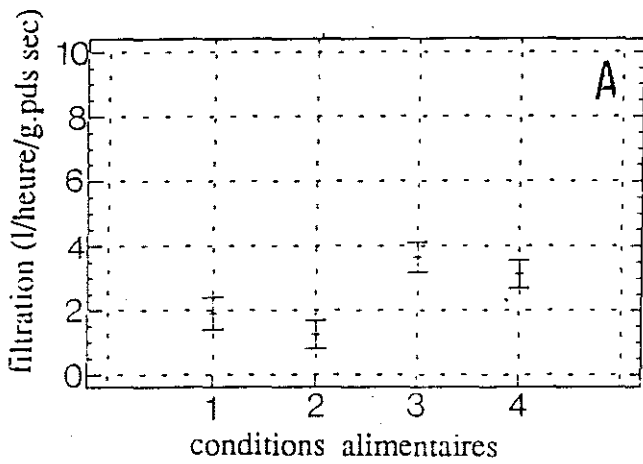


figure - 13 - valeurs de filtration et conditions alimentaires

A : population ; B : individus

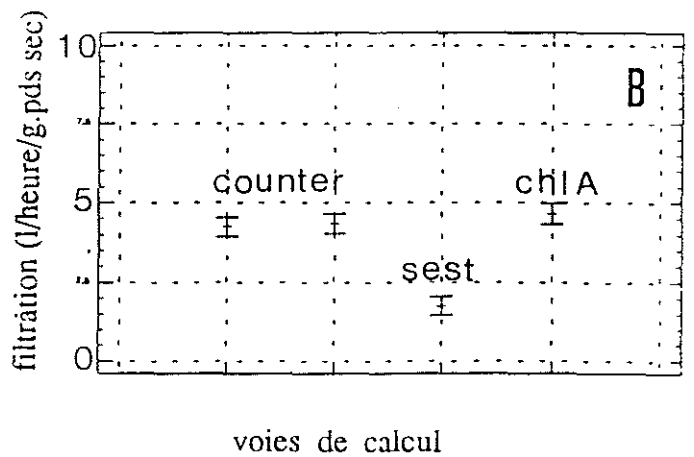
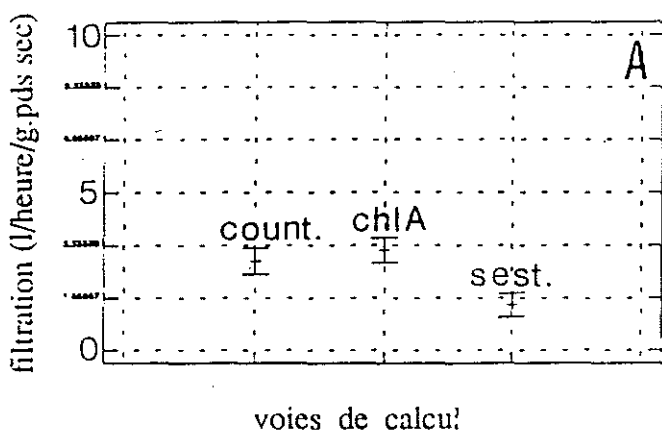


figure - 14 - valeurs de filtration et voies de calcul :

A : population ; B : individus

### **\* Comparaison population et individus**

Les résultats de filtration pour la population sont compris entre 2,40 et 3,55 l/h.STD (1 g). Ces résultats sont significativement supérieurs dans le cas des individus pour les voies 12 et 10 (counter et chl<sub>a</sub>) (1,95 - 5,00) (tableau 6). Ce résultat déjà pressenti au paragraphe précédent, dans la comparaison des conditions alimentaires, est fortement induit par la différence de filtration observée entre population et individuel, pour la condition 2 (contrôle) et dans une moindre mesure pour la condition 1 (*Skeletonema sp.*) (tableau 5).

### **\* Les mesures de filtration en continu**

Un des avantages de l'enregistrement en continu des signaux, comparé à la méthode classique de prélèvements discrets, est de pouvoir décrire les variations d'activité de filtration d'un animal ou d'une population.

Les résultats de filtration obtenus selon les trois techniques décrites ci-dessus, apparaissent sur la figure 15.

Le tableau 7 reprend les principales informations qui se dégagent et compare condition par condition les 3 techniques. Les coefficients de corrélation, sont ceux des régressions d'autocalibration (voies 1 et 2) et des régressions d'étalonnage en entrée et en sortie du raceway (voie 5).

Les résultats de filtration moyenne sont assez cohérents dans l'ensemble et se comparent deux à deux pour une même condition alimentaire, excepté pour la voie 1 condition 2 et la voie 5 condition 4. Les valeurs du coefficient de corrélation, de 0,23 dans un cas et 0,60 dans l'autre sont significativement plus faible que ceux des autres régressions. Ils biaisent les résultats et déportent les filtrations vers des valeurs trop fortes.

### **\* Variabilité de la filtration en continu**

Dans la comparaison des voies de calcul, on note (fig. 15) une grosse variation d'amplitude du signal, selon les méthodes utilisées. La voie 1 d'autocalibration des fluorimètres lisse beaucoup plus les signaux que la voie 2 ou 5. Qu'elle en est la raison ? Si à la première analyse on pouvait suspecter une forte part d'aléatoire dans ces résultats, l'observation détaillée des fluctuations de filtration pour la condition 1, par exemple, permet de vérifier qu'à partir de données totalement indépendantes (voie 2 et voie 5), de nombreux pics d'amplitude diverse se retrouvent simultanément sur les deux tracés (fig. 15). Ainsi la technique développée par la voie 1 manquerait-elle de sensibilité ? En corollaire de ce résultat, force est de constater que les fluctuations d'activité de cette population est réelle. A-t-elle une signification biologique ? Quels

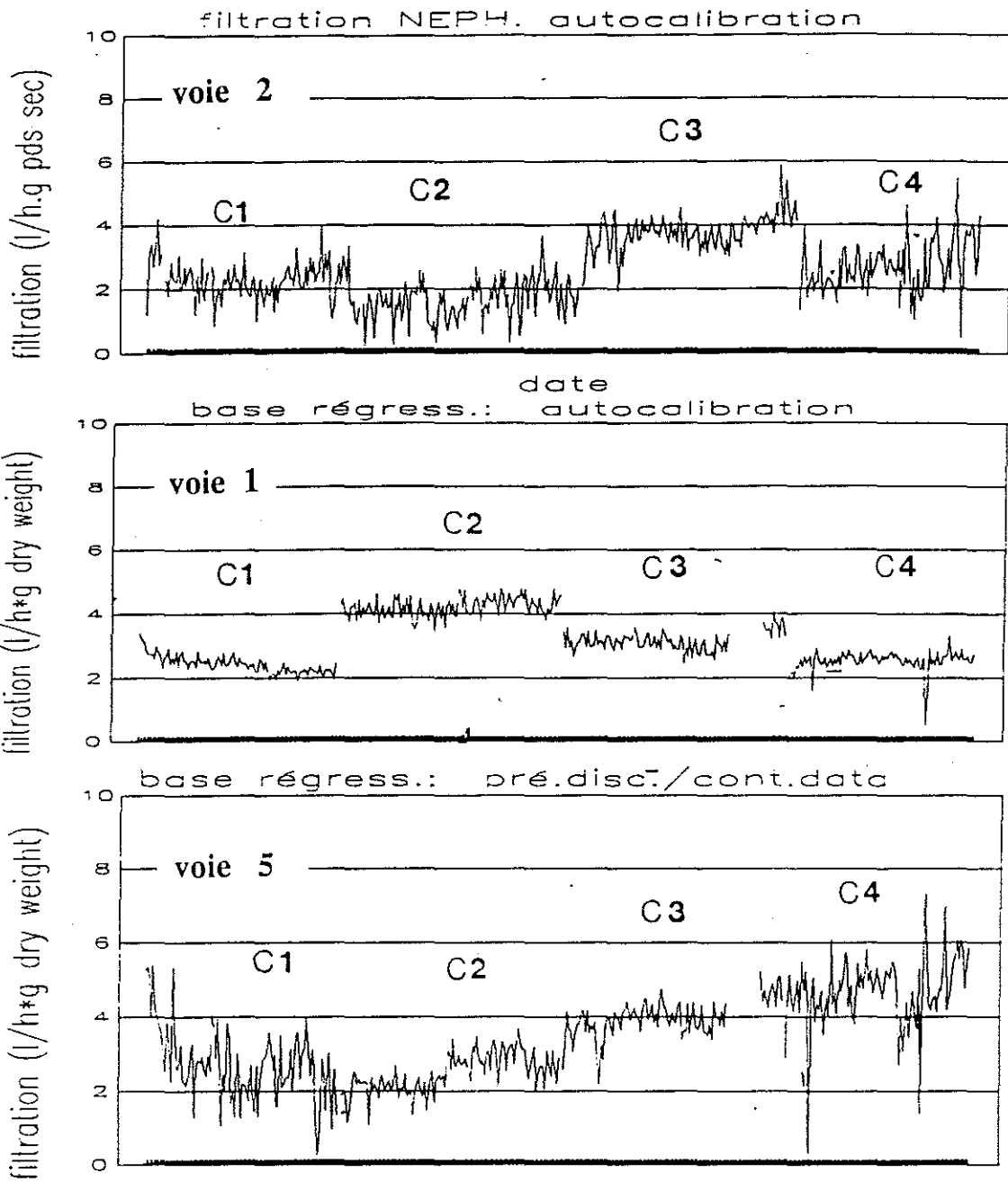


figure - 15 - la filtration en continu : comparaison de trois voies de calcul



voies	cond. alim.	filtration, moyenne	valeurs limites (mini-maxi)	coefficient de corrélation (R <sup>2</sup> )
2	1	2.25	0.9-4.1	0.93
1	1	2.42	2.0-3.4	0.98
5	1	2.72	0.0-4.1	0.51-0.78
2	2	1.65	0.2-3.7	0.92
1	2	4.20	3.6-4.7	0.23
5	2	2.47	0.5-3.0	0.84-0.62
2	3	3.78	1.9-5.8	0.75
1	3	3.14	2.3-4.0	0.57
5	3	3.96	2.2-4.7	0.56-0.82
2	4	2.68	0.5-5.5	0.96
1	4	2.51	2.0-3.3	0.86
5	4	4.69	0.0-7.3	0.0-0.63

TABLEAU - 7 - Comparaison des techniques de calcul : Autocalibration des néphélomètres (voie 2), des fluorimètres (voie 1) et étalonnage des fluorimètres par les prélèvements discrets (voie 5), condition par condition.

paramètres environnementaux pourraient agir sur la filtration dans un tel contexte expérimental ?

Pour tenter de répondre en partie à cette question, 6 variables de quantité et de qualité de l'aliment distribué, sont prises en considération dans une analyse de corrélation multiple avec la variable filtration (voies 10, 11 et 12).

Variables de quantité : Seston total	mg/l/g poids sec)	(1)
Matière organique particulaire	(mg/l/g poids sec) (POM)	(2)
Chlorophylle + phéopigment	( $\mu$ g/l/g poids sec)	(3)
Variables de qualité : POM/Seston total	(%)	(4)
Chla/chla + phéo	(%)	(5)
Chla/POM	( $\mu$ g/mg)	(6)

L'analyse détaillée de cette étude n'est pas développée ici.

Les résultats principaux sont les suivants :

- les variables prises en considération n'expliquant que "pauvrement" le modèle (40 à 60 %),
- la filtration est "entraînée" par le débit (paramètre intervenant dans le calcul de la filtration, 15 à 25 %),
- la première variable à apparaître dans le modèle, est la variable 3 : quantité de chlorophylle a et de phéopigment.

Parmi les 6 variables envisagées, celle-ci contribuerait significativement à l'ajustement du modèle de filtration pour l'huitre (20 - 30 %). Ensuite, mais dans une mesure moindre (< 10 %) apparaissent les variables 4 et 5.

Dans la même optique de recherche, des régressions linéaires vont être effectuées entre les variables de filtration des voies 2, 1 et 5 (fig. 15) pour la condition 1 (*Skeletonema sp.*) et les variables d'abondance relative : fluorescence ou NTU (unité de néphélométrie). Des 6 régressions obtenues, seule celle entre la filtration voie 1 (autocalibration fluorimètre) et la fluorescence, est significative ( $R^2 > 70$  %, pente négative).

Ainsi, des 3 méthodes de filtration développées (voies 2, 1, 5), la filtration calculée par la voie 1 serait négativement corrélée à l'abondance d'algues (fluorescence). La filtration moyenne de la population diminuerait quand le bloom de *Skeletonema sp* se développe dans le bassin extérieur, et quand l'apport alimentaire augmente.

Hormis cette variabilité biologique, encore bien mal expliquée, la méthodologie développée pour le calcul de la filtration en continu, l'utilisation de régressions d'autocalibration et d'étalonnage et l'emploi de la variable rapport (E-S)/E

dans le calcul de la filtration, introduit une variabilité associée au résultat exprimé, et le précise.

Des formules statistiques assez complexes, non développées dans ce rapport permettent d'associer un intervalle de confiance à cette filtration (\*).

La figure 16 présente les résultats obtenus. On remarque la forte variabilité induite par la technique d'étalonnage qui noie complètement le signal de filtration entre 1 et 4 litres/heure.g poids sec pour la condition alimentaire 2, par exemple.

Concernant la voie 1 (autocalibration des fluorimètres), l'intervalle de confiance est très faible, et augmente quand le coefficient de corrélation diminue. (tableau 7, figure 16).

Néanmoins, dans le cas de la condition 2 (voie 1), au coefficient de corrélation de 0,23 (fig. 16) est associé un intervalle de confiance qui ne couvre qu'une unité de filtration quand manifestement cette mauvaise corrélation a fait "dériver" la filtration de 2-3 unités.

#### IV. CONCLUSION

L'étude de la variabilité individuelle et du rythme journalier d'activité n'était pas prévue dans le protocole de cette expérimentation, aussi les informations recueillies sont-elles assez réduites.

Un biais d'échantillonnage est par ailleurs mis en évidence et relève probablement d'un problème méthodologique. Ce biais doit contribuer dans une certaine mesure à sous-estimer les valeurs de filtration moyenne obtenues sur la population, comparé aux valeurs de filtration des individus isolés.

Sur le thème de la comparaison entre population et individus, les résultats déjà présentés dans cette étude sont confirmés sur la figure 17. La filtration en continu est cohérente avec la filtration calculée sur la base des prélèvements discrets. Bien que l'étude ait été menée conjointement en raceway (population) et en individuel, les résultats sont significativement différents pour les conditions 1 et 2. Existe-t-il un biais méthodologique, expérimentale ? La réaction comportementale serait-elle différente ? pourquoi alors seulement pour C1 et C2 ? Quoiqu'il en soit, dans le cas de cette expérimentation, l'extrapolation des résultats obtenus en individuel, à une population d'huitre confinée en raceway, n'aurait pas été possible. Qu'aurait valu l'extrapolation en milieu naturel ?

\* Thanks to C. Bacher

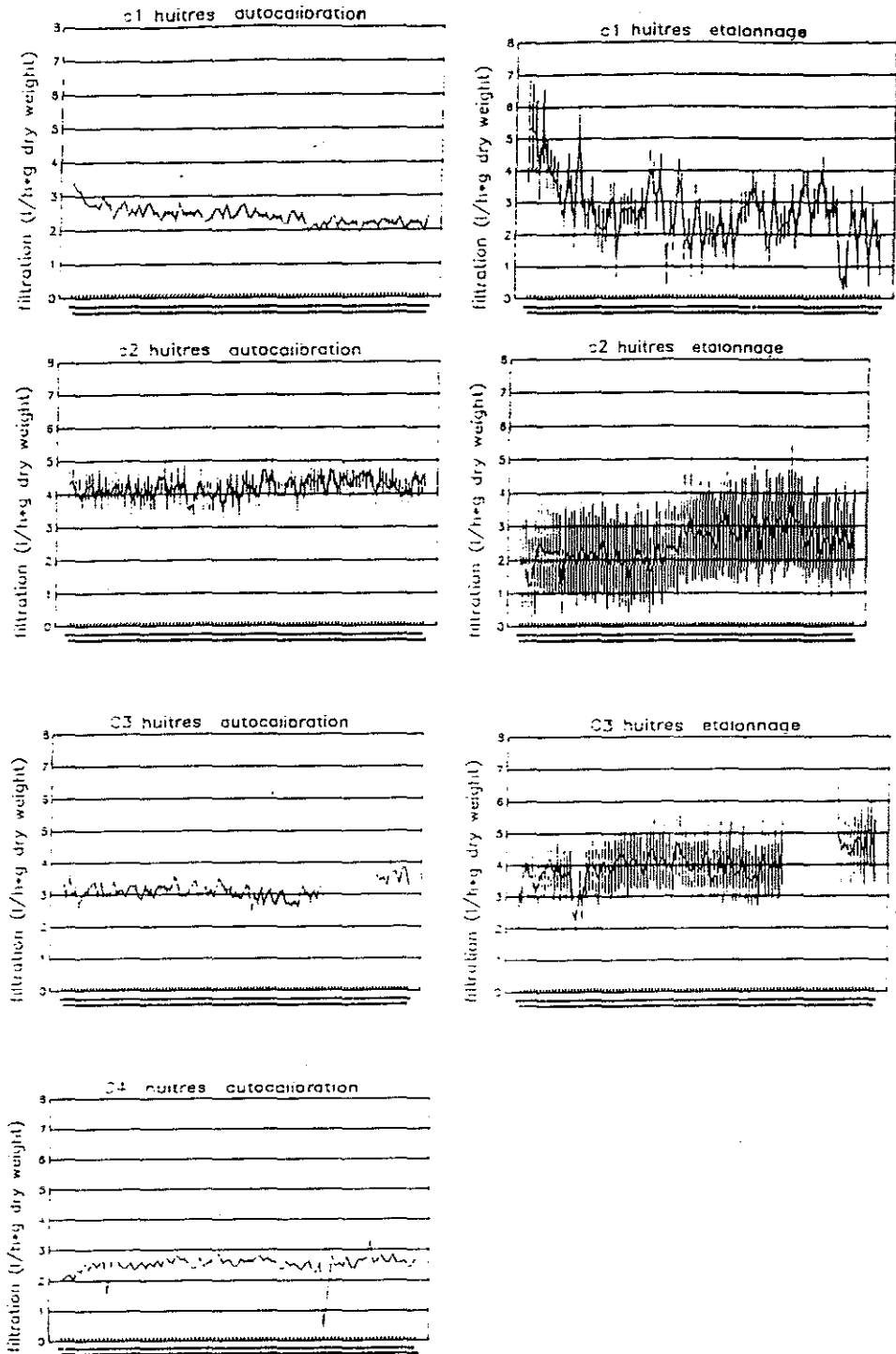


figure - 16 - la filtration en continu . precision sur les mesures . comparaison de la voie 1 (autocalibration fluorescence ) et 5 (etalonnage prélèvements discrets et données en continu )

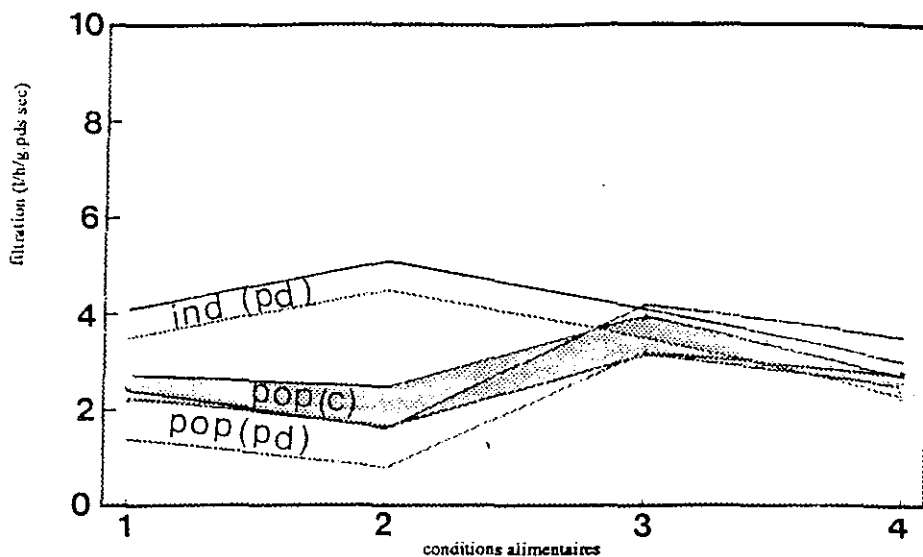


FIGURE - 17 - comparaison entre population (pop.) et les individus (ind.) dans les cas de calcul de filtration sur la base des prélèvements discrets (PD) (voies 10,11,12,3,4,9) et sur la base des regressions. données en continu (C)(voies 1,2,5)

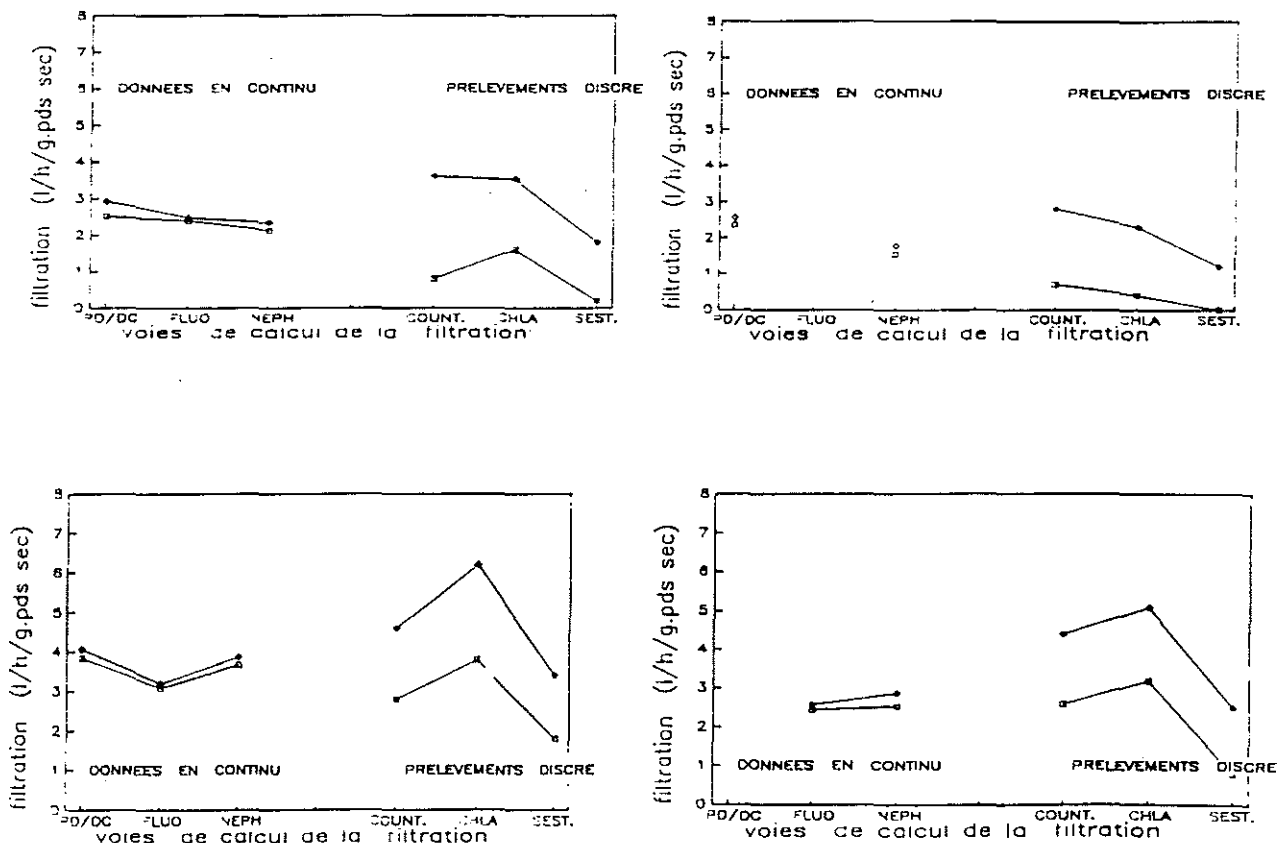


FIGURE - 18 - Comparaison des voies de calcul de la filtration pour la population comparaison des 4 conditions C1 , C2, C3, C4.

Le problème d'échelle d'étude est à nouveau posé.

Aux vues du précédent résultat, la comparaison des voies de calcul de la filtration est effectuée uniquement sur la population. Chaque condition est présentée isolément (fig. 18).

Les intervalles de confiance des résultats de filtration sont plus réduits pour le continu que pour le discret. Si un effet de lissage de la variabilité individuelle, peut être pris en compte pour la population, le mode de calcul de l'intervalle de confiance ne donne peut être pas assez de poids à la mauvaise qualité du coefficient de corrélation (référence aux 2 conditions en continu : neph C3 et PD/Se C4 qui ont du être supprimées).

Les résultats de la filtration de la voie de calcul : "seston" des prélèvements discrets sont significativement inférieurs aux autres résultats, pour toutes les conditions, excepté la condition 3 (ajout de vase) où un léger recouvrement des intervalles de confiance existe (fig. 18).

Les autres voies de calcul ont des intervalles de confiance qui se recoupent sauf pour le "fluo" du continu, avec le chla des prélèvements discrets pour C3 et C4. Tout se passe comme si les résultats de filtration calculée sur la base des prélèvements discrets de chla pour C3 et C4, auraient été surestimés ?

Aux vues des résultats précédents, après suppression des résultats significativement plus faibles du seston (prélèvements discrets), la comparaison des 4 conditions alimentaires à partir des 5 voies de calcul donnent les résultats suivants :

Filtration = F (l/h.STO (1g))

Condition 1 :	$0,8 < f < 3,6$
Condition 2 :	$0,4 < f < 2,8$
Condition 3 :	$2,8 < f < 6,2$
Condition 4 :	$2,4 < f < 5,1$

Ainsi, seule la condition 3 (eau + vase) apparaîtrait comme significativement différente des 3 autres, et surtout de la condition 2 (contrôle sur eau de mer).

La réduction de la comparaison aux seules données en continu, ferait apparaître une deuxième différence significative entre la condition 1 (*Skeletonema sp*) et la même condition 3 (eau + vase).

#### **\* Comparaison des conditions alimentaires**

Seule la condition d'alimentation 3, à partir d'eau de mer additionnée de vase induit une augmentation significative de la filtration chez l'huître *Crassostrea gigas*, au

cours de cette expérimentation. Cette filtration reflète une rétention de particules alimentaires entre l'entrée et la sortie de l'infrastructure expérimentale. La sédimentation ayant été mesurée, et non significative, la matière particulaire d'origine vaseuse, plus filtrée, plus consommée, est ingérée et rejetée sous forme de pseudofécès. Qu'elle est la proportion impliquée dans chacun de ces deux processus ? La poursuite de l'étude physiologique et du bilan énergétique nous permettra de répondre à cette question.

**\* Comparaison des voies de calcul de la filtration**

La distribution en continu donne une meilleure précision de filtration, mais la détermination de cet intervalle de confiance reste probablement à améliorer, aux vues de certaines "anomalies" décelées.

Concernant le choix des méthodes en prélèvements discrets, la voie de matière particulaire donne un résultat significativement plus faible, plus faible également que la filtration calculée sur la base de l'enregistrement en continu de la néphélogométrie.

La voie du Counter aboutit à des résultats entourés de la plus large imprécision. C'est pourtant une voie de calcul particulièrement pratique à mettre en oeuvre.

L'investigation pourrait être plus poussée dans cette voie où seul le comptage total de particules a été envisagé jusque là. Le calcul de filtration sur une base volumétrique ou à partir de régressions entrée-sortie (Prou, com. pers.) doit être réalisé. La voie des marqueurs (minéral, carbone radioactif,...) pourrait être aussi envisagée.

## **CHAPITRE IV**

### **MODELISATION DE LA PRODUCTION OSTREICOLE A MARENNES-OLERON : INTRODUCTION D'UN MODELE DE CROISSANCE PHYTOPLANCTONIQUE.**

**RAILLARD O.**



# MODELISATION DE LA PRODUCTION OSTREICOLE A MARENNES- OLERON : INTRODUCTION D'UN MODELE DE CROISSANCE PHYTOPLANCTONIQUE.

## INTRODUCTION

La complication d'un modèle déterministe est une action qui ne peut être envisagée sans raisons impérieuses. En plus des mécanismes nouveaux qu'il importe de connaître précisément pour les formaliser correctement, l'introduction de nouveaux paramètres, dont la valeur exacte n'est jamais connue, accroît l'incertitude du modèle (Klepper et Scholten, 1988) et affecte ainsi sa robustesse (Swartzman et Kaluzny, 1987).

A Marennes-Oléron, l'introduction d'un modèle de production primaire doit permettre d'aborder les problèmes suivants : Quelle est véritablement l'impact des débits de la Charente sur la production ostreicole ? ou plus précisément : les nutriments d'origine charentaise contrôlent-ils la production phytoplanctonique du bassin et par voie de conséquence les performances de croissance de l'huître japonaise ?

Les travaux de Bacher (1989) ayant démontré qu'en absence de production phytoplanctonique dans la zone conchylicole il existe une corrélation négative entre les stocks d'huître et leur croissance, il sera intéressant d'examiner dans quelle mesure la production locale de phytoplancton peut accroître les potentialités nutritives du bassin et rendre ainsi les performances de croissance de l'huître japonaise moins tributaires de son stock.

## I. PRESENTATION

### A. LE MODELE BIOLOGIQUE

#### 1. Les variables d'état et forçantes

L'azote se révélant être, sous sa forme minérale dissoute, l'élément limitant de la production primaire (Héral et al., 1981), et sous sa forme organique particulaire (protéine) une source nutritive importante des mollusques (Héral et al., 1980) le présent modèle simulera le cycle de l'azote dans la masse d'eau et le sédiment. Les composantes pélagiques de la chaîne alimentaire sont : l'azote

minéral, le phytoplancton, le zooplancton et l'azote organique détritique. Pour la composante benthique, on distingue les huîtres, représentées par deux classes d'âge (1 an et 2 ans), et la matière organique détritique. La forte variabilité spatiale et temporelle de la turbidité enregistrée à Marennes-Oléron et l'action déterminante de ce paramètre sur la poussée phytoplanctonique (régulation de l'énergie lumineuse dans la colonne d'eau) et sur le comportement nutritionnel et de croissance de *C. gigas* (voir le modèle "huître"), justifient l'adjonction d'une variable d'état "seston minéral", qui constitue en effet le principal élément explicatif de cette turbidité. Dans le but d'estimer la productivité phytoplanctonique brute, d'une zone donnée (= boîte) (donc avant prédation par le zooplancton et les huîtres) l'évolution temporelle et spatiale de la croissance brute du phytoplancton est par ailleurs utilisée comme variable accessoire.

La température et le flux lumineux journalier moyen sont les deux variables forçantes du modèle.

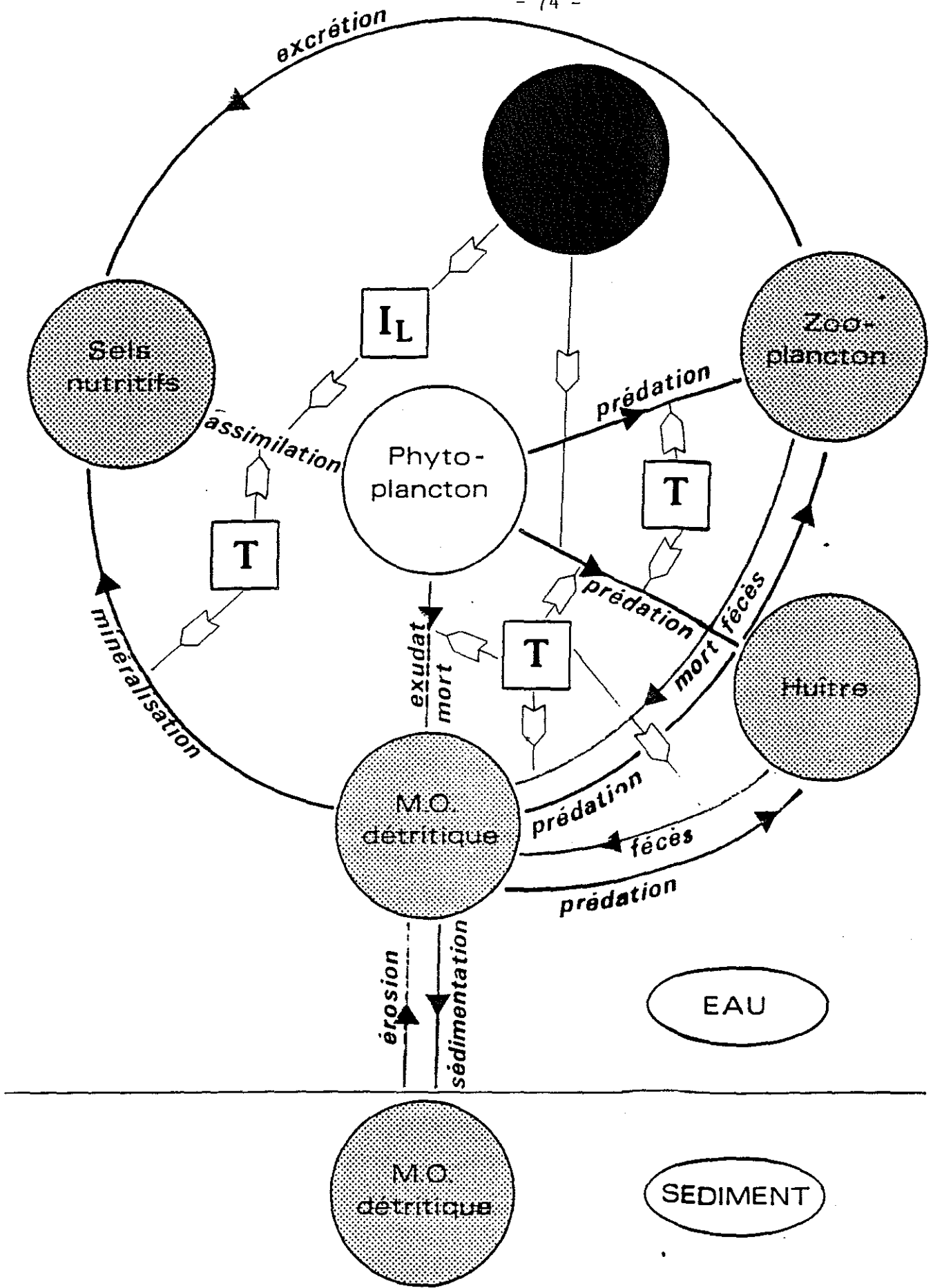
## 2. Description de la chaîne alimentaire

Comme l'indique la figure de la page suivante, le modèle considère que l'huître et le zooplancton se nourrissent de l'azote particulaire pélagique, à la fois sous sa forme vivante et détritique pour le premier et uniquement sous sa forme vivante pour le second. Les fécès du zooplancton (fraction non assimilée de la nourriture consommée) viennent alimenter le compartiment détritique de la masse d'eau qui rejoint par sédimentation celui du fond.

Pour le cas des mollusques on distingue deux types de rejets :

- les pseudo-fécès, dont on estime qu'ils ne présentent pas de différence sur le plan structurel avec la nourriture consommée (Bernard, 1974), et qui par conséquent, rejoignent le pool phytoplanctonique et détritique de l'eau.
- les fécès qui, résultant d'une dégradation digestive partielle du bol alimentaire et d'une compaction au niveau des intestins (Sornin, 1981), alimentent directement la composante détritique du sédiment.

Le mécanisme de la remise en suspension renvoie la matière organique dégradée dans la masse d'eau. Le stock d'azote minéral, pourvu à la fois par la minéralisation de la matière organique de l'eau et par l'excrétion



**T** température de l'eau  
 **$I_L$**  intensité lumineuse disponible dans la colonne d'eau

zooplanctonique, est transformé en matière organique vivante (phytoplancton) par le mécanisme de la photosynthèse.

Dans l'état actuel des choses, les relations entre l'huître et son milieu se résument à un accroissement de la sédimentation des particules pélagiques végétales et détritiques provoqué par la filtration de l'eau par les mollusques, ce qui n'est qu'une représentation partielle de la réalité. En effet, dans le milieu naturel l'action des mollusques se caractérise également par une stimulation de la régénération de l'azote organique (Kaspar et al., 1985) due à une dégradation plus active de la matière biodéposée (fécès) (Verhoff et De Pinto, 1977), et à l'excrétion dissoute des mollusques (Kautsky et Vallentimus, 1980). Selon Kaspar et al. (1985) la régénération par excrétion dissoute serait 3 fois plus rapide que celle de la matière organique située sous un banc de moules et 4 fois supérieure à celle d'un sédiment dépourvu de mollusques. D'après Kautsky et Vallentimus (1980) l'excrétion dissoute des mollusques serait à l'origine de la remanence du bloom phytoplanctonique dans la période post-printanière. L'huître se présente alors, comme un facteur d'enrichissement ponctuel du milieu.

Un autre aspect de l'action positive des animaux filtreurs est signalé par Kautski et Evans (1987) : les fécès caractérisé par une forte teneur en eau et une faible densité (Sornin, 1981 ; Stuart et al., 1982) sont facilement remis en suspension et viennent ainsi alimenter la colonne d'eau en particules fines lentes à sédimenter et donc plus disponibles. De même que Klepper et Scholten (1988) nous avons fait l'hypothèse que l'action déplétrice des mollusques prévalait sur celle des mécanismes sus-évoqués, ce choix s'appuyant sur les observations de Cloern (1982), Officer et al. (1982), Fréchette et Bourget (1985b) et Kaspar et al. (1985). Sur d'autres points, ce modèle biologique peut également apparaître comme une représentation très simplifiée de la réalité (au risque peut-être d'être simpliste). Les modèles d'écosystèmes du même type sont plus complets et plus précis. Pour reprendre une nomenclature classique des chaînes trophiques des écosystèmes marins côtiers, les sels nutritifs considérés sont généralement l'azote, le phosphore et la silice, le phytoplancton est décrit à l'aide de plusieurs compartiments, les algues siliceuses (diatomées) sont distinguées des algues non siliceuses (Klepper et Scholten, 1988), les algues pélagiques du phytobenthos (Baretta et Ruardij, 1988 ; Klepper et Scholten, 1988), les herbivores et carnivores pélagiques sont regroupés par espèces, par groupes trophiques (Wiegert et Penas-Lado, 1986 ; Keizer et al., 1987) ou par classe d'âge (Kremer et Nixon, 1978). On retrouve également des descriptions très précises de la faune

benthique, généralement, suivant sa taille (macrofaune, meifaune) et son mode de nutrition (dépositore, détritivore, suspensivore) (Keizer et al., 1987). Le niveau de connection de ces différentes variables (liens trophiques principalement) est aussi plus élevé que dans le modèle présent. L'excrétion des espèces benthiques ou le grazing du zooplancton sur la matière détritique (relation avec les nutrilités), ici négligés, sont des processus souvent pris en compte dans les modèles (Kremer et Nixon, 1978 ; Radford et al., 1981 ; Keizer et al., 1987 ; Klepper et Scholten, 1988).

Il ne fait pas de doute que l'ensemble des variables et relations signalées et formalisées par ces auteurs soient transposables et applicables dans leur principe au cas particulier de Marennes-Oléron. Ces choix de structure sont généralement déterminés par le niveau des connaissances acquises sur l'écosystème à modéliser et par les objectifs de la modélisation (Jorgensen, 1988). La formalisation actuelle de l'écosystème de Marennes-Oléron nous paraît suffisante a priori et dans un premier temps, pour répondre aux problèmes posés. Les modèles complexes sont des outils lourds, coûteux en temps calcul, et le fait de multiplier le nombre des variables et des équations ne les rend pas nécessairement plus réalistes mais accroît inéluctablement l'incertitude de leurs résultats (Jorgensen, 1988). Un modèle simple, à même de montrer les tendances générales, est, pour cette raison, préférable.

Précisons que ces options ne sont pas définitives et que si les réponses du modèle ne s'avéraient pas satisfaisantes, il est envisagé dans un deuxième temps d'introduire de nouvelles relations et variables au sein de la chaîne alimentaire afin d'en améliorer la représentation.

### 3. Les lois du modèle

Le modèle de production primaire et zooplanctonique n'a pas subi de modifications importantes par rapport à sa version originelle (Mencsguen, 1989).

L'effet de la température sur la vitesse des processus est considérée comme exponentielle sur la plage habituelle des températures de la mer à Marennes. La croissance du phytoplancton est déterminée par une loi de Michaelis-Menten pour l'effet des sels nutritifs et de Steele pour celui de la lumière dont le coefficient d'atténuation est une fonction linéaire de la concentration de seston minéral (Cloern, 1987 ; Chapelle, com. pers.) ; sa mortalité naturelle est asservie

au degré de limitation de croissance rencontrée par le phytoplancton. Le niveau d'activité nutritionnelle du zooplancton (broutage) est régulé par la concentration d'azote particulaire pélagique végétal d'après une loi d'Ivlev. L'efficacité d'assimilation (pourcentage assimilé de la nourriture consommée) est une fonction exponentielle inverse de la ration, le taux d'excrétion est calculé en prenant la valeur maximale entre une fraction constante de la nourriture assimilée et le taux d'excrétion basal croissant exponentiellement avec la température. Une loi du premier ordre gouverne la reminéralisation de la matière organique.

Les lois de nutrition et de croissance de l'huître japonaise sont celles exposées au chapitre précédent. L'azote consommé puis assimilé par le mollusque est converti en calorie avec un coefficient supérieur pour le compartiment vivant (phytoplancton), la croissance somatique et gonadique d'un individu, pour chacune des classes d'âge, est obtenue après retrait des dépenses métaboliques (respiration) de l'énergie ainsi assimilée. La décroissance des effectifs des populations des deux classes d'âge (1 et 2 ans), au cours de l'année, est simulée par une loi exponentielle (Bacher, 1989).

Les équations du modèle biologique sont présentées à l'annexe 1.

## B. Le modèle de transport hydrodynamique

La partition géographique du Bassin de Marennes-Oléron est imposée par la variabilité spatiale des différentes variables simulées. Le transport des éléments particuliers et dissous est assuré par un modèle physique d'advection-dispersion dont les paramètres sont calculés d'après le modèle courantologique bidimensionnel à bancs découvrants du L.C.H.F (Anon, 1979b).

La faible profondeur du Bassin, associée au brassage intense de la colonne d'eau par les courants de marée et le vent, permet de supposer une répartition homogène des composantes particulières et dissoutes de la masse d'eau selon l'axe vertical.

Les échanges avec le fond ne sont pas, à proprement parlé, simulés. La sédimentation est supposée constante et s'applique aux particules détritiques de la masse d'eau. La remise en suspension est exprimée d'après une fonction

sinusoïdale, propre à reproduire l'engraissement du sédiment en été et son érosion en hiver.

### 1. Emprise du modèle, discrétisation spatiale et temporelle

L'emprise géographique du modèle doit être telle que les mécanismes simulés n'influencent pas les conditions aux limites. Le modèle est ainsi bordé, par une frontière Nord qui reçoit des apports de type océanique (pertuis d'Antioche), par une frontière Est où se déverse la Charente, et une frontière au sud du bassin qui alimente le modèle par des apports de nature océanique identiques à ceux de la limite Nord.

La simulation des processus biologiques considérés dans le cas présent ne nécessite pas, eu égard aux incertitudes quant à leur formulation, la précision apportée par les modèles hydrodynamiques (Bird et Hall, 1988). En conséquence, le modèle courantologique du L.C.H.F est moyenné dans l'espace et le temps (modèle en boîtes) et ce, en accord avec les échelles de temps et d'espace des mécanismes biologiques. Cette opération a également l'avantage de faciliter la mise en oeuvre du couplage de la physique et de la biologie.

Les compartiments vivants de la chaîne alimentaire pélagique ainsi que les mollusques sont supposés intégrer les fluctuations dont la période est inférieure à celle de la marée (12h30). Cette échelle de temps est celle adoptée par d'autres auteurs pour des modèles du même type associant physique et biologie. (Baretta et Ruardij, 1988 ; Klepper et Scholten, 1988).

Plusieurs critères décident de la partition géographique de la zone :

- d'ordre courantologique, le tracé des boîtes aura soin de délimiter des zones hydrodynamiquement homogènes (en vitesse et en direction), définies approximativement à l'aide des grilles de courants résiduels eulériens du modèle physique du L.C.H.F. La taille de ces boîtes est de l'ordre de celle de l'excursion de marée responsable de l'homogénéisation des masses d'eau (quelques Km) (Bacher, 1989).

- d'ordre biologique, l'homogénéité est de ce point de vue plus difficile à cerner, étant donné le nombre des variables à considérer. Les boîtes Sud doivent tenir compte des zones ostreicoles ; l'estuaire de la Charente, qui

présente d'importants gradients de salinité et de turbidité (Ravail et al., 1987), est scindé en 2 boîtes (fig. 2).

## 2. Calcul des débits advectifs et dispersifs

Les débits résiduels entre les boîtes i et j sont représentés par :

$$D(i,j) = M \int_C \vec{n} \cdot \vec{u} \cdot H dt$$

où M est la longueur de la maille, H sa hauteur, n la normale à la frontière, u le vecteur vitesse, T la période de la marée. C est la courbe polygonale constituant la frontière entre les boîtes i et j.

Les débits moyens de la Charente sont calculés d'après les valeurs obtenues sur 10 années de mesure (Héral et Razet, com. pers.).

Les échanges dispersifs traduisent la turbulence induite par le déplacement des masses d'eau au cours d'une marée, soit pour une interface ij (entre la boîte i et la boîte j), une valeur proportionnelle à la somme des débits non signés (volume oscillant) qui la traversent pendant cette période. Le volume oscillant est calculé de manière analogue au débit résiduel :

$$Vo(i,j) = M \int_C |\vec{u} \cdot \vec{n}| \cdot H dt$$

Les débits et volume oscillants sont calculés pour deux coefficients de marée, un coefficient de mortes-eaux et un coefficient de vives-eaux. Le cycle de marée est reconstitué dans la simulation par interpolation linéaire en fonction du temps entre ces deux lots de paramètres (Bacher, 1989). La variabilité saisonnière de l'amplitude des coefficients de marée n'est donc pas prise en compte.

## 3. Equation d'advection-dispersion

En absence de processus d'ordre biologique, l'évolution de la concentration d'une variable pélagique dans la boîte i est calculée d'après un schéma décentré-amont.



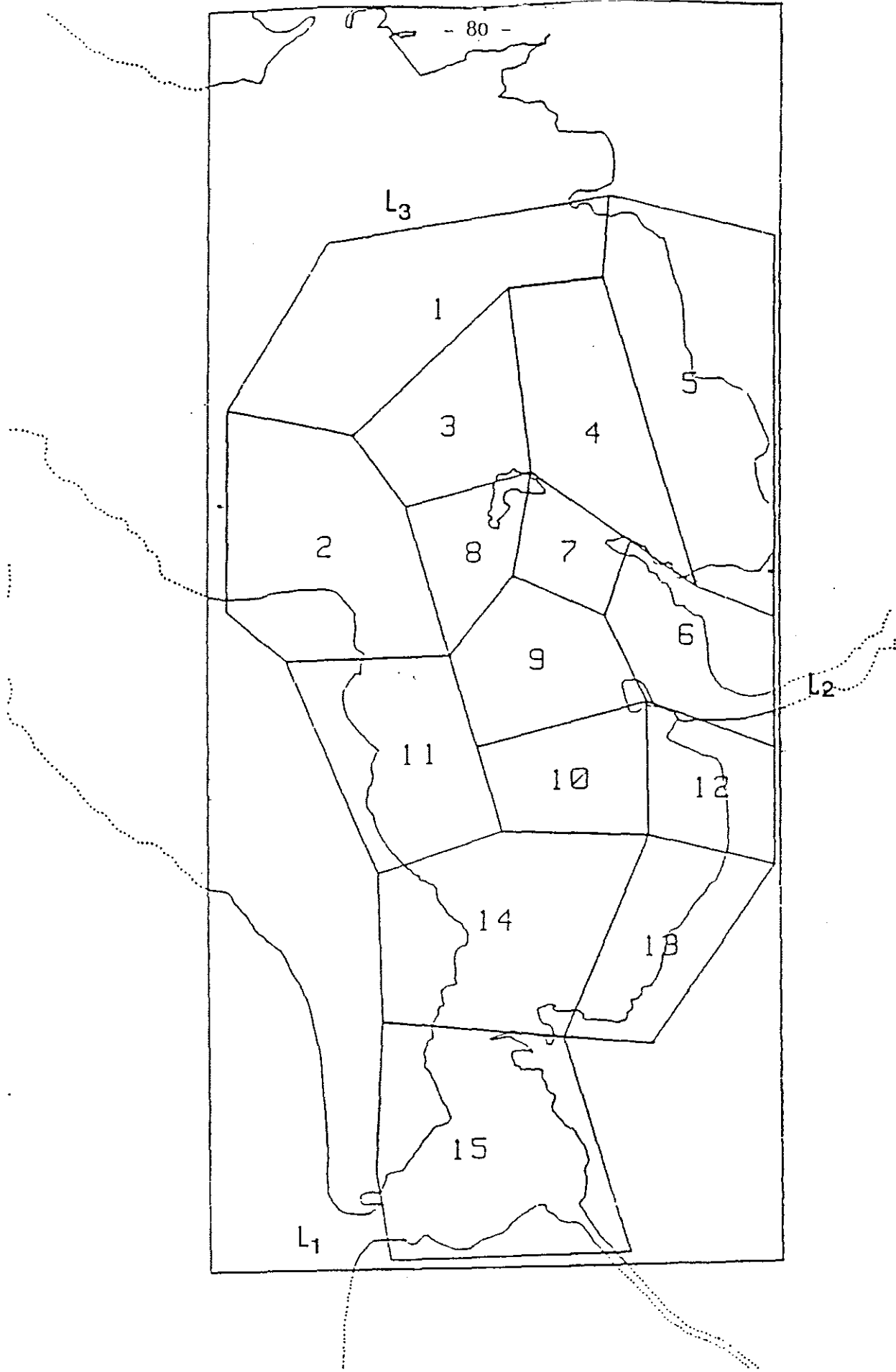


fig. 2 : Partition géographique du Bassin de Marennes-Oléron.

L1 : limite Océanique sud (Maumusson) ; L2 : limite Charente  
L3 : limite Océanique nord (Antioche)

$$V_i \cdot \frac{dC_i}{dt} = D_{ij} \cdot C_i + D_{ji} \cdot C_j + K_{ij} \cdot (C_j - C_i)$$

A          B          C

$V_i$  est le volume de la boîte  $i$

A désigne la quantité de la substance qui quitte la boîte  $i$  sous la condition que  $D_{ij}$  soit négatif, et B la quantité entrant dans cette même boîte si  $D_{ij}$  est positif.

Le dernier terme C de l'équation traduit les échanges dispersifs dont le sens est fonction du gradient de concentration entre les boîtes adjacentes. Le coefficient  $K_{ij}$  est décrit empiriquement par :

$$K_{ij} = C_{disp} \cdot V_o(ij)$$

#### 4. Calage du modèle d'advection-dispersion

La valeur du coefficient de proportionnalité ( $c_{disp}$ ) qui, appliquée au volume oscillant permet de quantifier les échanges dispersifs, est obtenue par calage manuel de la salinité simulée sur les mesures réalisées pendant 5 ans en un point central du bassin (station du Chapus). Les équations d'advection-dispersion sont résolues par un algorithme de Runge-Kutta à pas variable.

##### a. Variations de salinité aux limites du modèle

La salinité de la Charente est considérée comme nulle pendant toute l'année.

Le cas des frontières Océaniques est plus complexe. En fait, il n'existe pas de mesures de salinité qui reflètent les conditions hydrologiques du large. En raison de sa proximité avec la Charente, la station "Boyard" reste influencée pendant les périodes de crue par les apports de cette rivière et, par conséquent, les salinités mesurées à cet endroit sont impropres à alimenter le modèle de transport dans son emprise géographique actuelle.

Le scénario de type océanique est, malgré tout, bâti d'après ces mesures. L'aspect océanique étant restitué d'une part, en rehaussant, de manière empirique, les salinités mesurées en ce point, et d'autre part, en ne conservant

qu'un rythme mensuel de variation de ce même paramètre (les oscillations vives-eaux/mortes-eaux sont induites par la variation de l'intensité du mélange des eaux océaniques et de Charente). Les valeurs journalières de salinité, sur une année, sont ensuite obtenues par interpolation linéaire entre les valeurs mensuelles ainsi estimées. La présence d'une dessalure hivernale est expliquée par l'intrusion des eaux de Gironde (Dechambenoy et al., 1977).

#### b. Variation de salinité à la station de référence (Chapus).

La série journalière est calculée d'après les mesures bimensuelles (mortes-eau, vives-eau) effectuées par le laboratoire IFREMER (base de données RAZLEC). Le cycle de marée (mortes-eaux, vives-eaux) est restitué par interpolation linéaire entre les séries de vives-eaux d'une part, de mortes-eaux d'autre part, puis entre les deux séries obtenues. De cette façon, les valeurs journalières de salinité sont estimées en tenant compte de la variabilité saisonnière et du cycle de marée. En répétant ce calcul sur cinq années de données, on peut filtrer les perturbations météorologiques du signal en moyennant les cinq séries temporelles obtenues (Bacher, 1989).

#### c. Simulations

Les simulations sont réalisées, pendant 310 jours, pour 4 valeurs du coefficient "cdisp". De par l'importance de son forçage hydrodynamique aux limites, le modèle est peu sensible aux conditions initiales. Aussi la salinité de départ est fixée dans chacune des boîtes, à sa valeur mesurée si elle existe, à 30 ‰ sinon.

A l'instar de ce qui est observé, l'interpolation entre un champ de vives-eaux et un champ de mortes-eaux génère des oscillations de salinité sur l'ensemble du modèle, même si les valeurs fournies aux limites en sont dépourvues. Induites par les différences de mélange des masses d'eau en mortes et en vives-eaux, ces fluctuations sont plus vives en période de crue de la Charente, lorsque le contraste entre les concentrations du Bassin et celles des limites marines est maximal (fig. 3).

Dans la fourchette considérée, la valeur du paramètre "cdisp" détermine, principalement, l'amplitude de ces oscillations et le niveau moyen des salinités sur l'année. A valeur croissante, la courbe simulée retrouve une évolution de type

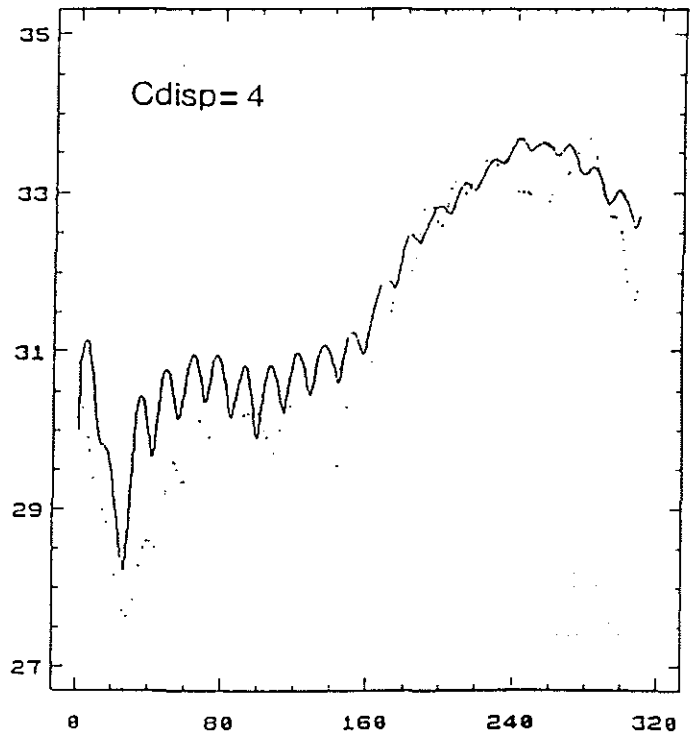
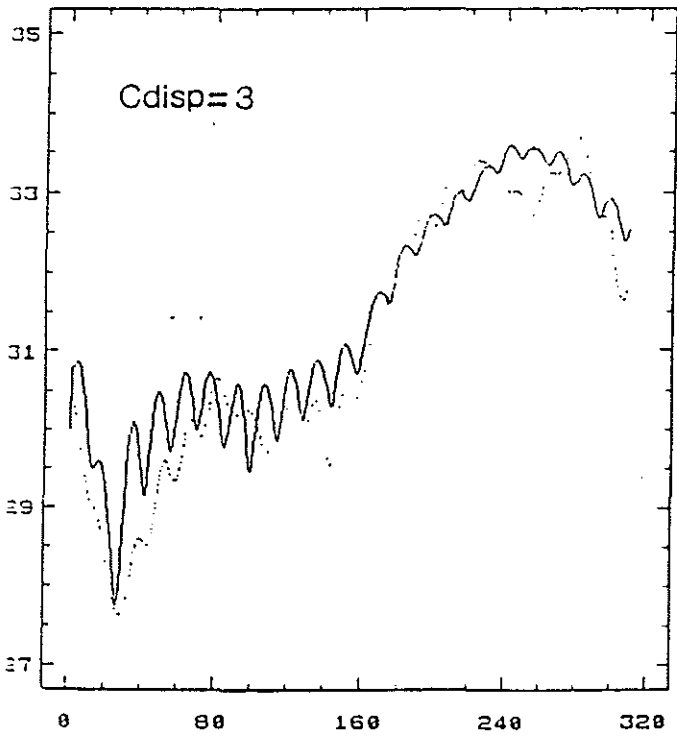
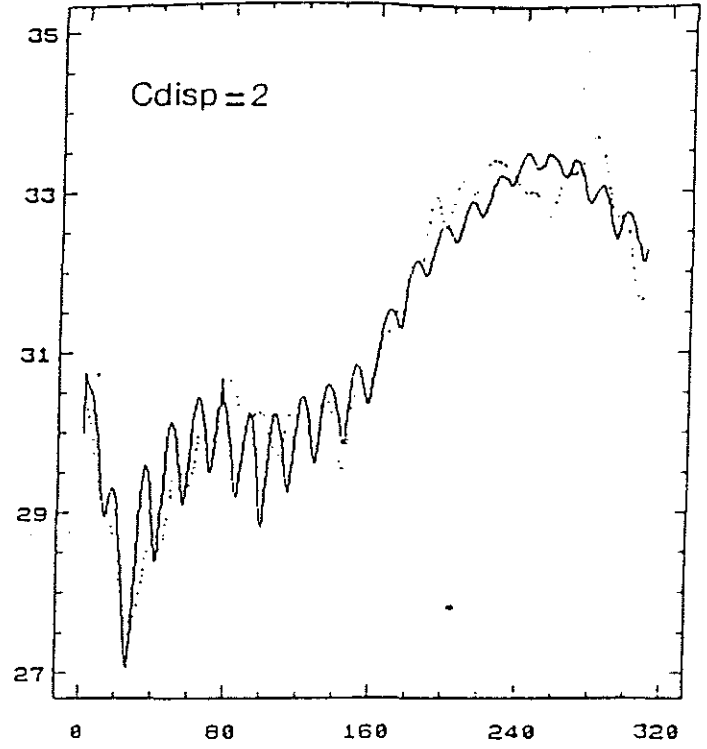
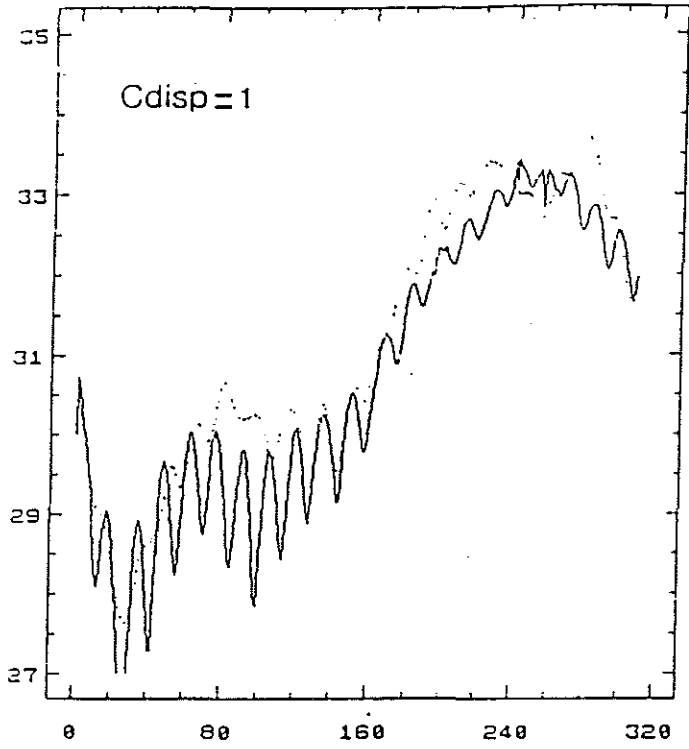


fig. 3 : Calage du modèle physique d'advection-dispersion sur les salinités mesurées au Chapus (.....).

plus Océanique, caractérisée par une atténuation des oscillations et un réhaussement général des valeurs de salinité.

Pour le choix de la valeur de "cdisp", deux éléments quantitatifs de comparaison entre la courbe simulée et de référence ont été retenus : concordance sur les niveaux de salinité et sur l'amplitude de leurs oscillations.

Empiriquement, la valeur optimale de "cdisp" oscillerait entre 2 et 3. Pour cdisp=2, la courbe simulée suit de manière satisfaisante la tendance générale de l'évolution mesurée, en revanche les fluctuations tidales sont trop accentuées (fig. 3). Les salinités calculées avec cdisp=3 sont le plus souvent surestimées mais l'atténuation des amplitudes de variations, selon le cycle de marée, qui en résulte rend, de ce point de vue, une évolution simulée plus proche des mesures.

Il est à noter, que cette nécessité d'une augmentation des apports océaniques (= augmentation de la valeur de cdisp), qui conduit à une surestimation de la salinité, pour reproduire correctement les variations de salinité liées au cycle lunaire, atteste, au niveau du modèle, d'une influence trop marquée des apports charentais dans le mélange des eaux au centre du Bassin.

Cette faiblesse du modèle physique peut être imputée à la partition géographique de la zone, au choix de l'échelle temporelle (résiduelle de marée) ou plus simplement à notre méconnaissance des conditions aux limites du modèle.

La variabilité spatiale de l'évolution temporelle de la salinité est examinée pour une valeur donnée de cdisp (cdisp=3) (fig. 4). La zone Nord (2) du Bassin conserve les caractéristiques des eaux du large. Au niveau du panache de la Charente (boîte 6) la confrontation des eaux océaniques avec celles de la rivière génèrent de fortes oscillations hebdomadaires, également présentes, bien que très atténuées, à l'ouest, dans la boîte 7. Sur le même axe, il est notable que l'influence du fleuve disparaisse presque totalement de l'évolution de la salinité en boîte 8. Les mesures réalisées en ce point (Boyard), indiquent des valeurs plus basses et de plus fortes variations au cours du cycle de marée, révélant ainsi un intrusion notable des eaux de Charente, que le modèle ne semble pas en mesure de pouvoir reproduire.

Au sud de cette ligne, la signature des eaux charentaises est très marquée à l'Est (boîte 13), à l'inverse, la zone ouest conserve de fortes caractéristiques

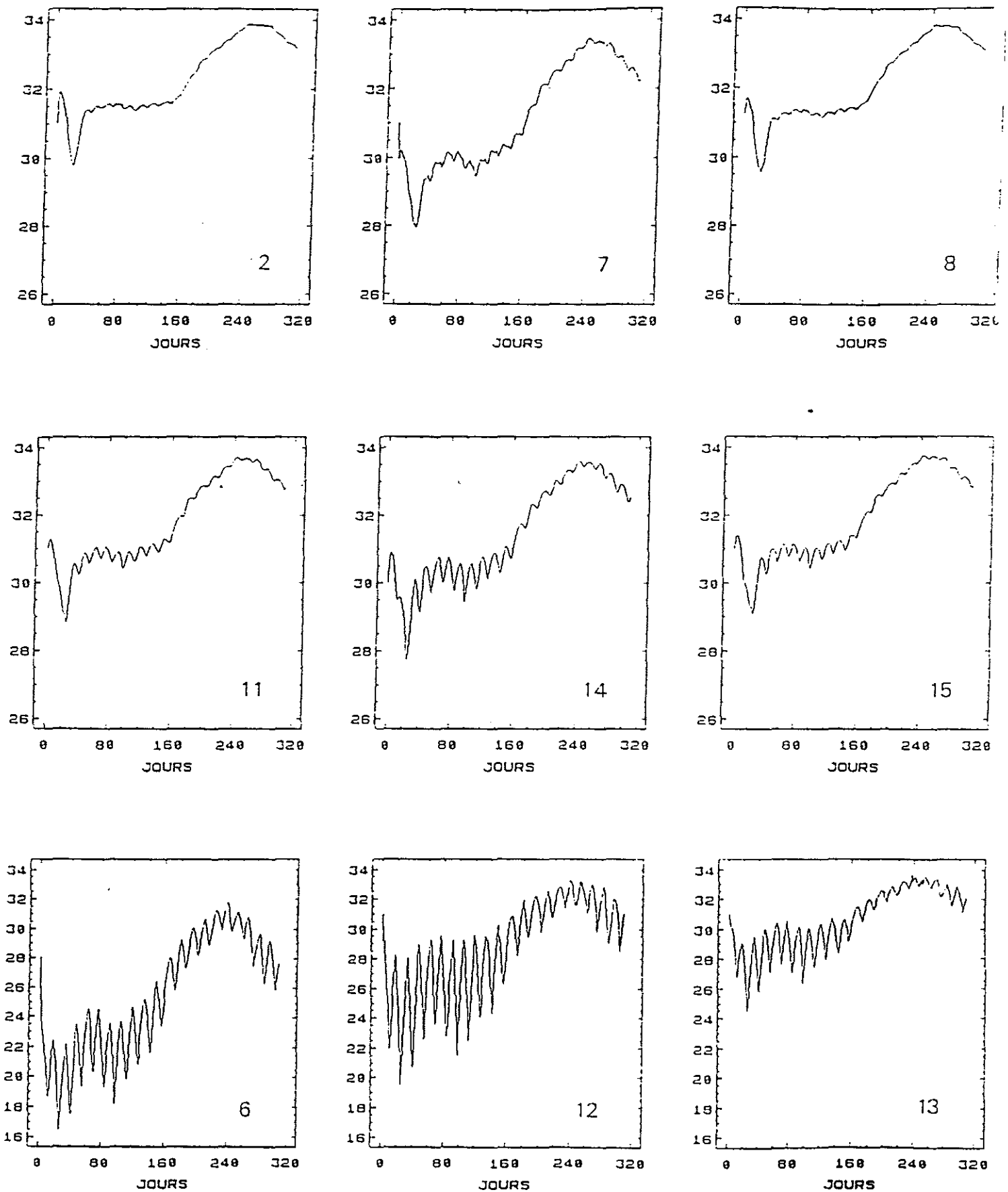


fig. 4 : Evolution temporelle simulee de la salinite dans plusieurs boites du modeles.

océaniques (boîte 11). Cette partition hydrologique Est-Ouest du Bassin est mentionnée dans les travaux du L.C.H.F. (Anon, 1973 a et b). Le mélange, réalisé dans la boîte 14 présente les aspects et les défauts évoqués plus haut. La limite océanique au sud du modèle influence modérément (et par dispersion uniquement) les salinités de la boîte 15.

En résumé, le modèle physique reproduit de manière relativement satisfaisante l'évolution temporelle de la salinité dans la boîte de référence, ce qui autorise son utilisation pour la simulation de la production primaire et secondaire sur l'ensemble du Bassin. Toutefois, les défauts de ce modèle, la sous-estimation de l'influence de la Charente vers l'ouest et, à l'inverse sa surestimation vers le sud, devront rester présents à l'esprit lors de l'interprétation des futurs résultats.

## II. SIMULATION DE LA PRODUCTION PRIMAIRE ET SECONDAIRE DU BASSIN DE MARENNES-OLERON.

### A. MISE EN PLACE DES SIMULATIONS

#### 1. Conditions aux frontières du modèle

Les scénarios aux limites géographiques du modèle concernent l'ensemble des variables pélagiques. Afin de gommer les perturbations météorologiques du signal, une année hydrobiologique-type est reconstituée à l'aide des mesures effectuées pendant plusieurs années dans les différentes stations du Bassin (base de données Razlec). La méthode de calcul est la suivante : les concentrations journalières sont obtenues par interpolation linéaire entre les valeurs mensuelles, elles-mêmes estimées en moyennant l'ensemble des mesures réalisées dans le même mois, pendant 10 ans.

Le cas de l'azote détritique est particulier puisque qu'il n'est pas directement mesuré dans la colonne d'eau. Sa concentration est ici estimée en retranchant à la concentration de protéines particulières converties en azote (= azote particulaire total) celle du phytoplancton (= azote particulaire organique vivant).

### La limite Charente

Les mesures de seston minéral effectuées dans le panache de la Charente sont utilisées à la reconstitution de la série temporelle à la limite-est du modèle. Il faut cependant noter que les concentrations observées à cette station relèvent certainement plus de processus locaux (dépôt-érosion, bouchon vaseux), qui ne sont pas modélisés, que des charges turbides en provenance de l'amont de la rivière (Héral, comm. pers.). Déplacer le scénario de seston minéral, établi à partir des données mesurées dans l'estuaire (boîte 6), vers la sortie de la Charente conduirait, au niveau du modèle, à une dilution des teneurs sestoniques dans cette même boîte et par suite à leur sous-estimation sur l'ensemble du Bassin. Pour pallier cet inconvénient, les valeurs introduites à la frontière sont celles, plus élevées, mesurées près du fond.

La Charente, ou plus exactement son estuaire, est une source également non négligeable de matière organique détritique (Héral et al., 1984). Le cycle annuel est constitué suivant un schéma identique à celui utilisé pour le seston minéral.

La série chronologique d'azote dissous (No3) est calculée d'après les concentrations et les débits mesurés dans les différents affluents de la rivière (Héral et Razet, comm. pers.). Les séries temporelles de la frontière "Charente" sont présentées à la figure 6.

### La limite océanique

Toutes les variables pélagiques y sont représentées. Les problèmes évoqués précédemment, qui concernent la validité des mesures à Boyard en tant que source océanique d'alimentation du modèle, restent d'actualité. Les pseudo-limites océaniques sont obtenues de la manière suivante :

Sous l'hypothèse, que le Bassin soit un facteur d'enrichissement des eaux océaniques (pour les variables concernées par le modèle biologique), on admet à l'inverse que l'évolution temporelle des concentrations au large peut être représentée par une certaine "dilution" des concentrations mesurées à Boyard (voir plus haut). La valeur du facteur de dilution est déterminée en calant les courbes simulées, par le modèle de production primaire, de l'azote minéral et du phytoplancton dans la boîte 8, aux données de Boyard (fig. 17).



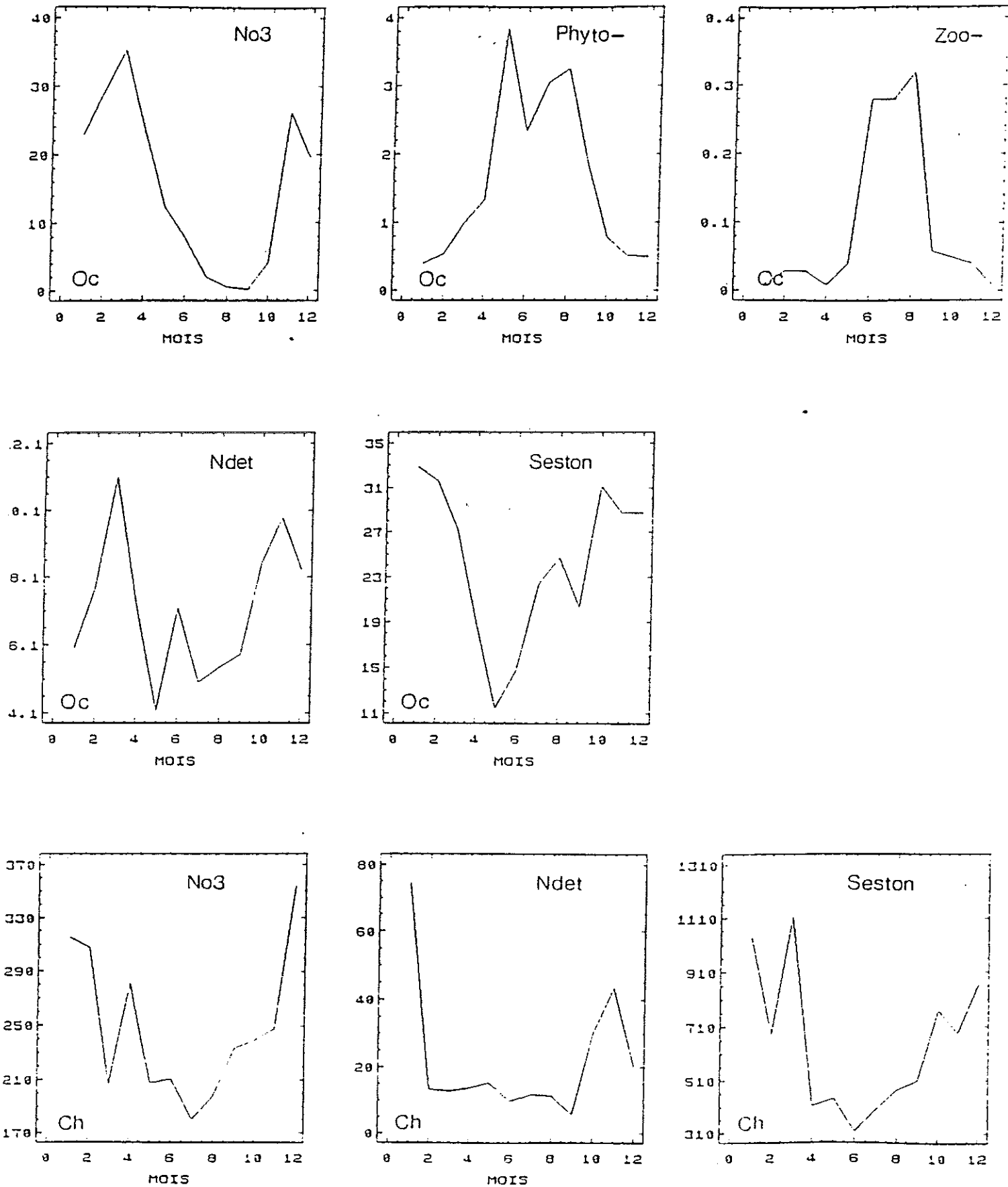


fig. 5 : Conditions hydrobiologiques aux limites Oceaniques (Oc) et à la limite Charente (Ch) du modèle. Les concentrations sont exprimées en  $\mu\text{M}/\text{l}$  à l'exception de celles du seston minéral qui sont exprimées en  $\text{mg}/\text{l}$ .

La calibration s'est attachée à reproduire une évolution correcte de la concentration des nitrates durant la période de production phytoplanctonique. La sous-estimation des concentrations hivernales qui en a résulté n'est pas gênante dans la mesure où les niveaux restent bien supérieurs au seuil de limitation. L'absence des oscillations vives-eaux/mortes-eaux dans la simulation du nitrate et du phytoplancton est en partie imputable à la sous-estimation par le modèle physique de l'influence des apports de Charente dans ce secteur du Bassin (voir simulation de la salinité). Signalons également la disparition du pic estival de phytoplancton provoquée par l'action conjointe de l'abaissement des niveaux de nitrate et de l'augmentation des charges sestoniques.

## 2. Conditions initiales

L'importance du forçage courantologique rend, ici aussi, (voir "calage du modèle d'advection-dispersion"), le modèle peu sensible aux valeurs de départ des variables pélagiques, qui sont, pour cette raison, fixées approximativement d'après les mesures.

Le nombre d'individus par boîte et classe d'âge est estimé à partir des échantillonnages annuels réalisés pour deux classes de poids et par strate géographique, sur l'ensemble du Bassin, depuis 1984 (Bacher et al., 1986 ; Bodoy et al., 1987). Les poids de départ des individus de la première et de la seconde classe d'âge sont issus de valeurs moyennes mesurées sur le terrain.

Les stocks de matière détritique sur le fond sont inconnus ; en première approximation, leur niveau est pris égal à 0 dans toutes les boîtes.

## 3. Evolutions temporelles et spatiales des variables forçantes

Le cycle annuel moyen de la température de l'eau, mesuré par Ravail et al. (1988) est approché par sa première harmonique (Menesguen, 1989) :

$$\text{Temp} = 14 + 5 \cdot \sin \left( \frac{2\pi}{365} \cdot (t-140) \right) \text{ (fig.7)}$$

L'évolution saisonnière du flux lumineux journalier moyen, dans la bande 400-700 nm a été estimé selon l'algorithme de Brock (1981) d'après les

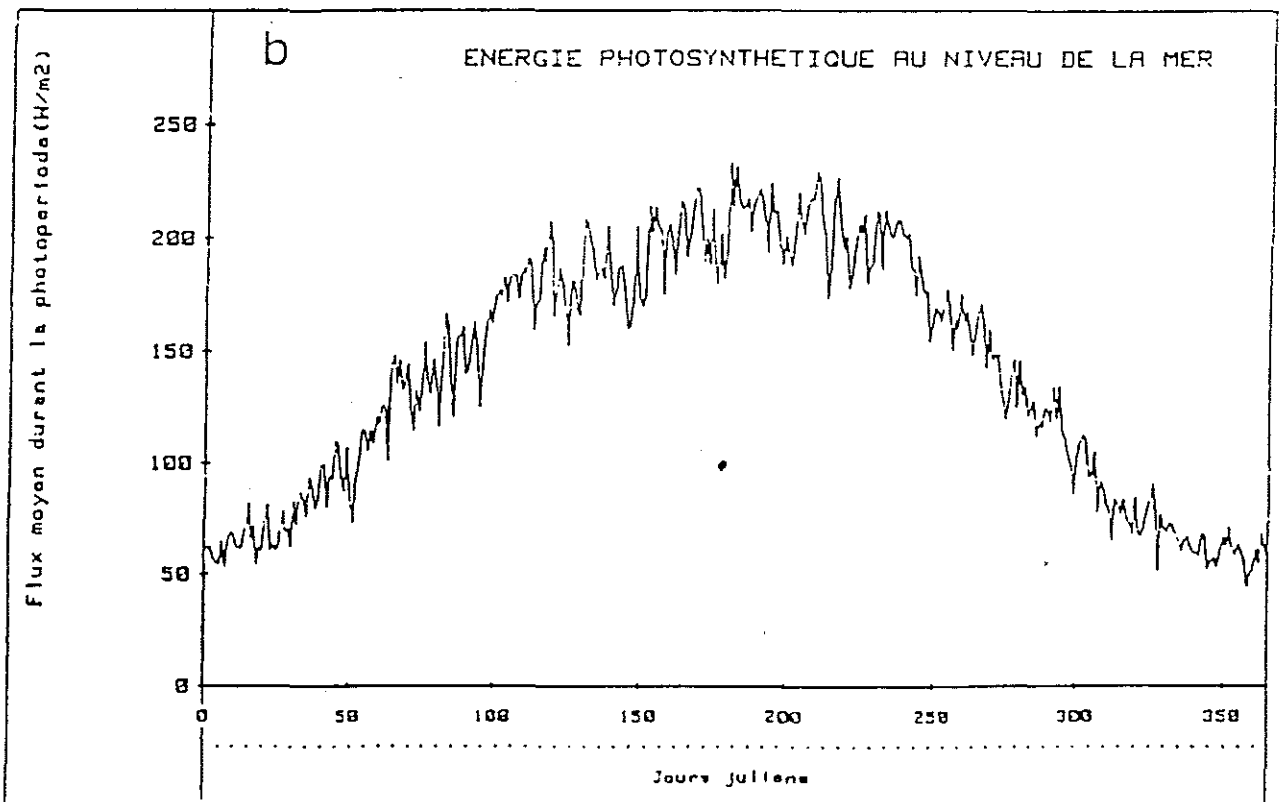
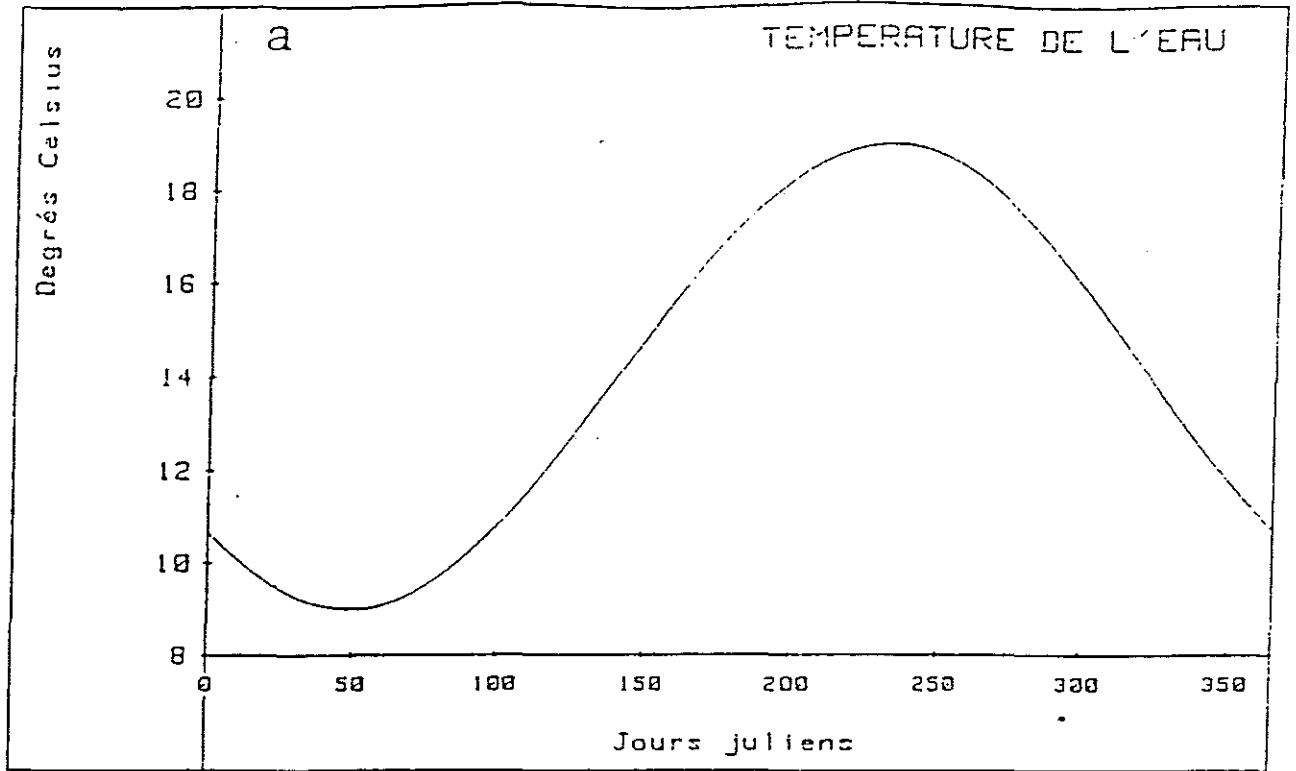


fig.7 : Variables forcantes climatiques.  
a : température de l'eau  
b : P.A.R en surface (année moyenne sur 20 ans)

insolations journalières mesurées à la station de La Rochelle entre 1964 et 1984 (Menesguen, 1989) (fig. 7).

## B. SIMULATIONS

### 1. Cas où les huîtres sont exclues du réseau trophique

Dans une première étape, la croissance des mollusques a été considérée sans effet sur les flux de matière au sein du Bassin. Cette hypothèse de travail, irréaliste, permet néanmoins d'étudier le comportement du phytoplancton libéré de la pression prédatrice des mollusques. Ensuite, la comparaison de ces résultats avec ceux obtenus lorsque l'huître fera partie intégrante de la chaîne alimentaire, sera utilisée pour étudier l'impact, dans l'espace et le temps, des mollusques sur les concentrations particulières (déplétion) et sur sa propre croissance.

Afin d'étudier plus précisément le mécanisme de la croissance phytoplanctonique dans le Bassin, les évolutions journalières entre 10 et 14 h, de sa limitation par la lumière, par l'azote dissous et celle de la croissance brute sont également utilisées.

#### a. Simulation du seston minéral

Son évolution se caractérise par une forte variabilité tant sur le plan spatial que temporel (fig.9). Au nord, les apports de Charente interviennent peu dans l'évolution de la turbidité qui conserve les traits principaux du cycle de type océanique (3). Au centre du Bassin, on retrouve la partition hydrologique observée sur les salinités, avec un gradient est-ouest (13-11) prononcé aussi bien pour les niveaux de concentrations minérales que pour l'amplitude de leurs oscillations. La limite océanique sud dilue et stabilise l'évolution de la turbidité dans la boîte 15.

Les mesures réalisées à Boyard et dans l'estuaire de la Charente ayant servi à la constitution des cycles aux limites géographiques du modèle ne peuvent être employées pour la validation dans la représentation spatio-temporelle de l'évolution du seston minéral. En conséquence, les mesures effectuées au Chapus restent la seule base de données utilisables pour la validation.

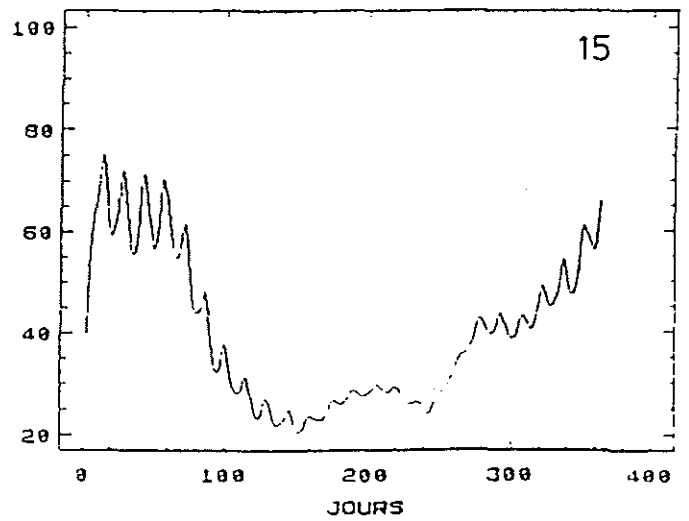
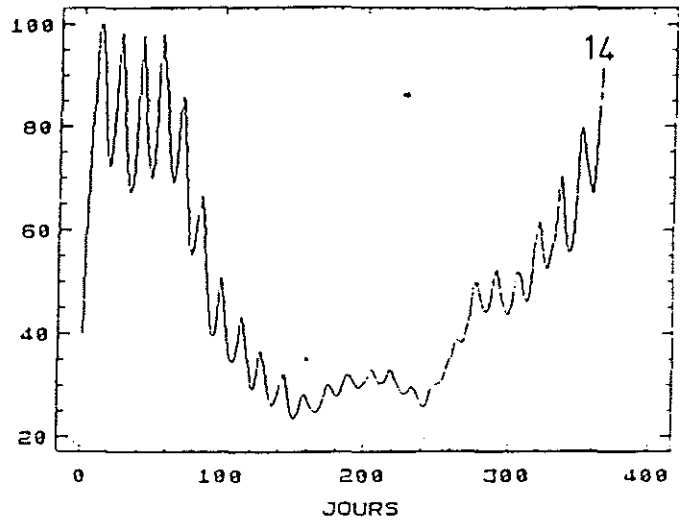
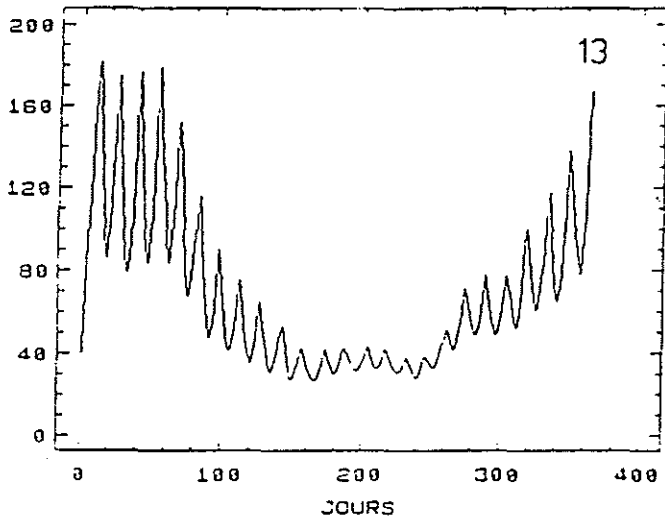
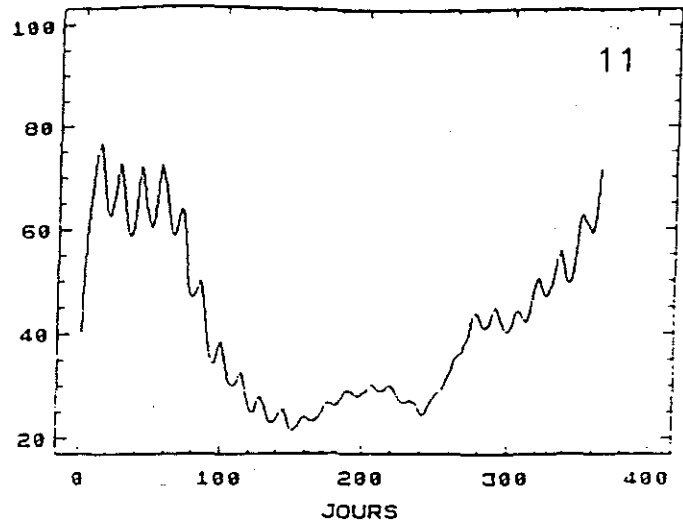
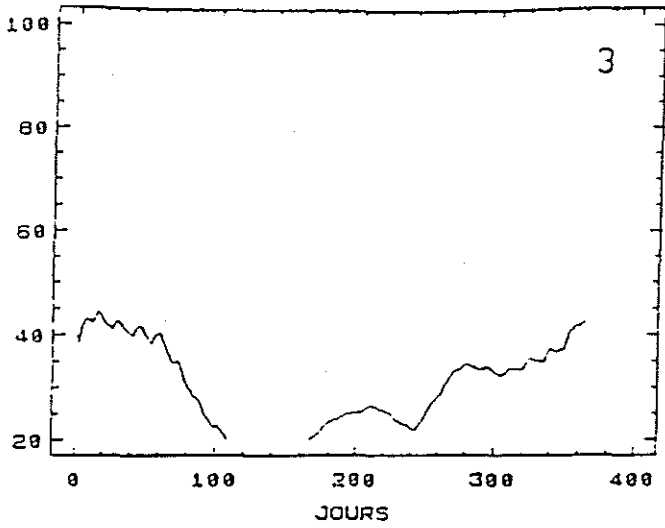


Fig. 9 : Evolution temporelle simulée de la concentration de seston minéral (mg/l), au nord du Bassin (3), sur l'estran ouest (11), sur l'estran est (13) au centre et au sud (14, 15).

A l'échelle de la saison la simulation reproduit une évolution correcte de la turbidité sur l'année (fig. 10). En revanche les fluctuations attachées au cycle de marée sont mal reproduites, leur amplitude restant généralement inférieure à ce qui est observé (fig. 10). La mauvaise reproduction de la courantologie et du mélange des différentes masses d'eaux qui en découle ne peuvent en être la seule explication, la simulation de la salinité ayant fourni des résultats somme toute satisfaisants dans ce secteur du Bassin. En revanche, le seston minéral, à l'inverse d'un élément dissous, est composé de particules soumises aux échanges verticaux (sédimentation, remise en suspension), eux-mêmes régulés, en partie, par la vitesse du courant. Les variations des concentrations de seston minéral à l'échelle du cycle de marée, initiées par les mélanges variables des différentes masses d'eau, sont accentuées par les échanges verticaux, avec une tendance à l'érosion pendant les vives-eaux et au dépôt pendant les mortes-eaux. Amplifications que ne peut reproduire un modèle qui ne simule pas de tels mécanismes.

Eu égard à la non-linéarité des lois qui incluent directement (pseudo-egestion des mollusques) ou indirectement (croissance phytoplanctonique) l'effet du seston, se satisfaire de tels résultats pose problème. La formalisation des échanges verticaux n'étant pas envisagée dans le cadre de ce premier modèle d'écosystème on se limitera à l'étude du comportement trophique du Bassin à long terme, plus lié au cycle saisonnier que lunaire.

#### b. La production primaire

L'évolution temporelle du phytoplancton (fig. 11) se caractérise par un pic printanier, synchrone avec celui imposé à la limite marine, dont la valeur s'échelonne entre 5 et 11 mgClha/m<sup>3</sup>, et les mois suivants par un appauvrissement progressif et l'absence de pic automnal.

Sur un plan spatial, le Bassin ne présente pas de forts gradients, à l'exception toutefois de la boîte 5, dont les teneurs chlorophylliennes sont 1.5 à 2 fois supérieures à celle des autres boîtes (fig. 11).

Les fluctuations attachées au cycle lunaire, déjà observées sur la salinité et la turbidité, n'apparaissent que lorsque la concentration de phytoplancton diffère significativement de sa valeur aux limites marines, donc au printemps et dans les boîtes les plus productives.

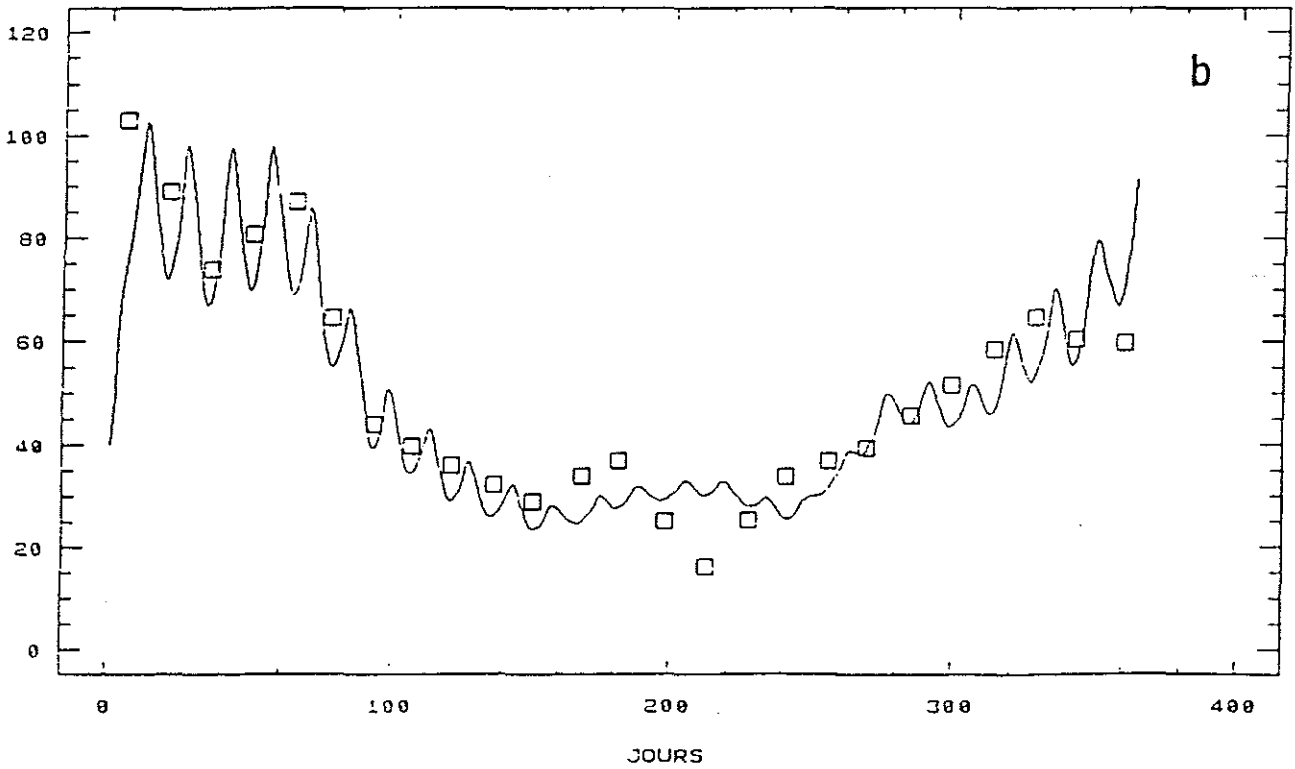
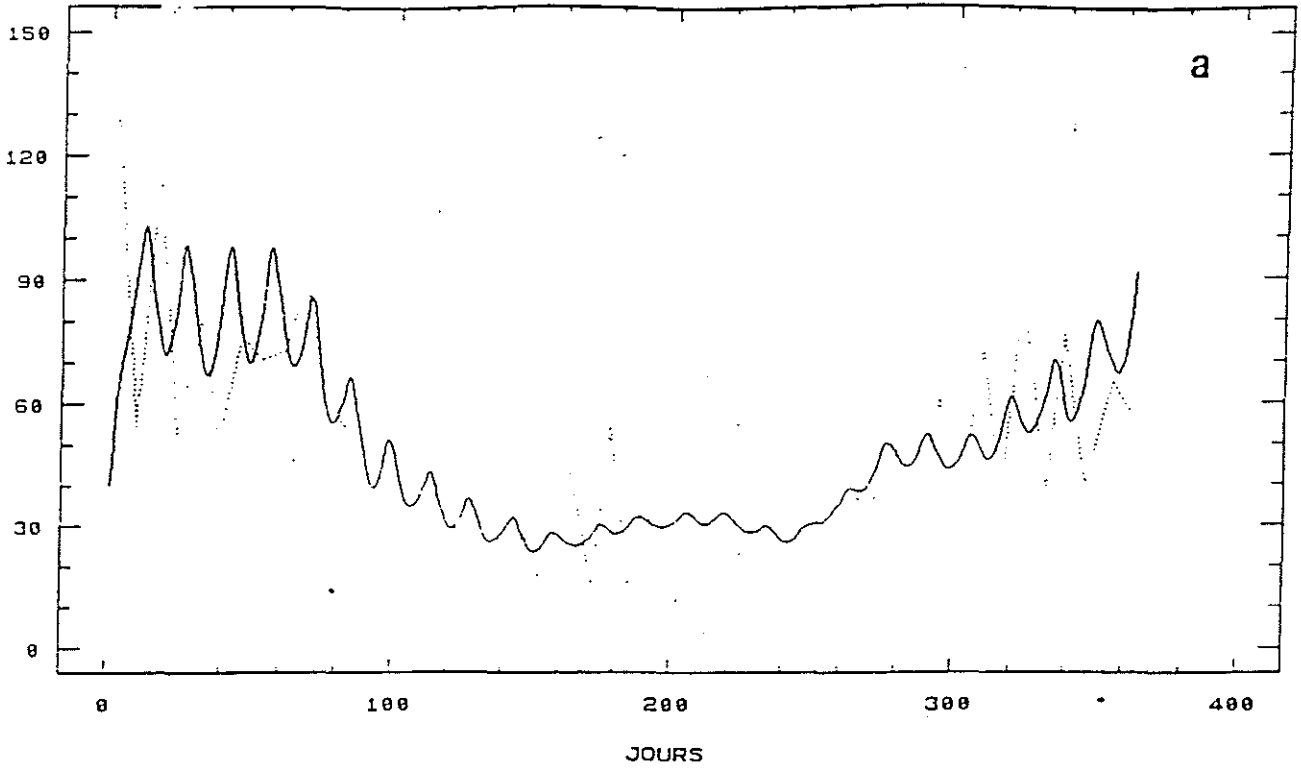


Fig. 1. - Comparaison des concentrations calculées et observées de sels minéraux pendant 1 an au Chacuz. Pour les mesures, a : la courbe et les concentrations liées au cycle de marées successives au niveau de vive-eau et de morte-eau sont moyennées.

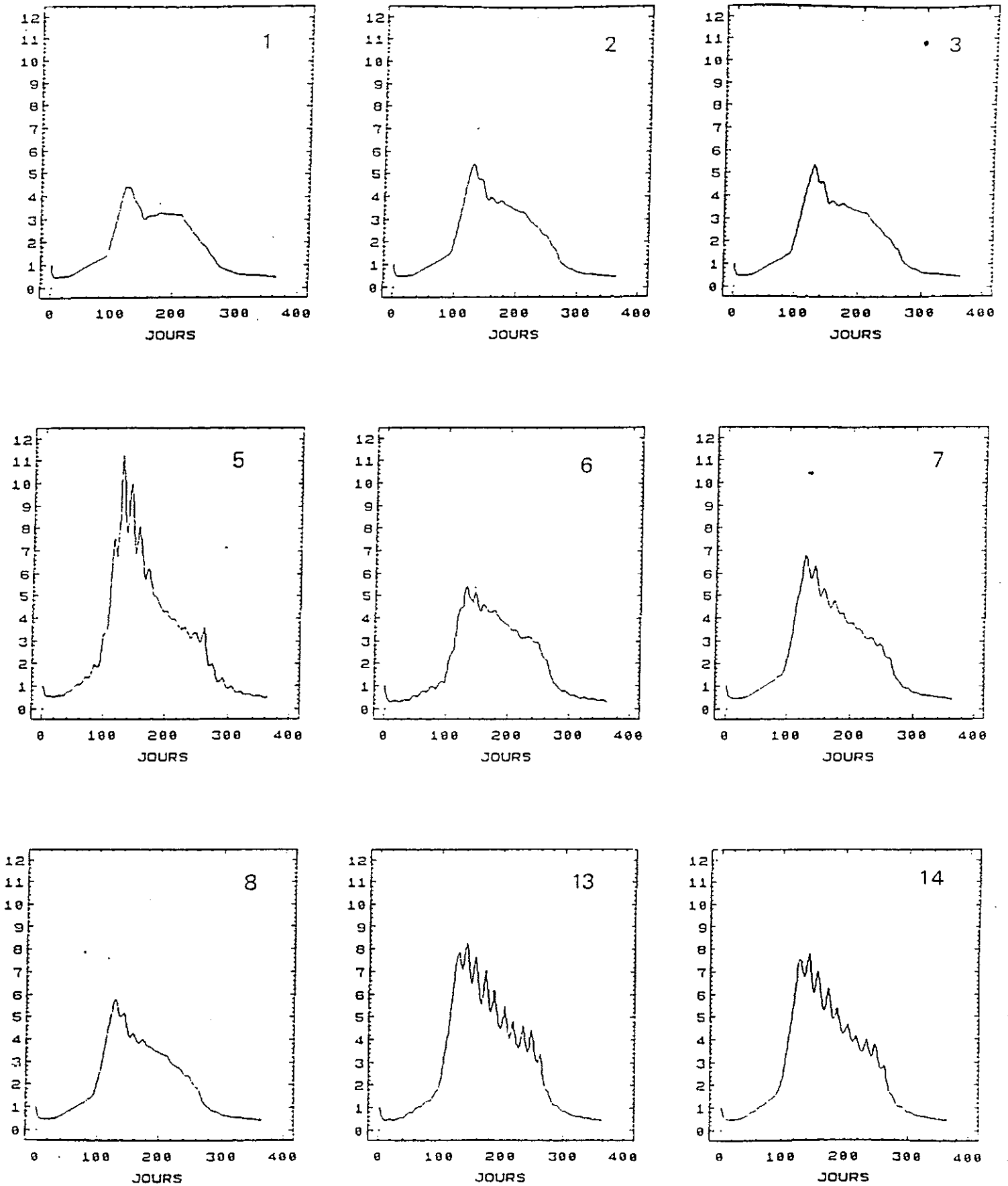


fig. 11 : Evolution journalière de la concentration de chlorophylle ( $\mu\text{MN/l}$ ) calculée par le modèle pendant 1 an dans différentes boîtes.  
1-5 : nord du Bassin; 6-8 : radiale est-ouest au niveau de l'estuaire;  
13-14 : estran est et zone centrale du Bassin.  
(pas d'impact des huîtres (H-))



L'examen détaillé des paramètres de croissance du phytoplancton a permis de mettre en évidence l'action prépondérante de deux facteurs sur sa productivité : la limitation par l'énergie lumineuse et la vitesse de transit des masses d'eau dans les boîtes.

Quoique généralisable à l'ensemble du Bassin, l'effet du premier est particulièrement sensible dans les boîtes de l'entrée nord-ouest du modèle (fig. 12 ; boîte 3), du fait de leur profondeur, et dans (ou à proximité de) l'estuaire de la Charente, en raison des charges minérales (boîte 6) ou de l'action conjuguée de ce paramètre avec la profondeur d'eau. Pour l'estran Est, également influencé par la Charente et donc, très turbide, l'effet négatif du seston est compensé par la faible épaisseur de la couche d'eau (0.92 et 0.95 m).

L'effet du temps de transit est illustré par la comparaison du taux de renouvellement des masses d'eau dans les boîtes avec le taux de reproduction du phytoplancton. Toutes boîtes confondues et pour une marée moyenne (entre vives-eaux et mortes-eaux) la valeur du premier est comprise entre 0.75 et 6 j<sup>-1</sup>, et celle du second entre 0.20 et 1.3 j<sup>-1</sup> pendant la phase de croissance du phytoplancton (valeurs maximales). De la différence, ainsi mise en évidence, entre les échelles de temps caractéristiques des deux phénomènes, découle la forte limitation de la production primaire par la courantologie sur l'ensemble du Bassin. Appliqué localement, ce paramètre permet d'expliquer, pour une part, la variabilité spatiale des teneurs chlorophylliennes et, en particulier les fortes valeurs enregistrées dans la boîte 5 (fig. 12), secteur qui se distingue des autres par un temps de résidence relativement élevé de sa masse d'eau (le plus élevé du Bassin, 1.3 jour en moyenne) associé à un fort potentiel de croissance (0.90). L'ampleur de la chute des nitrates au moment du bloom atteste, par ailleurs, de leur pompage efficace par les cellules phytoplanctoniques au sein de cette boîte (fig. 13). Il en découle une limitation particulièrement accentuée (par rapport aux autres boîtes du Bassin) de la production primaire estivale par les nitrates.

Dans les autres secteurs, le transit rapide des masses d'eau rend l'évolution temporelle des nitrates plus tributaire des conditions aux limites et de la courantologie que de la croissance du phytoplancton (fig. 13). L'effet limitant ne concerne que les seuls mois d'été (fig. 12).

La production phytoplanctonique brute totale est examinée dans certaines boîtes du modèle et pendant 1 an. En raison des caractéristiques physiques du

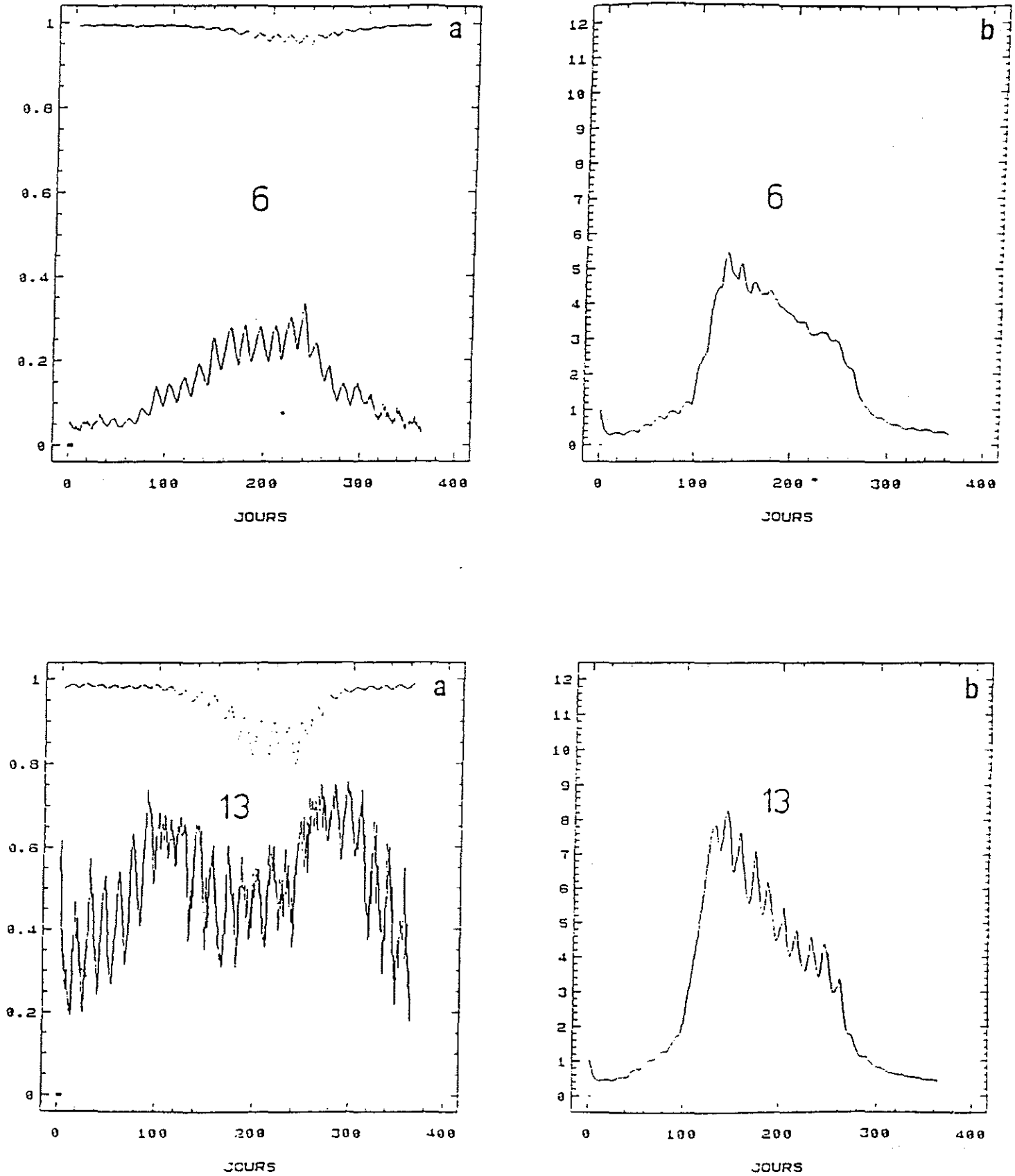


fig.12 : Simulation de la production primaire, dans l'estuaire (6), sur l'estran est (13), au nord-ouest (3) et au nord-est (5).  
a : limitation par l'énergie lumineuse (-----), et par les teneurs de nitrates.  
b : concentrations de chlorophylle ( $\mu\text{MNL}$ )  
(pas d'impact des huîtres (H-))

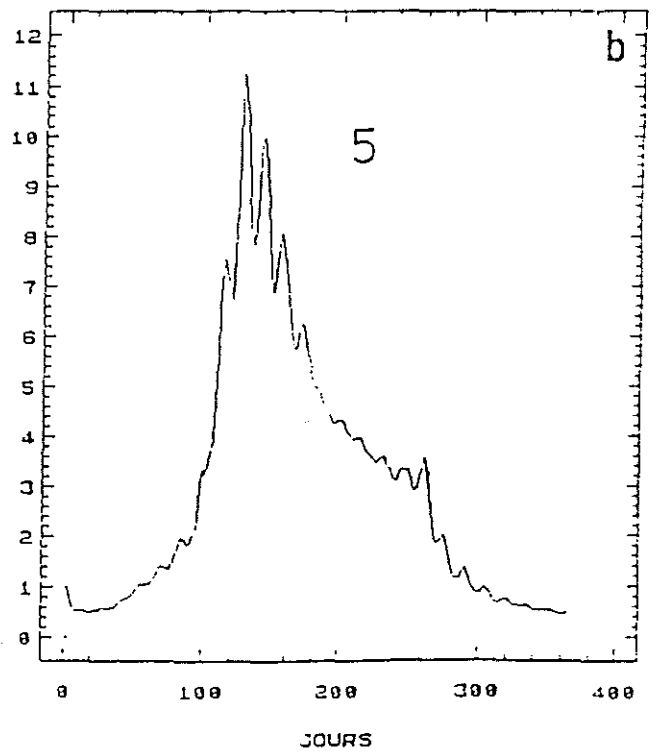
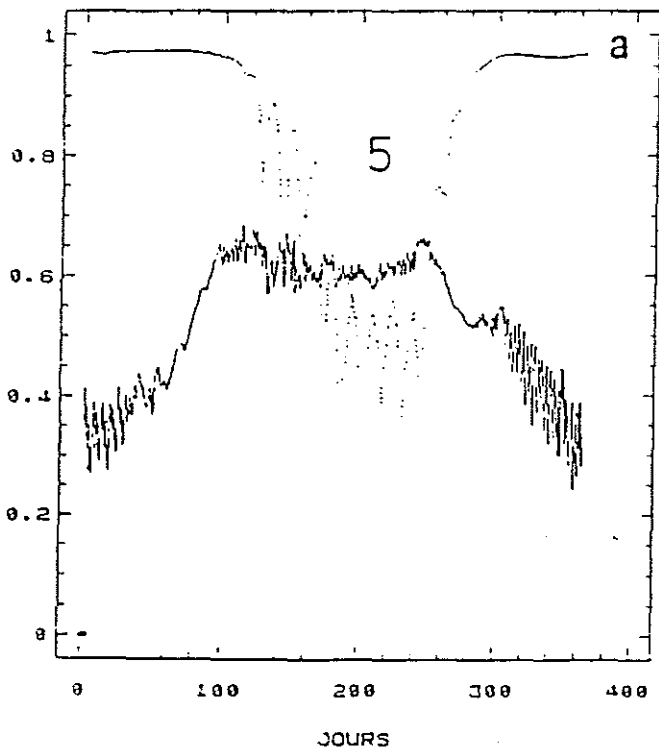
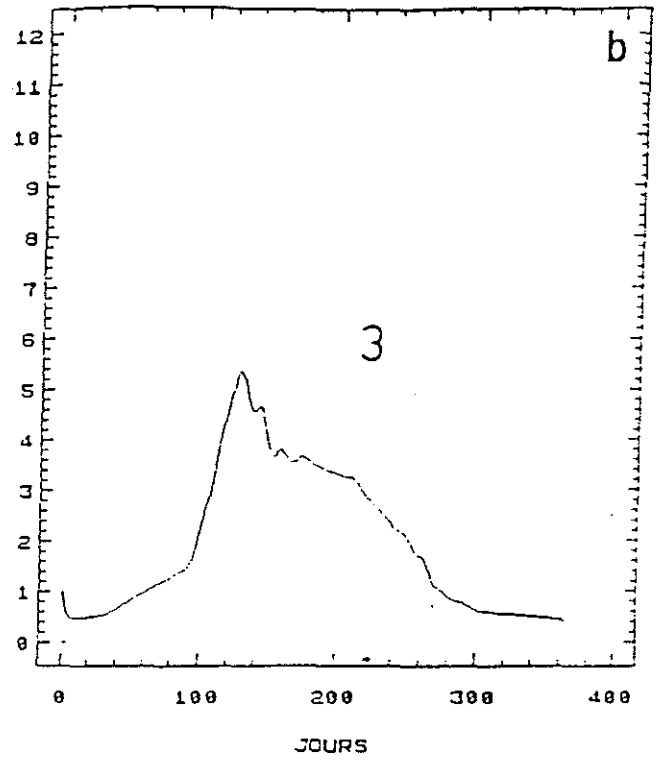
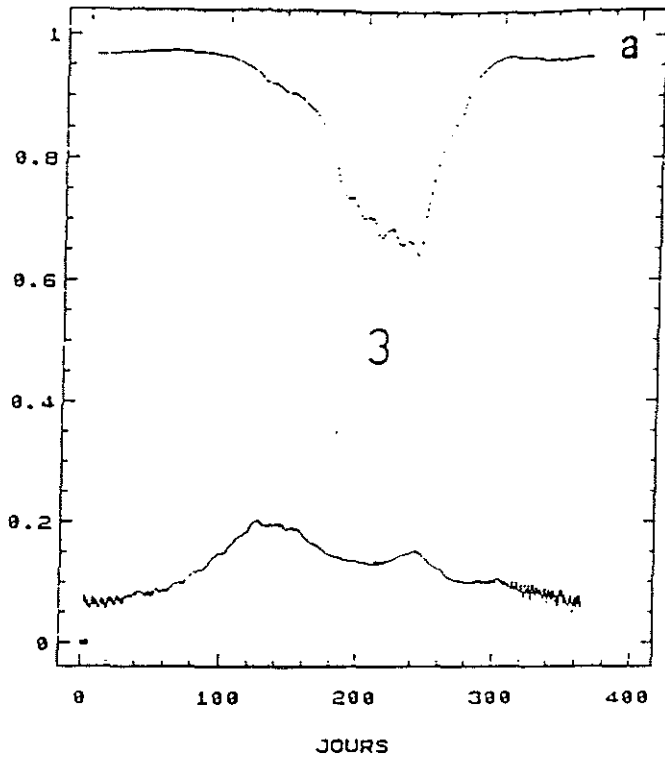


fig.12 : (suite)

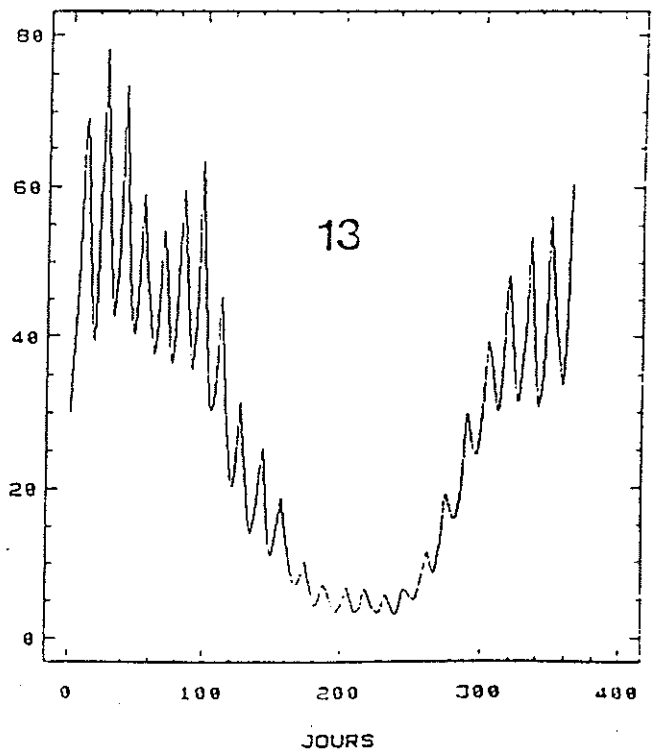
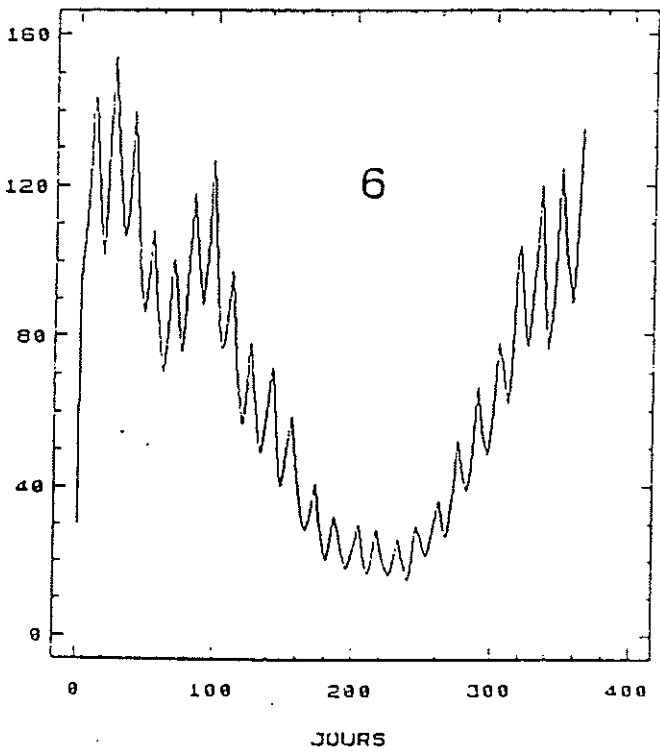
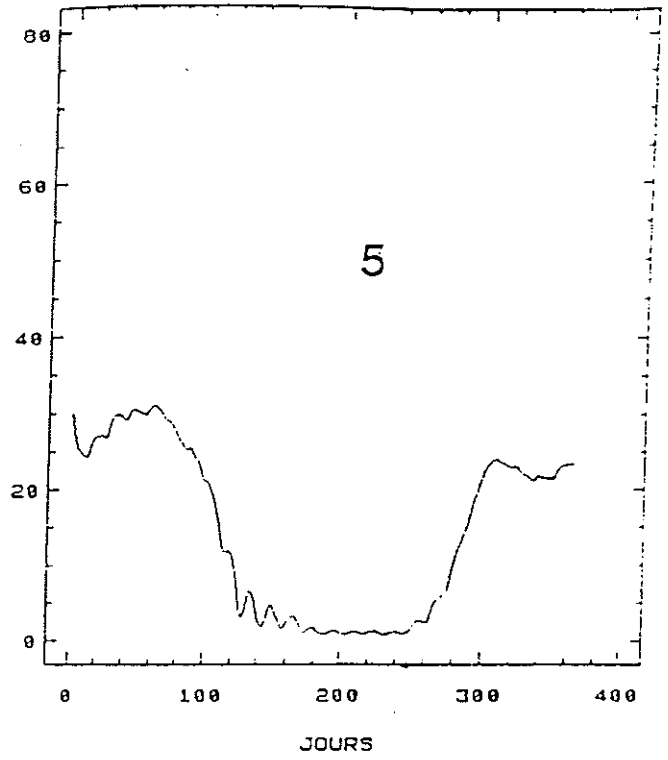
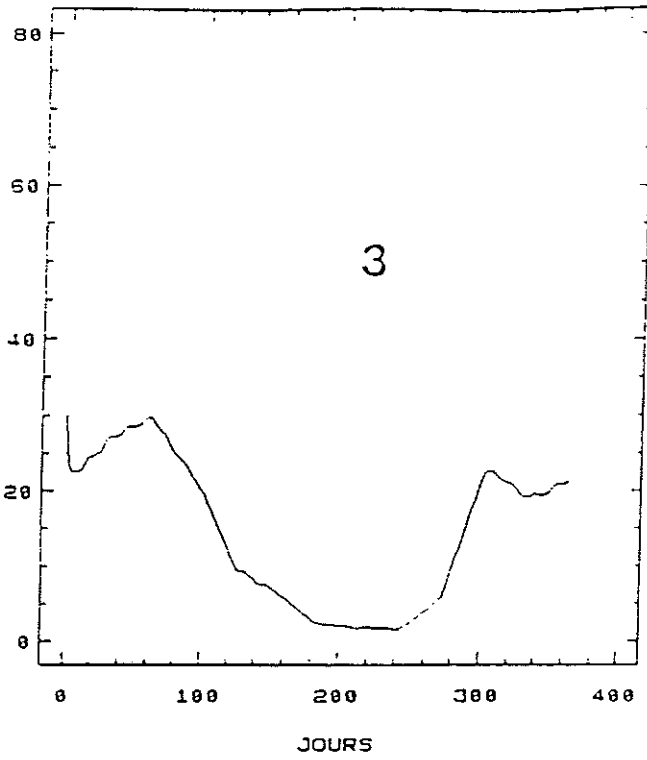


fig.13 : Evolution journalière de la concentration de nitrates ( $\mu\text{M}/\text{l}$ ) calculées dans les boîtes 3, 5, 6 et 13 pendant 1 an. (H-)

Bassin (résiduelle Nord-Sud des courants de marée) c'est un paramètre important de sa potentialité trophique du point de vue des filtreurs benthiques. Le flux de matière nutritive qui traverse une zone de production est en effet partiellement déterminé par la production exogène. La hiérarchisation des zones de production en est modifiée. Le Nord du Bassin se présente désormais comme le plus important pourvoyeur de phytoplancton du Bassin (fig. 14), la production sur l'estran Est devient, en comparaison, négligeable. Le secteur de production ostreicole conserve une forte potentialité nutritive (14 et 15).

L'impact des huitres n'étant pas pris en compte par le présent modèle, les courbes simulées de nitrate et de phytoplancton ne sont pas comparées aux mesures de références.(station Chapus).

### c. La production secondaire

#### . le zooplancton (fig. 15)

Ce compartiment de la chaîne alimentaire, connaît au sein des différentes boîtes une évolution chronologique calquée sur l'allure des valeurs forcées aux limites océaniques. On relève des différences entre les boîtes, caractérisées, ici aussi, par les niveaux de concentrations et l'amplitude des oscillations hebdomadaires. Sur ce point, il est notable de constater que les boîtes qui présentent les plus fortes concentrations de phytoplancton ne sont pas nécessairement celles qui enregistrent les teneurs zooplanctoniques les plus élevées. L'explication en est simple. Le décalage temporel entre la poussée du phytoplancton et la croissance de son prédateur se traduit au niveau du modèle (et peut-être aussi dans la réalité) par un décalage dans l'espace. Le déplacement nord-sud des masses d'eau (circulation résiduelle) provoquant ainsi l'apparition des maxima dans les boîtes sud (13 et 14) du modèle.

Dans un avenir proche, cette approche théorique du compartiment zooplancton pourra être comparée, avec profit, aux résultats de l'étude en cours effectuée par Sautour (com. pers.) sur la répartition spatio-temporelle de la biomasse et de la production zooplanctonique du Bassin de Marennes-Oléron.

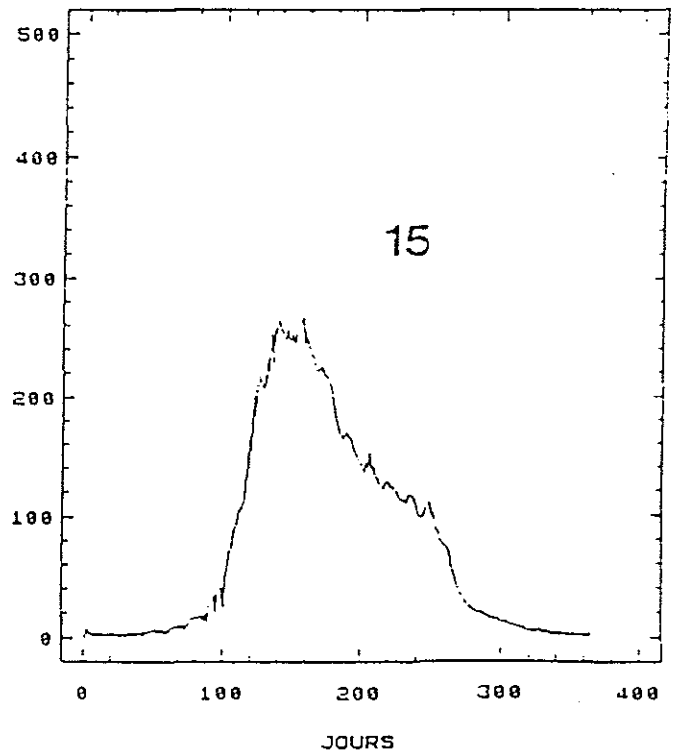
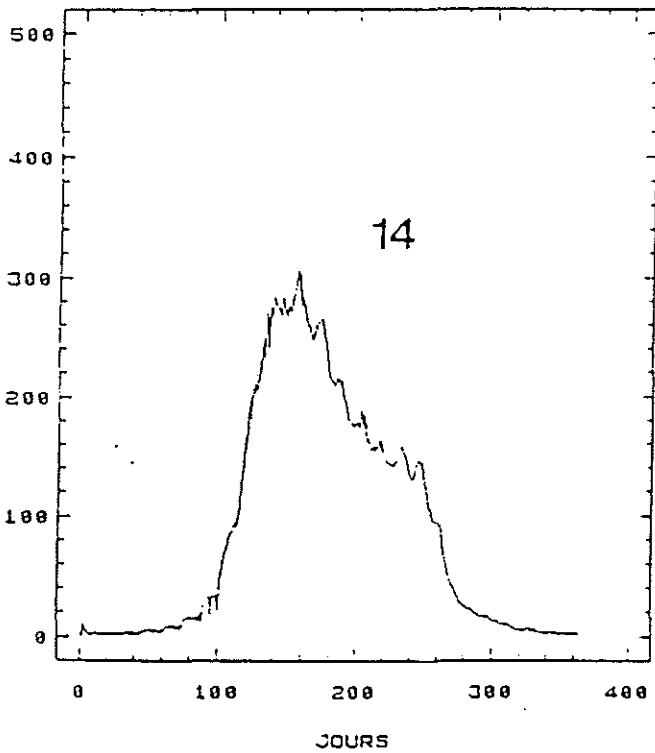
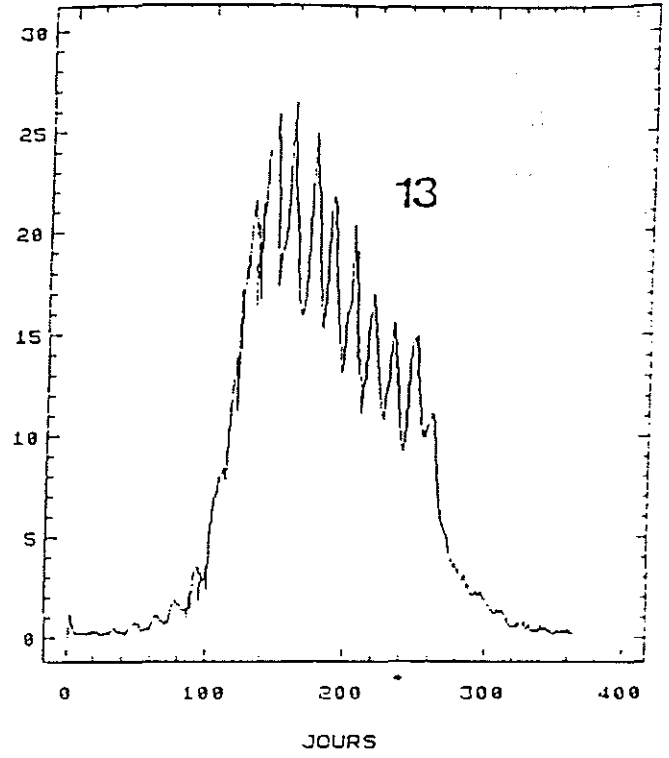
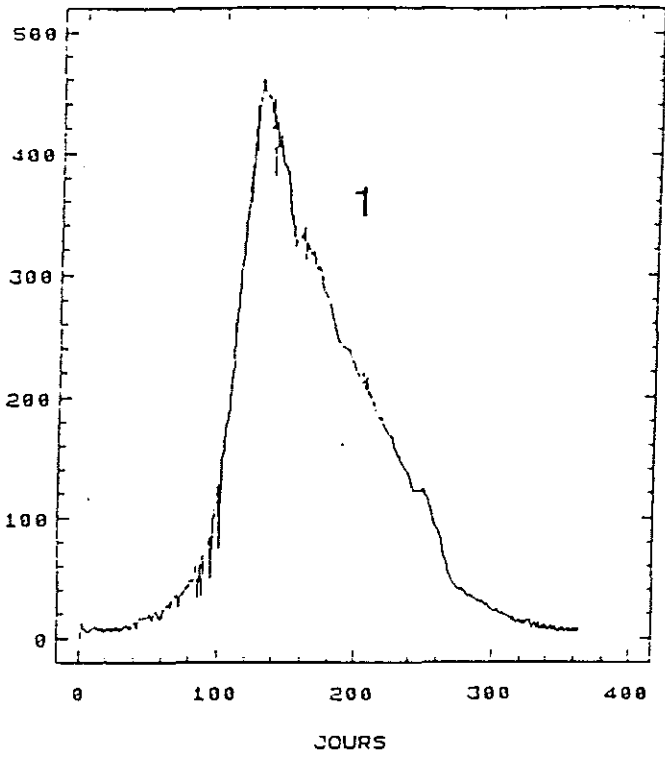
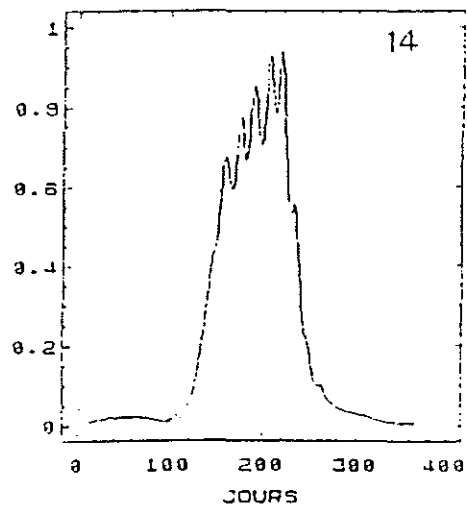
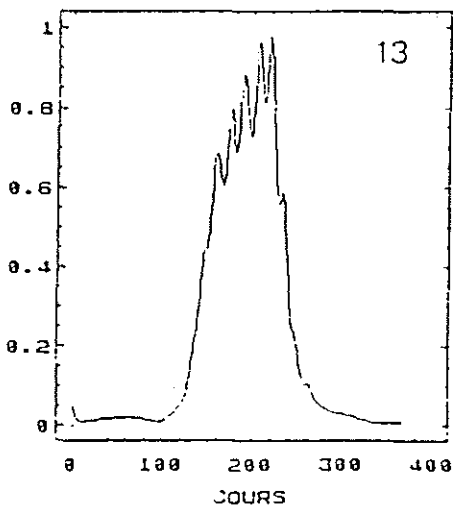
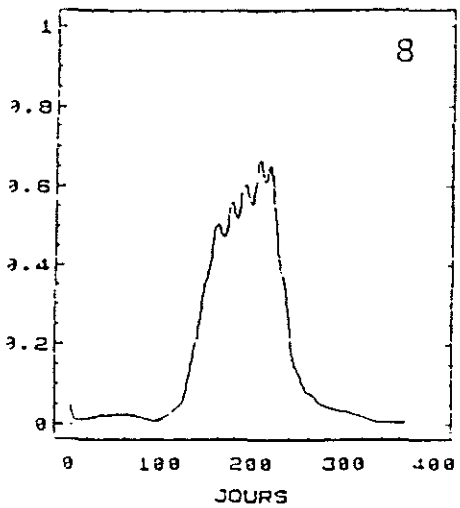
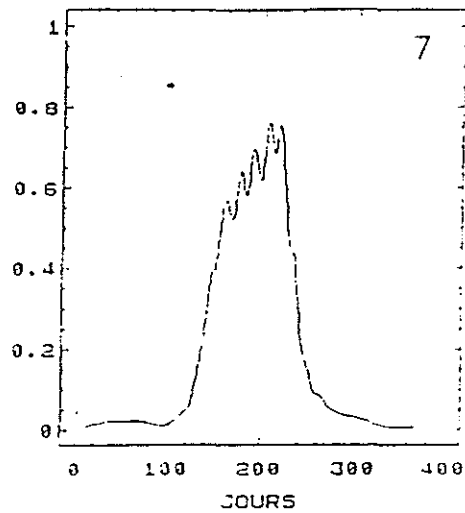
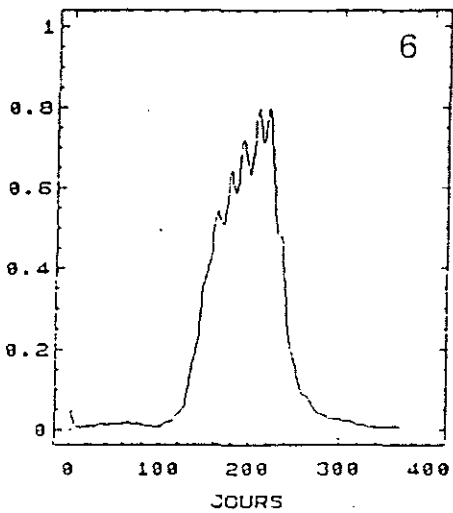
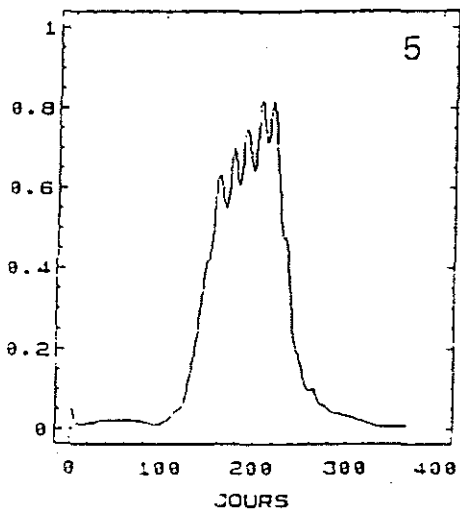
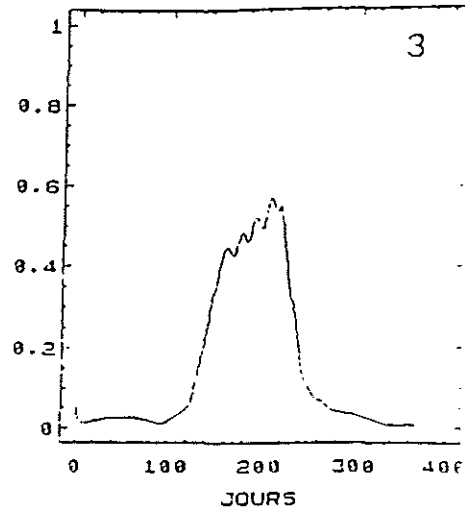
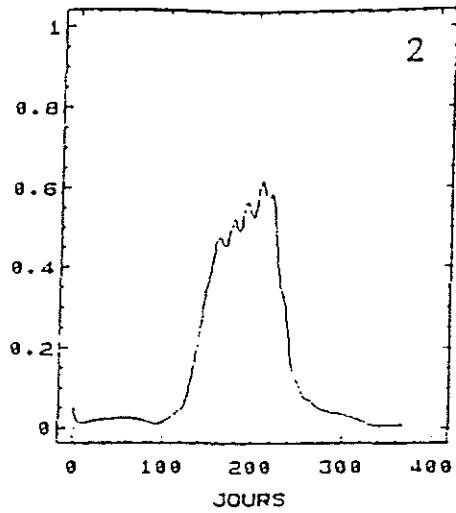
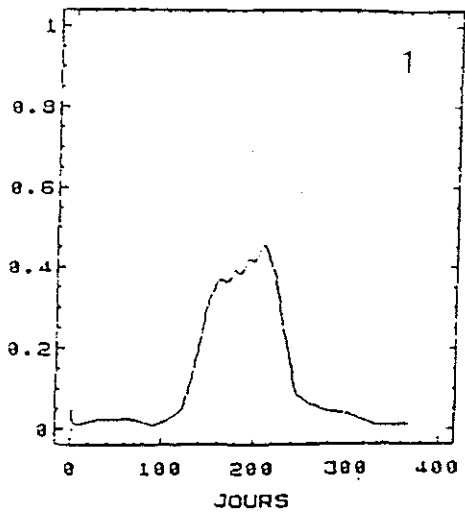


fig.14 : Evolution temporelle simulée de la production primaire brute ( $\mu\text{MN}/\text{b}/\text{j}$ ), au nord du Bassin (1), et dans la zone d'élevage des huîtres (13, 14, 15).



15

... impact on ...

. Les huitres (fig.16 a et b)

L'évolution simulée du poids de l'huitre reproduit les différentes phases de croissance généralement observées, et reste dans une fourchette de valeurs acceptables au niveau du Bassin.

Les réponses de croissance diffèrent suivant la région (= boîte) et la classe d'âge considérée. Au début de l'année, les fortes charges sestoniques et les basses températures provoquent un ralentissement de l'activité nutritionnelle et de croissance, les animaux placés dans les boîtes d'influence charentaise, 13, 14 et 10 sont logiquement les plus affectés. Relativement aux individus des autres boîtes (10 et 15), ils enregistrent des pertes de poids supérieures (huitre de la classe 2 ans), ou ne maintiennent pas leur poids initial (huitre de la classe 1 an). Le meilleur comportement des individus de la première classe s'explique par la valeur des coefficients d'allométrie des lois de la respiration et de la filtration, qui confère aux petits animaux un rendement énergétique plus élevé.

Au printemps, les concentrations de seston minéral s'étant abaissées, ce sont les paramètres trophiques qui déterminent les niveaux de production et qui sont à l'origine de leur variabilité spatiale. Deux facteurs décident de la valeur trophique d'une boîte donnée, sa sensibilité aux apports de Charente qui conditionne la richesse en particules détritiques, et sa concentration phytoplanctonique. Les boîtes 13 et 14 réunissant de ce point de vue des conditions plus favorables que les boîtes 15 et 11, leurs huitres enregistrent de meilleurs gains de poids au cours du printemps et de l'été, et affichent au moment de la ponte, malgré les mauvaises performances de l'hiver, des poids équivalents (par rapport à la boîte 15) ou supérieurs (par rapport à la boîte 11). Les animaux placés dans la boîte 10, moins favorisés que les précédents (13 et 14), égalisent néanmoins le poids de ceux implantés en boîte 11.

Pendant l'émission des produits génitaux (jours 190 à 250), le comportement de croissance des mollusques au sein d'une même classe varie peu d'une zone à l'autre. L'intensité du mécanisme interne prévaut sur l'action des paramètres hydrobiologiques. Les filtreurs de la classe 1, les moins concernés par cet événement (voir modèle huitre), équilibrent leur bilan énergétique. Ceux de la seconde classe, qui investissent plus d'énergie dans la production des gamètes, subissent une perte d'environ 50 % de leur poids.



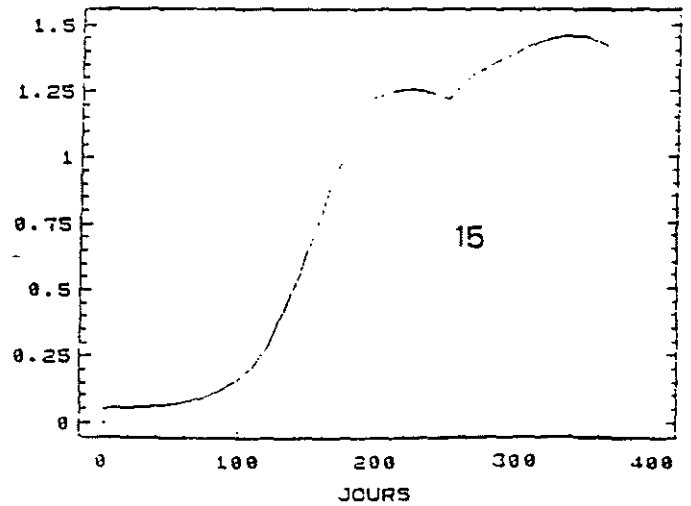
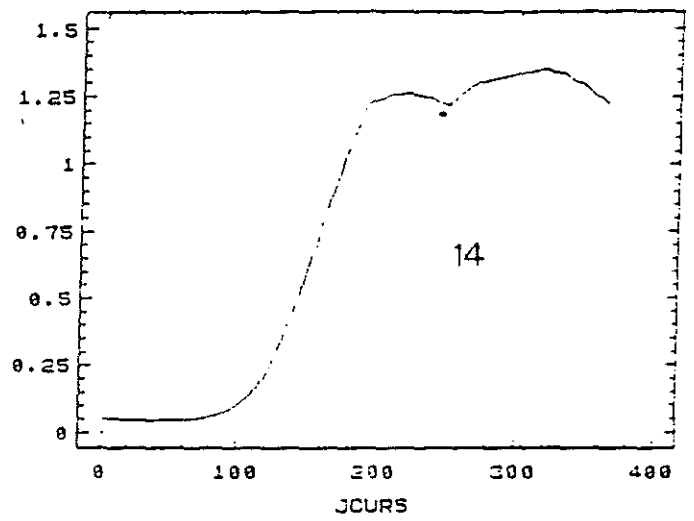
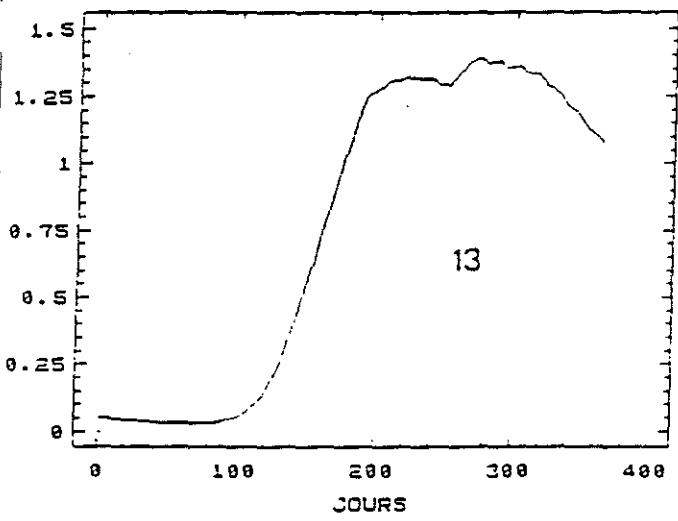
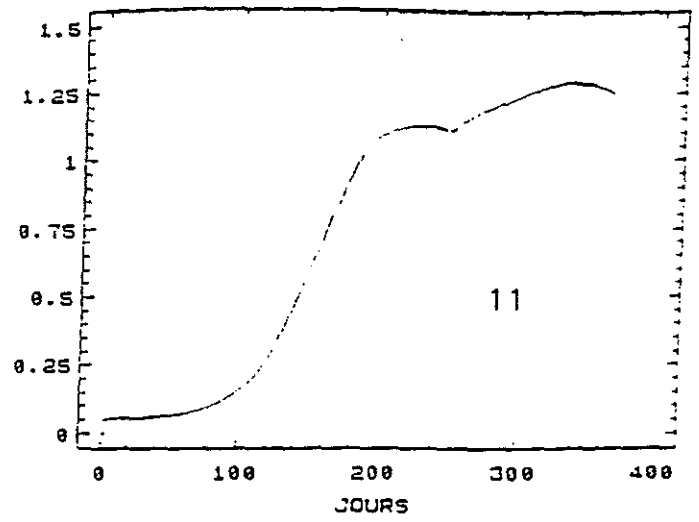
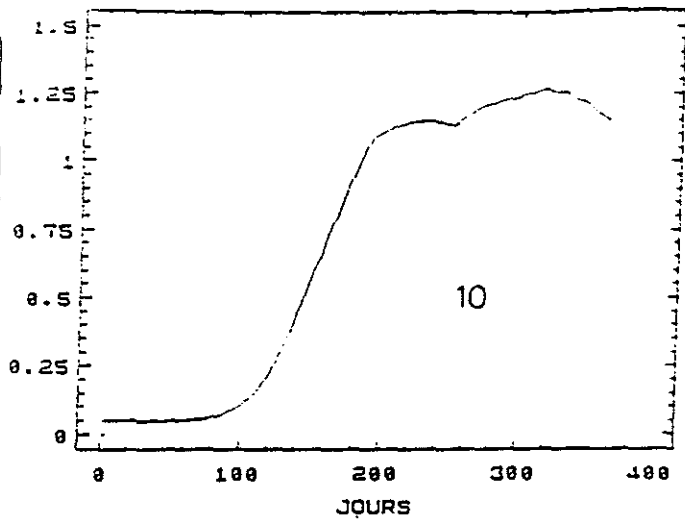


fig.16a : Evolution pondérale simulée des huitres de la première classe d'âge dans différents secteurs du Bassin.

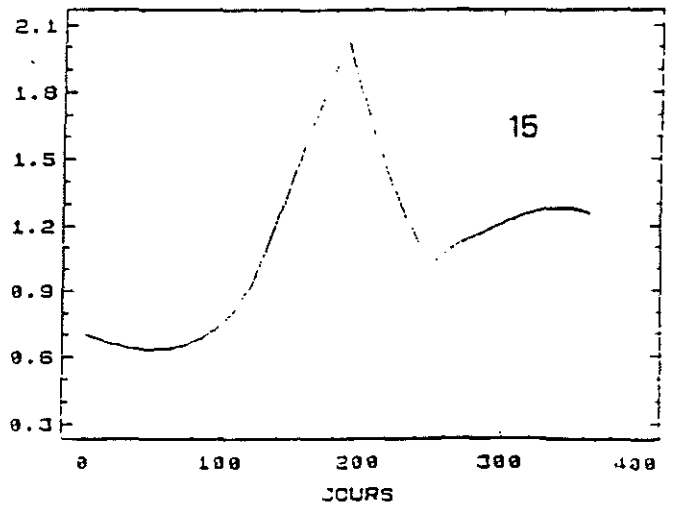
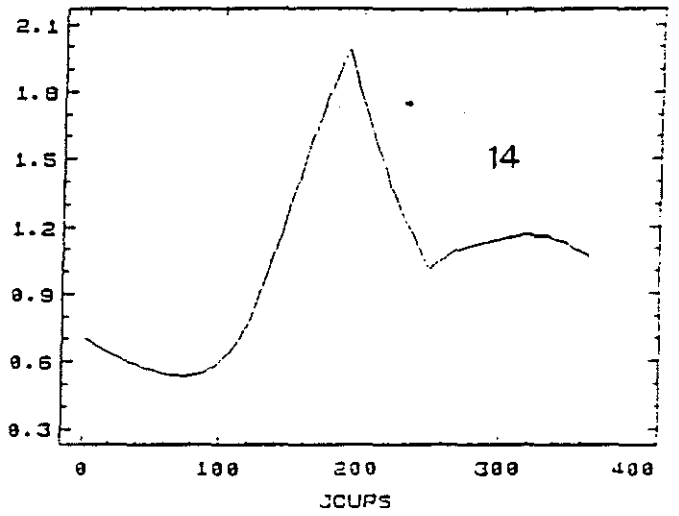
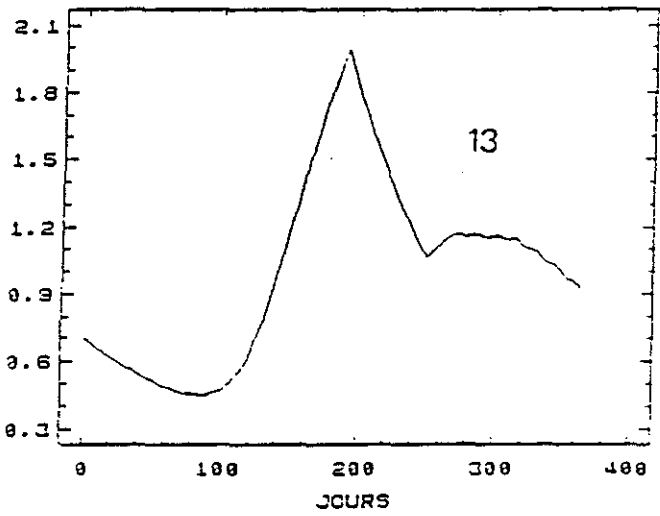
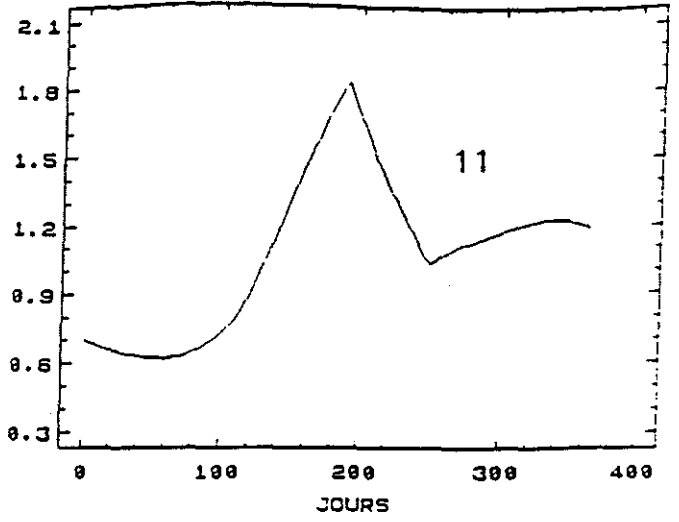
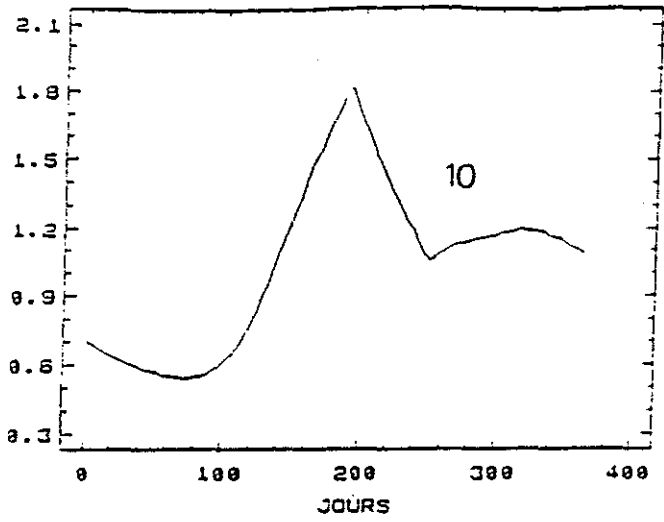


fig.16D : Evolution pondérale simulée des huitres de la seconde classe d'âge dans différents secteurs du Bassin.

Au début de l'automne, la totalité des huîtres retrouvent un bilan positif et gagnent du poids ; les mois suivants, les charges minérales reprennent en partie le contrôle de l'activité nutritionnelle, et l'affaiblissement des performances de croissance qui en découle, varie suivant la région considérée. Toutes classes confondues, les mollusques placés dans les secteurs d'influence charentaise (boîte 10, 13 et 14) maigrissent, ceux des boîtes 11 et 15 ralentissent leur croissance et présentent un faible amaigrissement en fin d'année.

Il apparaît finalement que ce sont les animaux placés dans les zones les moins riches mais également les moins turbides qui présentent la meilleure croissance sur l'année.

## DISCUSSION

Le modèle propose une production pélagique régulée principalement par l'énergie lumineuse et la courantologie (vitesse de transit des masses d'eau). Il montre également l'importance des charges sestoniques dans le déroulement de la croissance de *C. gigas*. De ces deux points de vue le modèle est en accord avec les observations faites sur le site.

D'autre part, le modèle prédit une production phytoplanctonique annuelle inférieure à  $60 \text{ mgC/m}^2$  ( $C/\text{mgChla}=60$ ). Soit une valeur généralement en deçà de celles estimées sur des sites estuariens du même type (turbides et peu profonds). D'après Coljin (1983) in Cloern (1987), la production phytoplanctonique annuelle du Bassin de l'Ems dollard est en moyenne de  $300 \text{ mgC/m}^2$  (dans sa partie océanique), celle de la baie de Delaware (d'après les travaux de Pennock et Sharp, 1981 in Cloern, 1987) est comprise entre 200 et  $300 \text{ mgC/m}^2$ , dans le Bristol Channel la production est estimée entre 165 et  $79 \text{ mgC/m}^2$  (Joint et Pomroy, 1981), Flemer (1970) in Cloern, 1986) trouve des valeurs comprises entre 380 et  $400 \text{ mgC/m}^2$  dans la baie de Chesepeake (partie haute de l'estuaire).

Ces différences (entre le Bassin de Marennes-Oléron et les autres estuaires) peuvent être en partie imputée au mode de calcul employé pour l'estimation de la production primaire, le modèle prenant en considération, à l'inverse des méthodes classiques, les caractéristiques hydrodynamiques du site (à travers les temps de résidence) dont l'importance a par ailleurs été démontrée à Marennes-Oléron.

Parallèlement, de récentes études ont mis en évidence que l'application d'un schéma de calcul du type "décentré-amont" sur des boîtes à géométrie variable génère une accélération artificielle du transit des particules dans la zone considérée (Lazure, comm. pers.). Ce phénomène s'explique en fait par la forte diffusivité numérique des modèles en boîte (problème de concordance entre ses échelles de temps et d'espace) (Bird et Hall, 1988). Du point de vue d'un modèle de couplage des processus physiques et biologiques, il en résulte une sous-estimation du rôle de ces derniers dans l'évolution spatiale et temporelle des variables impliquées. Replacé dans le contexte actuel, ce biais induit une régulation accrue de la production primaire par la vitesse de déplacement des masses d'eau et corrélativement entraîne une sous-estimation du pompage des sels nutritifs par le phytoplancton. De plus, le passage accéléré des masses d'eau en atténue la déplétion par les mollusques (capture des particules par filtration). Les conséquences peuvent donc être importantes en ce qui concerne la validité du modèle et la légitimité de son application aux problèmes posés à Marennes-Oléron (où sont impliqués la production primaire et l'impact des huîtres). En l'absence, à notre connaissance, de moyens numériques véritablement efficaces pour remédier à cette faiblesse des modèles "en boîte", il en sera simplement tenu compte pour juger de la qualité des résultats acquis.

Le problème du seston minéral, ou plus précisément celui de la représentation incomplète des variations hebdomadaires attachées au coefficient de marée a été évoqué au sein de ce chapitre. On peut seulement créditer le modèle d'une reproduction correcte de l'évolution moyenne de ce paramètre au centre du Bassin, tout en sachant par ailleurs que la forme de son interaction avec les processus biologiques est dans la réalité sans doute différente.

## 2. Simulation nominale

L'impact de l'activité nutritionnelle des huîtres est cette fois pris en considération dans la simulation du fonctionnement trophique du Bassin.

Dans un premier temps, les simulations du nitrate et du phytoplancton sont comparées à leurs valeurs mesurées au Chapus et dans l'estuaire de la Charente (phytoplancton uniquement pour cette dernière station). Cette confrontation prend valeur de test de la qualité des résultats du modèle. L'allure des courbes pondérales calculées est à nouveau discutée.

Dans un deuxième temps, les interactions de la population d'huîtres avec son milieu sont examinées et quantifiées à l'aide des résultats de la première simulation (sans impact des huîtres) et de la simulation actuelle (avec impact des huîtres).

#### a. Comparaison mesures-calculs

##### . Les mesures de référence

Les évolutions observées de phytoplancton et de nitrates sont reconstituées en utilisant une méthode identique à celle employée pour la salinité et la turbidité. La station du Chapus et celle située dans le panache de la Charente sont pris comme sites de références. La station Boyard a été logiquement exclue, en raison de la calibration du modèle sur les données de ce site (voir "scénarios aux limites du modèle"). Les conditions aux limites du modèle ayant été moyennées sur 10 ans pour en améliorer la validité, elles ne correspondent pas à celles des années des suivis de croissance des huîtres (Bodoy, comm. pers.), qui ne constituent donc pas une référence, au sens strict, pour les courbes pondérales simulées. Cependant, sous l'hypothèse que l'allure de la croissance de *C.gigas* varie peu d'une année sur l'autre, le comportement reproduit par le modèle, est comparé, dans ces grandes lignes, à ce lot de mesures.

Aux statistiques généralement employées en la circonstance pour estimer la qualité des simulations, est préféré un jugement qualitatif plus en rapport avec la relative rusticité du modèle.

##### . Résultats

A l'échelle de la saison, le calcul de l'évolution temporelle des nitrates de la boîte 14 s'ajuste aux données du Chapus (fig. 17). A l'instar de ce qui est observé, le modèle génère également des oscillations à plus hautes fréquences (celle du cycle de marée), sans que cette fois l'accord avec les mesures soit toujours satisfaisant. Toutefois, les ordres de grandeur impliqués dans cette inadéquation ne sont pas de nature à modifier significativement le comportement du phytoplancton.

La chlorophylle prédite en boîte 6 (Charente) présente des valeurs systématiquement plus basses que ce qui est mesuré dans l'estuaire (fig.17). On

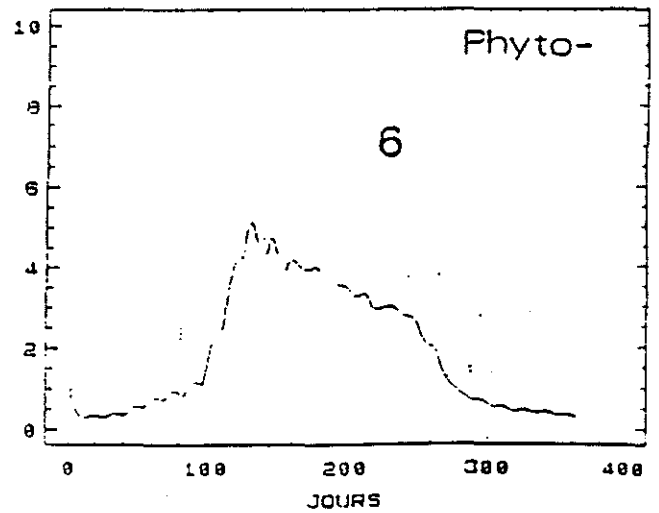
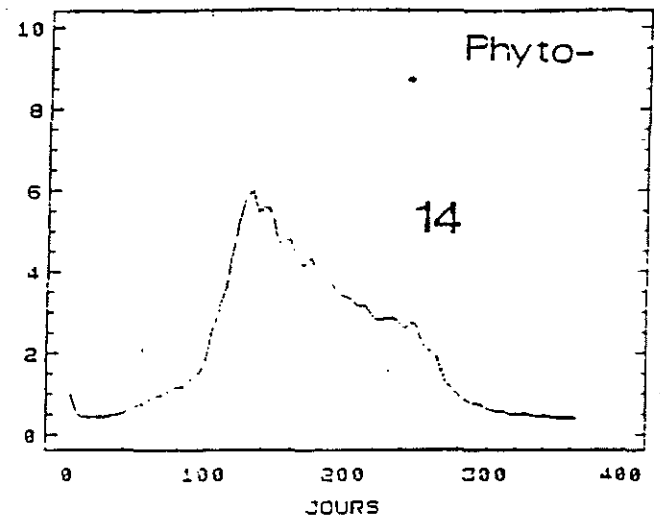
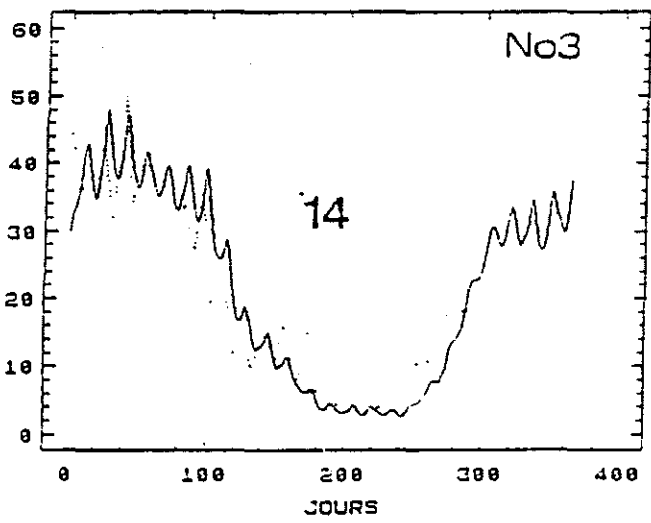
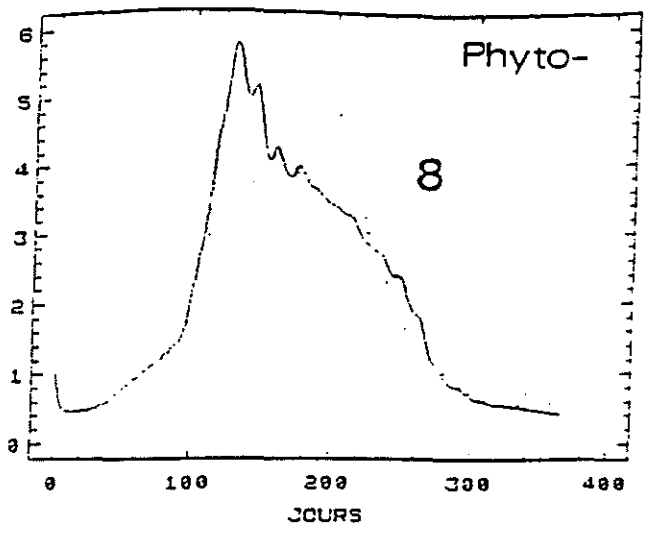
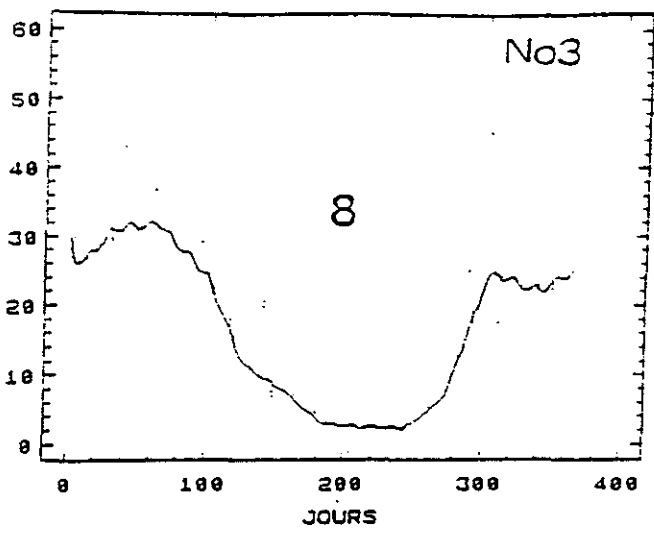


fig.17 : Comparaison des valeurs calculées et mesurées ( ) de concentration de nitrates ( $\mu\text{MN/l}$ ) et de phytoplancton ( $\mu\text{MN/l}$ ) pendant l'an. 8 : station Boyard; 14 : station Chapus; 6 : estuaire de la Charente.

peut supposer qu'au niveau de l'estuaire de la Charente, les apports de phytoplancton par la rivière, ici négligés, et le développement d'espèces locales, adaptées aux fortes turbidités, expliquent cette sous-estimation des teneurs chlorophylliennes par le modèle. D'autre part, il est possible que le modèle surestime en moyenne les turbidités printanières et estivales, en réalité régulées, pour une bonne part, par les échanges verticaux en ce point du Bassin (Ravail et al., 1987). L'absence des fluctuations hebdomadaires provient de cette sous-estimation des concentrations et de l'absence de simulation des échanges avec le fond auxquels sont soumises les cellules phytoplanctoniques (Ravail et al., 1987).

Le phytoplancton calculé en boîte 14, retrouve un niveau semblable à celui mesuré au Chapus. Malgré un léger décalage en début d'année, les pics printaniers sont synchrones. Les mois suivants les courbes simulées et estimées se croisent sans présenter de différences importantes. C'est avant tout, et une fois encore, sur les oscillations tidales que le modèle est en désaccord profond avec la nature.

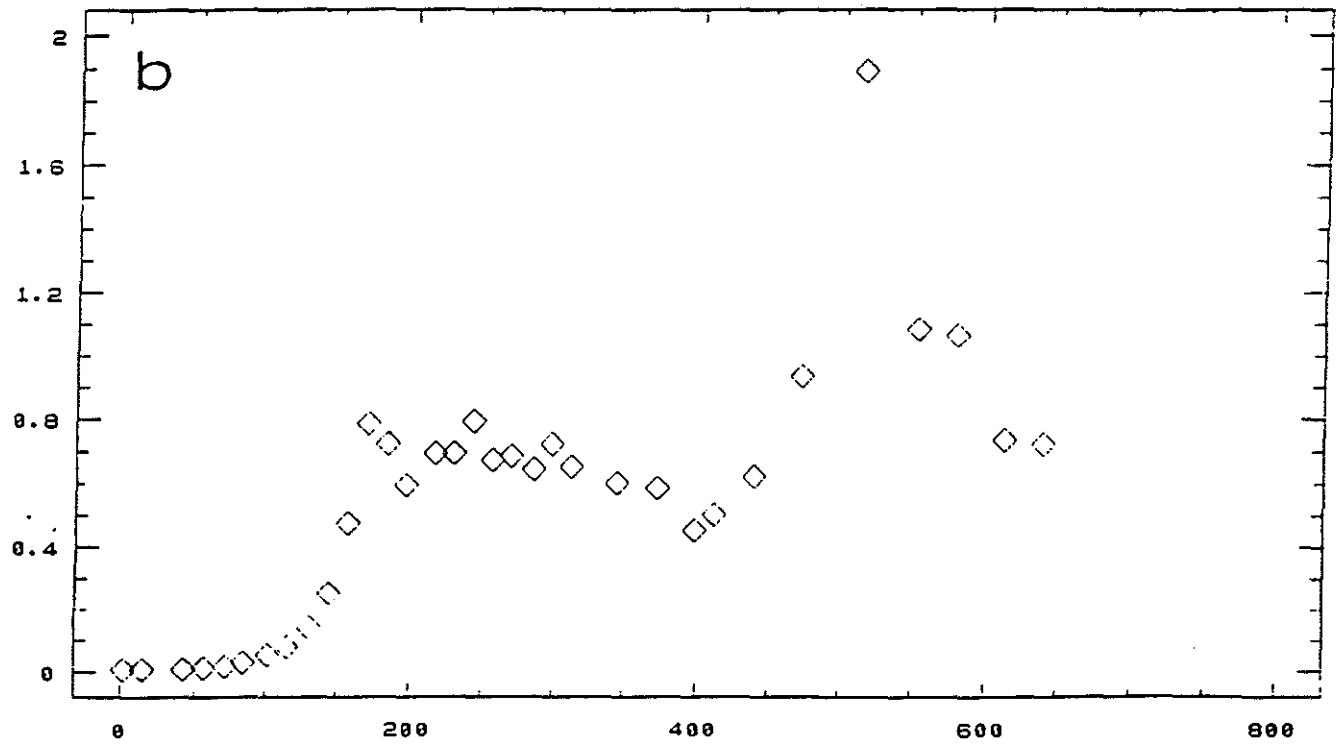
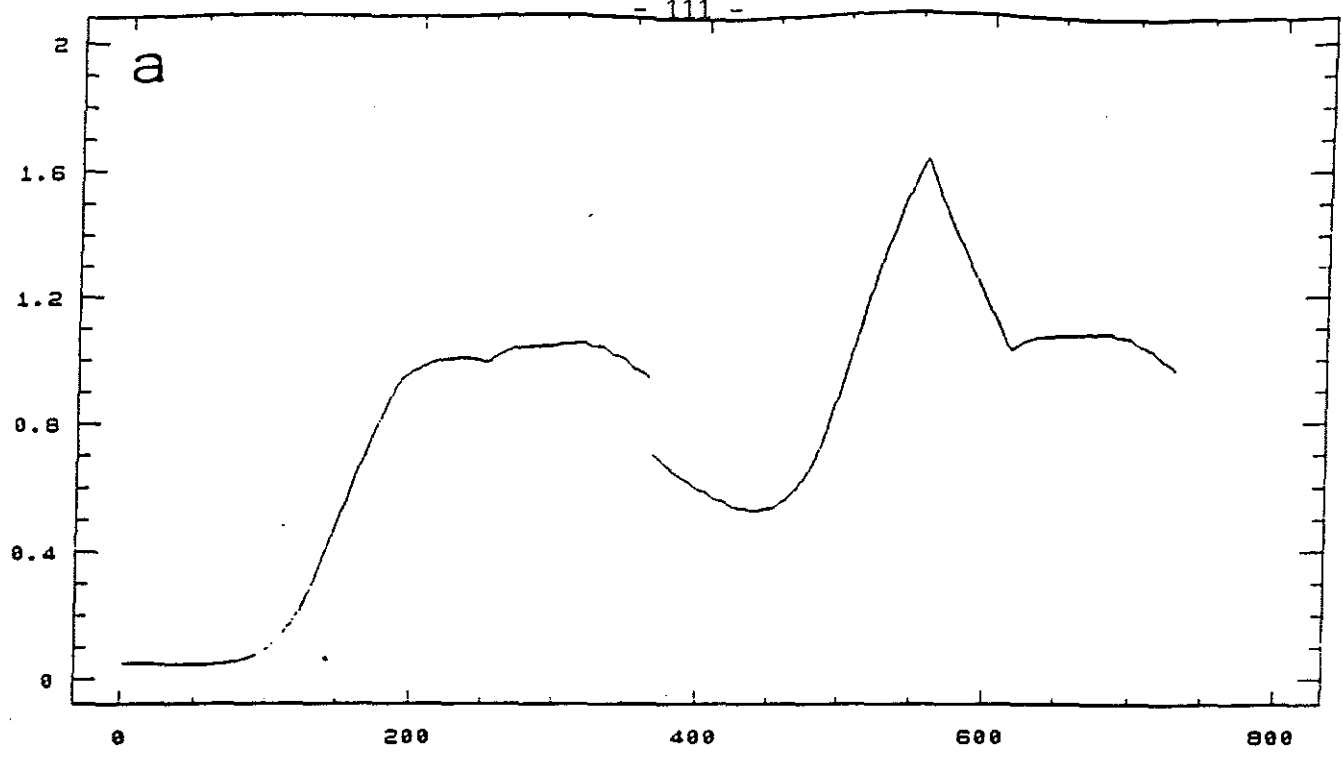
Le calcul du poids des mollusques et pour les deux classes d'âge est globalement satisfaisant. Le modèle reproduit ici aussi (référence à la simulation 1) une évolution pondérale qui, dans sa forme et son niveau ressemble à ce qui est observé (fig. 18 a et b). Le modèle fournit cependant une surestimation des poids des individus de la première classe d'âge et parallèlement, un comportement moins performant des huîtres plus âgées. Une faiblesse déjà observée sur le modèle huitre originel et qui peut être imputé à la non-simulation des mécanismes ayant trait à l'élaboration des produits génitaux.

#### b. Etude des interactions de la population d'huîtres avec son milieu

L'impact des huîtres sur la production primaire, les teneurs de matière organique détritique et sur sa propre croissance est examiné à travers la visualisation parallèle de l'évolution temporelle de ces paramètres en absence (simulation 1) et en présence d'huîtres (simulation 2).

#### . Résultats

Quelles que soient la période et la région considérées, l'impact des huîtres sur les teneurs d'azote détritique semble inexistant (fig. 19a). En vérité,





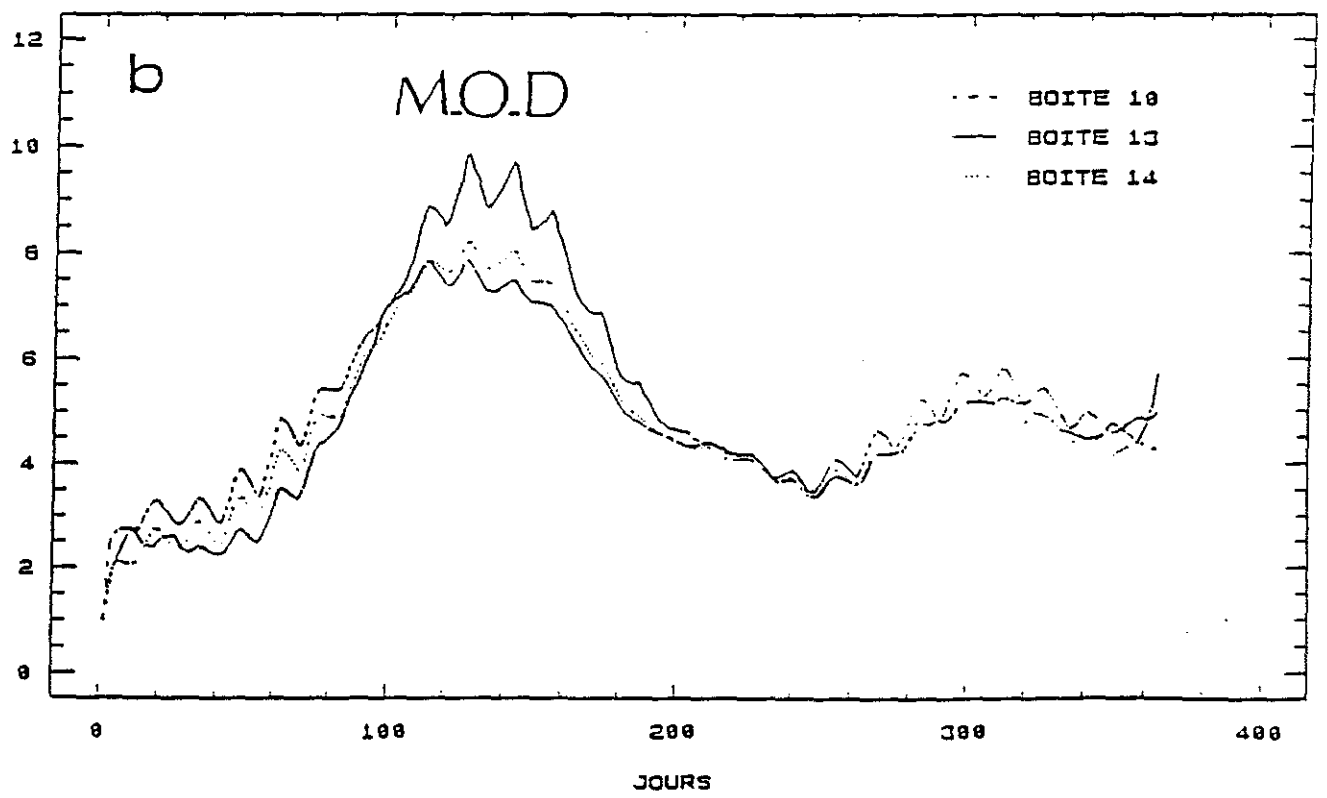
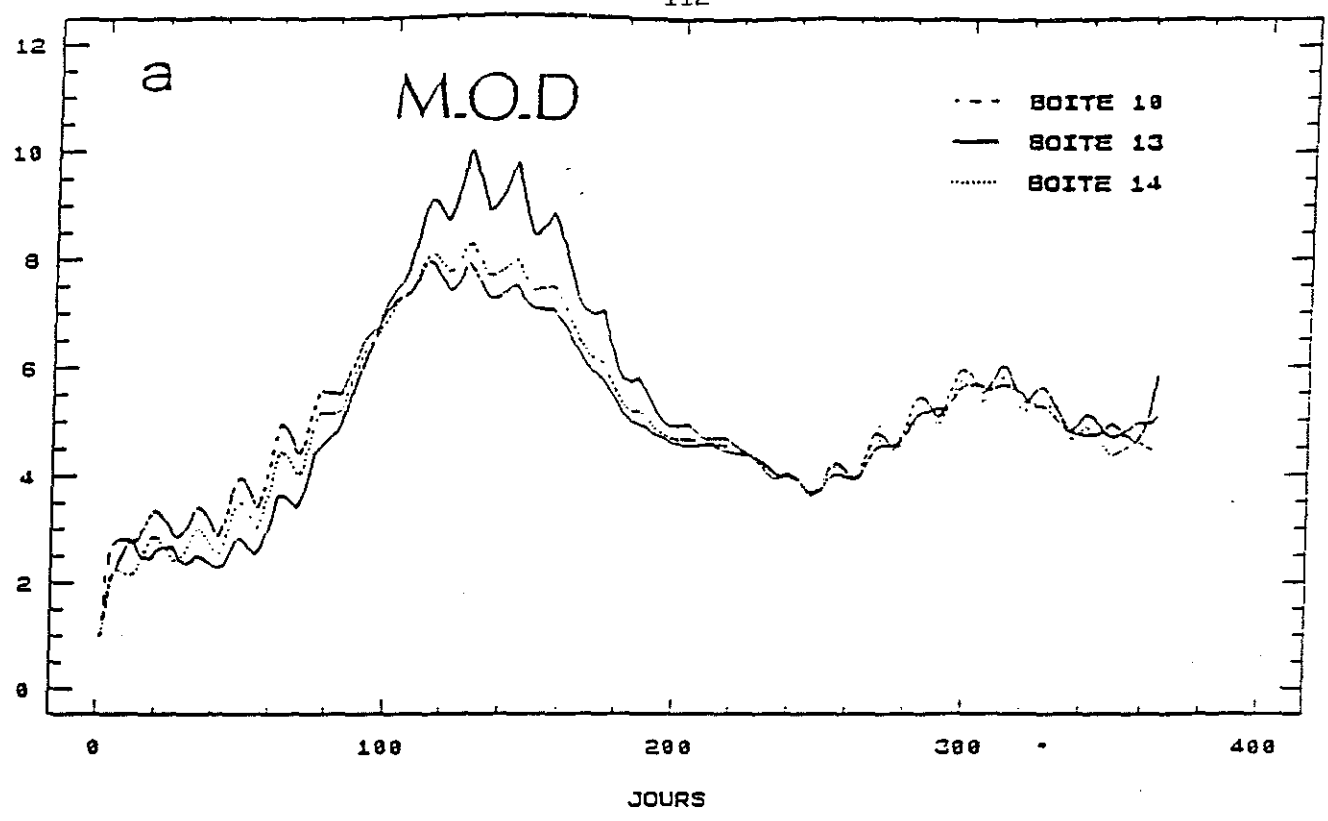


fig.19a: Impact de l'activité nutritionnelle des huitres sur l'évolution temporelle et spatiale des teneurs de matière organique détritique (M.O.D) ( $\mu\text{MN/l}$ ) et de phytoplancton (PHYT) ( $\mu\text{MN/l}$ ). a : huitres absentes; b : huitres présentes.

l'extraction des particules de la masse d'eau par les huîtres est compensée par les apports du fond (remise en suspension), lui même étant enrichi par l'activité nutritionnelle des mollusques (féces). Cet équilibrage des flux verticaux de la matière organique est une composante importante de la potentialité trophique (modélisée) du Bassin puisqu'il minimise son affaiblissement causé par les huîtres.

Eu égard aux caractéristiques hydrodynamiques du site (direction nord-sud des courants résiduels), la présence des mollusques n'affecte sensiblement l'évolution temporelle des teneurs phytoplanctoniques que dans la zone de production ostréicole. L'abaissement général des niveaux de chlorophylle, qui caractérise cet impact (fig. 19b), ne s'accompagne pas d'une modification significative de la forme de la courbe de croissance phytoplanctonique. Le pic printanier est localisé à la même date en l'absence ou en présence des filtreurs. Pendant la phase estivale et automnale, la tendance générale de l'évolution n'est pas non plus affectée. En revanche, si on examine les variations de la période du cycle de marée, il apparaît un gommage des oscillations lorsque les huîtres sont actives (= présentes). Ceci relève d'une interaction entre la biologie et la physique. En abaissant les niveaux de chlorophylle, les huîtres atténuent les contrastes avec les eaux situées en amont, et corrélativement les variations temporelles induites par la pénétration plus ou moins vives (= en fonction du coefficient de marée) de ces masses d'eau.

L'interaction entre l'activité des huîtres et la courantologie influe sur l'évolution trophique du Bassin dans sa dimension spatiale aussi (toujours en référence à la simulation 1). Au niveau des boîtes 13 et 14, l'appauvrissement en nourriture de la colonne d'eau induit par la présence des huîtres dans les boîtes 10 et 11, s'additionne, par le jeu des transports advectifs, à la déplétion locale, ce qui appauvrit de manière plus conséquente leur milieu nutritif (fig. 19b) et affaiblit d'autant la production phytoplanctonique en place. Il en résulte une homogénéisation spatiale de la répartition de la chlorophylle. La croissance des mollusques est logiquement affectée dans le même sens (fig. 20) : le gradient des poids à l'instant de la ponte, constaté lors de la simulation précédente entre les boîtes Nord (10 et 11) et les boîtes centrales (13 et 14) est désormais inversé, celui des poids finaux déjà en faveur de la zone supérieure est accru. Les mesures de croissance réalisées par Bodoy (comm. pers.) en différents points du bassin corroborent en partie et sur un plan qualitatif la validité de ces résultats.

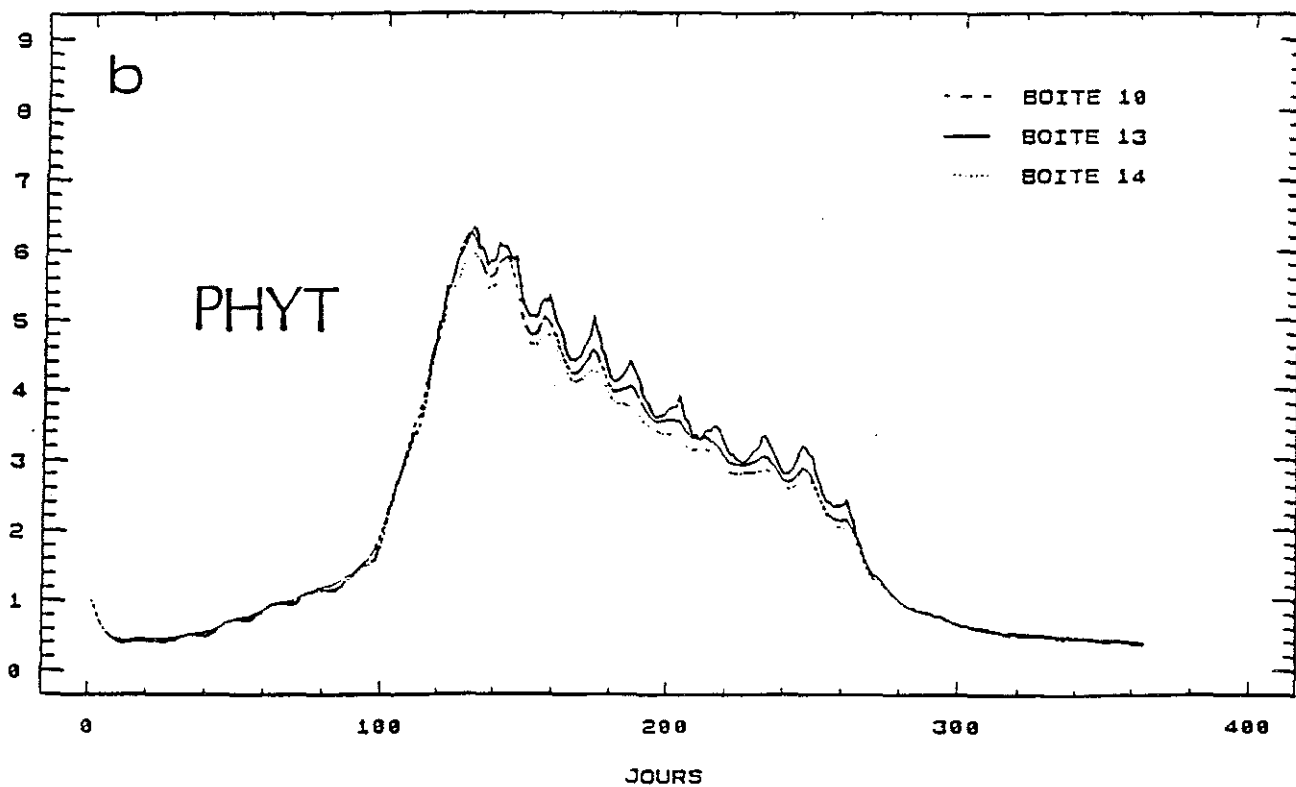
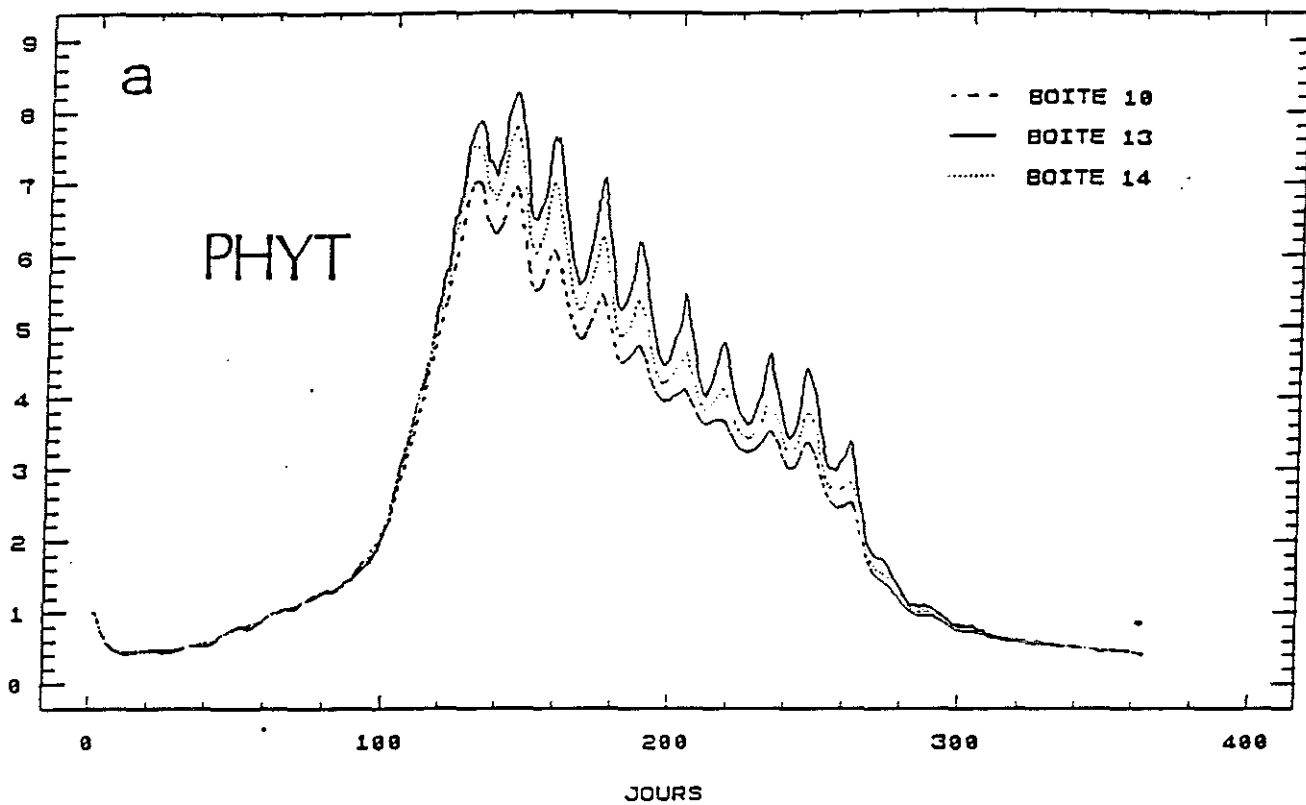


fig.19b: (suite)

H-

- 115 -

H+

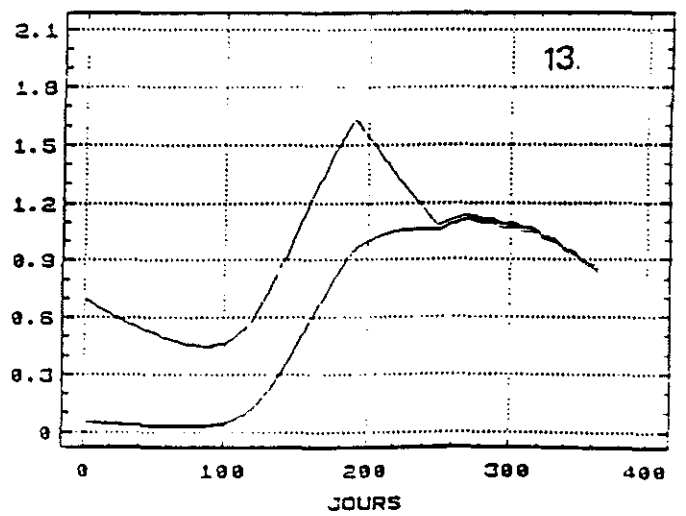
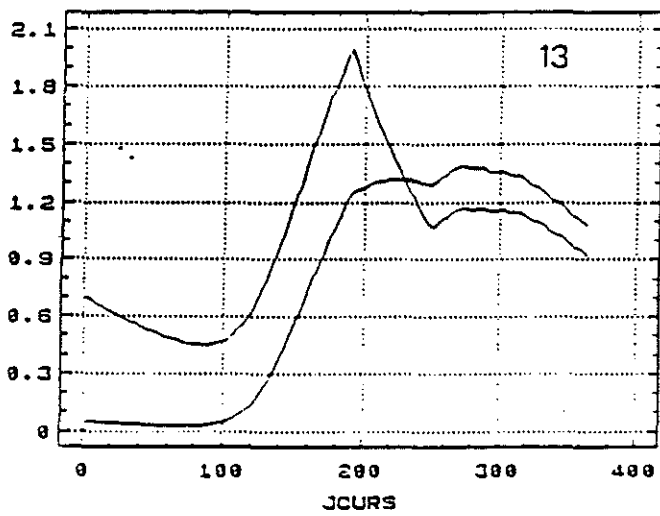
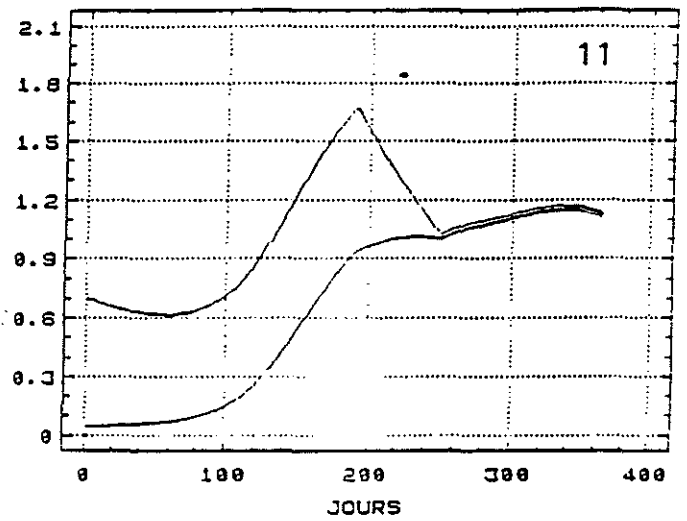
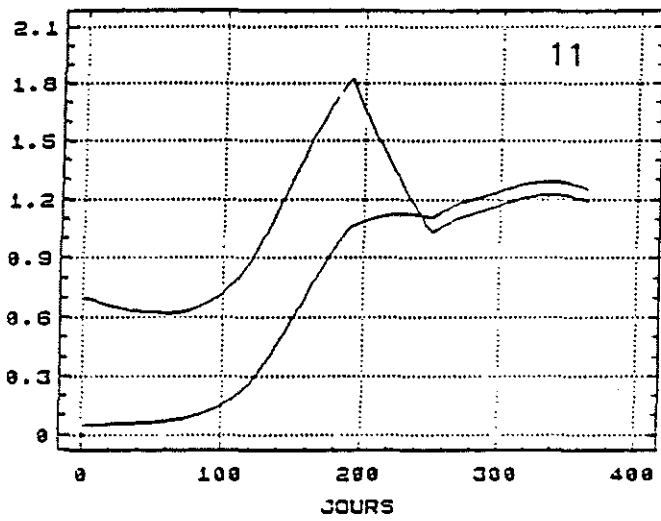
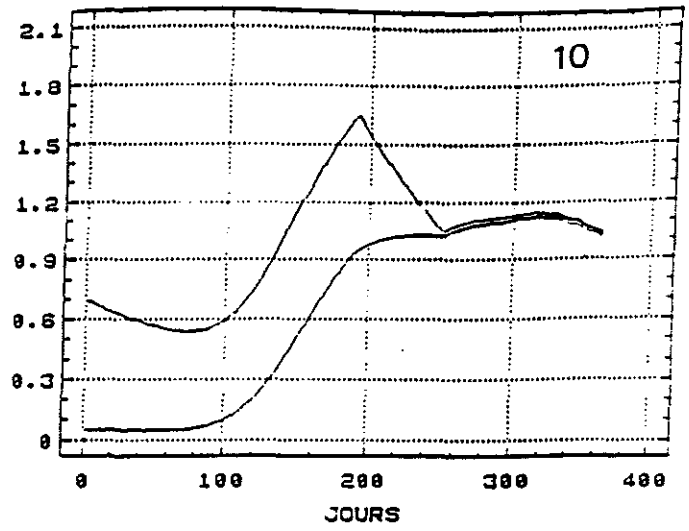
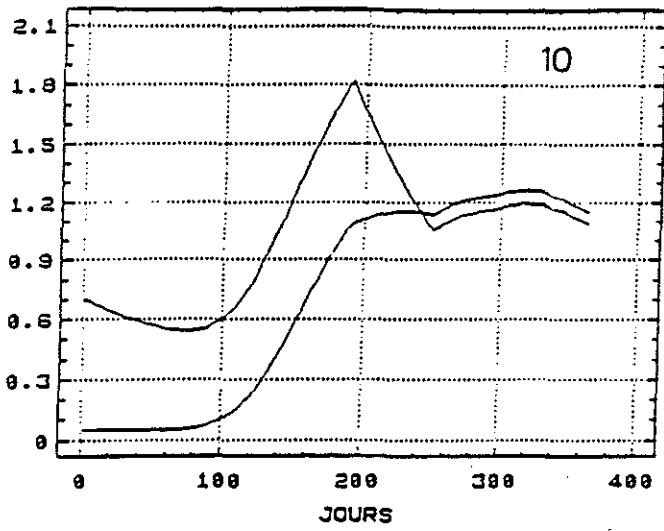


fig. 20 : Influence de l'activité nutritionnelle des huîtres (classe 1 et 2 an) sur leur propre croissance. H - : les huîtres n'interagissent pas avec le milieu nutritif; H + : les huîtres interagissent avec le milieu nutritif.

H-

H+

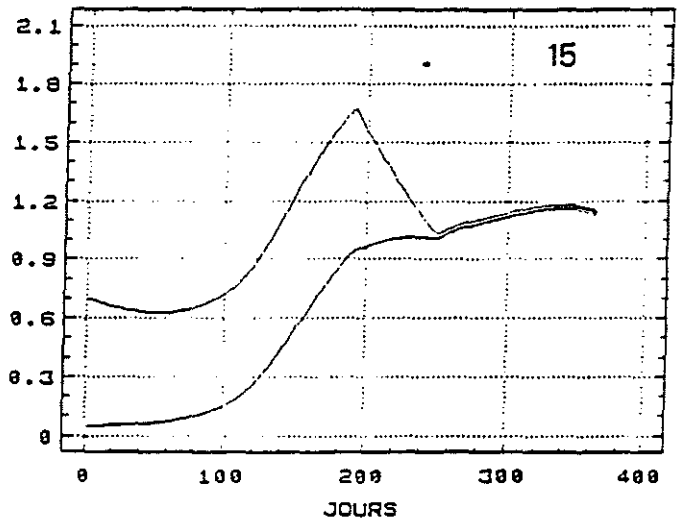
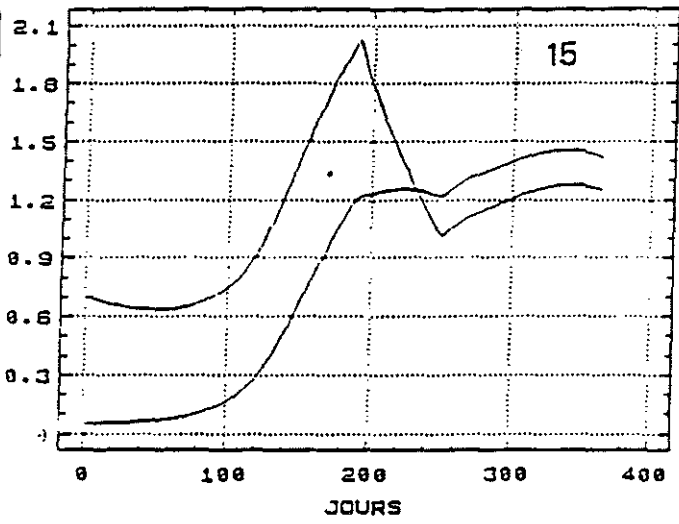
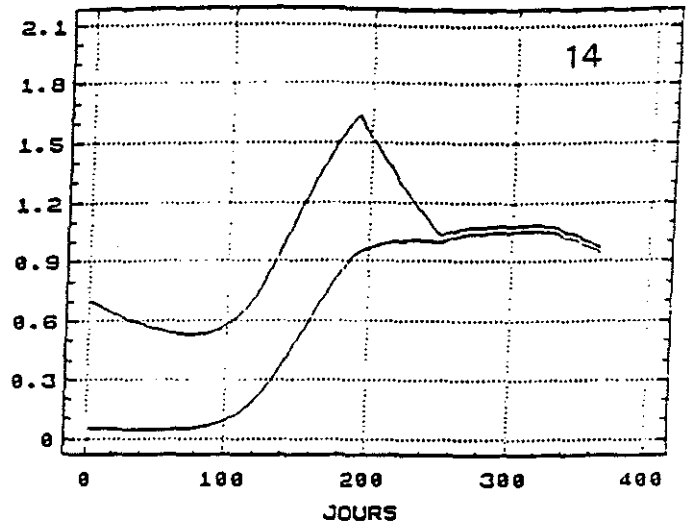
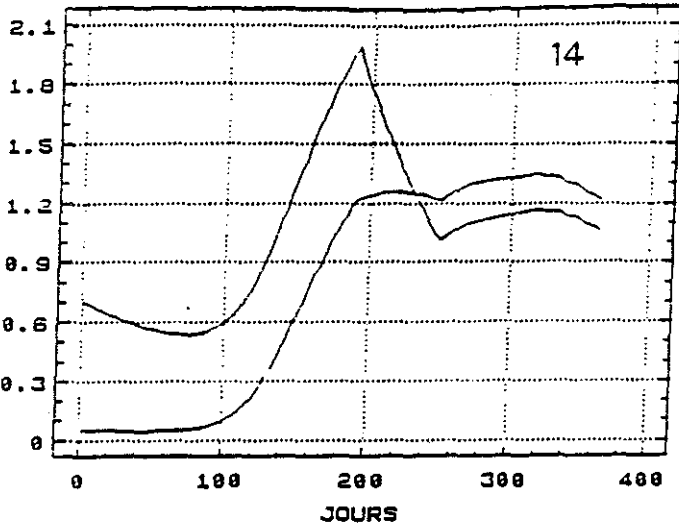


fig.20 : (suite)

Une estimation de la pression prédatrice des huîtres sur le phytoplancton est réalisée à l'aide des résultats obtenus dans les deux cas de figure. Soit  $ProdH^-$  la production phytoplanctonique nette en absence d'huîtres, et  $ProdH^+$  celle obtenue lorsque les huîtres sont actives. On a alors,  $H_{croi} = (ProdH^-) - (ProdH^+)$ , la part de la production qui est prélevée par les huîtres et :

$pH_{croi} = H_{croi} / ProdH^-$ , le pourcentage de cette production prélevée par les huîtres.

Des restrictions demeurent néanmoins quant à la validité de ce calcul. Si on se place dans une boîte  $i$  et à un instant  $t$  donné, cette méthode utilise la production brute calculée sans les huîtres pour estimer la production brute avant l'impact des huîtres quand elles sont présentes. Ce qui est en fait inexact, la valeur de ce paramètre avant l'impact restant dépendante de l'activité des huîtres au temps  $t-1$  dans cette même boîte, et dans les boîtes adjacentes.

Intégré dans le temps et dans l'espace, ce calcul reste biaisé par les échanges dispersifs aux frontières du modèle, qui rendent dépendantes les entrées et les sorties de matière des processus qui se déroulent à l'intérieur du bassin (en l'occurrence ceux inhérents aux huîtres). Estimant que ce biais est, dans le cas présent, minimisé par la distance qui sépare la frontière Nord de la zone ostreicole, la part de la production annuelle et de la totalité du Bassin qui est piégée par les huîtres est estimée par cette méthode. La valeur ainsi obtenue est de 7.5 %.

## .Discussion

La démarche classique et obligatoire de la validation d'un modèle est la comparaison des calculs avec les mesures, sous la condition impérative que le lot de données qui sert à la validation soit différent et indépendant de celui utilisé pour la calibration (Wigam, 1972). Cette condition n'est qu'en partie respectée dans le cas présent. La valeur des paramètres des modèles d'azote et de croissance des huîtres a bien été déterminée en dehors du contexte actuel. En revanche, le calcul préalable des séries temporelles de phytoplancton et de nitrate à la limite marine, par calage du modèle sur les données de la boîte 8 (Boyard), constitue un biais dans la procédure de validation. Il est ainsi vraisemblable que l'adéquation sur les niveaux de chlorophylle et de nitrate

perçue dans la boîte "Chapus" soit en partie due à ce calibrage, les stations Boyard et Chapus différant peu de ce point de vue.

A l'inverse de ce qui est observé dans les écosystèmes côtiers peu profonds, colonisés par des espèces suspensivores (Dame et al., 1980 ; Cloern, 1982 ; Officer et al., 1982), les filtreurs benthiques du Bassin de Marennes-Oléron ne semblent pas exercer un contrôle intensif sur la production primaire. Une sous-estimation inhérente à la méthode de calcul est liée à la surface d'emprise du modèle par rapport à celle effectivement occupée par les huîtres. Par ailleurs, on peut expliquer cette faible consommation par au moins deux autres raisons majeures : les niveaux de turbidité qui perturbent la nutrition des mollusques (rejets de pseudo-fécès) et la rapidité de déplacement des particules qui atténue leur déplétion par les mollusques (Officer et al., 1982). L'action de ce dernier facteur est, de plus, artificiellement amplifié par le modèle de transport.

### 3. Influence des débits de la Charente sur la production primaire et ostreicole

L'effet de la variation des débits est supposé n'avoir de conséquences que sur le flux de matière dissoute et particulaire et ne modifie pas la courantologie du Bassin. Deux composants des apports de Charente sont considérés, le nitrate et le seston minéral. Le premier volet de cette étude concerne le seul effet des variations en nitrate, le second est consacré à l'impact des variations conjuguées de ces deux facteurs antagonistes.

#### a. Les nitrates

##### . Principe

En réponse à la régulation supposée de la production primaire du Bassin par les apports d'azote dissous de la Charente, cette étude se propose d'examiner le comportement du modèle pour différents scénarios de nitrate à sa limite Est.

Pour une simulation donnée, le scénario correspondant est obtenu en multipliant les concentrations de la situation nominale par un facteur constant ( $\text{NO}_3$ ).

Sur ce schéma, on procède suivant deux étapes. Dans un premier temps, les résultats concernant les modifications induites par ces perturbations sur l'évolution temporelle de la chlorophylle et du nitrate sont examinées dans une boîte de la zone ostreicole pour trois valeurs du facteur  $f_{NO_3}$  (0.25, 1 et 2), ensuite la dimension spatiale du problème est abordée à l'aide de 10 simulations. Les valeurs prises par  $f_{NO_3}$  sont alors, 0.05, 0.15, 0.25, 0.5, 0.75, 1., 1.25, 1.5, 2 et 3. La production phytoplanctonique annuelle, le poids maximal des huîtres des deux classes d'âge et la production ostréicole totale sont les paramètres extraits pour chaque cas de figure.

Le calcul de l'accroissement relatif des paramètres "production phytoplanctonique" et "production ostreicole", entre deux valeurs fixées de  $f_{NO_3}$  permet de comparer les résultats boîte à boîte.

#### Nitrate et Phytoplancton (fig. 21)

En raison de sa situation géographique stratégique (placée au milieu de la zone de culture), c'est dans la boîte 14 que sont examinées les différentes simulations des nitrates et du phytoplancton.

Quel que soit le sens considéré, la variation des niveaux de nitrates à la limite Charente du modèle n'affecte guère le comportement printanier du phytoplancton : pour chacune des valeurs de  $f_{NO_3}$  les pics calculés de chlorophylle restent synchrones et leurs valeurs (pour  $f_{NO_3}$  croissant) évoluent autour de 6  $mgChla/m^3$  (fig. ). Il apparaît ainsi, qu'à cette époque de l'année les apports d'Antioche (limite Nord du modèle), marqués par la présence des eaux de Gironde (Dechambois, 1977), maintiennent des niveaux de nitrates au delà du seuil de limitation du développement phytoplanctonique. A la fin du printemps, la situation change, les eaux du large retrouvent des caractéristiques plus océaniques et rendent à la Charente et à ses apports de nitrate une partie du contrôle de la production primaire. Sans que cet effet soit spectaculaire sur un plan instantané (l'écart maximum est  $< 1 mgChla/m^3$  pour les valeurs extrêmes de  $f_{NO_3}$ ), il se prolonge néanmoins pendant les 3 mois d'été et peut, à ce titre, influencer sur les capacités trophiques du Bassin et, par voie de conséquence, sur les performances de croissance des huîtres. La régulation de la production phytoplanctonique estivale du Bassin par les apports de nitrate de la Charente est une idée généralement admise (Ravail et al., 1988).



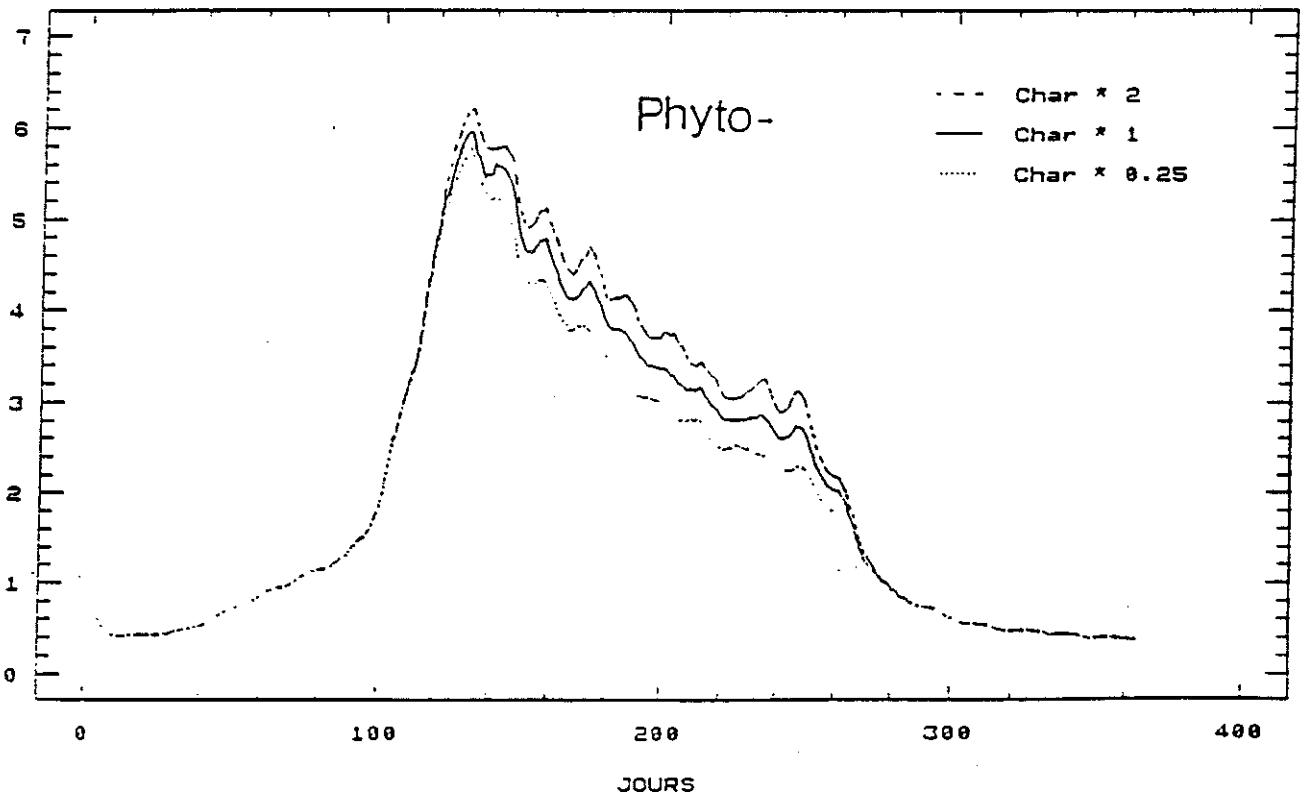
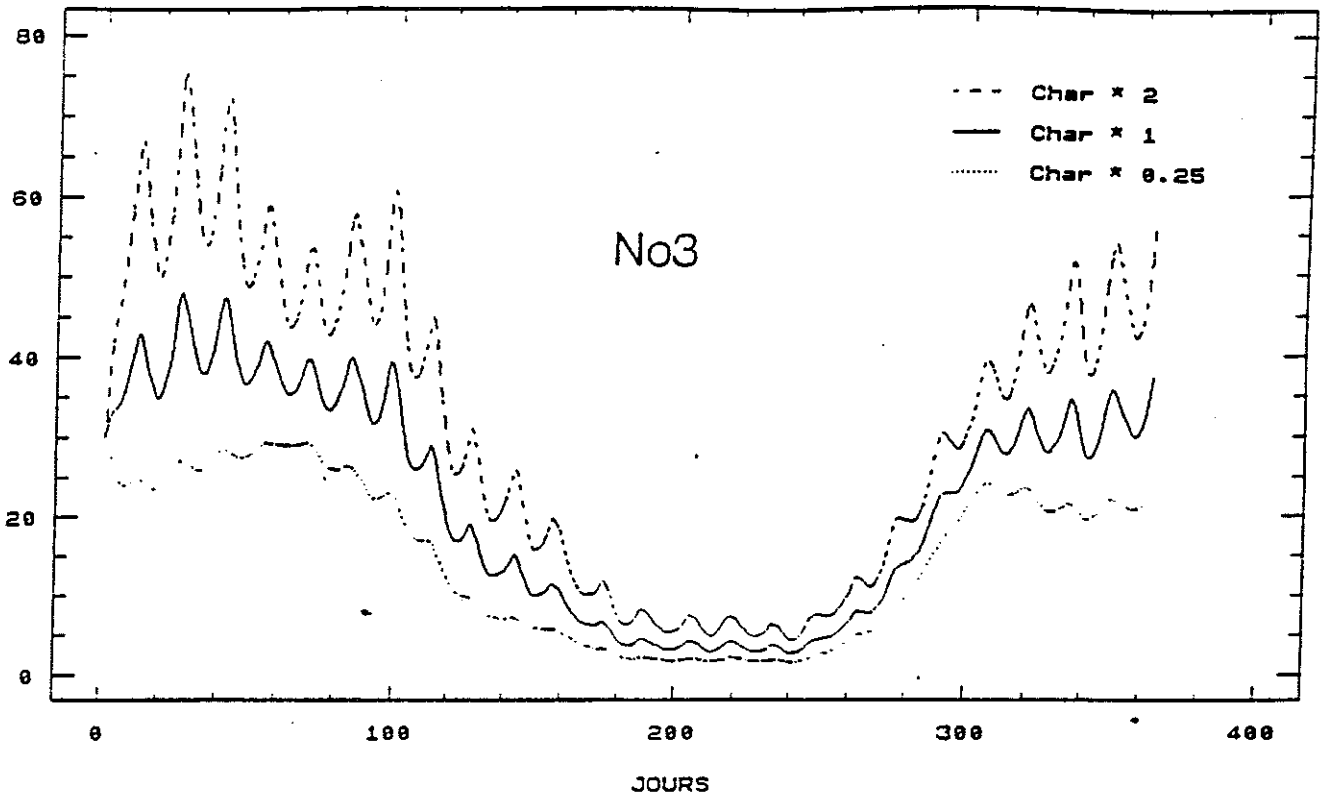


fig. 21 : Influence des apports de nitrates de la Charente sur l'évolution des teneurs de nitrates (µM/l) et de phytoplancton (µMN/l) au Chapus (boîte 14).

## Production primaire et ostreicole

Sur l'ensemble du Bassin, l'augmentation des apports de nitrates entraîne celle de la production primaire (fig. 22).

La production primaire d'un secteur donné est d'autant plus marquée par les variations du régime de la Charente que ses concentrations de nitrate y sont sensibles, et qu'elles sont également proches du seuil de limitation de la croissance du phytoplancton. La région Nord-Ouest (boîtes 2 et 3) d'influence marine affiche une sensibilité faible (tableau 1), les concentrations de nitrates sont peu affectées par le changement des conditions à la limite Est, et constante sur la gamme de variation du facteur  $f_{\text{No}_3}$ , en raison du maintien de ces concentrations à un niveau limitant (pas de saturation). Dans la boîte Nord adjacente (5) la marque des apports estuariens est plus prononcée et entraîne une réaction plus vive de la croissance du phytoplancton à leur variation, le transit relativement lent des masses d'eau sur ce secteur intensifie le pompage des nutriments et maintient la limitation malgré l'accroissement des rejets de Charente (forme linéaire de la réponse). Au niveau de l'estuaire et dans la zone de production ostreicole, les teneurs de nitrates sont nominalement peu limitantes pour la production primaire, qui reste donc plus sensible à la baisse qu'à l'accroissement des rejets de Charente. La dépendance plus marquée de la boîte 13 et dans une moindre mesure de la boîte 14 met en évidence le conditionnement particulier de ces secteurs par les régimes de la rivière.

Le comportement de croissance des mollusques est logiquement corrélé à celui du phytoplancton. Tant sur le plan des poids maximaux (fig. 23) que de la production totale (fig. 24), la diminution des apports de Charente a un effet plus prononcé que son augmentation. La comparaison des résultats obtenus sur les différentes boîtes révèle également des relations plus étroites entre les débits de la rivière et la croissance des mollusques sur l'estran est (boîte 13) et au centre du Bassin (boîte 14) (tableau 1).

Toutes boîtes confondues, dans une fourchette réaliste de valeurs du facteur  $f_{\text{No}_3}$  (de 0.5 à 1.5 : Héral, com. pers.), la production ostreicole annuelle totale varie entre -5 % et +3.5 % de sa valeur nominale.

Tableau 1 : Variation de la production primaire et ostréicole (%) en fonction des apports de nitrate.

	boîte fN03	3	5	6	10	11	12	13	14	15
Phyto	0,25	-5,5%	-12,7%	-13%	-14,5%	-12,2%	-16,14%	-18%	-16,2%	- 14 %
	0,5	-3,7%	-8,7%	-7,1%	-8,8%	-7,6%	-8,9%	-10,5%	-9,9%	-9,31%
	1,50	+3,5%	+8,5%	+4,8%	+6,4%	+5,9%	+5,8%	+7%	+7,2%	+7,36%
	2	+6,6%	+16,7%	+8,7%	+11,6%	+10,7%	+10,4%	+12%	+13%	+12,7%
huitre	0,5				-7,5%	-3,2%		-13,2%	-7,3%	-4,3%
	1,5				+5,7%	+2,5%		+9,7%	+5,5%	+3,3%

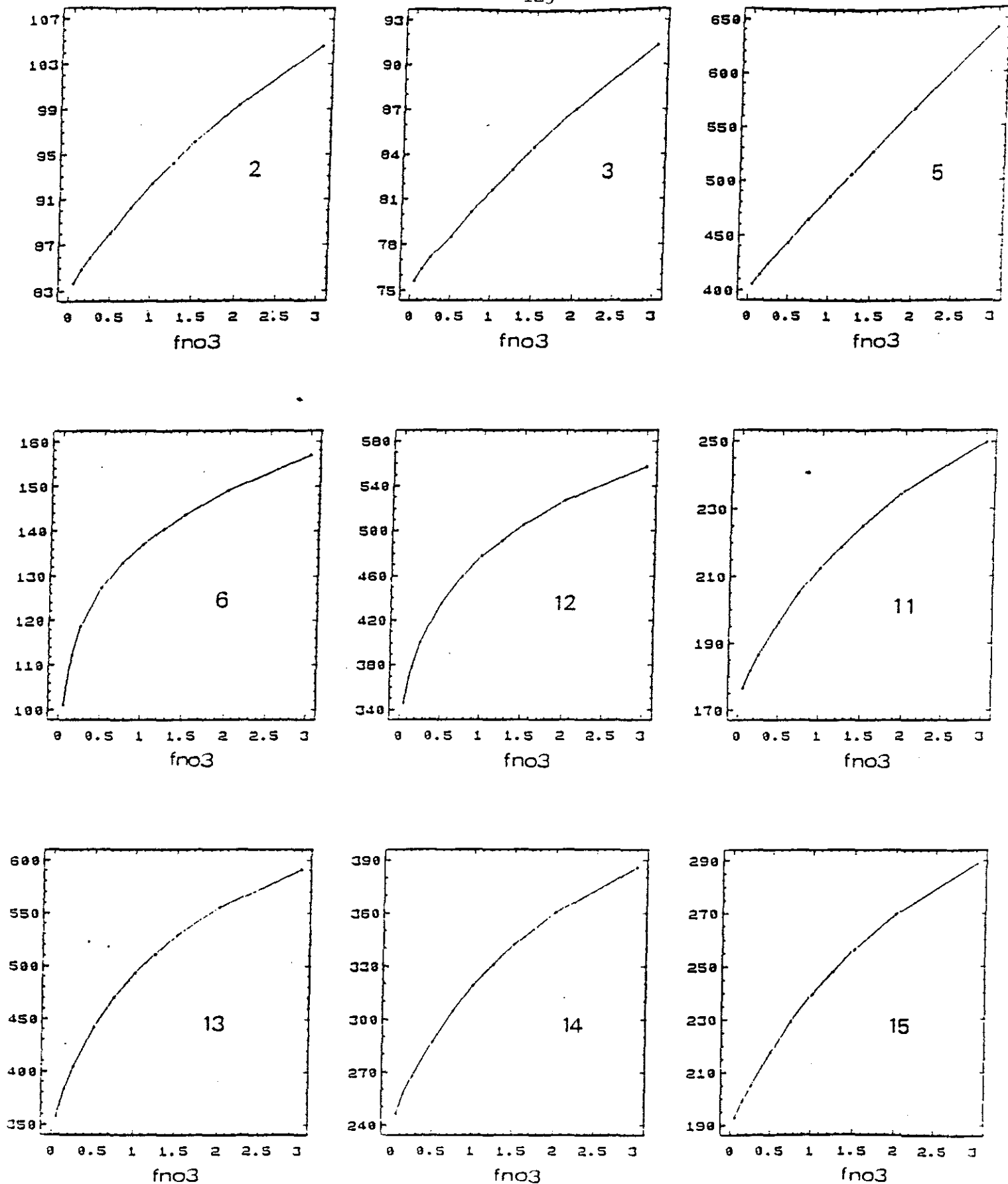
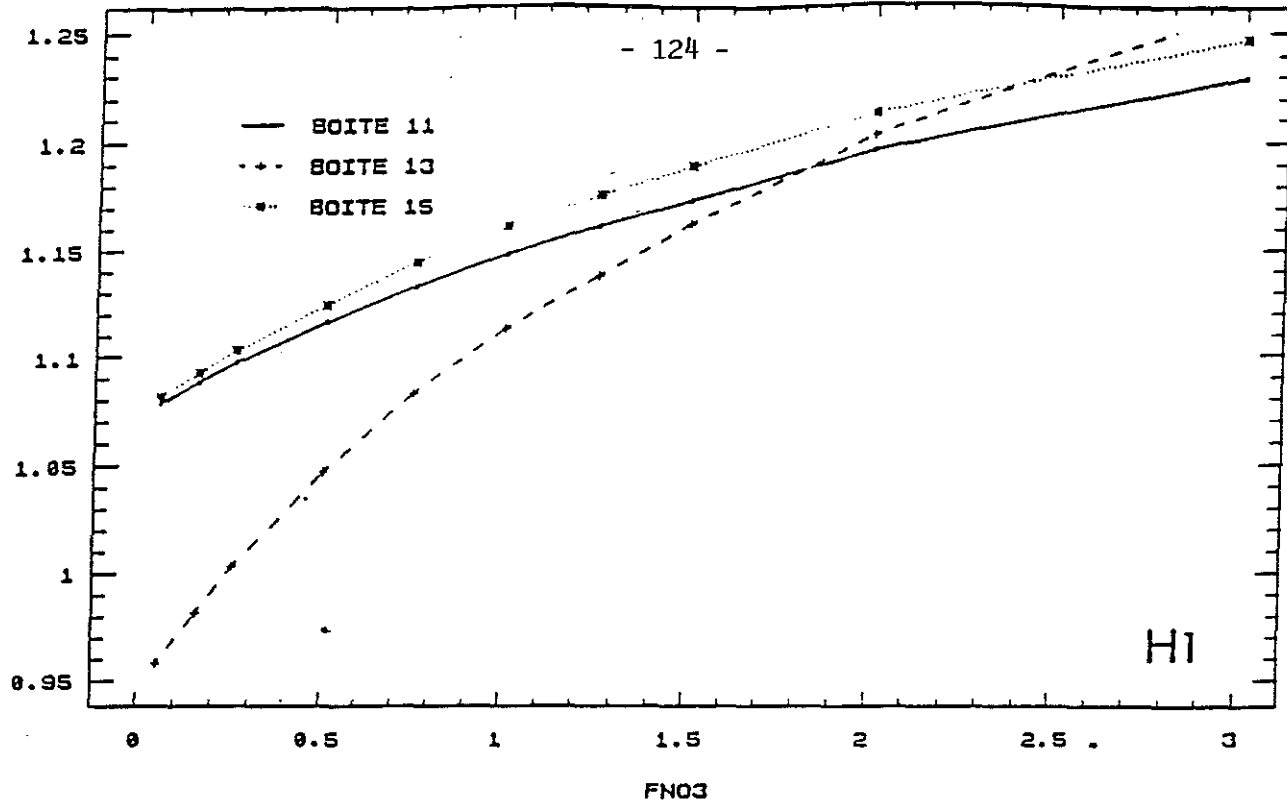


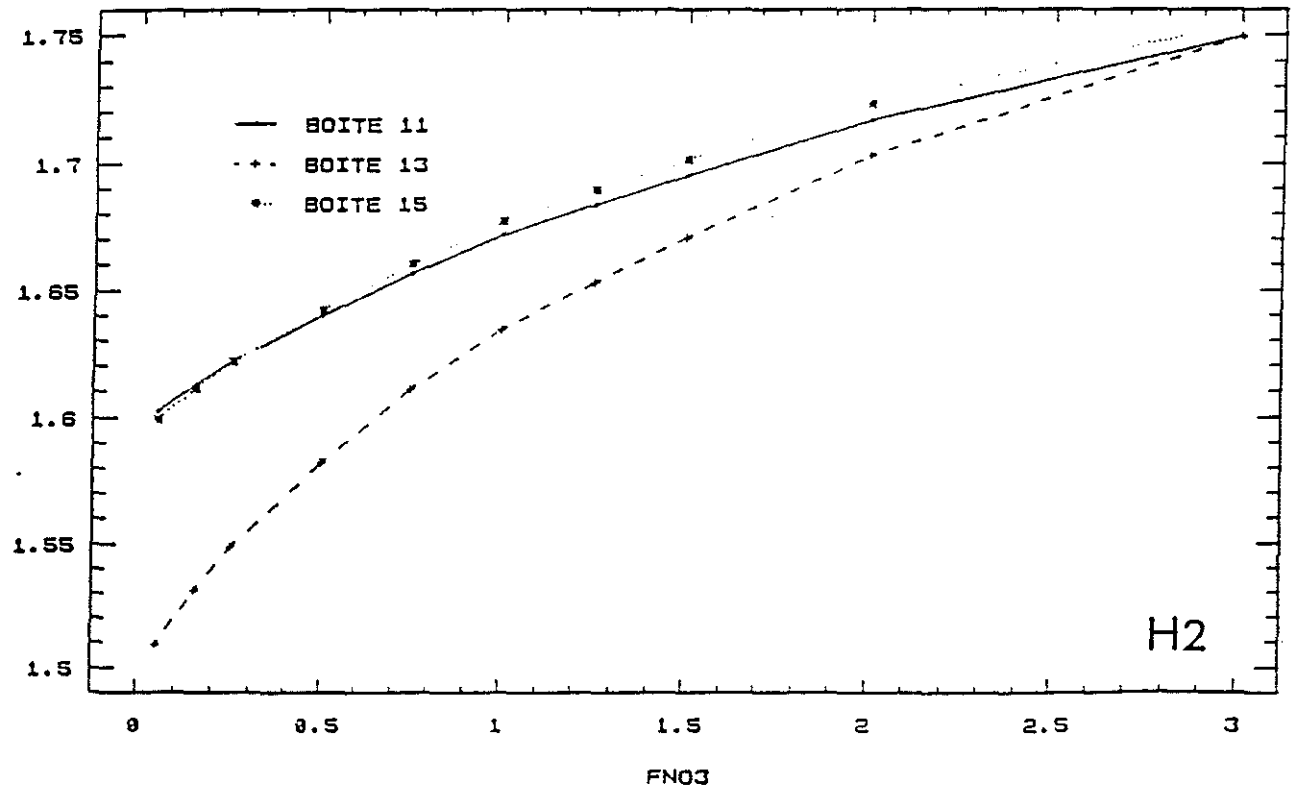
Fig.22 : Influence des apports de nitrates de la Charente sur la production primaire brute annuelle ( $\mu\text{M}/\text{l}/\text{an}$ ) pour différents secteurs du Bassin. 2, 3 : Nord; 5 : Nord-Ouest; 6 : estuaire; 12, 13 : estran Est; 14 : central; 15 : sud.

POIDS MAXIMAL (gPs)



H1

POIDS MAXIMAL (gPs)



H2

Fig. 13 : Réponse de croissance des huîtres aux irradiations des appareils de niveau. H1 : poids maximal (gPs) des huîtres de la première classe d'âge; H2 : poids maximal (gPs) des huîtres de la seconde classe d'âge.

BOITE 11 : huître; BOITE 13 : huître; BOITE 15 : huître

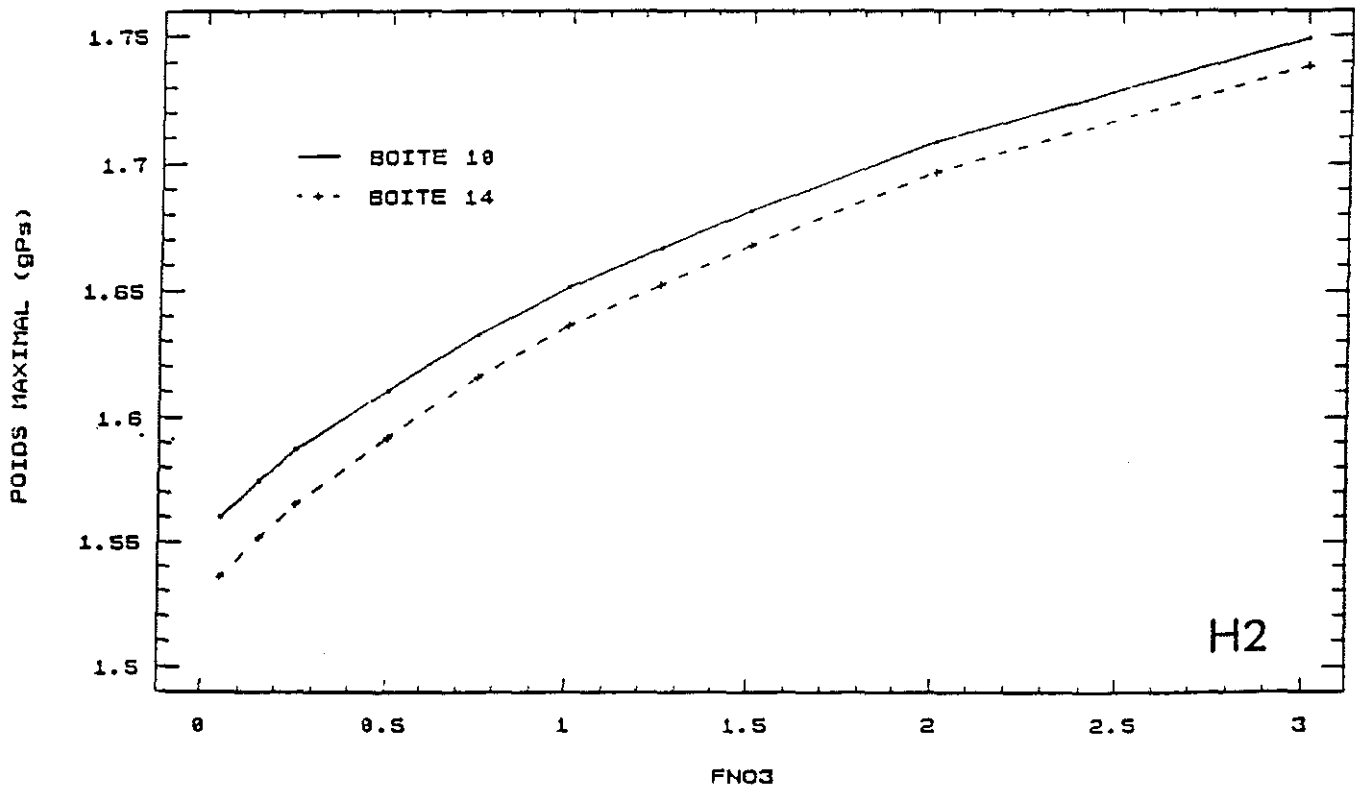
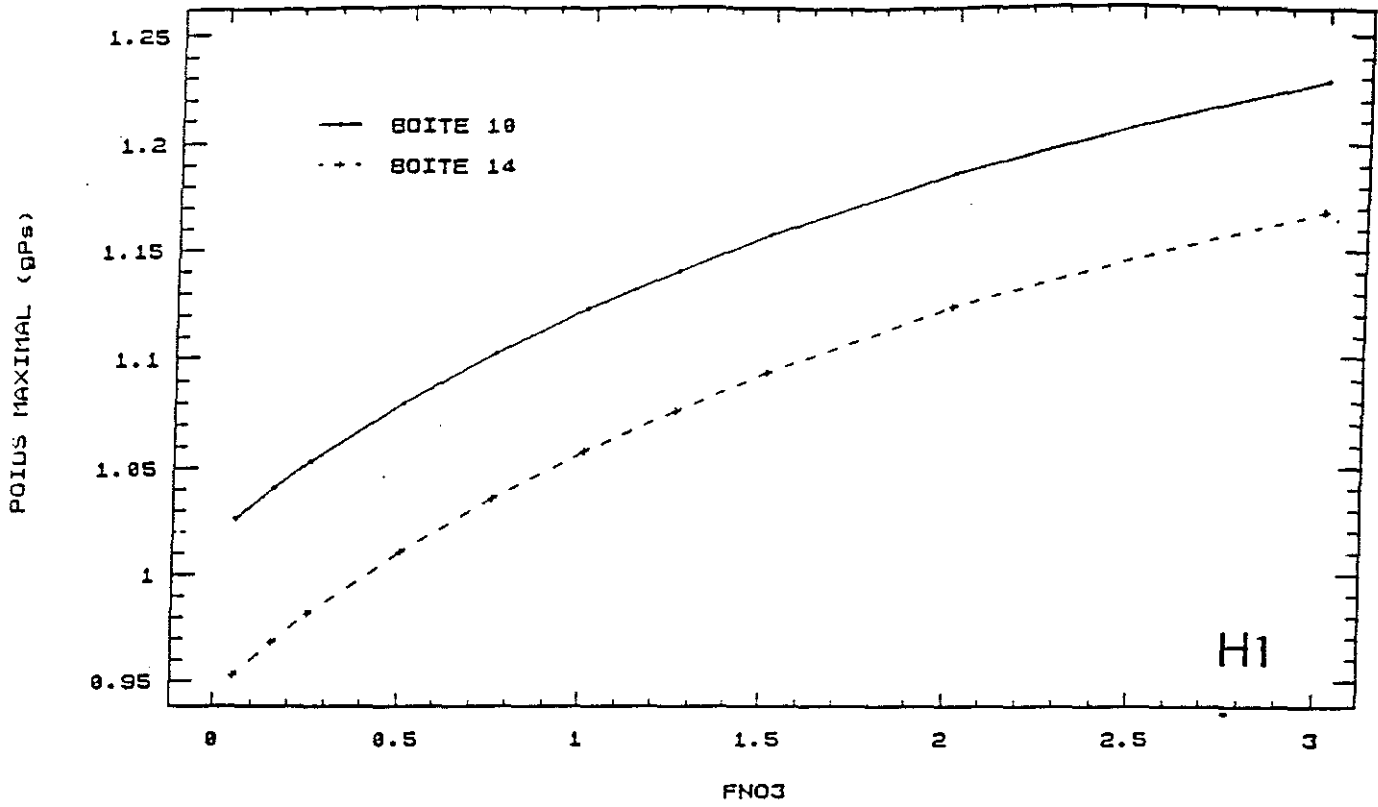


Fig. 03 : suite

10 : 11 : poids : 10 : est : 14 : 15 : suite

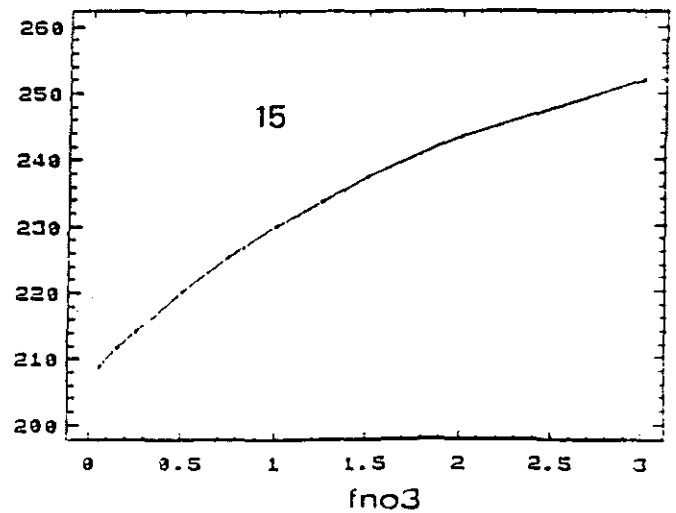
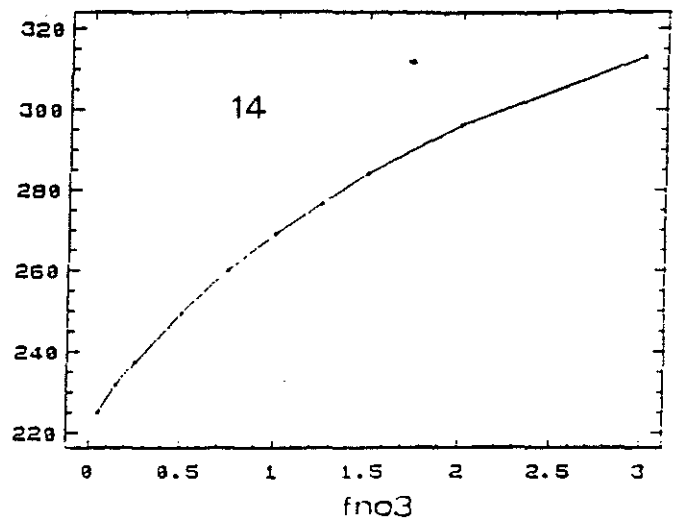
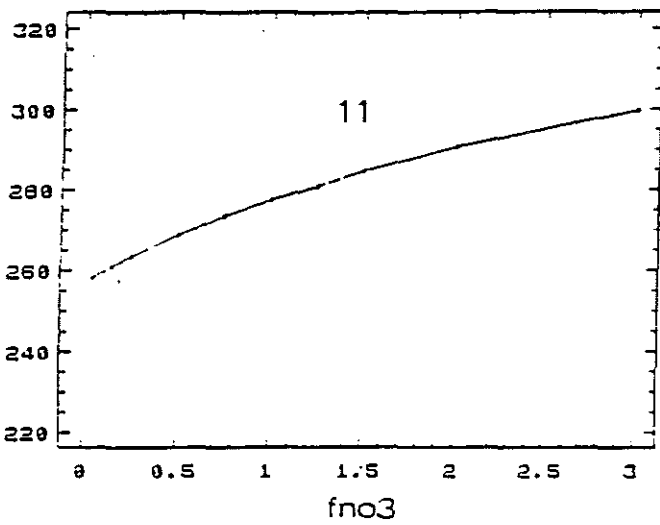
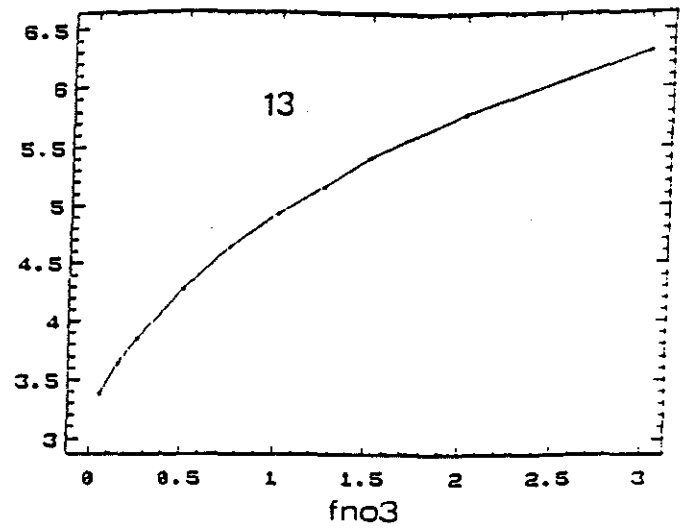
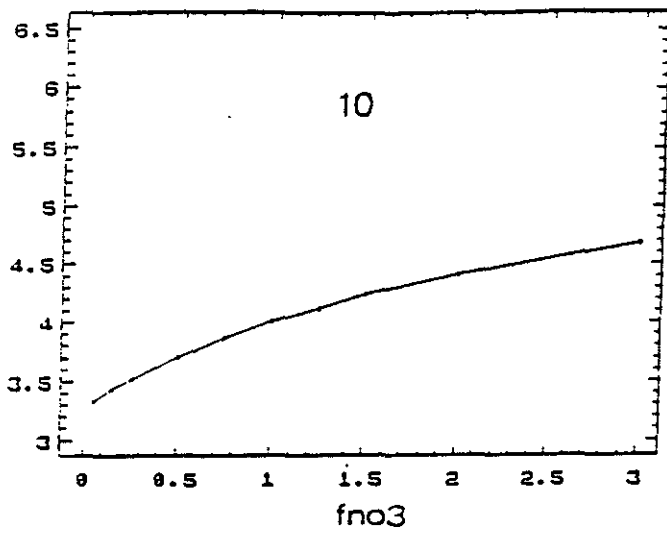


Fig 24 : Sensibilité de la production ostréicole (Tonne de poids sec) de différents secteurs du Bassin (conchylicole) aux apports de nitrates.

(10, 11 : Nord; 13 : est; 14 : centre; 15 : sud)

## . Discussion

Ce modèle n'a pas la prétention de prédire de manière précise le poids d'un individu ou le tonnage d'huître dans le Bassin pour un débit donné de la Charente, il indique simplement les tendances. L'impact est plus prononcé lors de diminutions des apports que d'augmentation, et il est variablement ressenti suivant la situation géographique du mollusque.

Le modèle fournit une appréciation quantitative des perturbations : un rehaussement de 50 % des débits de la Charente (valeur prédite après la mise en place du barrage) entrainerait une augmentation de 3.5 % de la production ostreicole totale, à l'inverse, une diminution des débits serait préjudiciable à la potentialité trophique du Bassin, leur division par un facteur 4, situation de sécheresse, abaisserait de 8 % la production totale.

Sous l'hypothèse que les fluctuations du débit de la Charente ne provoquent que la seule variation des ses apports dissous, et sous la condition triviale que ce modèle soit une représentation correcte de la réalité, la Charente apparait comme un facteur de régulation non-négligeable de la capacité trophique du Bassin ostreicole.

### b. La turbidité

#### . Principe

En réalité, ce ne sont pas les apports de matières en suspension propres à la Charente qui régulent la turbidité dans l'estuaire, mais l'action de ses débits sur l'expulsion du bouchon vaseux et la remise en suspension locale (Héral et al., 1983b). Ces relations complexes et méconnues n'ont pu être formulées de manière précise et déterministe. En première approximation, les débits de la Charente sont supposés n'agir sur la turbidité qu'en hiver et au début du printemps (périodes de crues), en deuxième approximation les concentrations de seston minéral sont considérés comme proportionnelles (fses) au débit de la rivière pendant cette période.

Les calculs sont réalisés sur une gamme de 7 valeurs des deux facteurs multiplicatifs, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.25, 1.5, 1.75. On obtient ainsi 49 scénarii nitrate-seston différents, qui permettent de définir la sensibilité du modèle aux



apports des deux types, et d'étudier plusieurs cas particuliers de couplage entre les variations de nitrate et de seston minéral.

Les résultats de la production phytoplanctonique brute et de la croissance sont examinés sur la totalité des simulations à l'aide de surfaces de réponse.

### . Résultats

Comme en témoigne la verticalité de ses iso-lignes, la production primaire reste sous le contrôle des apports de nitrates (fig. 26 et 27). Sur un plan spatial les schémas de réponse diffèrent peu de ceux perçus lors de la précédente étude : sensibilité marquée aux variations d'azote dans les zones actives de production (boîte 5) et(ou) proches de la Charente (12, 13, 14) ; variation plus prononcée de cette production à proximité de l'estuaire, lorsque les apports diminuent. Indépendamment de la boîte considérée, l'effet du seston est faible et se caractérise par un accroissement plus sensible de la production lorsque la diminution des apports de seston s'accompagne d'une augmentation des nitrates.

L'action du seston minéral est, en revanche, plus nette sur la croissance des mollusques (fig. 28 et 29). L'âge et la position géographique de l'huître déterminent l'influence respective des deux apports (nitrate, seston) dans la réponse de croissance. Le poids maximal des animaux de la deuxième classe d'âge est inféodé aux variations de turbidité induites par la Charente alors que les petits individus, grâce à leur meilleur rendement énergétique, conservent une sensibilité importante aux apports de nitrates. Sur un plan spatial, les huîtres des boîtes d'influence charentaise (13, 10, 14) enregistrent une fluctuation plus élevée de leur poids en fonction des deux facteurs  $f_{No3}$  et  $f_{ses}$ .

La conséquence de cette sensibilité au seston minéral prend toute son importance si on considère maintenant un cas plus réaliste, où les apports de nitrates et de seston minéral varient dans le même sens, conjointement avec le débit de la Charente. Si les variations des apports de seston se font dans des proportions proches de celles du nitrate, les augmentations de débits n'entraînent plus, chez les individus de la deuxième classe d'âge, un accroissement significatif du poids maximal ( $f_{ses} < f_{No3}$ ) ou provoquent un amaigrissement général des mollusques ( $f_{ses} > f_{No3}$ ), quelle que soit la zone considérée (fig. 28 et 29). Dans les mêmes situations, les petites huîtres, conservent dans l'ensemble une relation positive entre le débit et le poids maximal.

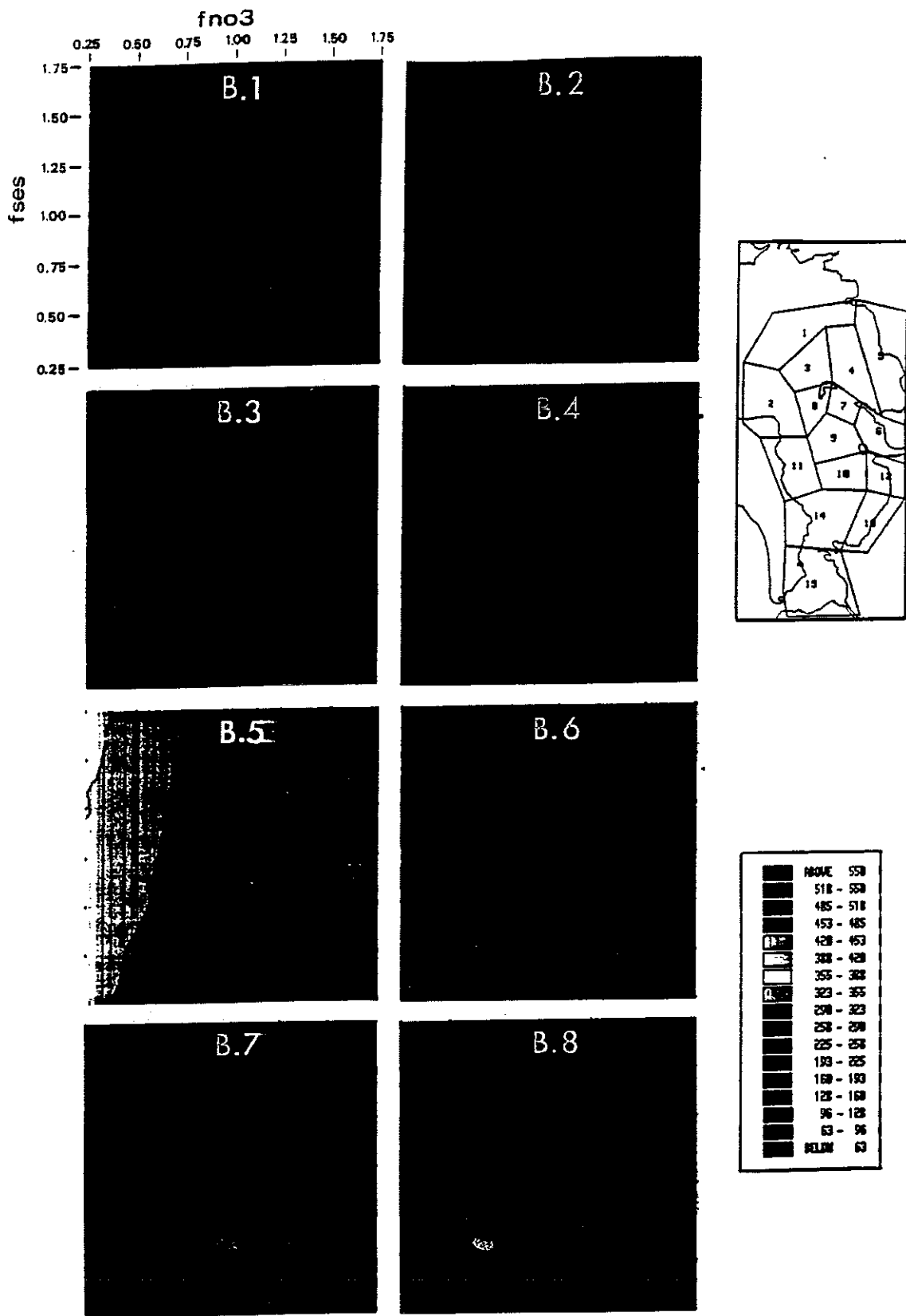


fig. 26 : Influence des apports de seston minéral et d'azote dissous de la Charente sur la production primaire brute annuelle ( $\mu\text{M/l/an}$ ) de différents secteurs du Bassin. fno3 : facteur multiplicatif des apports dissous; fses : facteur multiplicatif des apports particuliers.

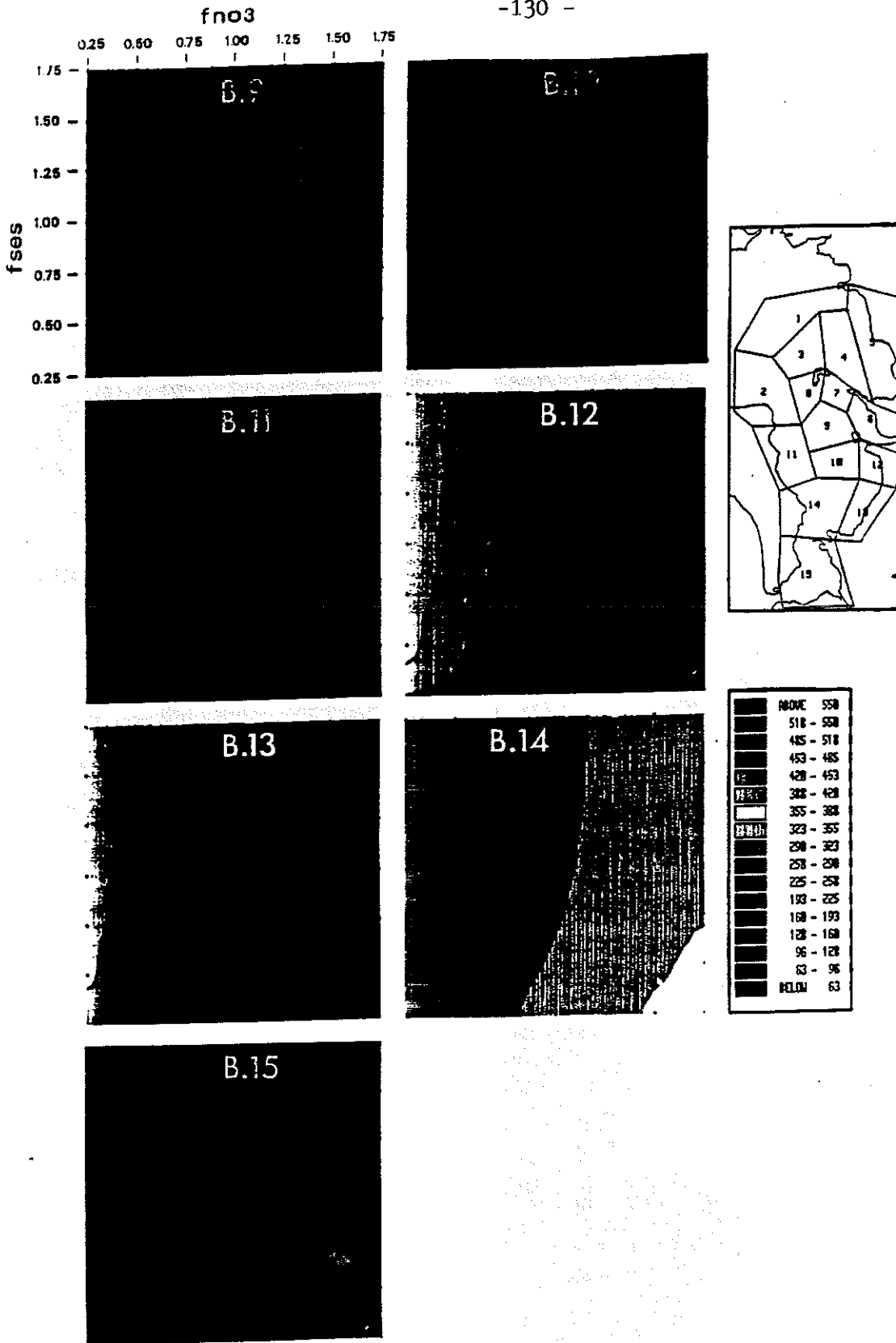


fig. 27 : Influence des apports de seston minéral et d'azote dissous de la Charente sur la production primaire brute annuelle ( $\mu\text{M/l/an}$ ) de différents secteurs du Bassin. fno3 : facteur multiplicatif des apports dissous; fses : facteur multiplicatif des apports particulaires.

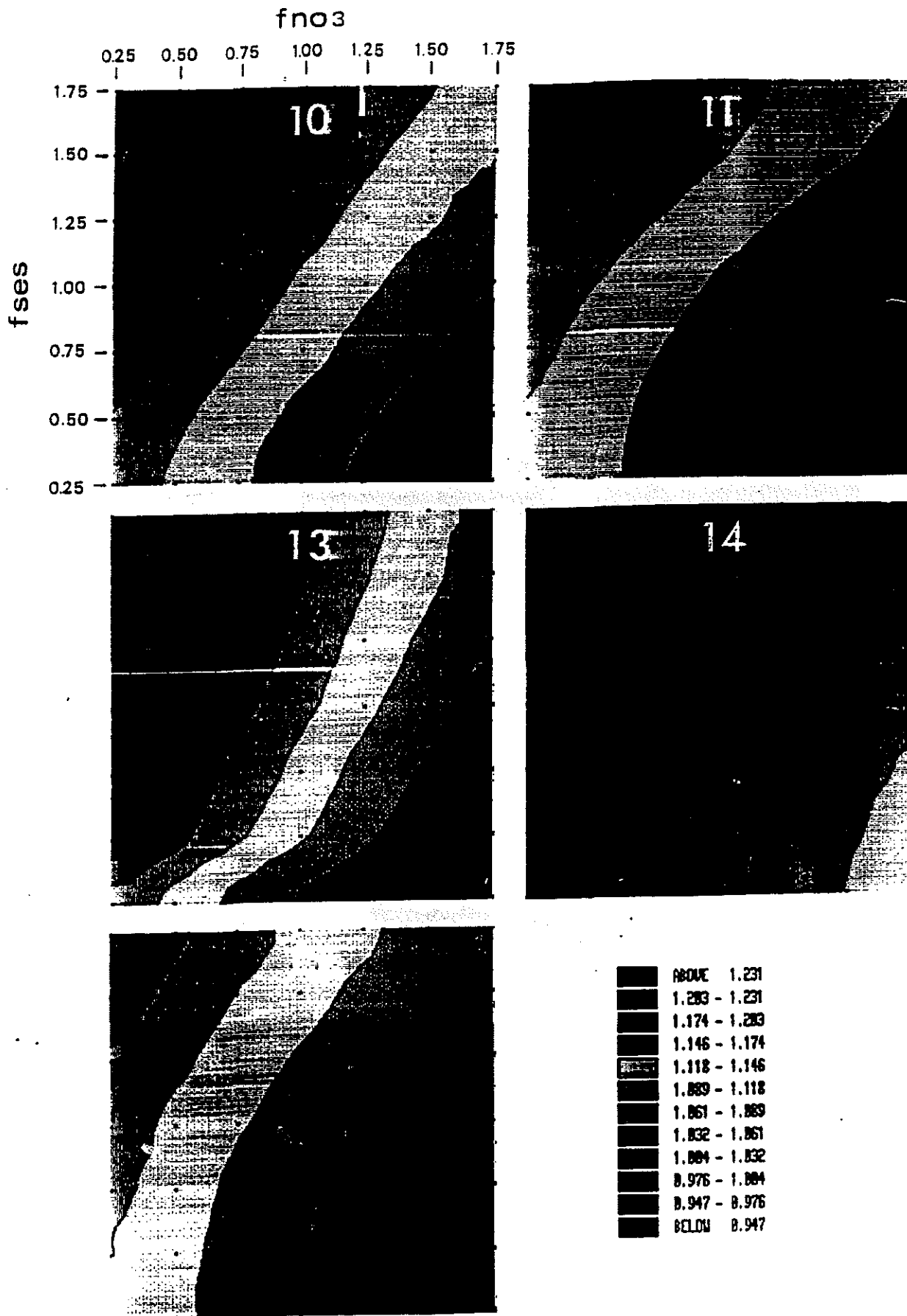


fig.28 : Influence des apports de seston minéral (fses) et d'azote dissous (fno3) de la Charente sur le poids maximal (gPa) des huitres de la première classe d'âge.

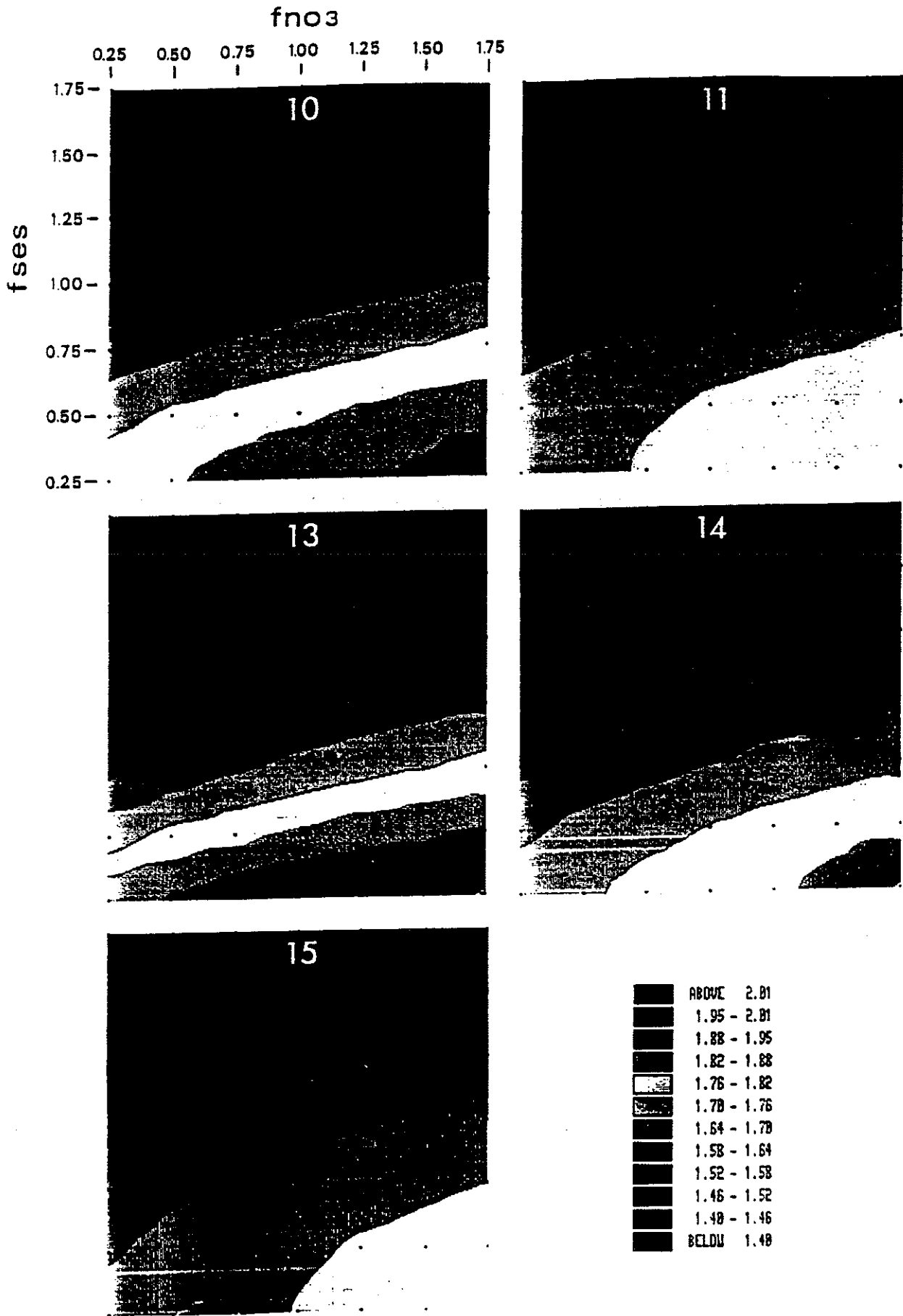


fig. 29 : Influence des apports de seston minéral (fses) et d'azote dissous (fno3) de la Charente sur le poids maximal (gPs) des huitres de la seconde classe d'âge.

Les résultats concernant la production ostreicole sont examinés pour des valeurs identiques des deux facteurs  $f_{ses}$  et  $f_{No3}$ . Ils révèlent (fig. 30), que les maxima sont atteints lorsque la valeur des débits est inférieure à sa valeur nominale. La localisation de ce maximum est également dépendante de la boîte considérée. Dans les régions d'influence marine (15 et 11) le pic de production est observé pour une situation proche des conditions nominales, et se décale vers les apports minimum de Charente dans les boîtes les plus soumises à son régime.

### . Discussion

Il va sans dire que ces résultats sont susceptibles de remettre en cause les conclusions du paragraphe précédent quant à l'effet positif de la Charente sur les capacités trophiques du Bassin. Si on applique à nouveau ces résultats aux conséquences de la mise en place d'un barrage qui accroîtrait de 50 % les débits de la Charente, le modèle prédit dans le meilleur des cas un maintien de la production ostreicole à son niveau actuel. L'enrichissement chlorophyllien estival, induit par les ajouts de nitrates à cette saison, ne suffit pas à compenser les pertes de poids des mollusques en hiver causées par l'accroissement des charges sestoniques. En revanche s'il est envisagé de mettre en place des barrages de soutien d'étiage qui diminuent ou maintiennent les débits hivernaux et accroissent les débits estivaux l'effet ressenti au niveau de la production ostreicole est d'après le modèle, positif.

On peut malgré tout émettre quelques réserves quant à la validité de ces résultats. L'expression qui relie les concentrations de seston à la limite-est avec les débits de la Charente ne s'appuie sur aucune théorie ni mesure, simplement une hypothèse dont la simplicité ne reflète sans doute pas la réalité. Il est ainsi évident que les mécanismes physiques et chimiques qui sont à l'origine de la formation du bouchon-vaseux, ou qui déterminent les échanges avec le fond (érosion, dépôt) ne sont pas uniquement régulés par le débit de la Charente (action des courants de marée, des facteurs climatiques). Il se pourrait qu'en réalité, les apports de seston soient moins influencés par les débits de la rivière que ne l'exprime la relation choisie à cet effet.

D'autre part, il est un fait que la sous-estimation de la production primaire inhérente au modèle de transport (accélération du déplacement des masses d'eau) biaise les interactions entre les deux composantes des apports de Charente, en minimisant le rôle des nitrates.

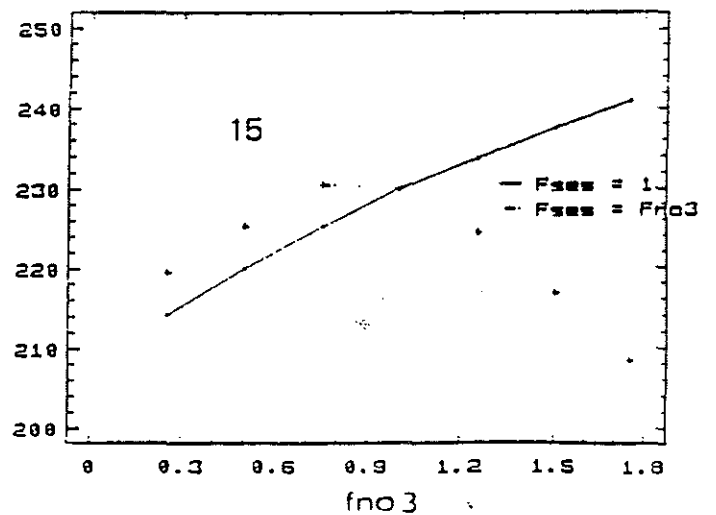
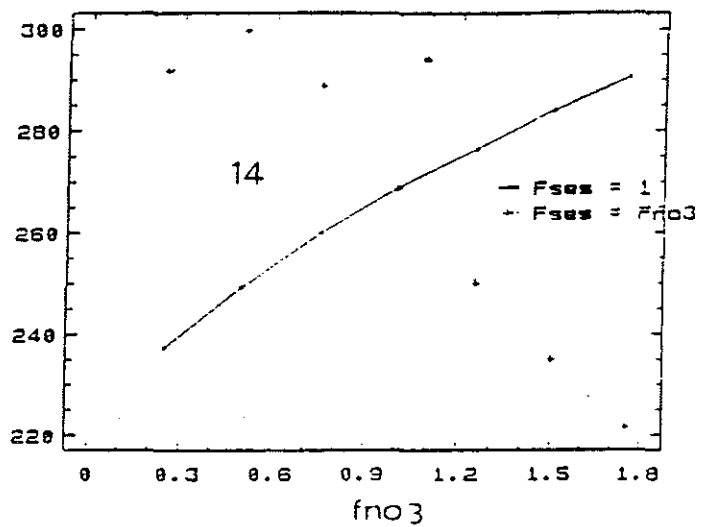
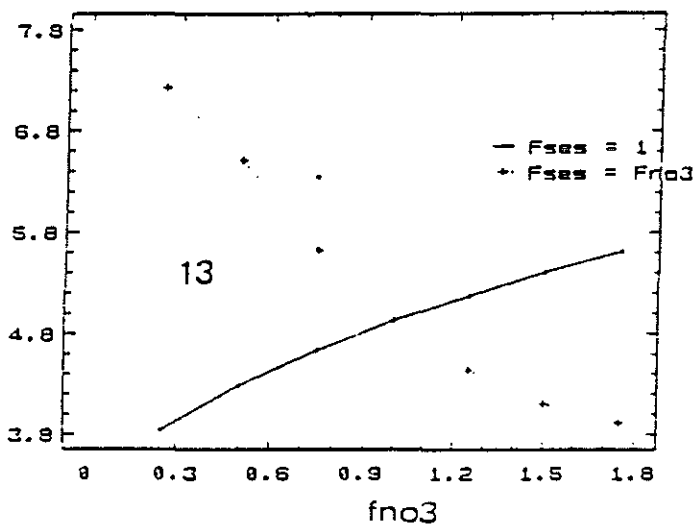
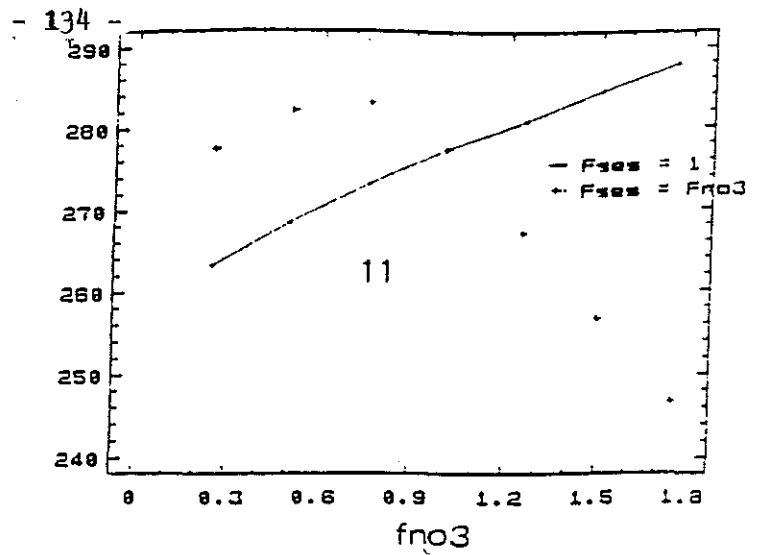
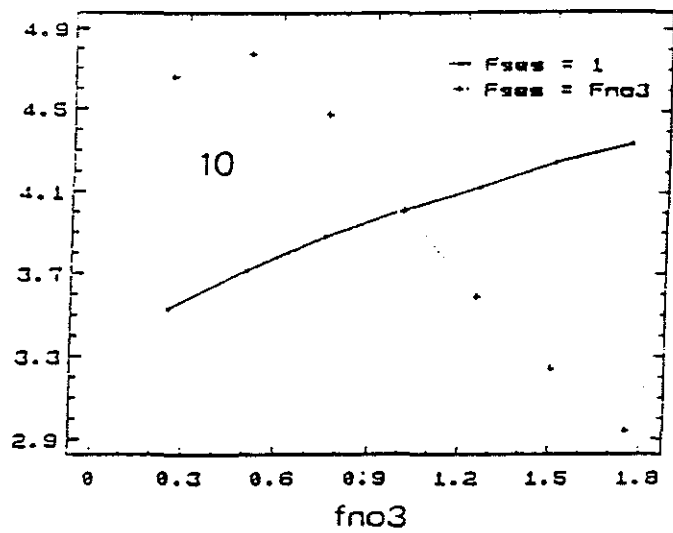


fig.30 : Réponse de la production ostreicole aux variations des apports de la Charente.  $F_{ses} = F_{no3}$  : les rejets de seston minéral varient conjointement avec les rejets de nitrates et dans les mêmes proportions ;  $F_{ses} = 1$  : seuls varient les rejets de nitrates.

(10. 11 : Nord; 13 : est; 14 : centre; 15 : sud)

Le niveau de sensibilité élevé du comportement de croissance des mollusques aux fluctuations des apports turbides à la limite Est du modèle, met l'accent sur la nécessité de préciser, à l'avenir, l'influence de la Charente sur les turbidités du Bassin, afin d'être en mesure de déterminer l'impact réel de ce fleuve sur la production ostreicole.

#### 4. Impact des stocks d'huitres

Le stock d'huitres en élevage dans le modèle est de 69000 tonnes et correspond à celui estimé en 1984. Depuis le tonnage en huitres du Bassin n'a cessé de s'accroître : 82000 t en 1985, 90000 t en 1986, 94000t en 1987 et 110000 t en 1988.

##### . Principe

Le comportement de croissance des mollusques et de la production ostreicole est étudié pour différents niveaux de stock. Le nombre des individus des deux classes d'âge est multiplié dans chacune des boîtes par un facteur fstok. Une série de 11 simulations est réalisée avec des valeurs de fstok comprises entre 0.2 et 2.

##### . Résultats

La forme des relations stock-croissance obtenues dans les différentes boîtes du modèle atteste de l'importance de la dimension spatiale dans la mise en place des compétitions intraspécifiques (fig. 31a et b).

Pour des valeurs croissantes de stock, la capacité trophique du secteur sud (13, 14, 15), au départ la plus élevée, est, compte tenu du déplacement Nord-Sud des masses d'eau, doublement affectée : par l'activité nutritionnelle des mollusques en place et par celle des animaux situés en amont. Il en résulte, chez les individus positionnés en aval, une sensibilité plus prononcée des performances de croissance aux variations des effectifs.

Signalons, d'autre part, une réponse de croissance aux niveaux de stock, d'autant plus vive que le stock est bas. Une forme de relation déjà perçue par



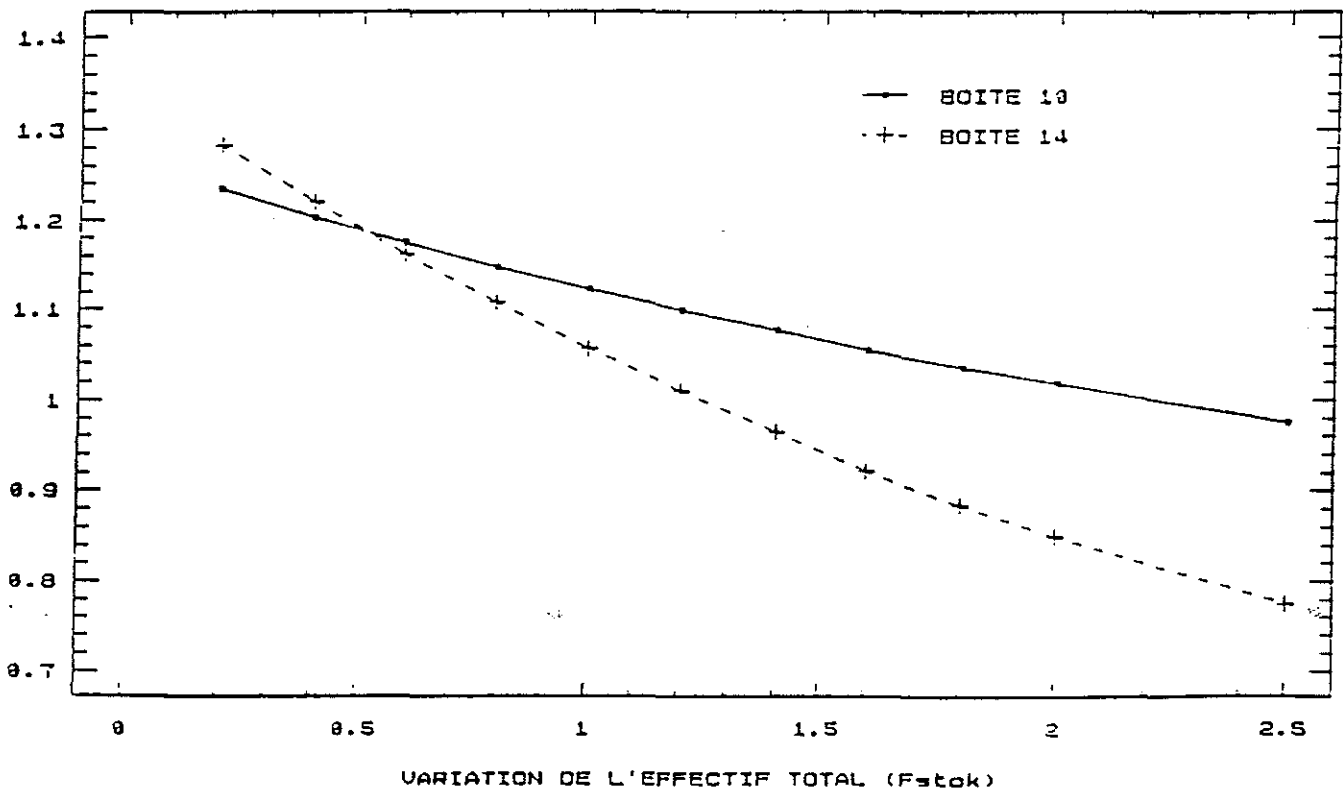
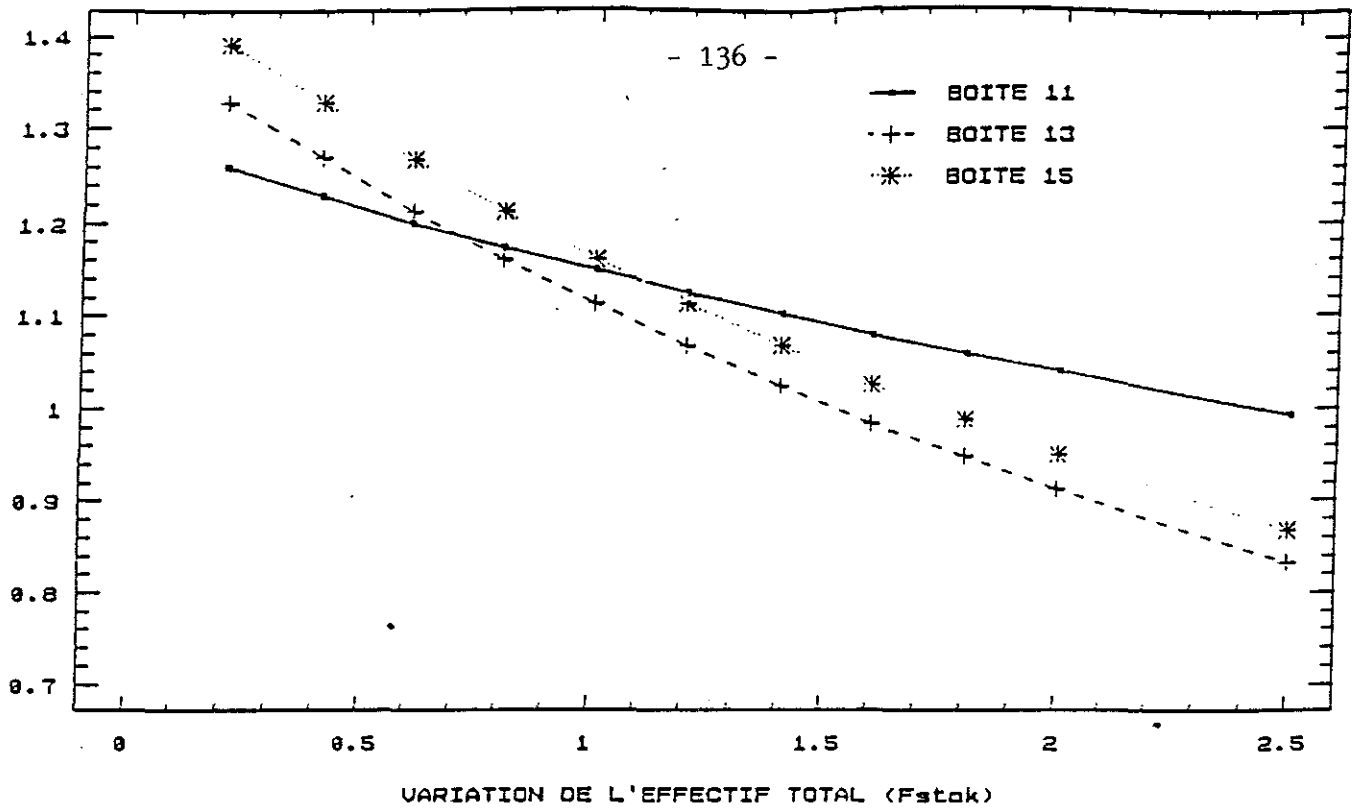


fig.312 : Influence du stock d'huitres sur le poids maximal (gPs) des huitres de la première classe d'âge.

(10. 11 : Nord; 13 : estran est; 14 : centre; 15 : sud)

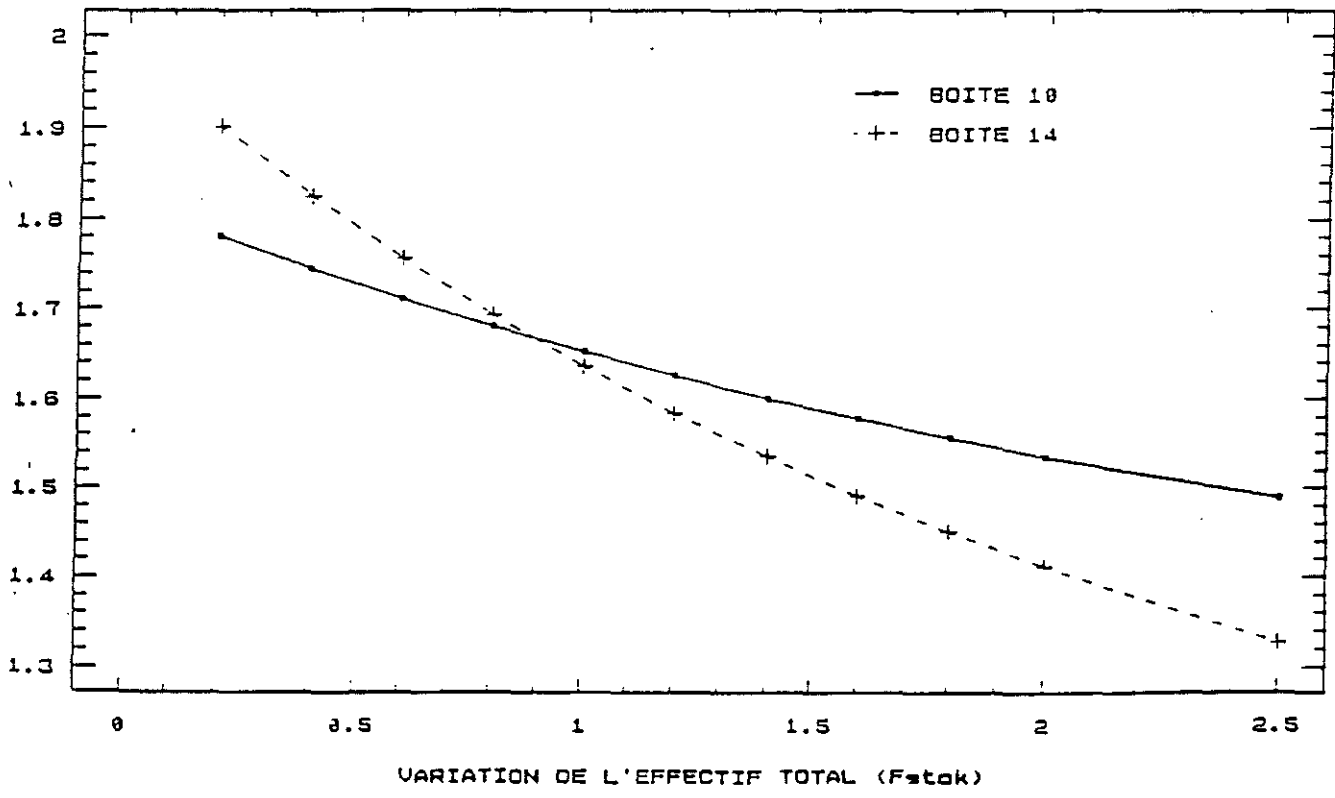
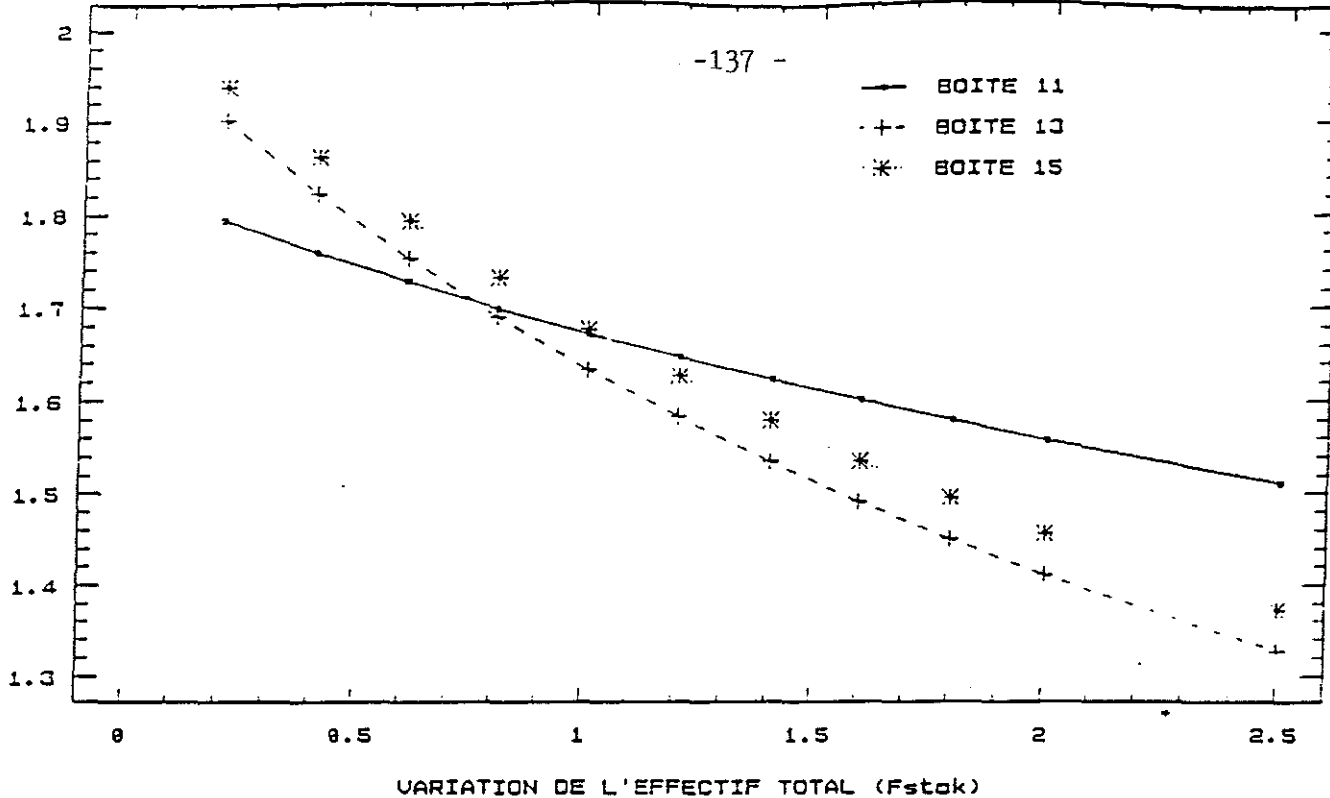


fig 31b : Influence du stock d'huitres sur le poids maximal (gPs) des huitres de la seconde classe d'age.

(10. 11 : Nord; 13 : estran est; 14 : centre; 15 : sud)

Héral et al. (1986a) sur les données historiques des deux espèces successives du Bassin, *C.angulata* et *C.gigas*.

Au niveau de la production ostreicole totale (fig. 32), la diminution enregistrée pour des valeurs croissantes de *fstok*, dans les boîtes 13 et 14, traduit l'effet conjugué de la déplétion par les huîtres situées au nord et l'action négative des épisodes turbides hivernaux relativement plus intenses dans ce secteur du Bassin (la production totale, calculée sur les poids finaux, est plus sensible aux conditions trophiques hivernales). La boîte sud (15) cependant moins affectée par les charges sestoniques atténue fortement sa production pour des niveaux élevés de stocks mais ne présente pas de baisse de production.

En partie libérées du poids de ces deux facteurs, les boîtes amonts restent les moins touchées par l'augmentation du nombre d'huîtres sur le Bassin.

#### . Discussion

De la comparaison des relations stock/croissance obtenues par le présent modèle et celles prédites par le modèle de Bacher (1989) (fig. 33), il ressort que l'introduction d'un modèle de production primaire modifie la forme de cette interaction (stock-croissance) sur un plan spatial essentiellement. D'une part en atténuant les différences de performances entre les différents secteurs, l'apport local de phytoplancton joue le rôle de tampon sur les pertes induites par la déplétion amont des masses d'eau, et d'autre part en inversant les gradients de croissance pour des valeurs faibles de stock, la production phytoplanctonique locale devient alors un facteur explicatif important des performances de croissance des mollusques.

Le modèle actuel fournit, à l'instar de celui de Bacher (1989), une estimation nettement plus optimiste de l'effet négatif du stock que celle du modèle global de Héral et al. (1986a) (fig. 34). A ce propos, Bacher invoque les différences entre les méthodes d'élevage, plus favorables pour les populations qui ont servi au calage du modèle biologique que pour les huîtres de l'élevage professionnel soumises aux contraintes de densité et de rotation des parcs. Sans minimiser pour autant l'importance de ce facteur, il est par ailleurs clair, que la sous-estimation de la déplétion particulière de la masse d'eau (par les mollusques) induite par l'accélération de leur vitesse de transit (inhérente à la structure du modèle physique) est un élément susceptible d'entraîner également

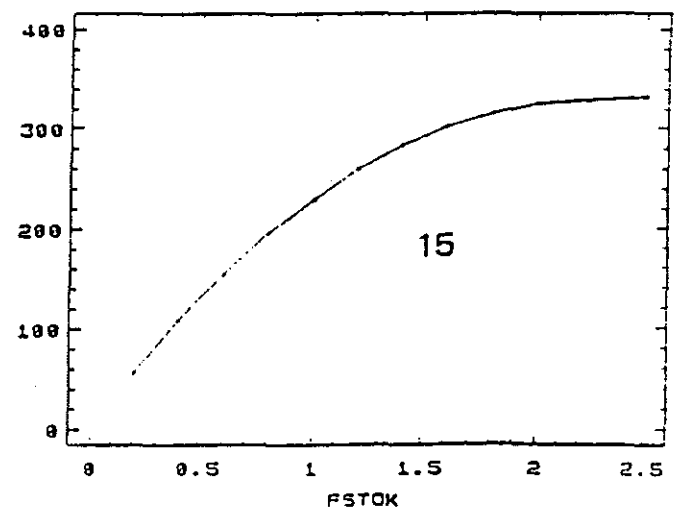
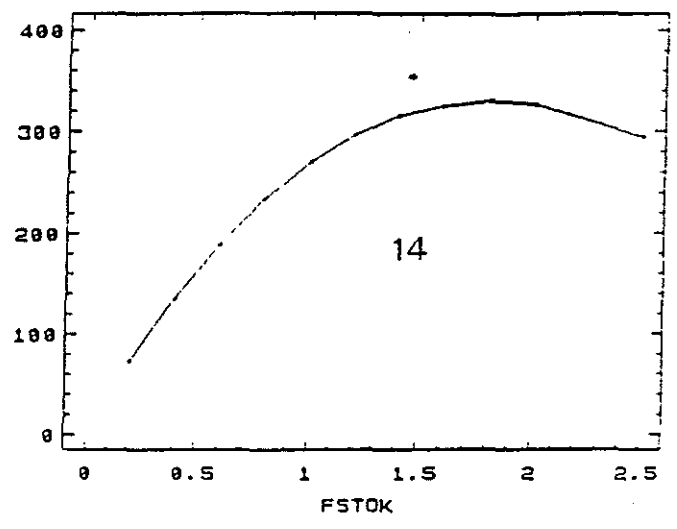
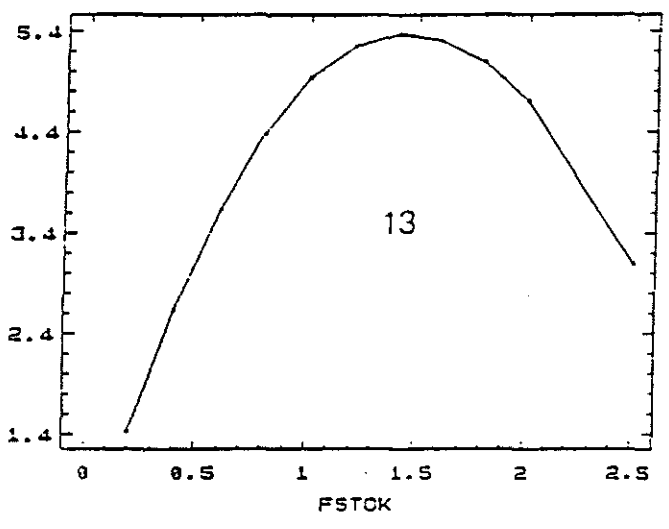
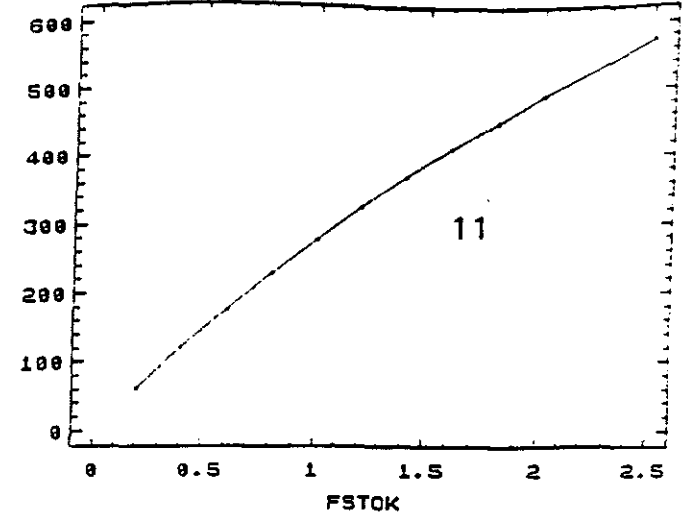
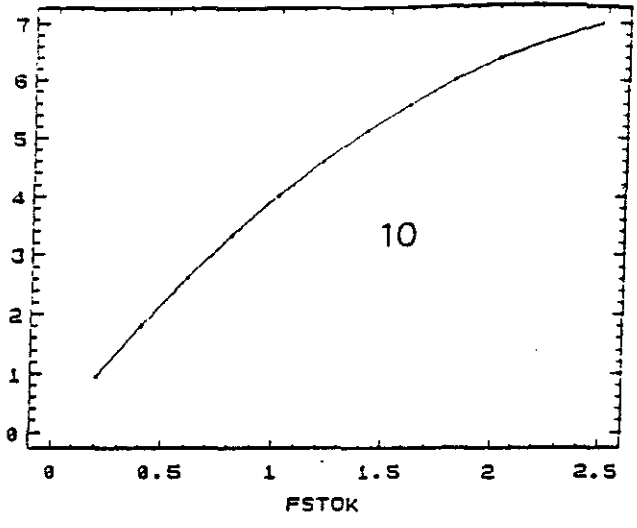


fig. 32 : Sensibilité de la production ostréicole (Tps) de différents secteurs du Bassin (conchylicole) au stock.

(10, 11 : Nord; 13 : estran est; 14 : centre; 15 : sud)

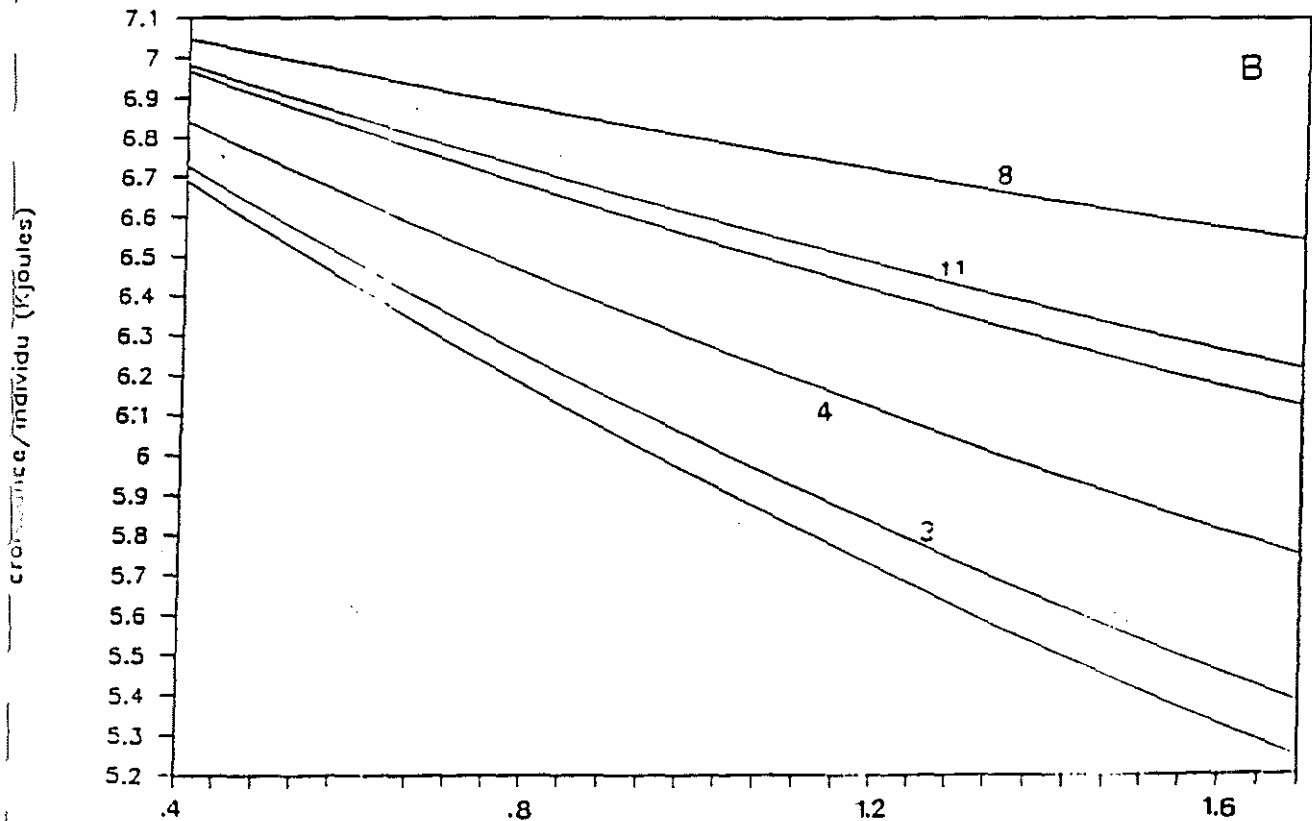
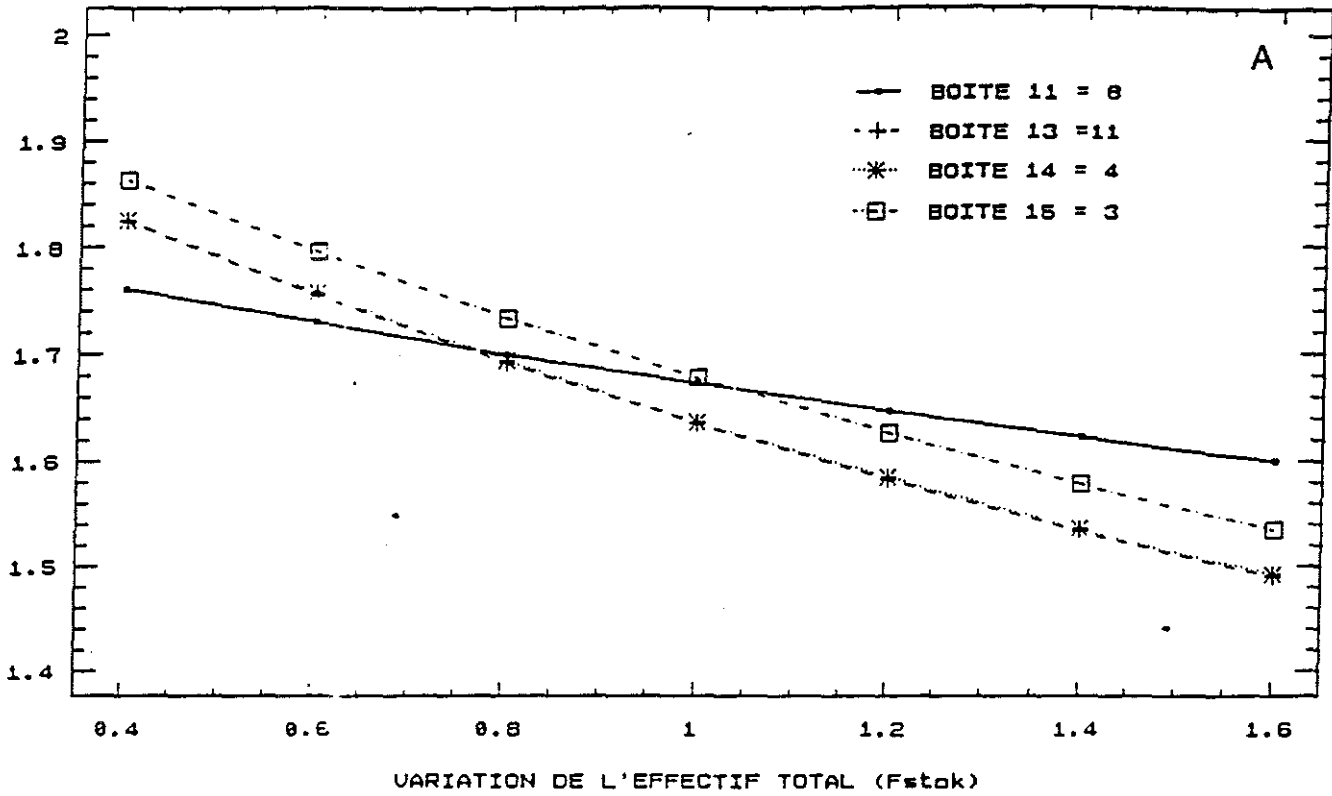


fig.33 : Comparaison des relations stock/croissance obtenues par le présent modèle (A) et celui de Bacher (B).

# RELATION EFFECTIF-POIDS FINAL

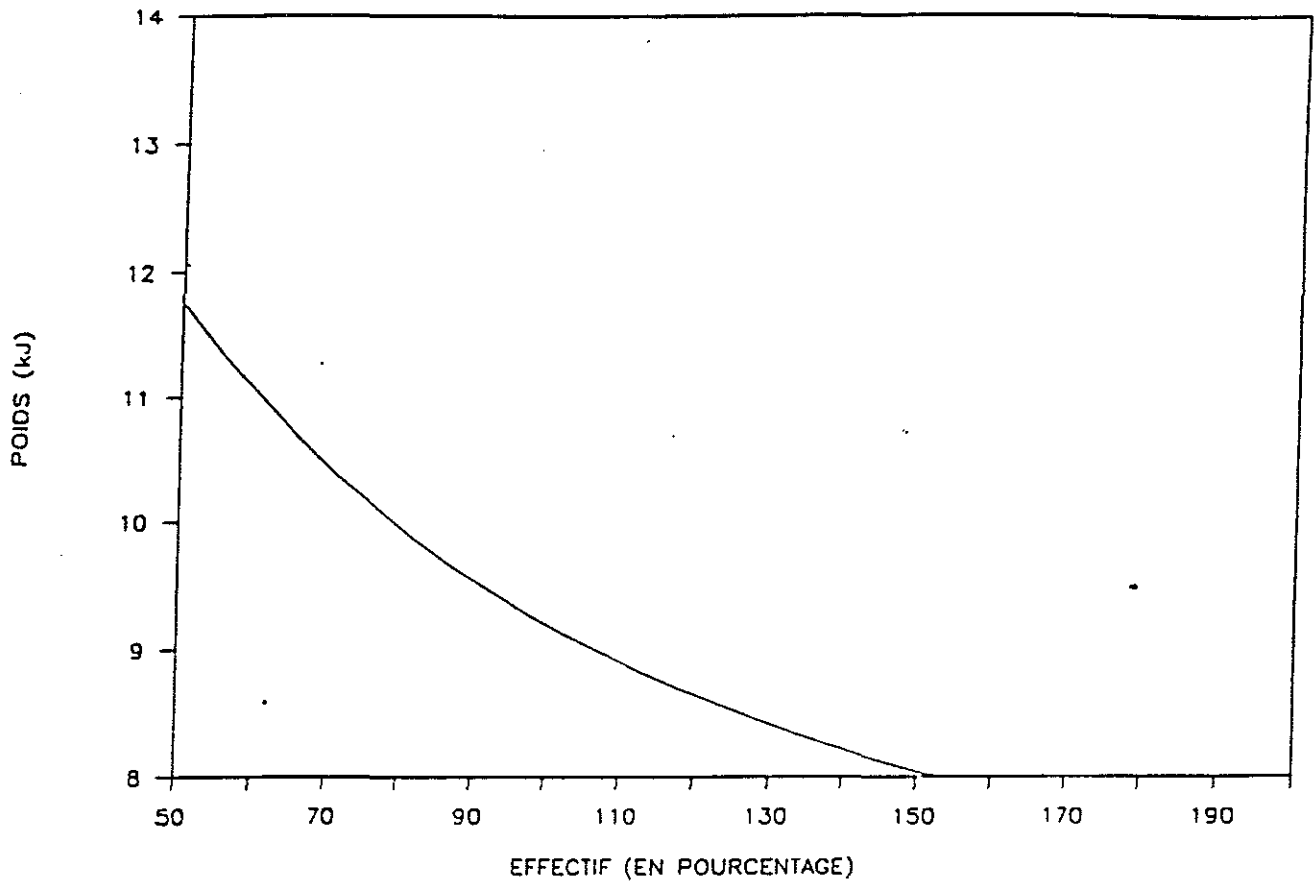


fig. 34 : Relation stock/croissance d'après le modèle global de Héral et al. (1986)

une sous-estimation de l'impact des effectifs sur les performances de croissance de *C. gigas*.

## CONCLUSIONS

En résumé, la modélisation de l'écosystème du bassin de Marennes-Oléron a permis de mettre en évidence :

. La participation non-négligeable des apports de la Charente aux bilans de matière et d'énergie du Bassin.

. Le rôle du phytoplancton dans la mise en place des interactions entre le stock de mollusques et leur performances de croissance.

. L'importance de la dimension spatiale du Bassin, comme en témoigne la variabilité des réponses perçues au niveau de la production primaire et de celle des huîtres.

. L'impact déterminant de l'hydrodynamisme sur l'ensemble des processus biologiques considérés.

Des conclusions qui ne peuvent toutefois être tenues comme définitives aux regards des simplifications, des biais, et des imprécisions que comporte le modèle. Le problème inhérent au schéma de résolution de la courantologie (accélération du transit effectif des masses d'eau) constitue notamment une entrave sérieuse à sa validation. Il en va de même pour les cycles vives-eaux/mortes-eaux de matière particulaire dont la mauvaise représentation de l'amplitude de variation est de nature à fausser la forme effective des interactions entre les différents compartiments de la chaîne alimentaire.

L'absence ou le manque de données sur les variabilités spatiales et temporelles est également une source d'incertitude sur la validité du modèle. La qualité des simulations de la chlorophylle et des autres composants de la chaîne alimentaire pélagique ne pourra être définitivement établie tant que les conditions hydrobiologiques aux limites du modèle ne seront pas clairement définies, étant donné la sensibilité du modèle aux apports de Charente (voir le chapitre sur les effets du débit de la Charente) et d'Antioche (résultats non communiqués), et tant que les résultats des simulations ne seront pas confrontés aux mesures, en d'autres points du Bassin.

L'incertitude sur la forme des lois physiologiques et biologiques et l'imprécision sur la valeur des coefficients qui leur sont inhérents sont des composantes implicites des modèles d'écosystème (généralement caractérisés par un grand nombre de variables d'état). Outre le caractère empirique de certaines lois, les paramètres sont, pour la plus part, des entités abstraites dont la valeur est dépendante des échelles considérées et du niveau d'abstraction des variables d'état du modèle (Klepper et Scholten, 1988). De telles approximations nécessitent généralement une analyse de la sensibilité du modèle aux valeurs des différents paramètres (Fedra et al., 1981 ; di Toro et al., 1975) afin d'être en mesure de déterminer les points critiques et la robustesse du modèle (Swartzman et Kaluzni, 1987). Une telle analyse ne constitue pas une priorité pour le modèle de Marennes-Oléron. Dans sa forme actuelle, le modèle courantologique conditionne fortement les réponses du modèle biologique et en sous-estimerait par conséquence la sensibilité aux paramètres.

L'amélioration du modèle de Marennes-Oléron repose sur 4 axes de recherche.

1. La mise au point d'un modèle courantologique fiable. La résolution des problèmes de diffusivité numérique n'implique pas nécessairement l'abandon des modèles en boîtes au profit des outils plus précis, mais coûteux, développés par les hydrauliciens. Des améliorations peuvent être apportées à partir d'une réflexion sur la cohérence des échelles spatiales et temporelles et sur les schémas de calculs appropriés.

2. La représentation plus réaliste des variations temporelles et spatiales des concentrations particulières. Outre le fait que le modèle n'est pas en mesure de reproduire correctement le signal dans sa composante liée au cycle de marée, il ne prend pas en compte les perturbations induites par les phénomènes climatiques accidentels (le vent, principalement) et la variation des régimes de la Charente (qui perturbent la circulation des masses d'eau et le transport particulière (Bacher, 1989). La mise en place d'un modèle sédimentaire devrait permettre d'intégrer de manière explicite différentes sources de variabilité du milieu (voir chapitre suivant).

3. L'acquisition de données sur le terrain. Il est apparu que les stratégies d'échantillonnage mise en place pour aborder la problématique des mollusques ne s'adaptent pas toujours aux exigences du modèle de production



primaire (au moins sur un plan spatial). Cette action pourrait également concerner le phytobenthos. Des mesures spécifiques réalisées sur le phytoplancton ont en effet révélé que les diatomées benthiques expliquaient pour une bonne part les teneurs chlorophylliennes dans les secteurs peu profonds du Bassin (Héral et al., com. pers.). L'ajout d'un telle variable dans le modèle est pour cette raison souhaitable.

4. Extension et précision du modèle trophique. Des maillons et des processus de la chaîne alimentaire ont été ignorés pour certains ou insuffisamment précisés pour d'autres. Le cas du phytobenthos a été précédemment évoqué. Du point de vue des espèces compétitrices des huîtres, l'intégration des données de Sautour (com. pers.) sur le zooplancton et celle de Sauriau (1984) sur les mollusques filtreurs sauvages au niveau du modèle devrait permettre d'en hiérarchiser l'importance. L'excrétion des mollusques, qui est une fonction croissante de la température, enrichit le Bassin en azote minéral en été lorsque les apports de Charente sont minimum (débit d'étiage) (Héral, com. pers.). Ce mécanisme est donc susceptible d'influer sur l'estimation de la capacité biotique du Bassin et devra être pris en compte par le modèle.

CHAPITRE V

**ETUDE DES VASES ET DES BIODEPOTS  
DE MARENNES-OLERON**

CARACTERISTIQUES SEDIMENTOLOGIQUES

Contrat IFREMER n°91 5 526010

Référence CREOCEAN n°17999



NOVEMBRE 1991

## 1. BUT DE L'ETUDE ET METHODOLOGIE

La présente étude est réalisée afin de préciser les caractéristiques des sédiments du bassin de Marennes-Oléron.

Cinq types sédimentaires ont été choisis d'après la cartographie établie par *Sauriau et al* (1989):

- Type 1: Sable hétérogène envasé (SHV)
- Type 2: Vase pure (VV)
- Type 3: Sable fin (SF)
- Type 4: Sable fin envasé (FV)
- Type 5: Vase sableuse (VS)

Pour chaque type, 4 prélèvements ont été effectués, dont un directement sous les tables ostréicoles.

Les analyses réalisées sur chaque échantillon sont les suivantes:

- Teneur en eau, ainsi que les paramètres associés (porosité, densité, matière sèche) par pesée d'un volume précis de sédiment humide, puis séché pendant 24 heures à 80°C

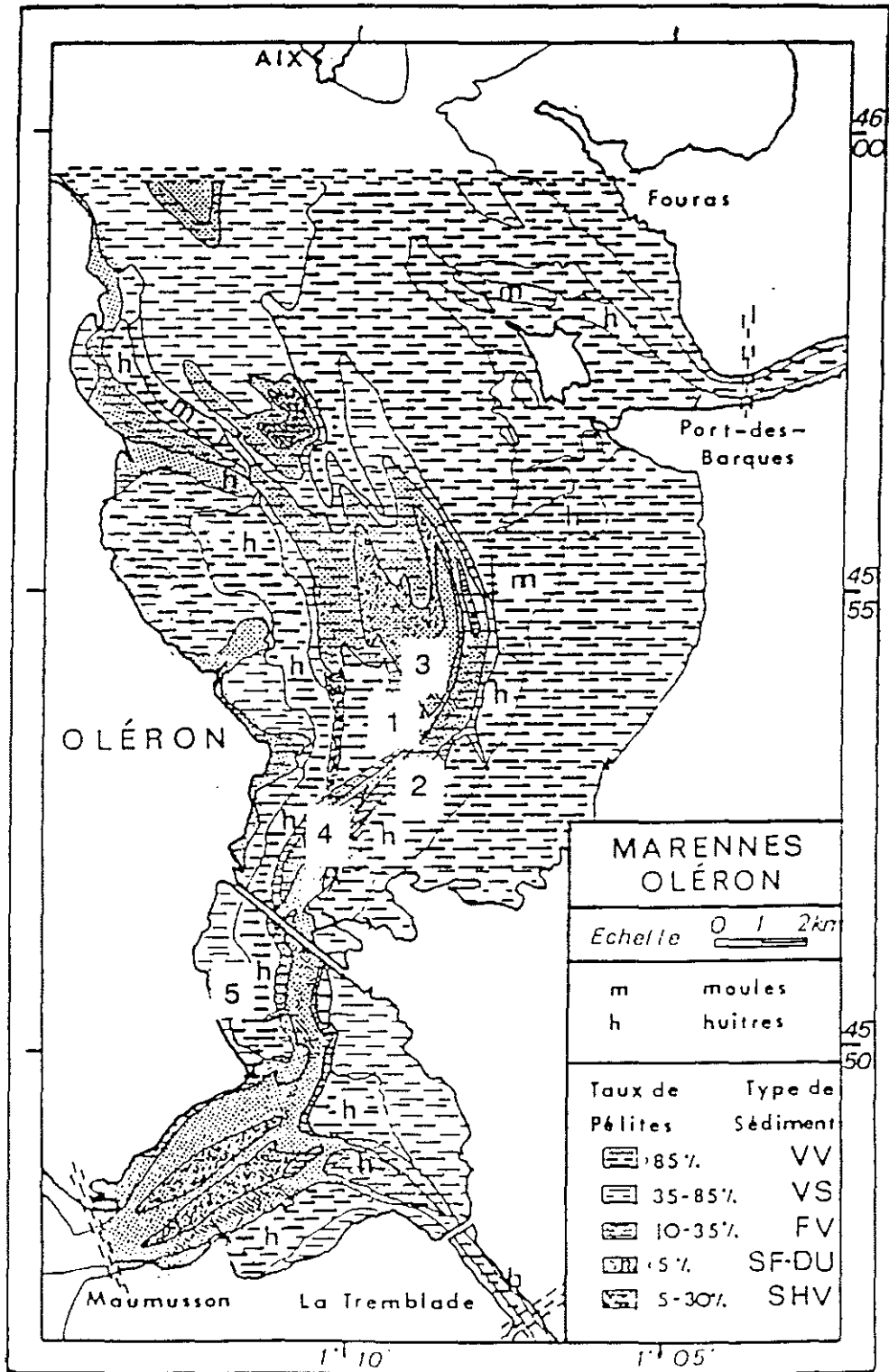
- Carbonates par mesure du CO<sub>2</sub> dégagé après acidification du sédiment selon la méthode du calcimètre BERNARD

- Matières organiques totales par perte au feu à 550°C pendant 4 heures

- Granulométrie après lavage sur tamis de 63µm pour séparer la fraction fine (vase) des sables, ces derniers sont tamisés sur une colonne de 10 tamis

# LOCALISATION DES SEDIMENTS PRELEVES

(d'après SAURIAU et al., 1989)



1..BANC DE MORTANNE 2..BANC DE CHARRET 3..BANC DE LAMOUREUX

4..BANC DAGNAS 5..SAINT TROJAN

## 2. LOCALISATIONS DES SEDIMENTS PRELEVES

### Références 1:

Banc de Mortane: 1-1 , 1-2 , 1-3 et 1-4 (sous tables ostréicoles)

Type de sédiment: SHV

### Références 2:

Banc de Charret: 2-1 , 2-2 , 2-3 et 2-4 (sous tables ostréicoles vers le fort)

Type de sédiment: VV

### Références 3:

Banc de Lamouroux: 3-1 , 3-2 , 3-3 et 3-4 (sous tables ostréicoles, peu de biodépôts visibles)

Type de sédiment: SF

### Références 4:

Banc Dagnas: 4-1 , 4-2 , 4-3 et 4-4 (sous tables ostréicoles)

Type de sédiment: FV

### Références 5:

Estran de Saint-Trojan: 5-1 , 5-2 , 5-3 (pas de tables ostréicoles)

Type de sédiment: VS

### 3. RESULTATS D'ANALYSES

#### 3.1 Teneurs en eau

Les échantillons prélevés sur le banc de Charret (type VV) montrent des teneurs en eau élevées (entre 120 et 160% par rapport au poids sec). Les autres échantillons sont inférieurs à 100%.

On note que les sédiments prélevés sous les tables ostréicoles sont systématiquement plus riches en eau.

#### 3.2 Carbonates

Les teneurs en carbonates de calcium sont de l'ordre de 4% pour les échantillons prélevés sur le banc de Mortane (type SHV), sur le banc de Charret (Type VV) et le banc de Dagnas (type FV). Pour les échantillons prélevés sur le banc Lamouroux (type SF) et à St Trojan (type VS), les teneurs ne dépassent pas 3%.

#### 3.3 Matières organiques totales

Hormis les échantillons prélevés sur le banc de Charret (type VV) qui présentent des valeurs élevées (supérieures à 10% de matières organiques par rapport au poids sec), les teneurs sont en moyenne inférieures à 6%.

#### 3.4 Granulométrie

Les résultats d'analyses granulométriques correspondent bien à la typologie prévue:

- Banc de Mortane (Ref MOL1): Sable hétérogène envasé, avec un sable grossier ayant un Q50 compris entre 0.454mm et 0.915mm, enrichi en vase jusqu'à 50% sous les tables.

- Banc de Charret (Ref MOL2): Vase pure avec plus de 89% de fraction fine inférieure à 63 $\mu$ m.

TABLEAU RECAPITULATIF DES  
RESULTATS D'ANALYSES

REF	TEN. EAU % sec	DENSITE	POROSITE	MATIERE ORGANIQUE	CAC03	GRANULOMETRIE % VASE	Q50 mm
MOL1-1	31	1.99	0.47	7.31	4.2	20.2	0.471
MOL1-2	34	1.54	0.39	8.09	4.2	35.4	0.915
MOL1-3	13	1.35	0.15	1.22	3.7	0.3	0.733
MOL1-4	93	1.57	0.76	9.52	3.8	50.0	0.454
MOL2-1	121	1.42	0.78	8.99	4.3	89.0	-
MOL2-2	164	1.36	0.85	10.05	3.6	97.3	-
MOL2-41	140	1.37	0.80	12.64	4.5	96.9	-
MOL2-42	159	1.54	0.94	12.57	4.5	95.4	-
MOL3-1	22	1.95	0.36	1.44	1.5	3.2	0.284
MOL3-2	28	2.09	0.46	1.30	2.1	0.3	0.353
MOL3-3	44	1.78	0.55	3.78	3.7	24.2	0.159
MOL3-4	25	2.12	0.42	1.59	2.4	4.4	0.284
MOL4-1	32	1.96	0.48	1.64	4.2	15.5	0.173
MOL4-2	39	1.91	0.53	2.82	4.6	21.5	0.167
MOL4-3	38	1.96	0.54	3.11	4.2	21.5	0.173
MOL4-4	61	1.80	0.68	5.12	2.8	39.0	0.179
MOL5-1	42	1.86	0.55	4.18	2.1	20.4	0.244
MOL5-2	27	1.97	0.42	3.39	2.3	16.6	0.255
MOL5-3	65	1.69	0.67	6.45	4.3	52.4	0.217

- Banc de Lamouroux (Ref MOL3): Sable fin à moyen ayant un Q50 compris entre 0.159 et 0.353mm. La proportion de vase est inférieure à 5%, sauf pour l'échantillon, où elle atteint 24%.

- Banc Dagnas (Ref MOL4): Sable fin envasé ayant un Q50 compris entre 0.167 et 0.179mm et un pourcentage de vase entre 15.5 et 21.5% hors des cultures d'huîtres. L'échantillon prélevé sous les tables ostréicoles présente 39% de fraction fine (vase < 63 $\mu$ m).

- Saint-Trojan (Ref MOL5): Vase sableuse avec un sable moyen ayant un Q50 compris entre 0.217 et 0.255mm et un pourcentage de vase entre 16.6 et 52.4%.

Ce dernier type de sédiment se différencie du précédent par la présence d'un sable un peu plus grossier

#### 4. CONCLUSIONS

Les sédiments prélevés dans le Bassin de Marennes-Oléron sont bien caractéristiques des 5 types mis en évidence par les études précédentes (*Sauriau et al., 1989.*).

Les paramètres analysés sont étroitement liés à la présence des vases. Ainsi, les échantillons prélevés sur le banc de Charret avec un très fort pourcentage de vase (> 89%) sont aussi les plus riches en matières organiques. De même, ils présentent les plus fortes teneurs en eau.

La présence des tables ostréicoles semble avoir une influence sur l'augmentation des dépôts de fraction fine sous les tables, accompagnée des modifications de qualité des sédiments sous-jacents.



## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

**SAURIAU P.G, et al. (1989):** Organisation trophique de la malacofaune benthique non cultivée du bassin ostréicole de Marennes-Oléron, *Oceanologica Acta*, 12, 2 : 193-204

## **ANNEXES**

### **COURBES GRANULOMETRIQUES**

DATE:

CEROCÉAN  
Allée des Tamaris  
17000 La Rochelle  
Tel 46 41 13 13  
Fax 46 50 51 02

## GRANULOMETRIE 12 FRACTIONS

Référence de l'échantillon: M011.1			Référence de l'échantillon: M011.2			Référence de l'échantillon: M011.3		
Poids brut prise d'essai :	101.6	100.0%	Poids brut prise d'essai :	107.5	100.0%	Poids brut prise d'essai :	101.1	100.0%
Poids brut GR + Sable :	81.1	79.8%	Poids brut GR + Sable :	69.4	64.6%	Poids brut GR + Sable :	100.8	99.7%
Poids des graviers (>2mm) :	16.1	15.8%	Poids des graviers (>2mm) :	30.7	28.6%	Poids des graviers (>2mm) :	27.1	26.8%
Poids du sable (63µm-2mm) :	65.0	64.0%	Poids du sable (63µm-2mm) :	38.7	36.0%	Poids du sable (63µm-2mm) :	73.7	72.9%
Poids Fraction Fine(<63µm)	20.5	20.2%	Poids Fraction Fine(<63µm)	38.1	35.4%	Poids Fraction Fine(<63µm)	0.3	0.3%
Mode = 0.315	grain moyen= 0.64		Mode = 1.25	grain moyen= 0.92		Mode = 0.5	grain moyen= 0.92	
P16 = 1.025			P16 = 1.661			P16 = 1.462		
P25 = Q1= 0.759	classement= 0.38		P25 = Q1= 1.470	classement= 0.74		P25 = Q1= 1.195	classement= 0.54	
P50 = Q2= 0.471			P50 = Q2= 0.915			P50 = Q2= 0.733		
P75 = Q3= 0.309	triage = 1.57		P75 = Q3= 0.304	triage = 2.20		P75 = Q3= 0.452	triage = 1.63	
P84 = 0.257	(sorting de Trask)		P84 = 0.183	(sorting de Trask)		P84 = 0.373	(sorting de Trask)	
	asymétrie = 2.37			asymétrie = 0.29			asymétrie = 2.16	
	(skewness)			(skewness)			(skewness)	

REF.: M011.1

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2	16.1	15.8%	Graviers
1.25	22.7	6.5%	10.2%
0.8	30.3	7.5%	21.8%
0.5	45.7	15.2%	45.5%
0.315	64.2	18.2%	74.0%
0.2	77.1	12.7%	93.8%
0.16	78.3	1.2%	95.7%
0.125	79.3	1.0%	97.2%
0.1	80.6	1.3%	99.2%
0.08	80.8	0.2%	99.5%
0.063	81	0.2%	99.8%
<0, 063	101.5	20.2%	Fraction Fine

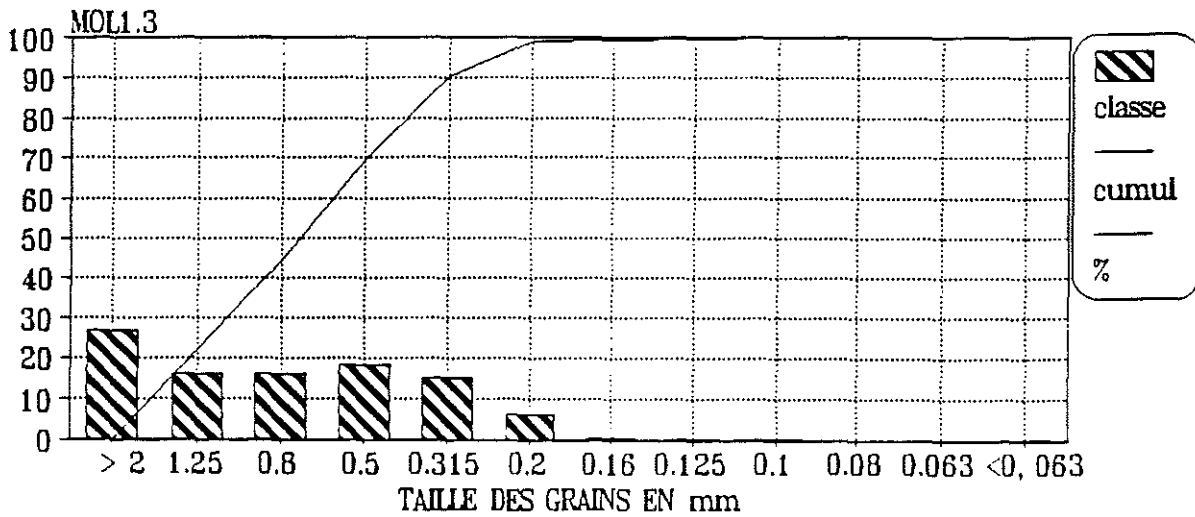
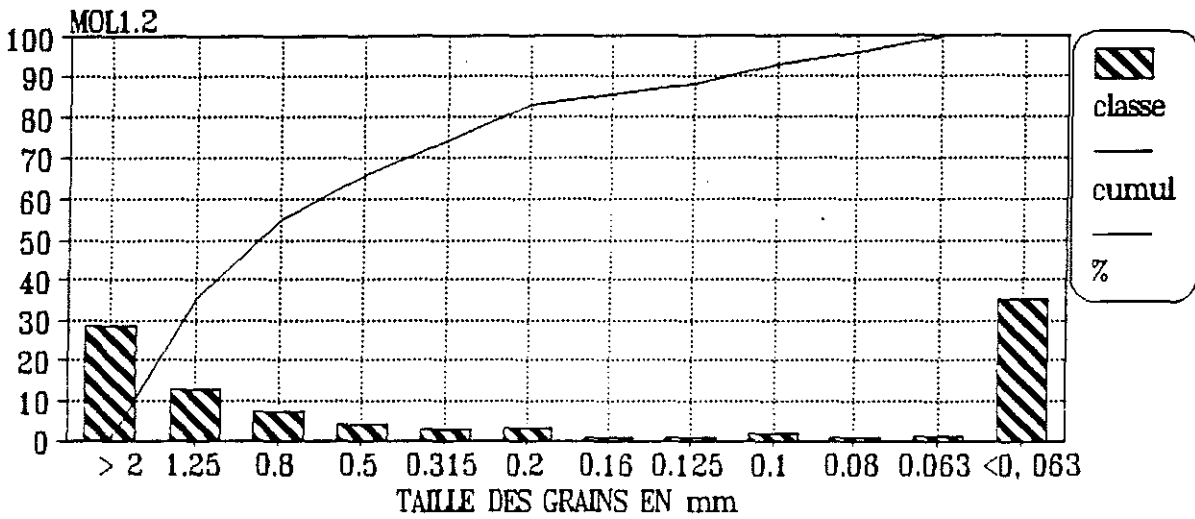
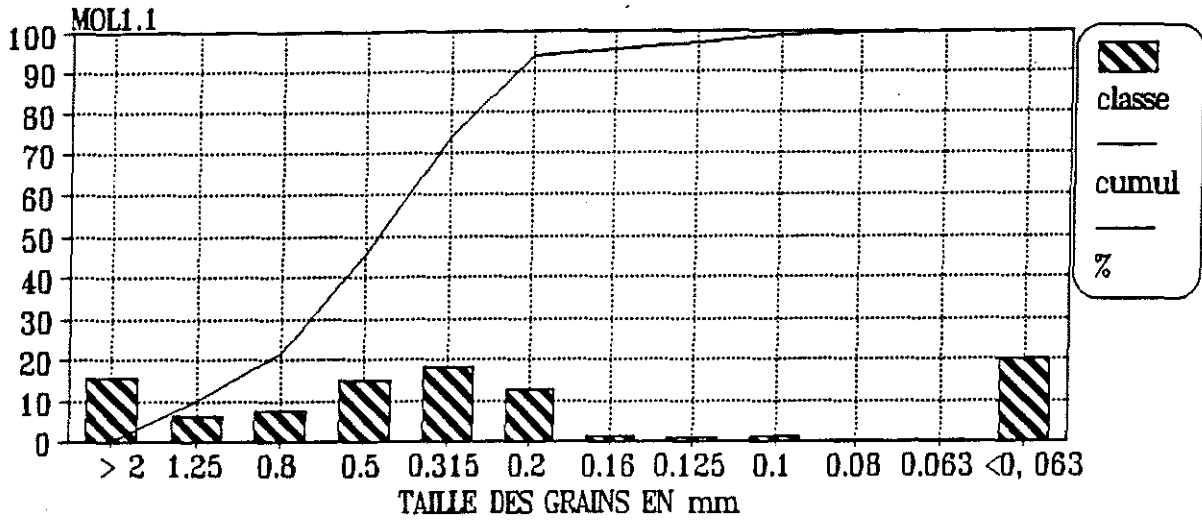
REF.: M011.2

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2	30.7	28.6%	Graviers
1.25	44.4	12.7%	35.4%
0.8	52	7.1%	55.0%
0.5	56.2	3.9%	65.9%
0.315	59.4	3.0%	74.2%
0.2	62.8	3.2%	82.9%
0.16	63.8	0.9%	85.5%
0.125	64.8	0.9%	88.1%
0.1	66.7	1.8%	93.0%
0.08	67.8	1.0%	95.9%
0.063	69.2	1.3%	99.5%
<0, 063	107.3	35.4%	Fraction Fine

REF.: M011.3

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2	27.1	26.8%	Graviers
1.25	43.5	16.2%	22.3%
0.8	59.8	18.1%	44.4%
0.5	78.4	18.4%	69.8%
0.315	93.8	15.2%	90.5%
0.2	100.1	6.2%	99.1%
0.16	100.5	0.4%	99.6%
0.125	100.8	0.1%	99.7%
0.1	100.7	0.1%	99.9%
0.08	100.7	0.0%	99.9%
0.063	100.7	0.0%	99.9%
<0, 063	101	0.3%	Fraction Fine

# GISEMENT MARENNES OLERON COURBES GRANULOMETRIQUES



DATE:

CREOCEAN

Allée des Tamaris  
17000 La Rochelle  
Tel 48 41 13 13  
Fax 48 50 51 02

## GRANULOMETRIE 12 FRACTIONS

Référence de l'échantillon: M011.4

Poids brut prise d'essai :	102.6	100.0%
Poids brut GR + Sable :	51.3	50.0%
Poids des graviers (>2mm) :	9.3	9.1%
Poids du sable (63µm-2mm) :	42.0	40.9%
Poids Fraction Fine(<63µm) :	51.3	50.0%

Mode =	0.315	grain moyen=	0.70
P16 =	1.241		
P25 = Q1=	0.957	classement=	0.54
P50 = Q2=	0.454		
P75 = Q3=	0.232	triage =	2.03
P84 =	0.152	(sorting de Trask)	
		asymétrie =	2.23
		(skewness)	

REF.: M011.4

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2	9.3	9.1%	Graviers
1.25	15.9	6.4%	15.7%
0.8	21.9	5.8%	30.0%
0.5	28.5	6.4%	45.7%
0.315	35.8	7.1%	63.1%
0.2	42.7	6.7%	79.5%
0.16	44.2	1.5%	83.1%
0.125	45.9	1.7%	87.1%
0.1	47.9	1.9%	91.9%
0.08	49	1.1%	94.5%
0.063	51.1	2.0%	99.5%
<0, 063	102.4	50.0%	Fraction Fine

Référence de l'échantillon: M012.1

Poids brut prise d'essai :	102.4	100.0%
Poids brut GR + Sable :	11.3	11.0%
Poids des graviers (>2mm) :	0.0	0.0%
Poids du sable (63µm-2mm) :	11.3	11.0%
Poids Fraction Fine(<63µm) :	91.1	89.0%

Mode =		grain moyen=	ERR
P16 =	ERR		
P25 = Q1=	ERR	classement=	ERR
P50 = Q2=	ERR		
P75 = Q3=	ERR	triage =	ERR
P84 =	ERR	(sorting de Trask)	
		asymétrie =	ERR
		(skewness)	

REF.: M012.1

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2		0.0%	Graviers
1.25		0.0%	0.0%
0.8		0.0%	0.0%
0.5		0.0%	0.0%
0.315		0.0%	0.0%
0.2		0.0%	0.0%
0.16		0.0%	0.0%
0.125		0.0%	0.0%
0.1		0.0%	0.0%
0.08		0.0%	0.0%
0.063		0.0%	0.0%
<0, 063	91.1	89.0%	Fraction Fine

Référence de l'échantillon: M012.2

Poids brut prise d'essai :	104.8	100.0%
Poids brut GR + Sable :	7.5	7.2%
Poids des graviers (>2mm) :	0.0	0.0%
Poids du sable (63µm-2mm) :	7.5	7.2%
Poids Fraction Fine(<63µm) :	97.3	92.8%

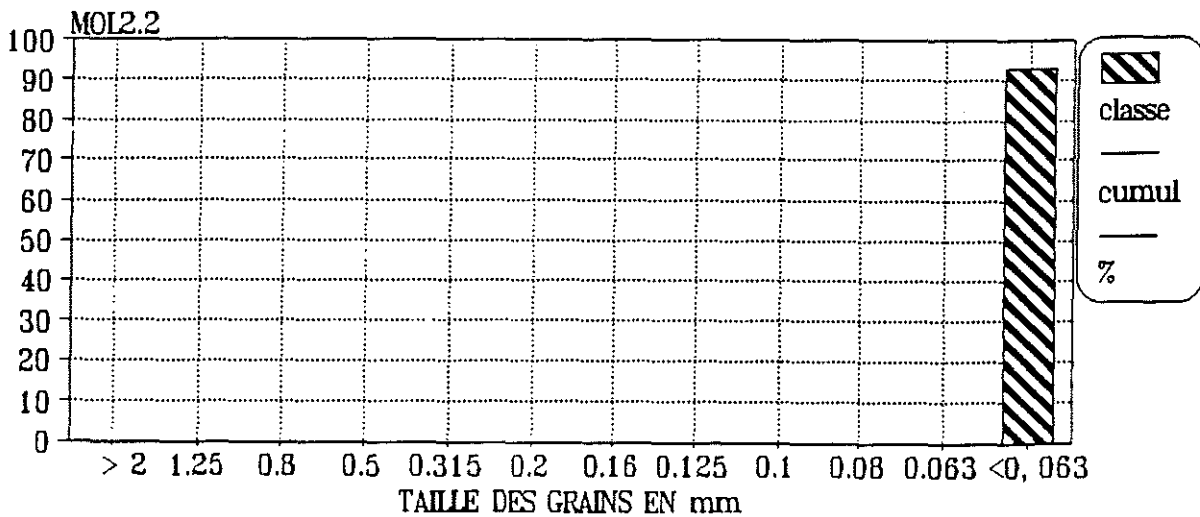
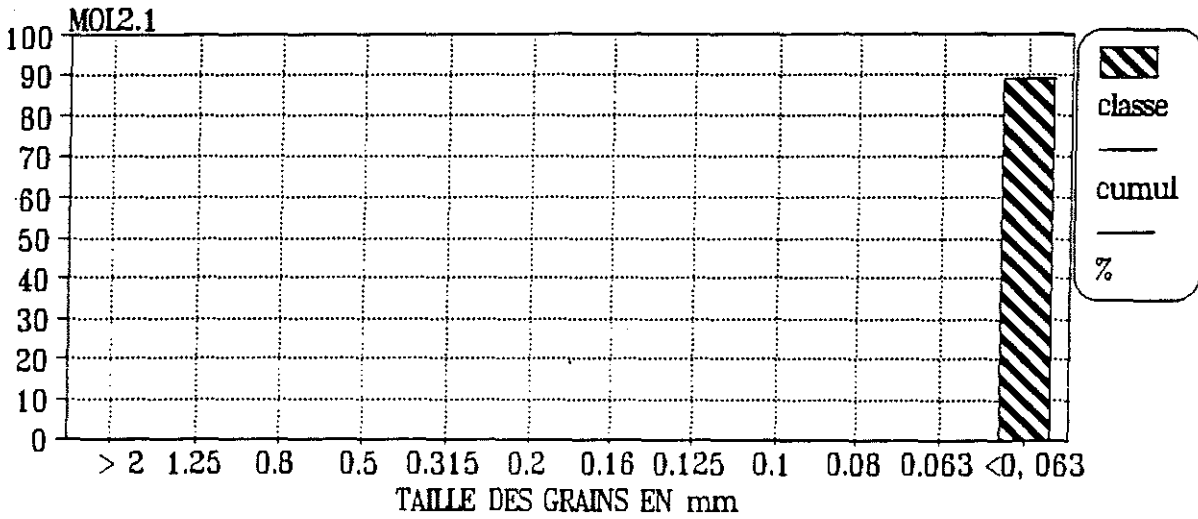
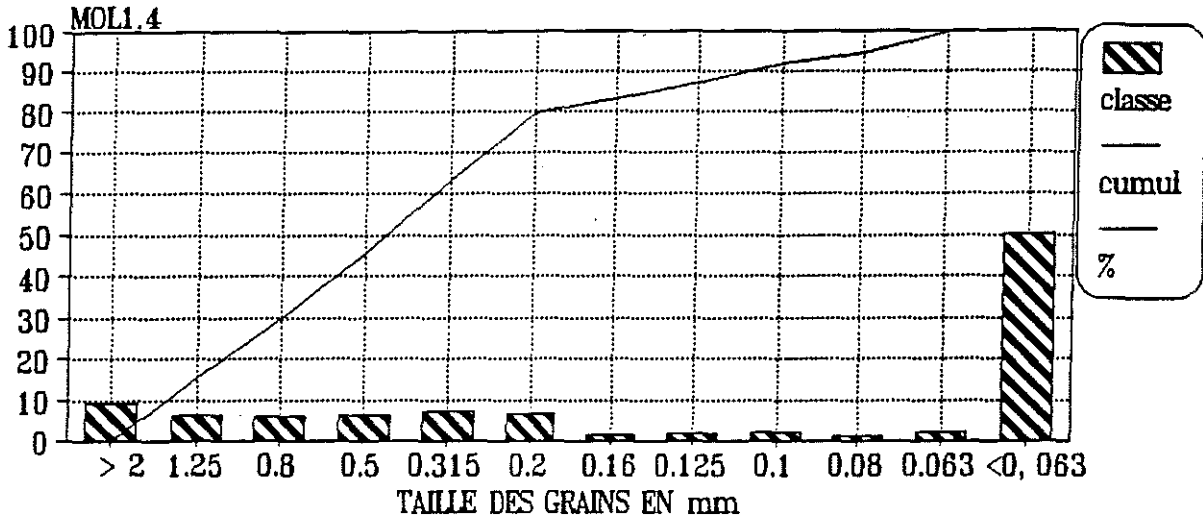
Mode =		grain moyen=	ERR
P16 =	ERR		
P25 = Q1=	ERR	classement=	ERR
P50 = Q2=	ERR		
P75 = Q3=	ERR	triage =	ERR
P84 =	ERR	(sorting de Trask)	
		asymétrie =	ERR
		(skewness)	

REF.: M012.2

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2		0.0%	Graviers
1.25		0.0%	0.0%
0.8		0.0%	0.0%
0.5		0.0%	0.0%
0.315		0.0%	0.0%
0.2		0.0%	0.0%
0.16		0.0%	0.0%
0.125		0.0%	0.0%
0.1		0.0%	0.0%
0.08		0.0%	0.0%
0.063		0.0%	0.0%
<0, 063	97.3	92.8%	Fraction Fine

# GISEMENT MARENNES OLERON

## COURBES GRANULOMETRIQUES



DATE:

CREOCOAN  
Allée des Tamaris  
17000 La Rochelle  
Tel 46 41 13 13  
Fax 46 50 51 02

## GRANULOMETRIE 12 FRACTIONS

Référence de l'échantillon: M012.41

Poids brut prise d'essai :	104.2	100.0%
Poids brut GR + Sable :	3.25	3.1%
Poids des graviers (>2mm) :	0.0	0.0%
Poids du sable (63µm-2mm) :	3.3	3.1%
Poids Fraction Fine(<63µm)	101.0	96.9%

Mode =		grain moyen=	ERR
P16 =	ERR		
P25 = Q1 =	ERR	classement=	ERR
P50 = Q2 =	ERR		
P75 = Q3 =	ERR	triage =	ERR
P84 =	ERR	(sorting de Trask)	
		asymétrie =	ERR
		(skewness)	

REF : M012.41

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2		0.0%	Graviers
1.25		0.0%	0.0%
0.8		0.0%	0.0%
0.5		0.0%	0.0%
0.315		0.0%	0.0%
0.2		0.0%	0.0%
0.16		0.0%	0.0%
0.125		0.0%	0.0%
0.1		0.0%	0.0%
0.08		0.0%	0.0%
0.063		0.0%	0.0%
<0, 063	100.95	96.9%	Fraction Fine

Référence de l'échantillon: M012.42

Poids brut prise d'essai :	102.0	100.0%
Poids brut GR + Sable :	4.67	4.6%
Poids des graviers (>2mm) :	0.0	0.0%
Poids du sable (63µm-2mm) :	4.7	4.6%
Poids Fraction Fine(<63µm)	97.3	95.4%

Mode =		grain moyen=	ERR
P16 =	ERR		
P25 = Q1 =	ERR	classement=	ERR
P50 = Q2 =	ERR		
P75 = Q3 =	ERR	triage =	ERR
P84 =	ERR	(sorting de Trask)	
		asymétrie =	ERR
		(skewness)	

REF : M012.42

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2		0.0%	Graviers
1.25		0.0%	0.0%
0.8		0.0%	0.0%
0.5		0.0%	0.0%
0.315		0.0%	0.0%
0.2		0.0%	0.0%
0.16		0.0%	0.0%
0.125		0.0%	0.0%
0.1		0.0%	0.0%
0.08		0.0%	0.0%
0.063		0.0%	0.0%
<0, 063	97.33	95.4%	Fraction Fine

Référence de l'échantillon: M013.1

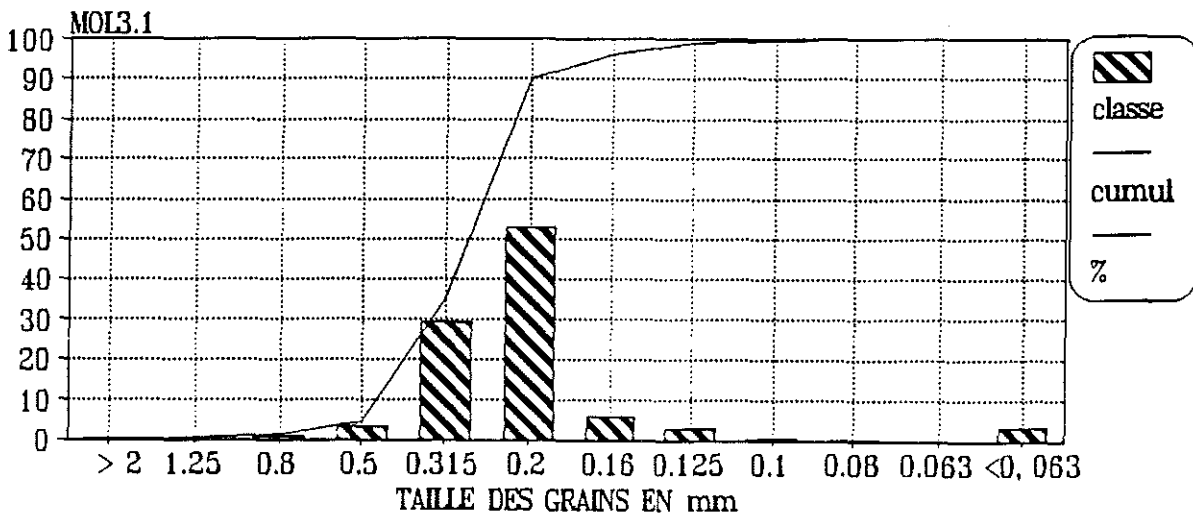
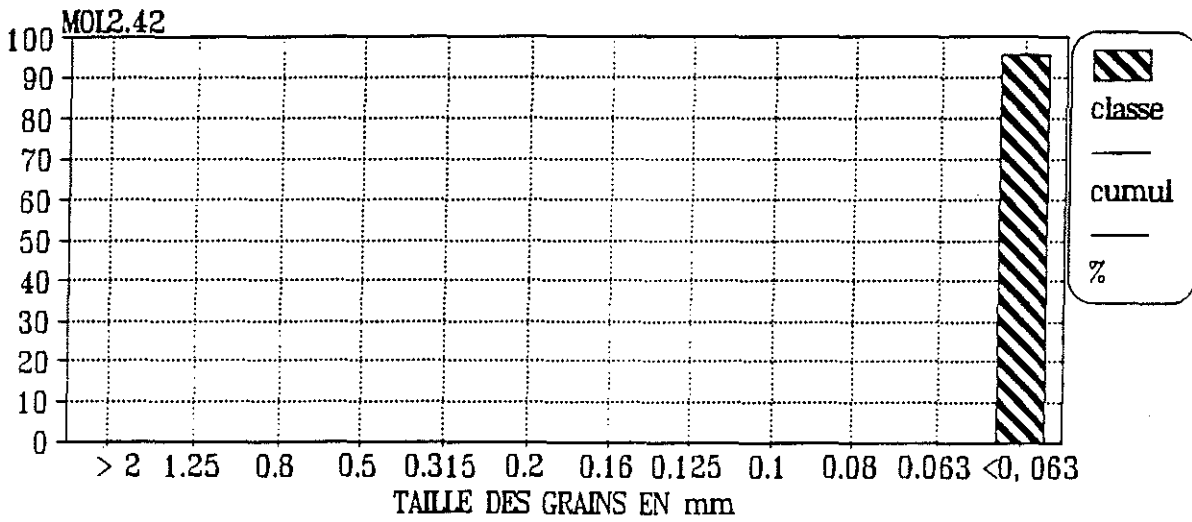
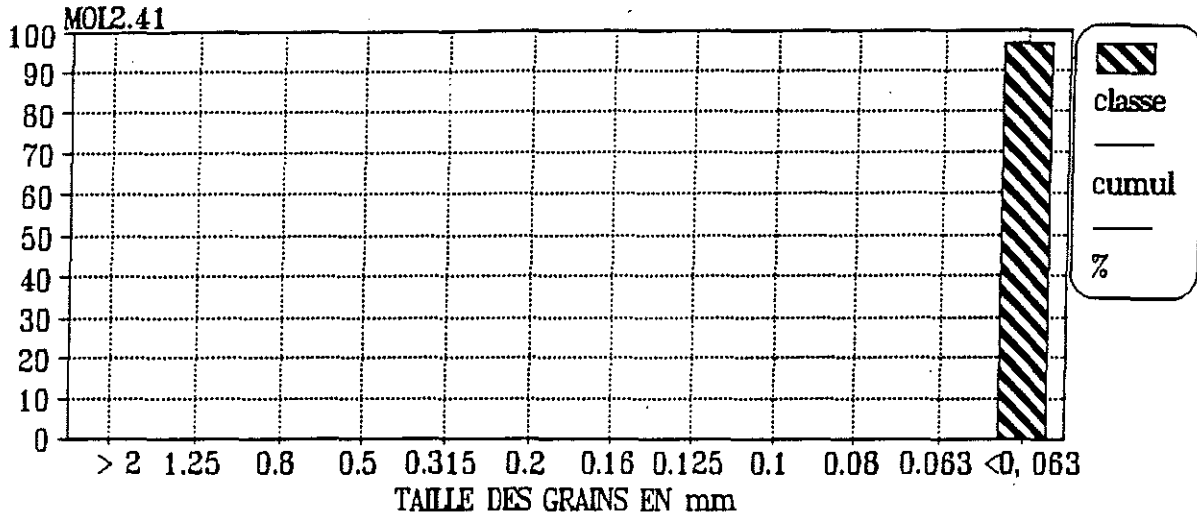
Poids brut prise d'essai :	102.4	100.0%
Poids brut GR + Sable :	99.1	96.8%
Poids des graviers (>2mm) :	0.3	0.3%
Poids du sable (63µm-2mm) :	98.8	96.5%
Poids Fraction Fine(<63µm)	3.3	3.2%

Mode =	0.2	grain moyen=	0.32
P16 =	0.432		
P25 = Q1 =	0.377	classement=	0.11
P50 = Q2 =	0.284		
P75 = Q3 =	0.232	triage =	1.28
P84 =	0.213	(sorting de Trask)	
		asymétrie =	2.19
		(skewness)	

REF : M013.1

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2	0.3	0.3%	Graviers
1.25	0.8	0.5%	0.5%
0.8	1.7	0.9%	1.4%
0.5	5	3.2%	4.8%
0.315	35.2	29.5%	35.3%
0.2	89.3	52.8%	90.1%
0.16	95.3	5.9%	96.2%
0.125	98.2	2.8%	99.1%
0.1	98.8	0.8%	99.7%
0.08	99	0.2%	99.9%
0.063	99	0.0%	99.9%
<0, 063	102.3	3.2%	Fraction Fine

# GISEMENT MARENNES OLERON COURBES GRANULOMETRIQUES





DATE:

CREOCOAN  
Allée des Tamaris  
17000 La Rochelle  
Tél 46 41 13 13  
Fax 46 50 51 02

## GRANULOMETRIE 12 FRACTIONS

Référence de l'échantillon: MO13.2

Poids brut prise d'essai :	103.3	100.0%
Poids brut GR + Sable :	103	99.7%
Poids des graviers (>2mm) :	0.3	0.3%
Poids du sable (63µm-2mm) :	102.7	99.4%
Poids Fraction Fine(<63µm)	0.3	0.3%

Mode =	0.315	grain moyen=	0.36
P16 =	0.487		
P25 = Q1=	0.452	classement=	0.13
P50 = Q2=	0.353		
P75 = Q3=	0.260	triage =	1.32
P84 =	0.228	(sorting de Trask)	
		assymétrie =	1.18
		(skewness)	

REF.: MO13.2

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2	0.3	0.3%	Graviers
1.25	1.9	1.5%	1.6%
0.8	4.8	2.8%	4.4%
0.5	13.3	8.2%	12.7%
0.315	61.7	46.9%	59.8%
0.2	94.5	31.8%	91.7%
0.18	99.7	5.0%	98.8%
0.125	102.2	2.4%	99.2%
0.1	102.9	0.7%	99.9%
0.08	102.9	0.0%	99.9%
0.083	103	0.1%	100.0%
<0, 063	103.3	0.3%	Fraction Fine

Référence de l'échantillon: MO13.3

Poids brut prise d'essai :	104.9	100.0%
Poids brut GR + Sable :	79.5	75.8%
Poids des graviers (>2mm) :	0.1	0.1%
Poids du sable (63µm-2mm) :	79.4	75.7%
Poids Fraction Fine(<63µm)	25.4	24.2%

Mode =	0.125	grain moyen=	0.19
P16 =	0.273		
P25 = Q1=	0.228	classement=	0.08
P50 = Q2=	0.159		
P75 = Q3=	0.129	triage =	1.32
P84 =	0.113	(sorting de Trask)	
		assymétrie =	1.87
		(skewness)	

REF.: MO13.3

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2	0.1	0.1%	Graviers
1.25	0.2	0.1%	0.1%
0.8	0.2	0.0%	0.1%
0.5	0.5	0.3%	0.5%
0.315	6.3	5.5%	7.8%
0.2	23.9	16.6%	30.0%
0.18	39	14.4%	49.0%
0.125	62.8	22.5%	78.7%
0.1	71.2	8.2%	89.5%
0.08	77.4	5.9%	97.4%
0.083	79.5	2.0%	100.0%
<0, 063	104.9	24.2%	Fraction Fine

Référence de l'échantillon: MO13.4

Poids brut prise d'essai :	102.4	100.0%
Poids brut GR + Sable :	97.9	95.8%
Poids des graviers (>2mm) :	0.8	0.8%
Poids du sable (63µm-2mm) :	97.3	95.0%
Poids Fraction Fine(<63µm)	4.5	4.4%

Mode =	0.2	grain moyen=	0.32
P16 =	0.438		
P25 = Q1=	0.385	classement=	0.12
P50 = Q2=	0.284		
P75 = Q3=	0.223	triage =	1.32
P84 =	0.200	(sorting de Trask)	
		assymétrie =	2.15
		(skewness)	

REF.: MO13.4

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2	0.8	0.8%	Graviers
1.25	0.9	0.3%	0.3%
0.8	1.8	0.9%	1.2%
0.5	5	3.1%	4.5%
0.315	37.2	31.4%	37.6%
0.2	82.5	44.2%	84.2%
0.18	90.5	7.8%	92.4%
0.125	98.1	5.5%	98.2%
0.1	97.1	1.0%	99.2%
0.08	97.8	0.5%	99.7%
0.083	97.8	0.2%	99.9%
<0, 063	102.3	4.4%	Fraction Fine

CREOCEAN  
Allée des Tamaris  
17000 La Rochelle  
Tel: 46 41 13 13  
Fax: 46 50 51 02

DATE:

GRANULOMETRIE 12 FRACTIONS

Référence de l'échantillon: MOLA.1

Poids brut prise d'essai :	104.6	100.0%
Poids brut GR + Sable :	88.4	84.5%
Poids des graviers (>2mm) :	1.7	1.6%
Poids du sable (63µm-2mm) :	86.7	82.9%
Poids Fraction Fine(<63µm) :	16.2	15.5%

Mode =	0.16	grain moyen=	0.19
P16 =	0.243		
P25 = Q1=	0.199	classement=	0.06
P50 = Q2=	0.173		
P75 = Q3=	0.145	triage =	1.17
P84 =	0.133	(sorting de Trask)	
		asymétrie =	1.12
		(skewness)	

REF.: MOLA.1

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2	1.7	1.6%	Graviers
1.25	2.4	0.7%	0.8%
0.8	3.1	0.7%	1.6%
0.5	3.5	0.4%	2.1%
0.315	4.2	0.7%	2.9%
0.2	22.4	17.4%	23.9%
0.16	56.2	32.3%	62.9%
0.125	80.1	22.8%	90.4%
0.1	83.7	3.4%	94.8%
0.08	86.7	2.9%	98.0%
0.063	88.4	1.6%	100.0%
<0,063	104.6	15.5%	Fraction Fine

Référence de l'échantillon: MOLA.2

Poids brut prise d'essai :	101.1	100.0%
Poids brut GR + Sable :	79.4	78.5%
Poids des graviers (>2mm) :	1.3	1.3%
Poids du sable (63µm-2mm) :	78.1	77.3%
Poids Fraction Fine(<63µm) :	21.7	21.5%

Mode =	0.16	grain moyen=	0.17
P16 =	0.209		
P25 = Q1=	0.192	classement=	0.04
P50 = Q2=	0.167		
P75 = Q3=	0.140	triage =	1.17
P84 =	0.129	(sorting de Trask)	
		asymétrie =	1.05
		(skewness)	

REF.: MOLA.2

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2	1.3	1.3%	Graviers
1.25	2	0.7%	0.9%
0.8	2.3	0.3%	1.3%
0.5	2.9	0.6%	2.0%
0.315	3.3	0.4%	2.6%
0.2	14.7	11.3%	17.2%
0.16	46	31.0%	57.2%
0.125	69.8	23.5%	87.7%
0.1	76	6.1%	95.6%
0.08	77.2	1.2%	97.2%
0.063	79.2	2.0%	99.7%
<0,063	100.9	21.5%	Fraction Fine

Référence de l'échantillon: MOLA.3

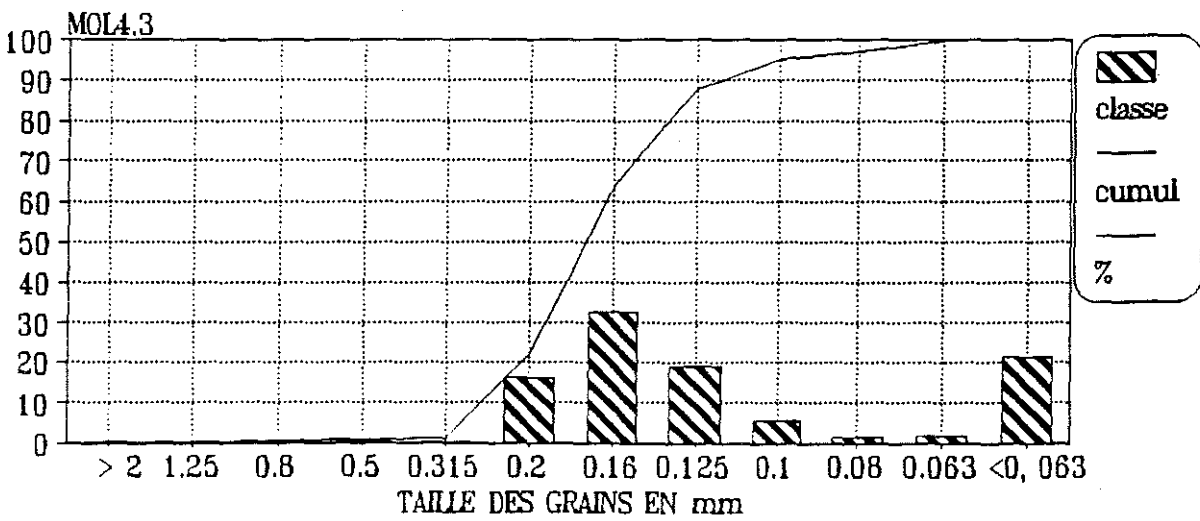
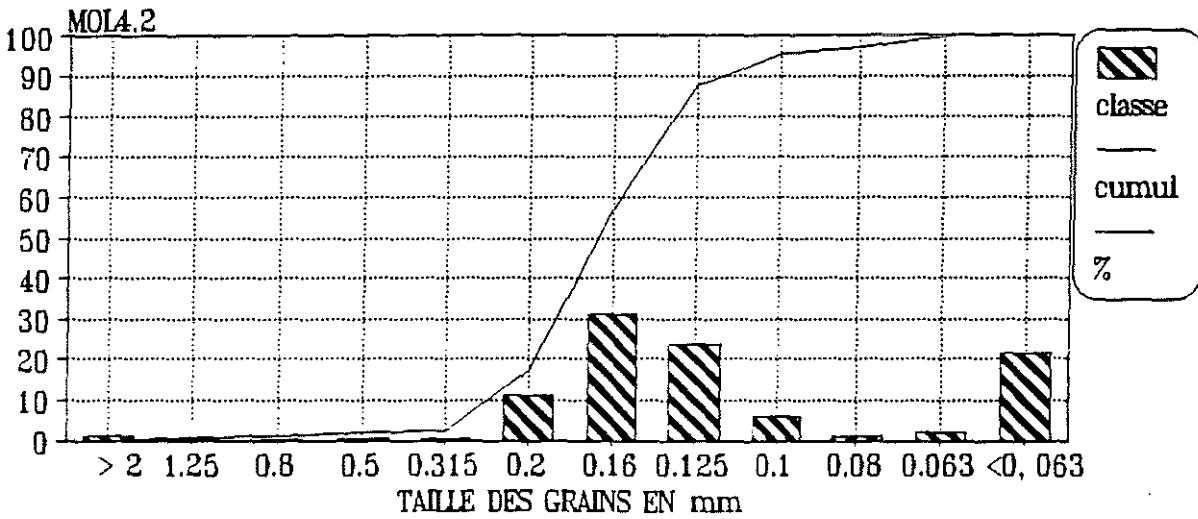
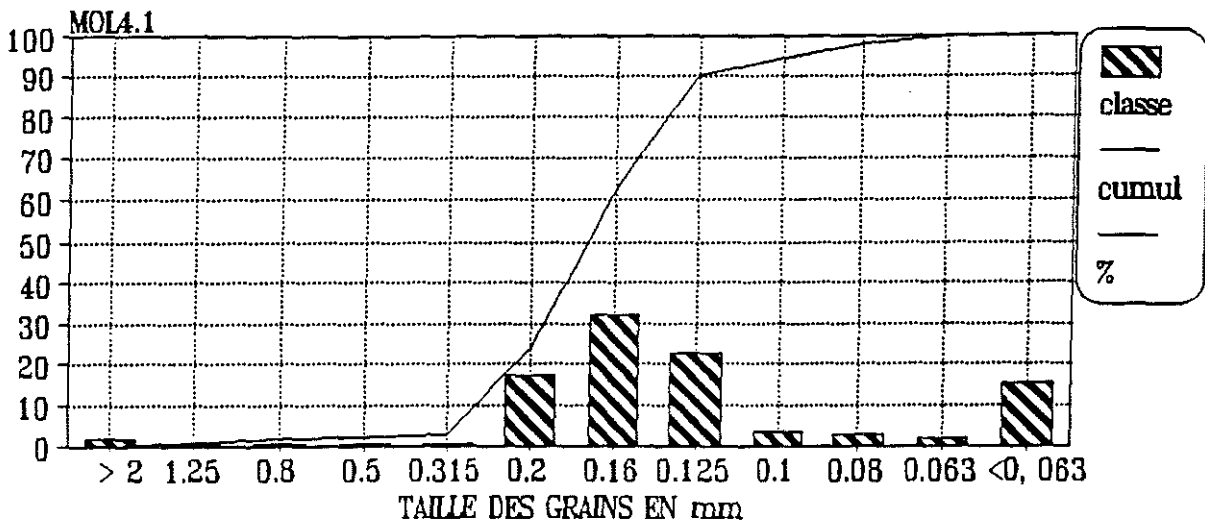
Poids brut prise d'essai :	109.9	100.0%
Poids brut GR + Sable :	86.3	78.5%
Poids des graviers (>2mm) :	0.3	0.3%
Poids du sable (63µm-2mm) :	86.0	78.3%
Poids Fraction Fine(<63µm) :	23.6	21.5%

Mode =	0.16	grain moyen=	0.18
P16 =	0.233		
P25 = Q1=	0.197	classement=	0.05
P50 = Q2=	0.173		
P75 = Q3=	0.144	triage =	1.17
P84 =	0.130	(sorting de Trask)	
		asymétrie =	1.11
		(skewness)	

REF.: MOLA.3

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2	0.3	0.3%	Graviers
1.25	0.8	0.3%	0.3%
0.8	0.9	0.3%	0.7%
0.5	1	0.1%	0.8%
0.315	1.2	0.2%	1.0%
0.2	19.2	16.4%	22.0%
0.16	55	32.6%	63.8%
0.125	75.8	18.9%	87.8%
0.1	82.2	5.8%	95.2%
0.08	83.9	1.5%	97.2%
0.063	86	1.9%	99.7%
<0,063	109.6	21.5%	Fraction Fine

# GISEMENT MARENNES OLERON COURBES GRANULOMETRIQUES



CREDECAN  
Allée des Tamaris  
17000 La Rochelle  
Tél: 46 41 13 13  
Fax: 46 50 51 02

DATE:

GRANULOMETRIE 12 FRACTIONS

Référence de l'échantillon: MO14.4

Poids brut prise d'essai :	102.9	100.0%
Poids brut GR + Sable :	82.8	81.0%
Poids des graviers (>2mm) :	0.1	0.1%
Poids du sable (63µm-2mm) :	62.7	60.9%
Poids Fraction Fine(<63µm) :	40.1	39.0%

Mode =	0.16	grain moyen=	0.19
P16 =	0.258		
P25 = Q1=	0.224	classement=	0.07
P50 = Q2=	0.179		
P75 = Q3=	0.144	triage =	1.25
P84 =	0.125	(sorting de Trask)	
		asymétrie =	1.26
		(skewness)	

REF.: MO14.4

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2	0.1		0.1% Graviers
1.25	0.2	0.1%	0.2%
0.8	0.2	0.0%	0.2%
0.5	0.3	0.1%	0.3%
0.315	0.7	0.4%	1.0%
0.2	19.7	18.5%	31.3%
0.16	42.3	22.0%	67.3%
0.125	52.9	10.3%	84.2%
0.1	58	5.0%	92.3%
0.08	59.5	1.5%	94.7%
0.063	62.5	2.9%	99.5%
<0, 063	102.8		39.0% Fraction Fine

Référence de l'échantillon: MO15.1

Poids brut prise d'essai :	102.8	100.0%
Poids brut GR + Sable :	81.8	79.6%
Poids des graviers (>2mm) :	7.8	7.6%
Poids du sable (63µm-2mm) :	74.0	72.0%
Poids Fraction Fine(<63µm) :	21.0	20.4%

Mode =	0.2	grain moyen=	0.24
P16 =	0.309		
P25 = Q1=	0.292	classement=	0.07
P50 = Q2=	0.244		
P75 = Q3=	0.195	triage =	1.22
P84 =	0.166	(sorting de Trask)	
		asymétrie =	1.42
		(skewness)	

REF.: MO15.1

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2	7.8		7.6% Graviers
1.25	9	1.2%	1.6%
0.8	9.9	0.9%	2.8%
0.5	11.4	1.5%	4.9%
0.315	17.1	5.5%	12.6%
0.2	62.3	44.0%	73.6%
0.16	71.4	8.9%	85.9%
0.125	74.7	3.2%	90.4%
0.1	77.4	2.6%	94.1%
0.08	79.8	2.3%	97.3%
0.063	81.8	1.9%	100.0%
<0, 063	102.8		20.4% Fraction Fine

Référence de l'échantillon: MO15.2

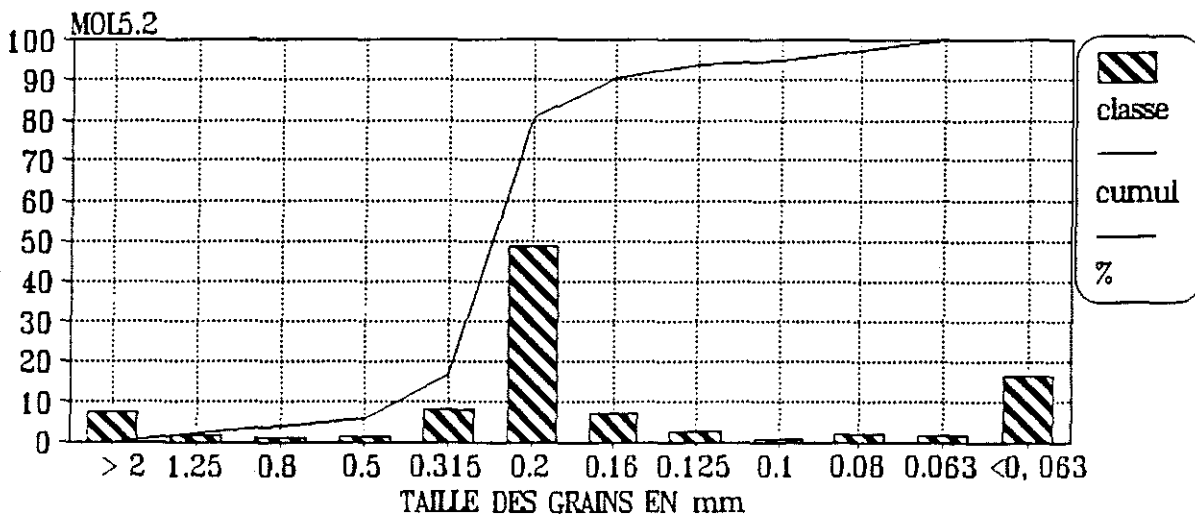
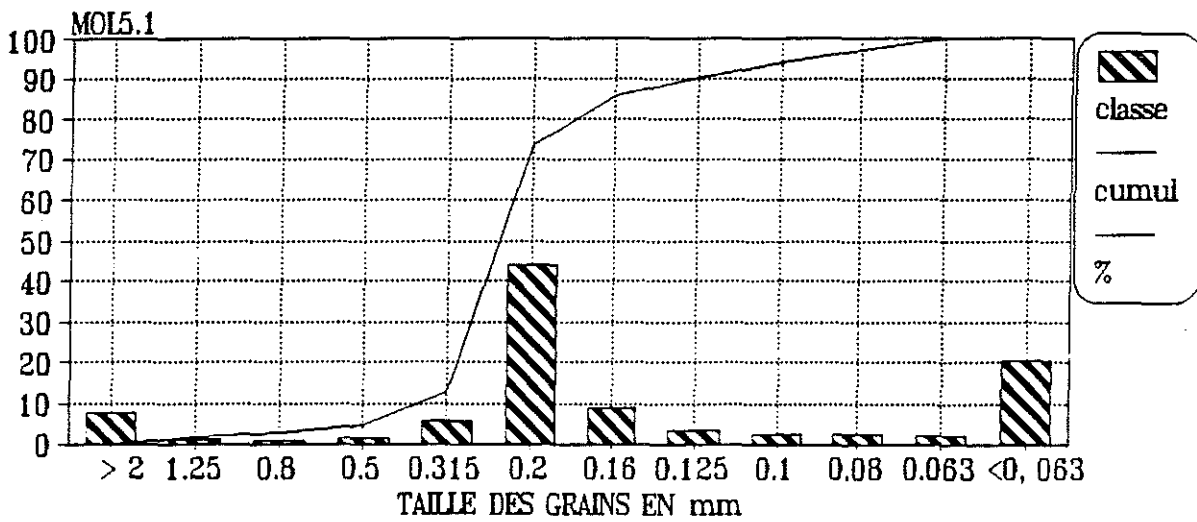
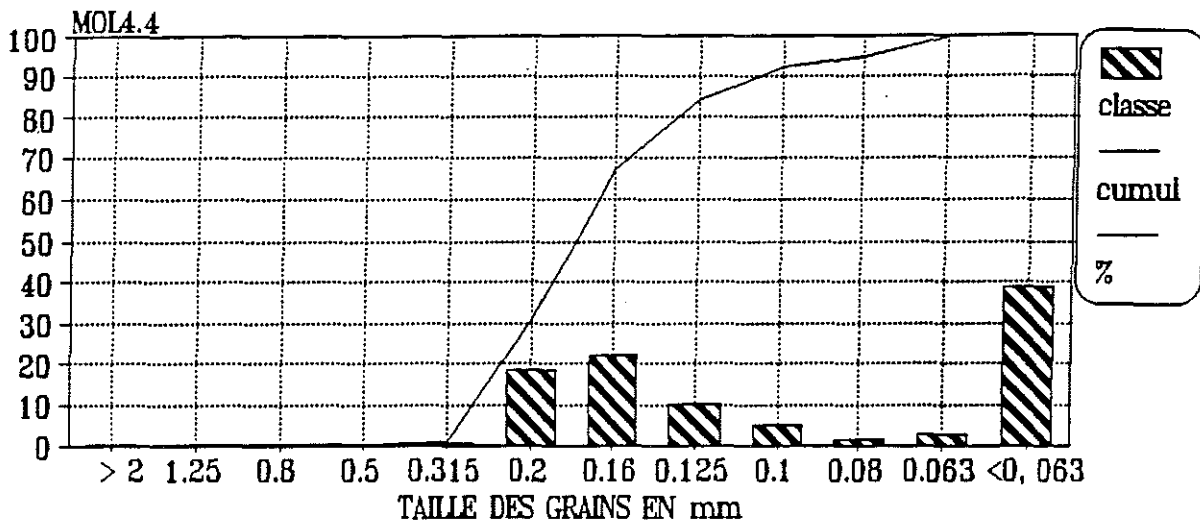
Poids brut prise d'essai :	104.9	100.0%
Poids brut GR + Sable :	87.5	83.4%
Poids des graviers (>2mm) :	7.9	7.5%
Poids du sable (63µm-2mm) :	79.8	75.9%
Poids Fraction Fine(<63µm) :	17.4	16.6%

Mode =	0.2	grain moyen=	0.26
P16 =	0.327		
P25 = Q1=	0.300	classement=	0.07
P50 = Q2=	0.255		
P75 = Q3=	0.211	triage =	1.19
P84 =	0.187	(sorting de Trask)	
		asymétrie =	1.58
		(skewness)	

REF.: MO15.2

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2	7.9		7.5% Graviers
1.25	9.8	1.8%	2.4%
0.8	11	1.1%	3.9%
0.5	12.6	1.5%	5.9%
0.315	21.2	8.2%	16.7%
0.2	72.3	48.7%	80.9%
0.16	79.8	7.1%	90.3%
0.125	82.7	2.8%	94.0%
0.1	83.5	0.8%	95.0%
0.08	85.8	2.0%	97.8%
0.063	87.5	1.8%	100.0%
<0, 063	104.9		16.6% Fraction Fine

# GISEMENT MARENNES OLERON COURBES GRANULOMETRIQUES



CREOCOAN  
Allée des Tamaris  
17000 La Rochelle  
Tel 48 41 13 13  
Fax 46 50 51 02

DATE:

GRANULOMETRIE 12 FRACTIONS

Référence de l'échantillon: M015.3

Poids brut prise d'essai : 107.9 100.0%  
Poids brut GR + Sable : 51.4 47.8%  
Poids des graviers (>2mm) : 5.1 4.7%  
Poids du sable (63µm-2mm) : 46.3 42.9%  
Poids Fraction Fine(<63µm) : 56.5 52.4%

Mode = 0.2 grain moyen= 0.20  
P16 = 0.314 P16 = ERR grain moyen= ERR  
P25 = Q1= 0.288 classement= 0.11 P25 = Q1= ERR classement= ERR  
P50 = Q2= 0.217 P50 = Q2= ERR P50 = Q2= ERR  
P75 = Q3= 0.128 P75 = Q3= ERR P75 = Q3= ERR  
P84 = 0.092 (sorting de Trask) P84 = ERR (sorting de Trask) ERR  
assymétrie = 0.92 (skewness) assymétrie = ERR (skewness)

REF.: M015.3

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2	5.1	4.7%	Graviers
1.25	6.5	1.3%	3.0%
0.8	7.6	1.0%	5.4%
0.5	8.9	1.2%	8.2%
0.315	12.3	3.2%	15.8%
0.2	31	17.3%	55.9%
0.16	35.9	4.5%	68.5%
0.125	40.2	4.0%	75.8%
0.1	42.1	1.8%	79.9%
0.08	46.8	4.4%	90.1%
0.063	51.4	4.3%	100.0%
<0, 063	107.9	52.4%	Fraction Fine

Référence de l'échantillon:

Poids brut prise d'essai : 100.0%  
Poids brut GR + Sable : ERR  
Poids des graviers (>2mm) : 0.0 ERR  
Poids du sable (63µm-2mm) : 0.0 ERR  
Poids Fraction Fine(<63µm) : 0.0 ERR

Mode = grain moyen= ERR  
P16 = ERR P16 = ERR grain moyen= ERR  
P25 = Q1= ERR classement= ERR  
P50 = Q2= ERR P50 = Q2= ERR  
P75 = Q3= ERR P75 = Q3= ERR  
P84 = ERR (sorting de Trask) P84 = ERR (sorting de Trask) ERR  
assymétrie = ERR (skewness) assymétrie = ERR (skewness)

REF.:

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2		ERR	Graviers
1.25		ERR	ERR
0.8		ERR	ERR
0.5		ERR	ERR
0.315		ERR	ERR
0.2		ERR	ERR
0.16		ERR	ERR
0.125		ERR	ERR
0.1		ERR	ERR
0.08		ERR	ERR
0.063		ERR	ERR
<0, 063	0	ERR	Fraction Fine

Référence de l'échantillon:

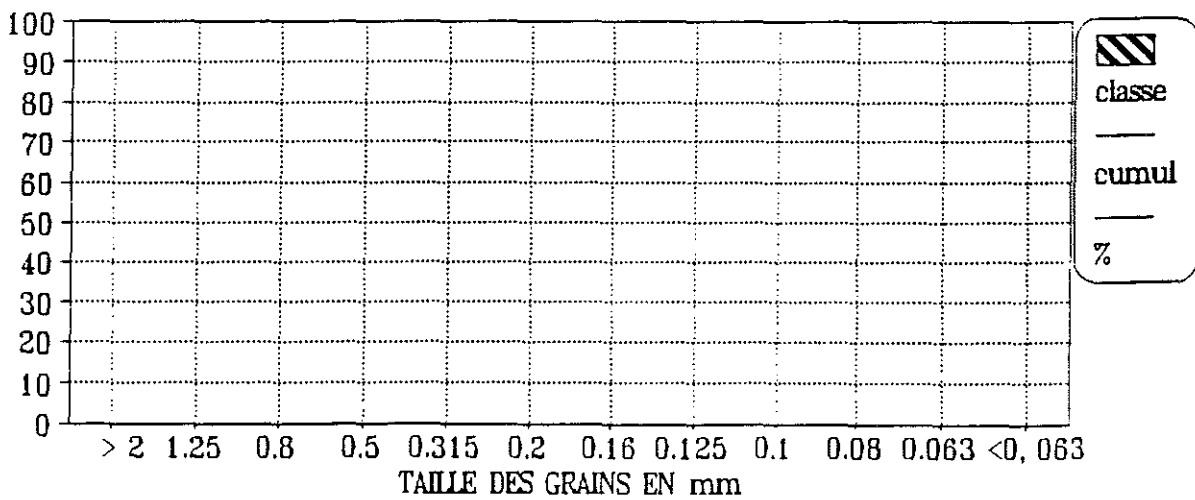
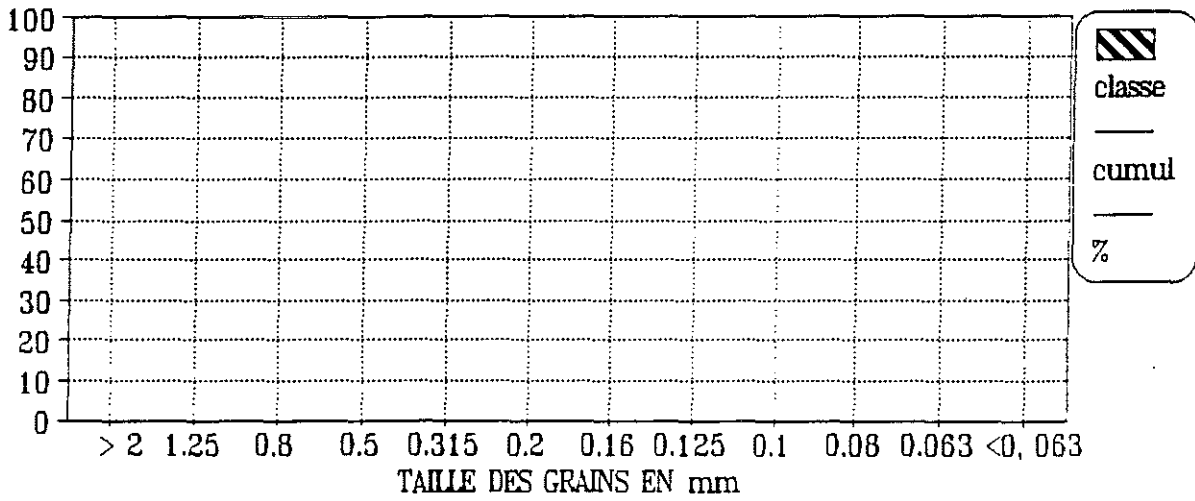
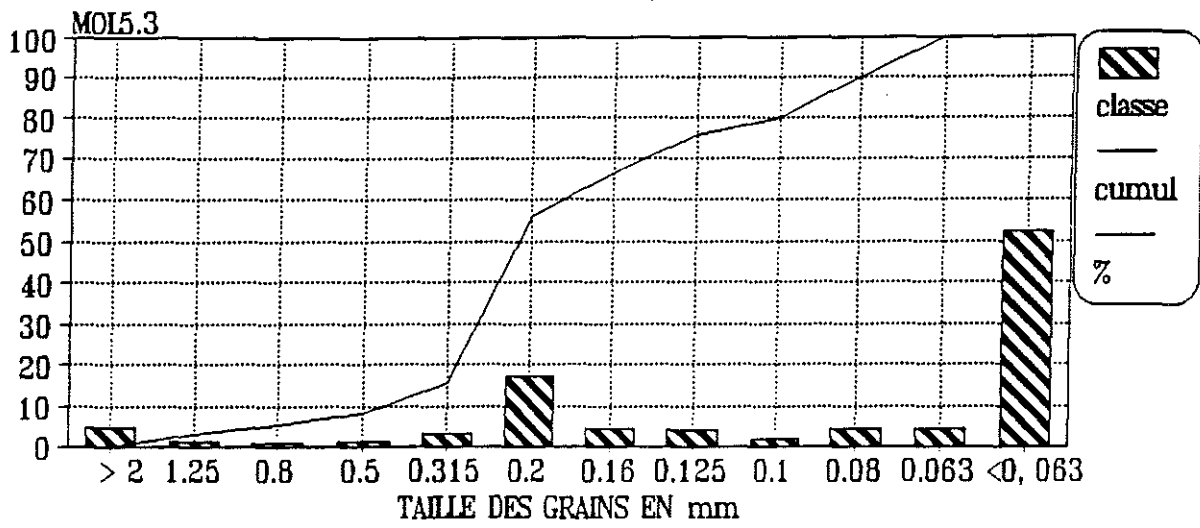
Poids brut prise d'essai : 100.0%  
Poids brut GR + Sable : ERR  
Poids des graviers (>2mm) : 0.0 ERR  
Poids du sable (63µm-2mm) : 0.0 ERR  
Poids Fraction Fine(<63µm) : 0.0 ERR

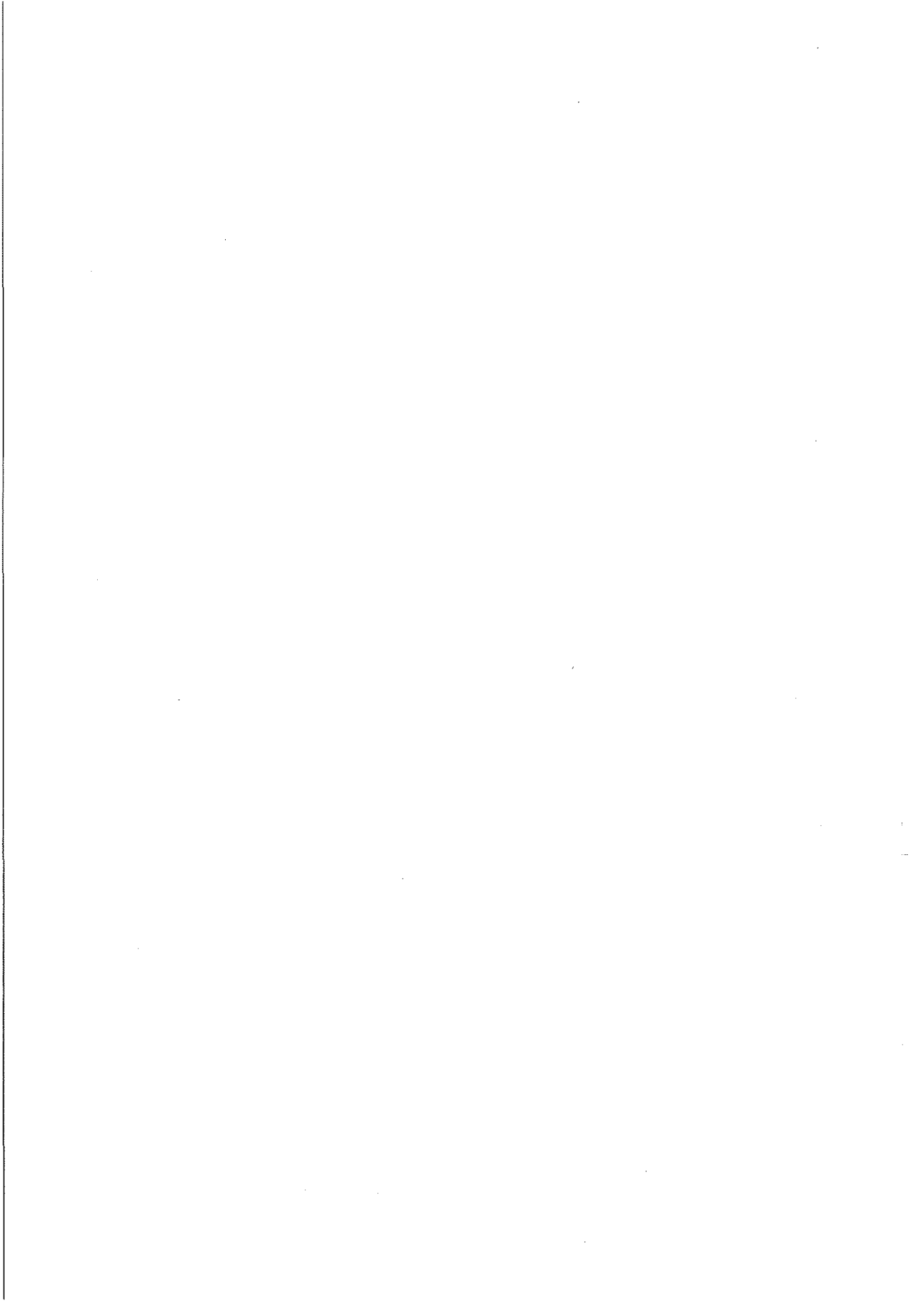
Mode = grain moyen= ERR  
P16 = ERR P16 = ERR grain moyen= ERR  
P25 = Q1= ERR classement= ERR  
P50 = Q2= ERR P50 = Q2= ERR  
P75 = Q3= ERR P75 = Q3= ERR  
P84 = ERR (sorting de Trask) P84 = ERR (sorting de Trask) ERR  
assymétrie = ERR (skewness) assymétrie = ERR (skewness)

REF.:

DIAM mm	CUMUL g	% total	CUMUL SABLE
> 2		ERR	Graviers
1.25		ERR	ERR
0.8		ERR	ERR
0.5		ERR	ERR
0.315		ERR	ERR
0.2		ERR	ERR
0.16		ERR	ERR
0.125		ERR	ERR
0.1		ERR	ERR
0.08		ERR	ERR
0.063		ERR	ERR
<0, 063	0	ERR	Fraction Fine

# GISEMENT MARENNES OLERON COURBES GRANULOMETRIQUES







CHAPITRE VI

**CARACTERISTIQUES MECANQUES DES VASES  
ET DES BIODEPOTS DE MARENNES-OLERON**

Contrat N° 91 5 526009



RAPPORT D'ETUDE

## SOMMAIRE

OBJET DE L'ETUDE .....	I
SYNTHESE ET CONCLUSIONS .....	II
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE 1 - PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES VASES .....	2
1.1 Résultat des mesures .....	2
1.2 Interprétation .....	4
CHAPITRE 2 - VITESSE DE CHUTE - TASSEMENT .....	5
2.1 Vitesse de chute .....	5
2.2 Tassement .....	7
2.3 Interprétation .....	8
CHAPITRE 3 - ANALYSES RHEOLOGIQUES .....	10
3.1 Méthodologie .....	10
3.2 Résultats .....	11
3.3 Interprétation .....	12
BIBLIOGRAPHIE .....	13

## **OBJET DE L'ETUDE**

L'objet de l'étude est l'exécution et l'interprétation d'essais sédimentologiques visant à mieux définir les caractéristiques mécaniques des vases et des biodépôts de Marennes-Oléron et à préciser les paramètres à introduire dans les lois d'érosion-dépôt (rapport LHF, 1990 qui reprend les conclusions du rapport SOGREAH, 1990).

Les travaux de recherche présentés dans ce rapport s'intègrent dans le programme Charente-Marennes-Oléron, programme de recherche coordonnée pour l'analyse et la modélisation de l'écosystème du bassin de la Charente et de la zone littorale associée.

oOo

### Vitesse de chute

Elle se calcule par :

$$W = K C^n$$

Avec :

$$\begin{aligned} K &= 3,5 \cdot 10^{-5} \text{ (ancienne valeur } 2 \cdot 10^{-3}) \\ n &= 0,12 \text{ (ancienne valeur } 1,3) \end{aligned}$$

Ces valeurs s'appliquent à des vases possédant un fort taux de matière organique.

### Tension limite d'érosion

$$\tau_c = 0,17 \sqrt{\tau_y}$$

Avec :

$\tau_y$  Rigidité initiale fonction du temps de consolidation (figure 15).

Au bout d'un jour, on obtient  $\tau_c = 0,24 \text{ N/m}^2$  et au bout d'une semaine  $\tau_c = 0,4 \text{ N/m}^2$  environ.

L'ancienne valeur proposée était une constante valant  $0,4 \text{ N/m}^2$ .

Ces valeurs s'appliquent à des vases purs. En présence de sable, des essais de rigidité sont à effectuer dans le cadre du présent contrat afin de quantifier l'influence de ce paramètre. Des essais sans matière organique pourraient également être effectués afin de préciser l'influence de ce paramètre.

oOo

## SYNTHESE ET CONCLUSIONS

### 1. TRAVAIL EFFECTUE

Deux échantillons prélevés sur le banc de Charret ont fait l'objet d'une analyse complète incluant : granulométrie, minéralogie, vitesse de chute, tassement et rhéologie.

### 2. NATURE DES SEDIMENTS

La partie minérale des sédiments analysés se rapproche des vases rencontrées en Gironde.

Cependant, un fort taux de matière organique a été enregistré sur les deux échantillons avec des valeurs comparables (12,5 %).

Ce taux semble plutôt lié au boom phytoplanctonique qu'à la biodéposition et serait donc la résultante d'un effet saisonnier.

Il serait intéressant de suivre l'évolution de cette teneur au long d'une année.

Par contre, l'effet de biodépôt lié au dépôt de fèces sous les tables n'a pas été observé.

### 3. PROPRIETES MECANIKES DES SEDIMENTS

Du point de vue mécanique, le fort taux de matière organique semble avoir pour conséquence de réduire fortement la vitesse de chute, d'accélérer le tassement et de rigidifier les dépôts. Ainsi, un dépôt d'une telle vase acquiert une rigidité de l'ordre de 2 N/m<sup>2</sup> au bout d'un jour contre 0,45 N/m<sup>2</sup> seulement pour un dépôt en Gironde à Saint-Christoly (figure 15). L'écart augmente ensuite avec le temps.

Dans ces conditions, il convient de modifier les valeurs fournies dans le précédent rapport de la façon suivante :

## INTRODUCTION

### CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

La baie de Marennes-Oléron est située entre l'île d'Oléron et la côte de la Charente-Maritime. Elle est limitée au Nord par l'île d'Aix.

Les sédiments analysés dans cette étude proviennent du Banc de Charret. Leur localisation est représentée sur la figure 1. Deux échantillons ont été prélevés et numérotés 2.3 et 2.4. L'échantillon 2.4 a été recueilli sous les tables ostréicoles. Ces prélèvements ont eu lieu au printemps 1990.

oOo

## Chapitre 1

### PROPRIETES PHYSIQUES ET CHIMIQUES DES VASES

#### 1.1 RESULTAT DES MESURES

##### 1.1.1 GRANULOMETRIE

Les granulométries ont été réalisées après analyse à la pipette d'Andreassen. Les courbes granulométriques sont présentées sur la figure 2.

Cette méthode est basée sur la vitesse de sédimentation dans un milieu liquide, vitesse qui obéit à la loi de Stokes et qui permet de calculer le diamètre équivalent des particules supposées sphériques.

##### 1.1.2 MINERALOGIE

Les analyses minéralogiques des argiles ont été effectuées par diffraction aux rayons X. Les quatre minéraux principaux sont représentés sur les diffractogrammes avec des pourcentages très semblables (voir Annexe A). La Smectite et l'Illite constituent 70 % environ de l'échantillon.

Les diagrammes correspondent aux analyses faites sur échantillon non traité ("normal" ou N), glycolé pour mesurer l'expansion des Smectites (EG), et cuit à 550° pour noter la différenciation entre les chlorites et la kaolinite (C).

Les études figurent dans le tableau n° 1.

Tableau n° 1

CARACTERISTIQUES DE DIFFERENTES VASES									
Origine	% > 40 $\mu$	Médiane ( $\mu$ )	Analyse chimique		Minéralogie (%)				
			CaCO <sub>3</sub>	M.O.	Kaol.	Illite	Chlor.	Smect.	
Seine	10	1	30		30	30	10	30	
Gironde	5	2,5	8	2	15	45	10	30	
Loire	5-10	1,5	20	2,3	30	45	10	25	
Aiguillon	0	0,85	30	2	35	65			
Marennes	2,3	12	0,97	4,5	12,64	11	28	17	44
	2,4	5	1,50	4,5	12,57	13	31	17	39

1.1.3

TENEUR EN MATIERE ORGANIQUE ET EN CARBONATES

Ces mesures ont été effectuées par ECOCEAN (1991)

La teneur en matière organique a été mesurée sur les échantillons après passage au four pendant 4 heures à 550°C. Cette teneur est élevée, de l'ordre de 12,5 % par rapport au poids sec.

Elle est quasiment identique dans les deux échantillons. Cette teneur élevée doit être corrélée avec des variations saisonnières, le printemps correspondant à la période du bloom phytoplanctonique (SORNIN, 1981).

La teneur en carbonates est faible. Elle est de 4,5 % et est identique dans les deux échantillons.

Tableau n° 2

D'après ECOCEAN (1991)					
Echantillon	Teneur en eau	Densité	Porosité	Matière organique	CaCO <sub>3</sub>
2.2	140	1,37	0,80	12,64	4,5
2.3	159	1,54	0,94	12,57	4,5



#### 1.1.4 TENEUR EN EAU - DENSITE - POROSITE

Ces mesures ont également été effectuées par ECOCEAN (1991).

La teneur en eau représente le rapport du poids de l'eau contenu dans l'échantillon au poids du sédiment sec après dessiccation. Cette teneur en eau varie de 140 % pour l'échantillon 2.3 à 159 % pour l'échantillon 2.4.

La densité de l'échantillon a été calculée à partir des valeurs précédentes de la teneur en eau. Ces densités sont faibles ; elles varient de 1,37 à 1,54.

La porosité est définie par le rapport du volume des vides au volume total de l'échantillon. Celle-ci est de l'ordre de 0,8/0,9 (tableau n° 2).

Nous avons cherché à recouper ces résultats grâce à la relation classique reliant la densité à la teneur en eau.

Cette relation s'écrit :

$$\frac{\rho m}{\rho} = \frac{100 + Te}{\left(100 \frac{\rho}{\rho s} + Te\right)}$$

L'application de cette relation aboutit à des valeurs excessives de la densité des grains, notamment pour l'échantillon 2.4.

## 1.2

### INTERPRETATION

Le tableau n° 1 situe les échantillons étudiés par rapport à des vases estuariennes (Seine, Loire, Gironde) et à des vases de baie (Anse de l'Aiguillon).

Du point de vue minéralogique, on retrouve ici le cortège minéralogique des vases de la Gironde, riche en Smectites et en Illite.

Du fait de la spécificité du bassin de Marennes-Oléron, les échantillons présentés sont :

très riches en matière organique, avec des teneurs de l'ordre de 12,5 %,

pauvres en  $\text{CaCO}_3$  ; les teneurs sont environ deux fois plus faibles que celles en Gironde,

les deux échantillons ont des caractéristiques très voisines ; seules les granulométries indiquent une légère différence : l'échantillon prélevé sous les tables ostréicoles (échantillon 2.4) est plus fin et manifeste l'amorce d'une tendance au dépôt par décantation (courbe hyperbolique).

Du fait de sa très grande mobilité, la matière organique se retrouve en teneur équivalente dans les échantillons et ne reste pas confinée sous les sables ostréicoles.

oOo

## Chapitre 2

### VITESSE DE CHUTE - TASSEMENT

#### 2.1 VITESSE DE CHUTE

En suspension dans les eaux, les sédiments cohésifs se déposent sur les fonds par décantation, puis se consolident.

La décantation des sédiments cohésifs est un phénomène complexe du fait de la propriété des particules qui tendent à s'agglomérer entre elles lorsqu'elles sont en suspension : c'est le phénomène de la floculation.

En l'absence de floculation, la vitesse de chute des particules fines (diamètre inférieur à 0,1 mm) peut être reliée à un diamètre équivalent par application de la loi de Stokes :

$$W_s = \frac{\Delta g d^2}{18\gamma} \text{ avec } \Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}$$

- $\rho_s$  : masse volumique du sédiment (en kg/m<sup>3</sup>)
- $\rho_w$  : masse volumique de l'eau (en kg/m<sup>3</sup>)
- $d$  : diamètre équivalent de la particule (en m)
- $\gamma$  : viscosité cinématique de l'eau (en m<sup>2</sup>/s)

C'est la mesure de chute par décantation dans un tube en laboratoire qui définit un diamètre équivalent (méthode d'Andreassen). Ces mesures servent surtout à comparer des vases entre elles.

#### 2.1.1 INFLUENCE DE LA SALINITE

De manière générale, les essais en laboratoire effectués dans divers estuaires ont mis en évidence l'influence de la salinité dans le phénomène de floculation dès que la salinité dépasse 3 ‰ (Migniot, 1968).

Sur les figures 3 et 4, est reportée la variation de la vitesse de chute en fonction de la salinité pour différentes concentrations.

Pour les deux échantillons, les vitesses de chute mesurées à 25 ‰ sont plus faibles que celles mesurées à 0 ‰. Ces vitesses de chute sont faibles et sont notées dans le tableau ci-après :

Tableau n° 3

	Vitesse de chute médiane (cm/s)	
	0 ‰	25 ‰
Echantillon 2.3	0,07 à 0,012	0,035 à 0,045
Echantillon 2.4	0,08 à 0,095	0,032 à 0,07

### 2.1.2 INFLUENCE DE LA CONCENTRATION

L'influence de la concentration sur la vitesse de chute en eau calme est mise en évidence par tous les auteurs, aussi bien en laboratoire qu'en nature.

De manière générale, les vitesses de chute augmentent avec la concentration jusqu'à des concentrations de l'ordre de 10 g/l ; ensuite, ces vitesses de chute diminuent avec l'augmentation de la concentration (SOGREAH, 1990).

La figure 5 représente les variations de la vitesse de chute médiane en fonction de la concentration.

On note que :

- pour les deux échantillons, la vitesse de chute augmente avec la concentration pour des salinités de 25 ‰,
- la vitesse de chute décroît avec la concentration pour des salinités de 0 ‰ ; cette décroissance est plus marquée pour l'échantillon 2.3

### 2.2 TASSEMENT

Un dépôt de vase récent se présente sous forme d'une mixture eau-sédiment dans laquelle la concentration en sédiment est de l'ordre de quelques dizaines de g/l.

Cette mixture va évoluer selon trois phases (figure 6) :

- . la décantation des flocons durant les premières heures,
- . l'élimination des eaux interstitielles (1 à 2 jours)
- . l'élimination des eaux liées aux micelles (consolidation très lente).

En laboratoire, les mesures de tassement peuvent être suivies avec une bonne précision. Elles sont réalisées dans des tubes transparents de 0,10 m de diamètre et 1 m de hauteur dans lesquels les mixtures de vases sont introduites avec des concentrations initiales variables, allant de 19 à 255 g/l.

L'évolution du niveau de l'interface eau-dépôt est suivie périodiquement au cours du temps.

Les figures 7 et 8 présentent les courbes de tassement des deux échantillons et pour diverses concentrations.

Sur ces courbes, le rapport  $H/H_i$  est reporté avec :

H : niveau de l'interface à l'instant t  
H<sub>i</sub> : niveau initial

Les résultats sont les suivants :

- . la vitesse de tassement est d'autant plus rapide que la concentration est faible,
- . après plusieurs jours, la vitesse de tassement diminue,
- . pour des concentrations voisines, les vitesses de tassement sont légèrement plus lentes pour l'échantillon 2.3,
- . au bout de 100 jours, une concentration limite de 500 g/l est atteinte (figures 9 et 10).

## 2.3 INTERPRETATION

### 2.3.1 VITESSE DE CHUTE

Les vitesses de chute des échantillons 2.3 et 2.4 sont faibles. La figure 11 compare les valeurs obtenues avec celles d'autres estuaires.

- . En milieu défloculé, les vitesses de chute sont de 5 à 10 fois inférieures à celles de la Gironde.
- . En milieu floculé, cette tendance se conserve.

La faible variabilité des vitesses de chute en fonction de la concentration pourrait être expliquée par la forte teneur en matière organique qui "homogénéiserait" les vitesses de chute.

### 2.3.2 TASSEMENT

En ce qui concerne le tassement, l'échantillon 2.4 présente un tassement légèrement plus rapide que le 2.3. Ceci peut s'expliquer par une granulométrie plus fine de l'échantillon 2.4.

La figure 12 montre les variations des vitesses de tassement pour différents échantillons. Les tassements pour les échantillons de Marennes-Oléron sont plus rapides que pour les estuaires de la Loire et de la Gironde. Ils sont du même ordre de grandeur que ceux du Havre ou de l'Orne.

Il faut souligner que la matière organique peut, selon son importance, provoquer de nombreuses réactions chimiques et entraîner un comportement "anormal" des propriétés physiques des suspensions de vases et des dépôts en cours de tassement.

L'action de la matière organique s'exerce sur la floculation (ou la dispersion) des suspensions argileuses, mais cette action dépendra de la nature des argiles contenues dans les vases (Migniot, 1989).

oOo

## Chapitre 3

### ANALYSES RHEOLOGIQUES

#### 3.1 METHODOLOGIE

La connaissance de la concentration d'un dépôt n'est pas une information suffisante pour apprécier sa réponse aux actions hydrodynamiques. Une vase pourra en effet être liquide, plastique ou solide pour une même concentration suivant la granulométrie de ses particules, leur minéralogie et la composition chimique des eaux interstitielles.

La mesure rhéologique standard d'essai a été mise au point par le LCHF afin de déterminer la rigidité initiale d'une vase.

Cette méthode permet de comparer les vases entre elles et de paramétrer les lois d'érosion.

La principale mesure concerne la rigidité initiale exprimée en  $\text{Newton/m}^2$ . Elle est définie comme étant le couple nécessaire pour provoquer le début d'entraînement d'un rotor immergé dans la vase.

La mesure est effectuée à l'aide d'un viscosimètre Brookfield LVT. Une mixture de vase, préalablement brassée afin d'obtenir une bonne homogénéisation, est placée dans un bêcher. Le rotor est immergé dans la vase, et on laisse reposer l'ensemble pendant 3 mn. Le viscosimètre est mis alors en fonctionnement à la vitesse de 0,3 tr/mn.

Au moment de la "rupture" de la mixture, la valeur indiquée par l'appareil (de 0 à 100) passe par un maximum L.

La rigidité initiale est déduite par :

$$\tau_y = \frac{L}{100} \tau_{max}$$

avec  $\tau_{max}$  = contrainte maximale de cisaillement avec le rotor i (correspond à la valeur de 100 sur l'échelle).

En pratique, pour couvrir la gamme de mesures, quatre rotors (cylindres ayant un diamètre et une longueur plus ou moins grande) sont utilisés. A chaque rotor correspond une valeur  $\tau_{max}$  déduite du couple maximum exercé par l'appareil par un coefficient  $C_i$ .

Cette mesure est répétée pour différentes concentrations en diluant l'échantillon afin d'examiner l'influence de la concentration sur la rigidité initiale.

D'une façon générale, les études antérieures ont montré que la rigidité initiale  $\tau_y$  et la concentration en sédiment sec  $T_s$  étaient reliées par une loi puissance de la forme :

$$\tau_y = b T_s^a$$

( $\tau_y$  étant exprimé en  $N/m^2$  et  $T_s$  en  $g/l$ ).

La recherche du meilleur ajustement possible d'une telle loi par la méthode des moindres carrés nous a conduit à déterminer, pour chaque vase, une valeur de la concentration en sédiment sec  $T_{sc}$  (et donc une valeur correspondante de  $\tau_{yc}$ ) de part et d'autre de laquelle les valeurs de l'exposant a et du coefficient b sont différentes.

Physiquement, cette cassure correspond au passage d'un état liquide à un état plastique qui est plus ou moins bien marqué selon les vases.

### 3.2

### RESULTATS

En ce qui concerne les échantillons étudiés (figure 13), on note les résultats suivants :

- Les points de mesures effectuées sur l'échantillon 2.4 s'alignent sur une droite d'équation :

$$y = bC^a$$



avec :

$$\begin{aligned} a &= 3,45 & r^2 &= 0,93 \\ b &= 1,5 \cdot 10^{-9} \end{aligned}$$

Pour les points de mesures effectuées sur l'échantillon 2.3, on trouve une cassure entre les deux lois exponentielles correspondant aux vases fluides et aux vases plastiques. Cette cassure se situe vers une valeur de la rigidité initiale de l'ordre de  $2\text{N/m}^2$ .

Les valeurs des paramètres des droites de régression sont les suivantes :

Tableau n° 4

Rigidité initiale	a	b	$r^2$
0,2 à $2\text{N/m}^2$	3,45	$3 \cdot 10^{-8}$	0,98
2 à $50 \text{N/m}^2$	7,32	$1,1 \cdot 10^{-8}$	0,98

L'échantillon 2.3 présente une rigidité plus forte que l'échantillon 2.4.

### 3.3

#### INTERPRETATION

Les deux échantillons ont un comportement mécanique différent.

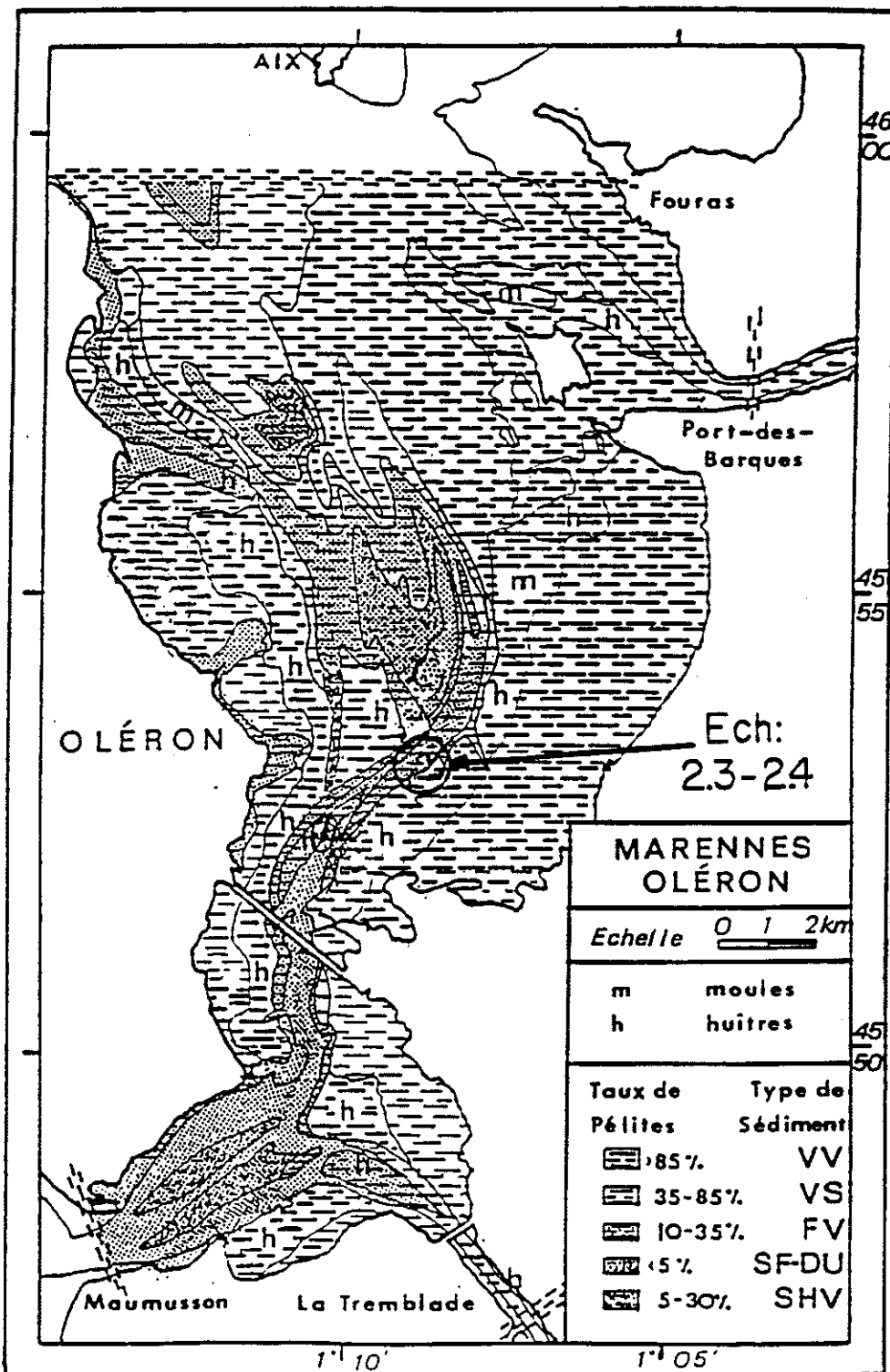
L'échantillon 2.3 est plus rigide que l'échantillon 2.4. De plus, on distingue nettement une cassure dans la droite de rigidité en fonction de la concentration qui correspond à un changement d'état entre une vase plastique et une vase fluide. Ce changement d'état n'est pas visible sur l'échantillon 2.4.

L'échantillon 2.3 est plus rigide que les vases de la Gironde ; quant à l'échantillon 2.4, il est moins rigide (figure 14).

## BIBLIOGRAPHIE

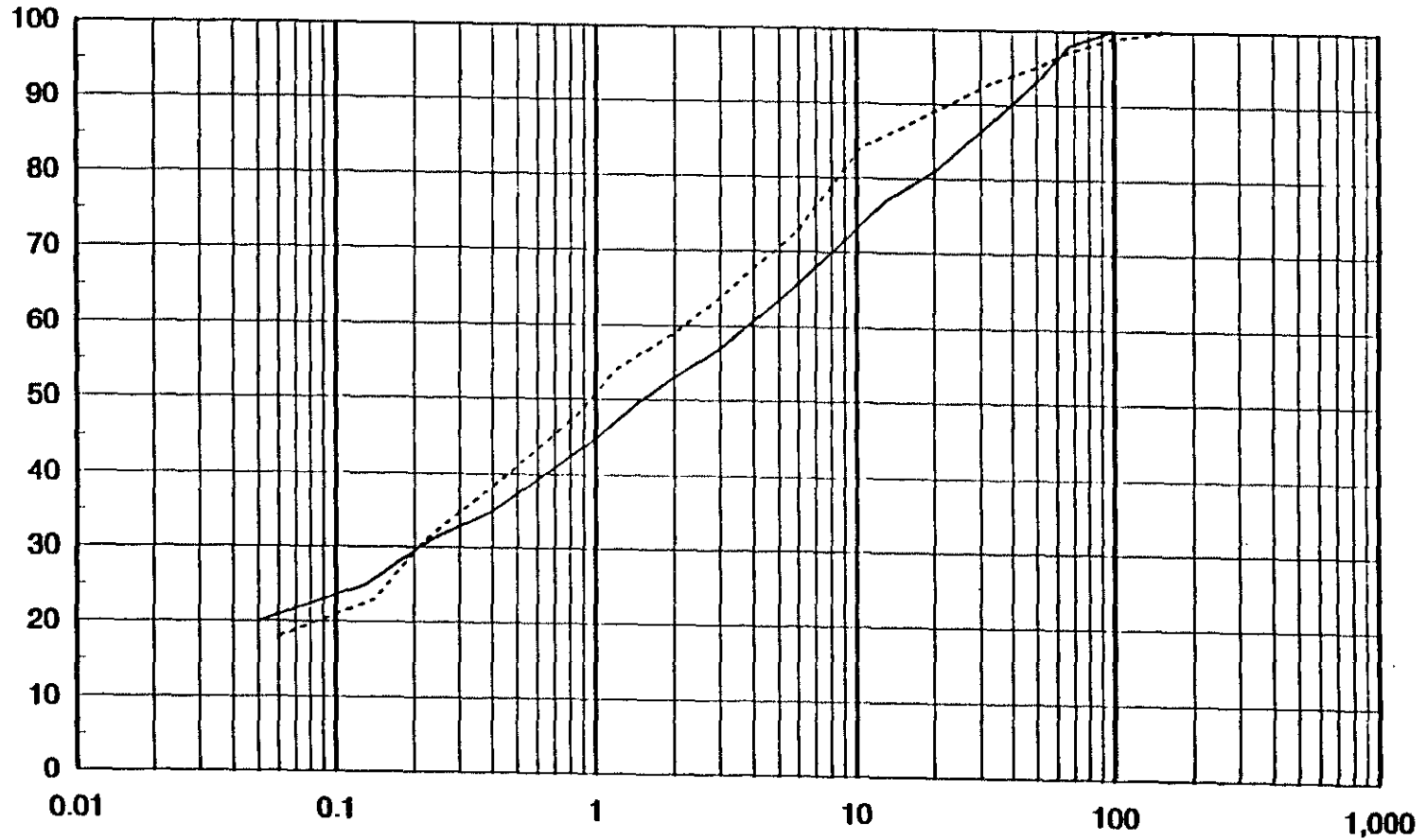
- ECOCEAN (1991) : "Etude des vases et des biodépôts de Marennes-Oléron - Rapport préliminaire - Avril 1991.
- LHF (1990) : "Programme Charente Marennes-Oléron : Etude des mécanismes d'interaction fonds vaseux/facteurs hydrauliques en vue de leur introduction dans les modèles", C0036, Décembre 1990.
- MIGNIOT C. (1968) : "Etude et propriétés physiques de différents sédiments très fins et de leur comportement sous les actions hydrodynamiques" - La Houille Blanche - vol. 7 pp. 591-620.
- MIGNIOT (1989) : "Tassement et Rhéologie des vases" - La Houille Blanche - n° 1 et 2.
- SOGREAH (1990) : Lois d'érosion/dépôt des vases sous l'action des courants à introduire dans les modèles numériques du bassin de Marennes-Oléron - R 5 1153 - Janvier 1990.
- SORNIN (1981) : "Processus sédimentaires et biodéposition liés à différents modes de conchyliculture" - Thèse Nantes.

Figure 1  
SITUATION DE LA ZONE D'ETUDE ET  
DES ECHANTILLONS PRELEVES



# MARENNES-OLERON COURBES GRANULOMETRIQUES

% cumulé



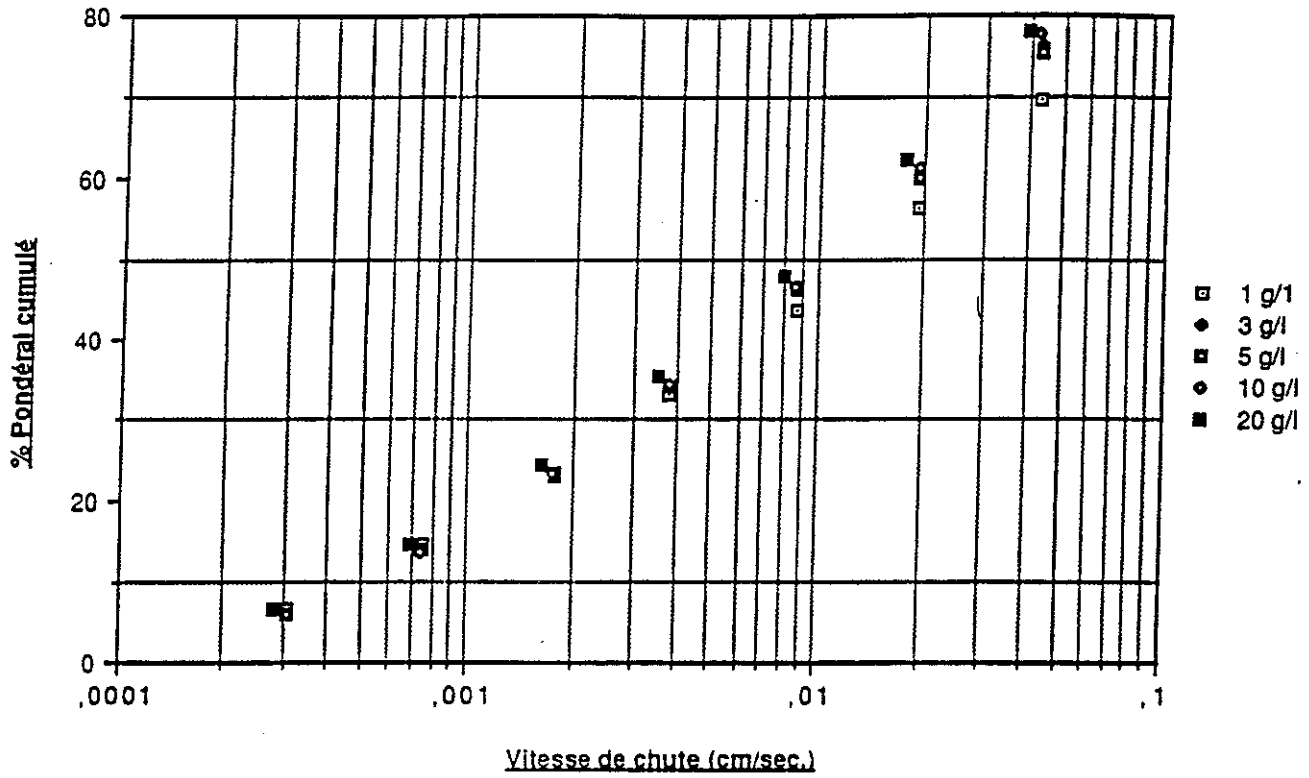
Echantillon 23    Echantillon 24

Diamètres en microns

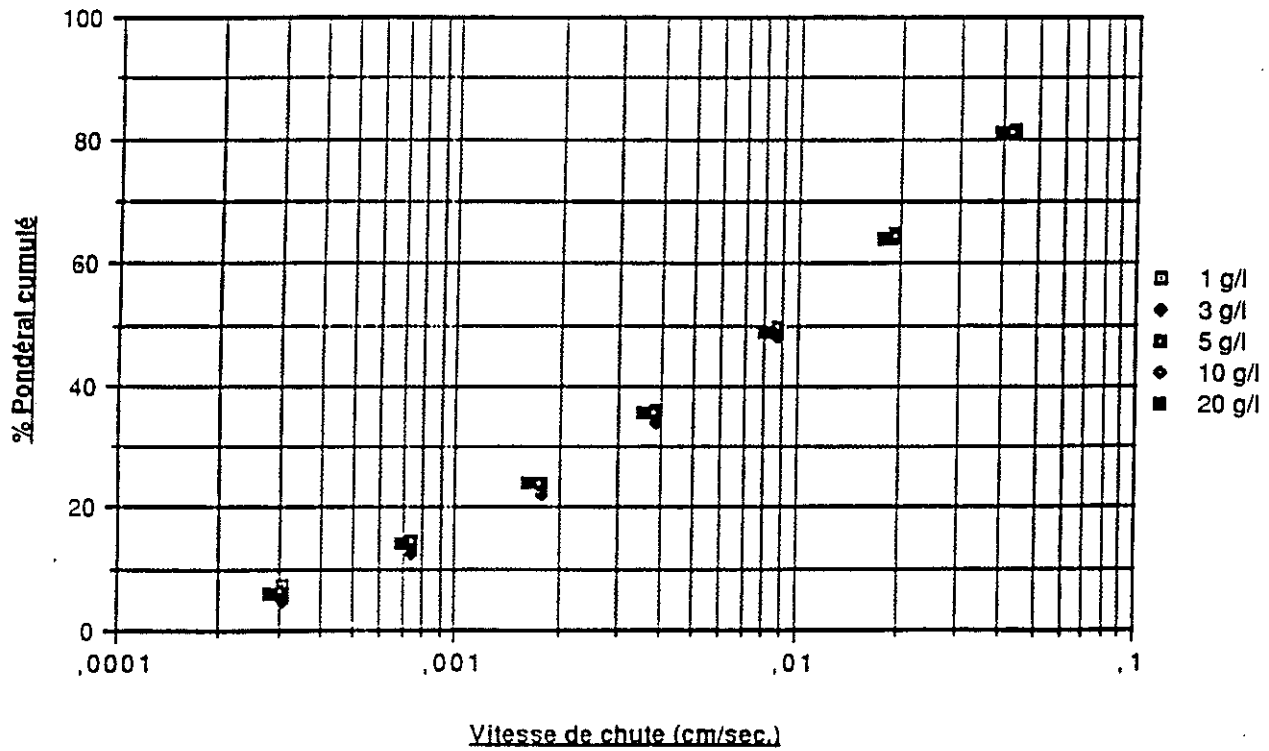


Figure 3 - 185 -  
**VARIATION DE LA VITESSE DE CHUTE  
 POUR UNE SALINITE DE 0‰**

ECH. 2/3- Salinité=0‰

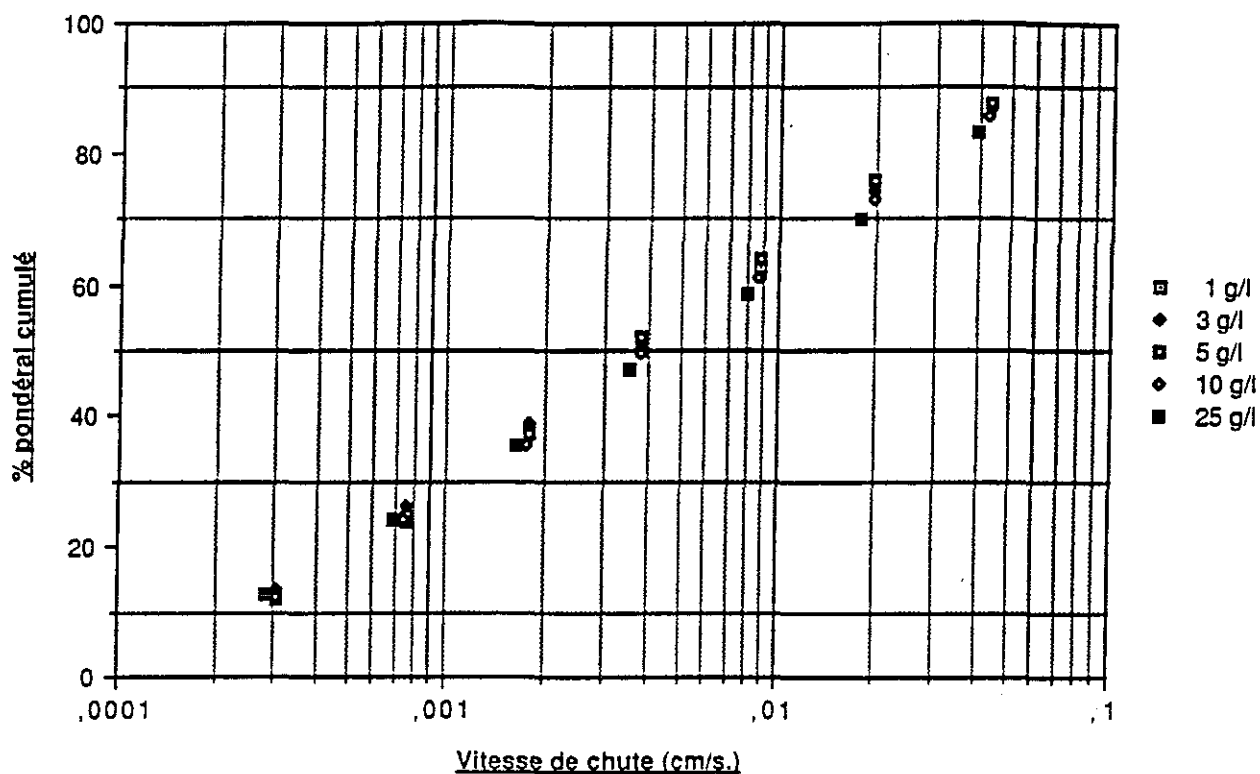


ECH. 2/4- Salinité=0‰

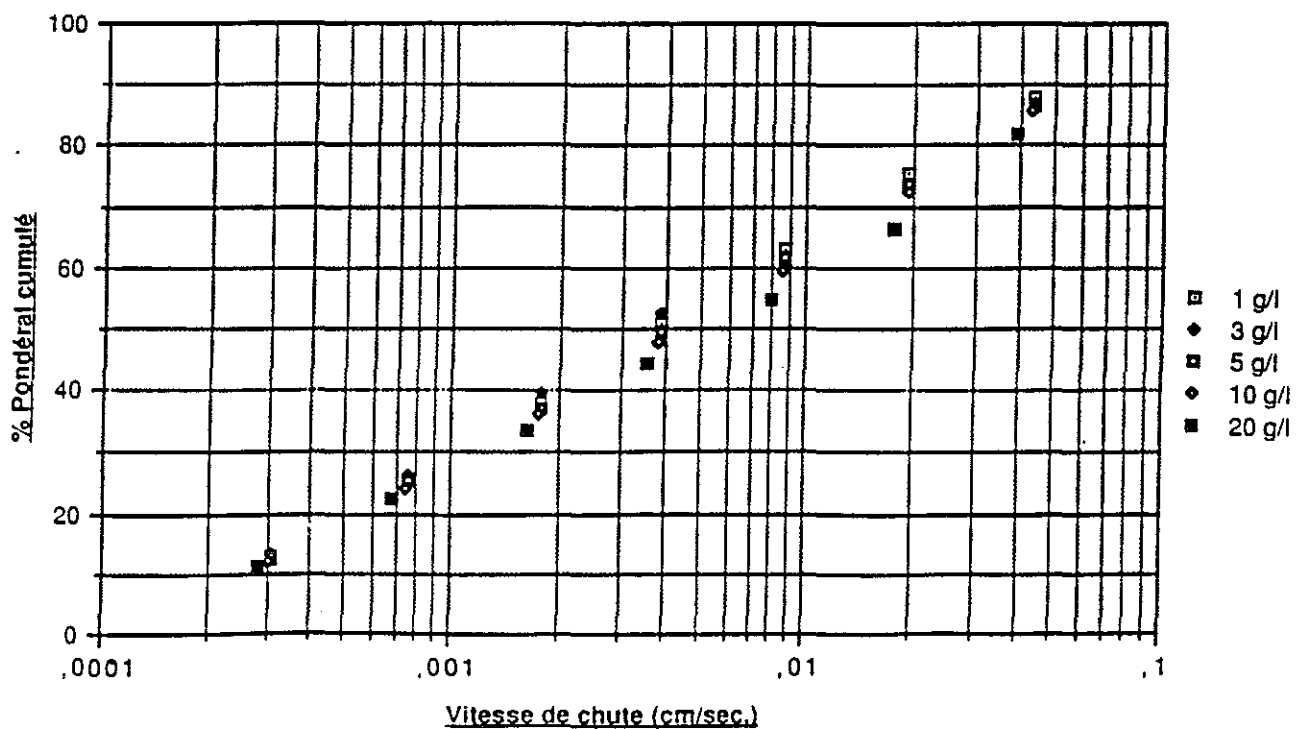


- 186 -  
**Figure 4**  
**VARIATION DE LA VITESSE DE CHUTE**  
**POUR UNE SALINITE DE 25‰**

ECH. 2/3 - Salinité 25‰

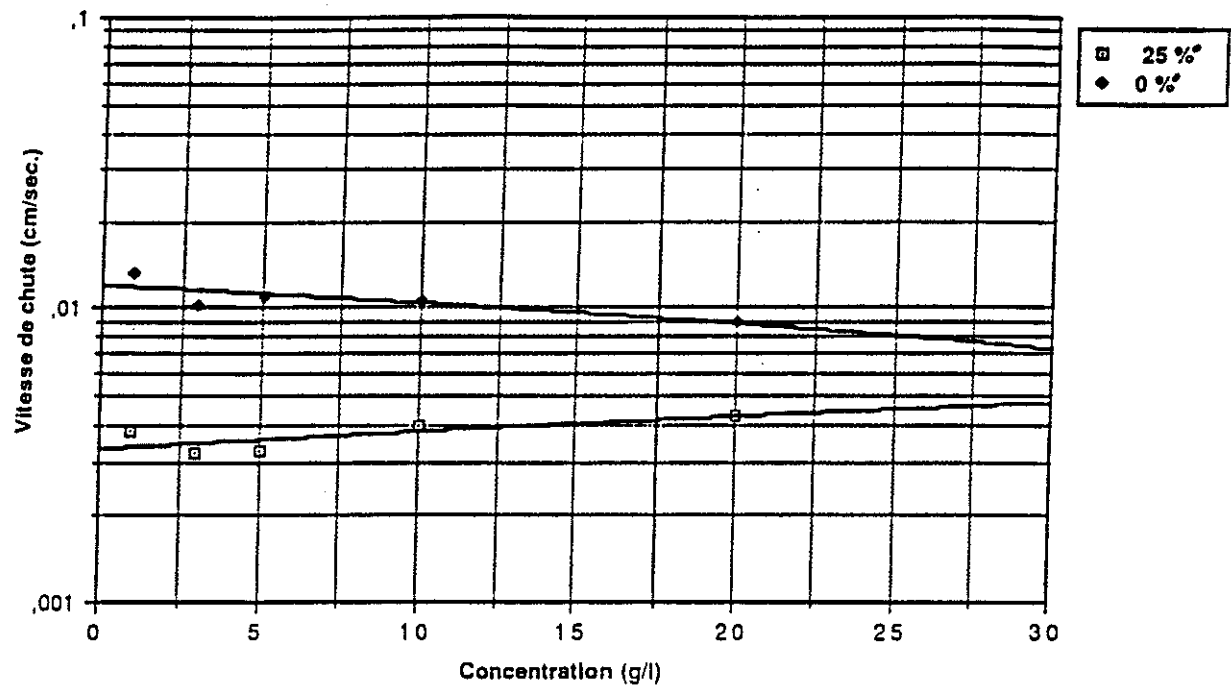


ECH. 2/4- Salinité=25‰

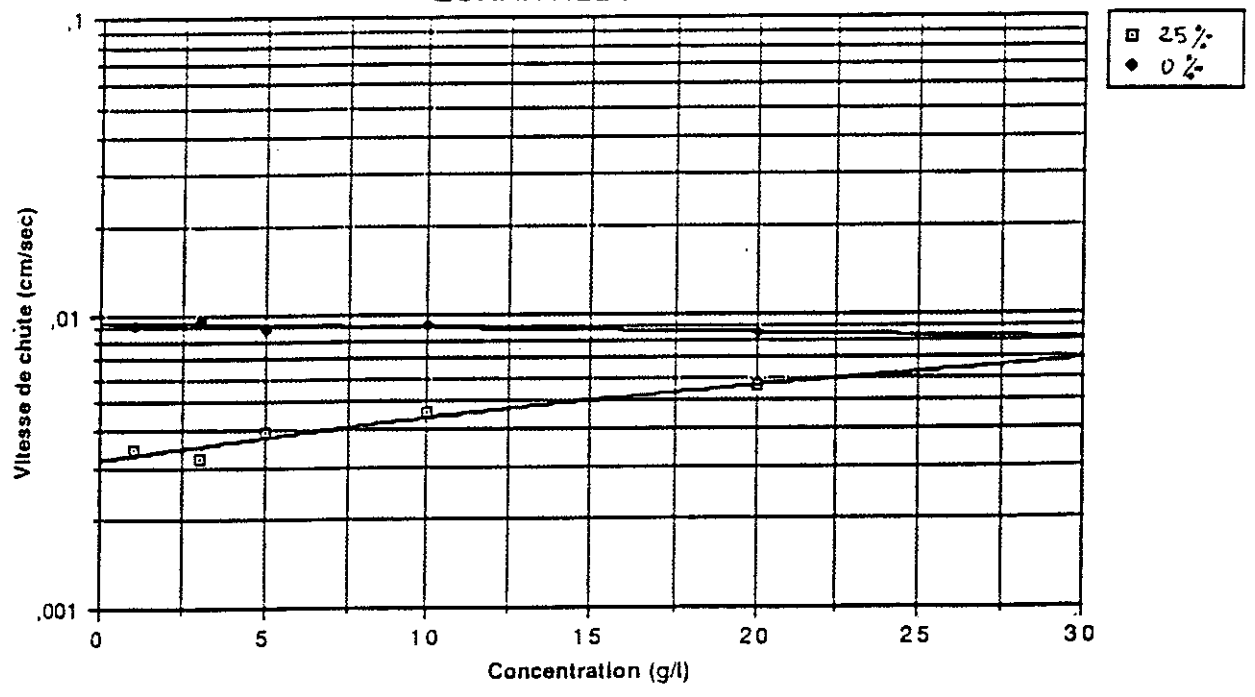


**Figure 5**  
**VARIATION DE LA VITESSE DE CHUTE**  
**EN FONCTION DE LA CONCENTRATION**

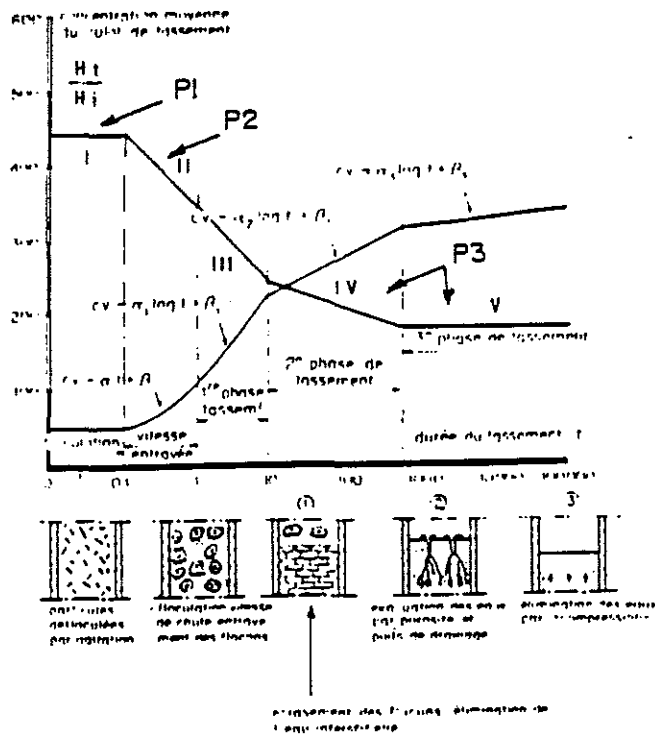
**ECHANTILLON 2/3**



**ECHANTILLON 2/4**



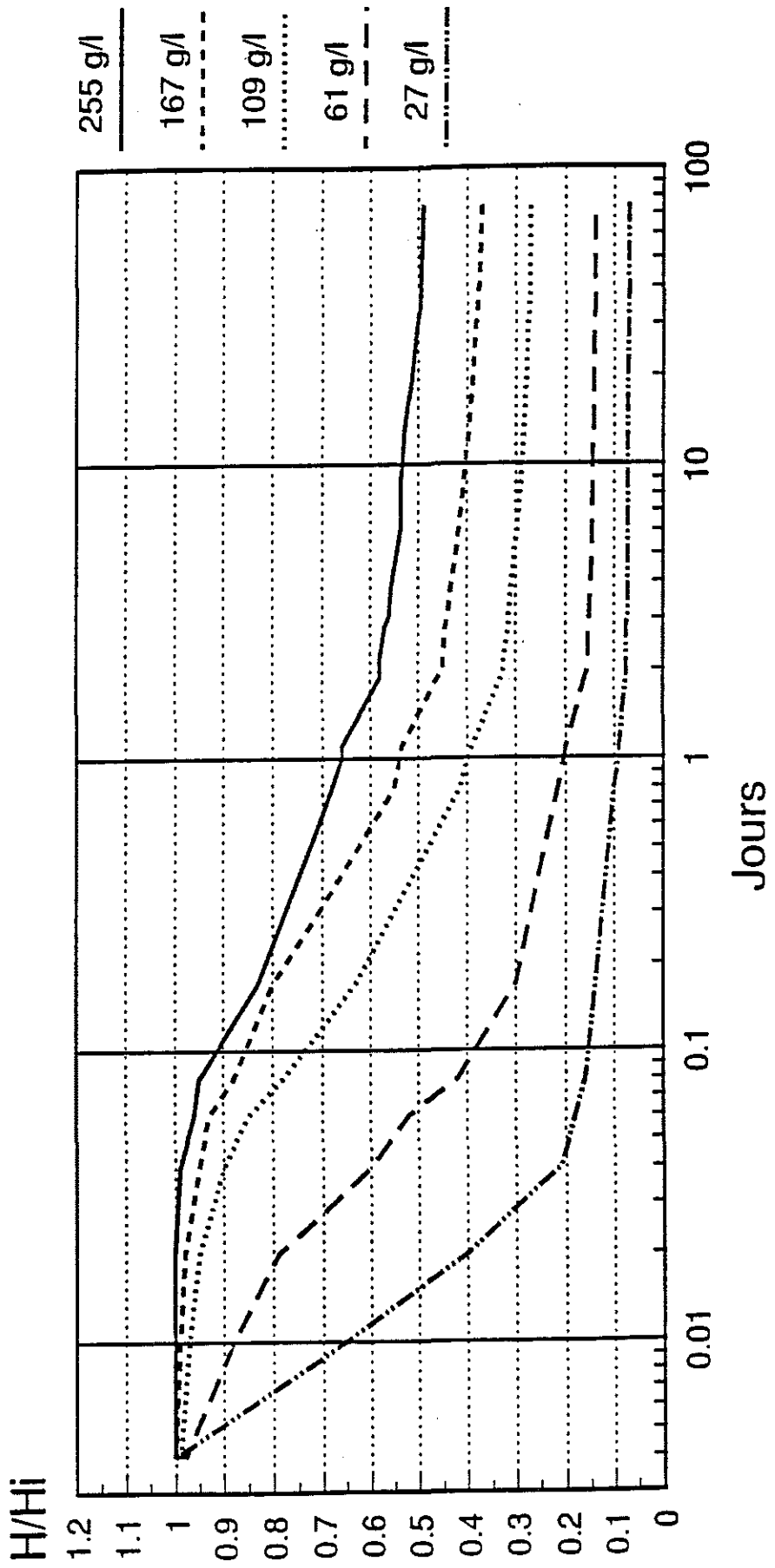
### TASSEMENT DES VASES (L C H F)



GRAPHIQUE MONTRANT LES DIFFERENTES PHASES DU TASSEMENT

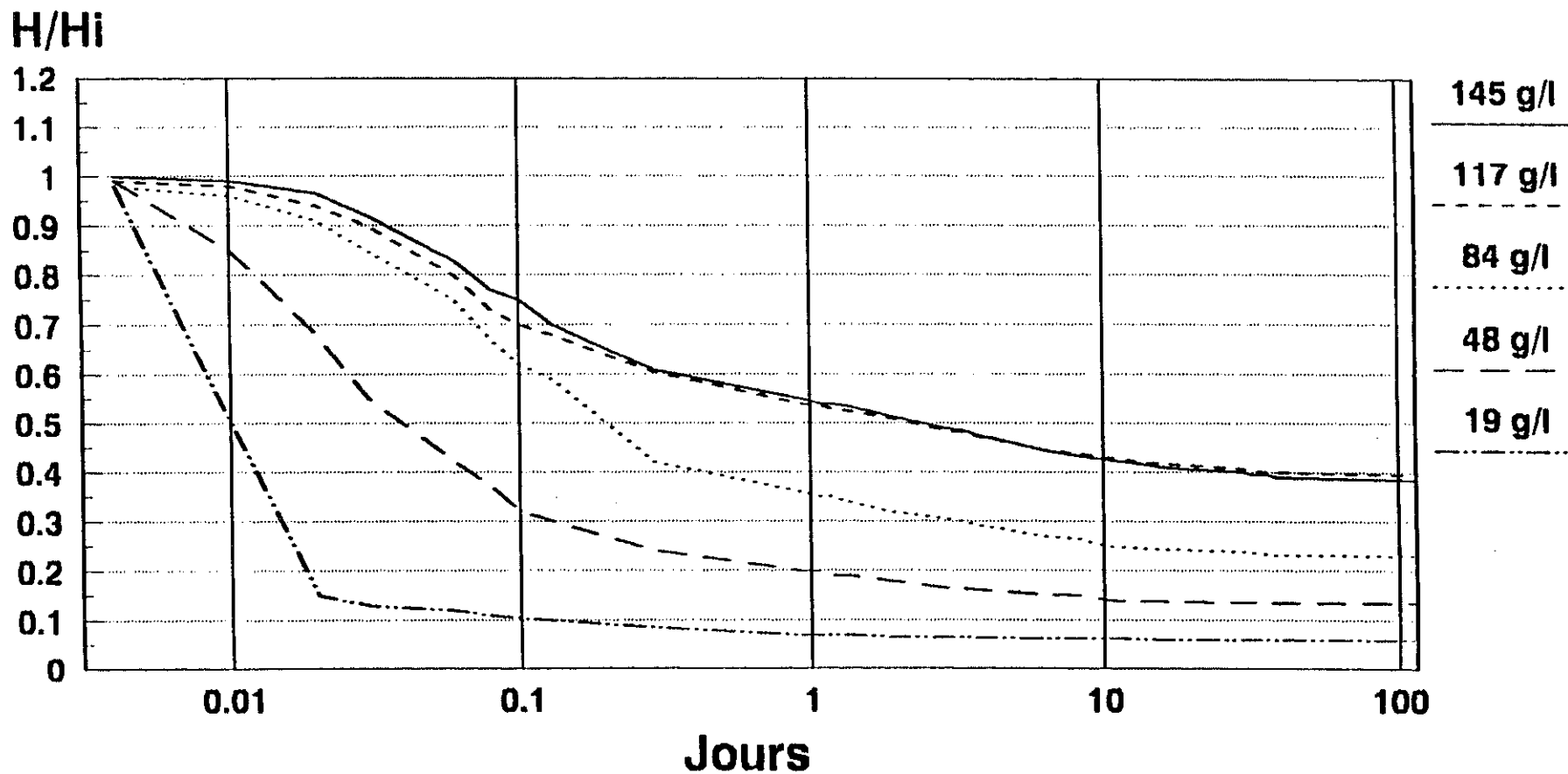


**MARENNES-OLERON**  
**COURBES DE TASSEMENT EN FONCTION DE DIVERSES**  
**CONCENTRATIONS (Ech.: 2.3)**



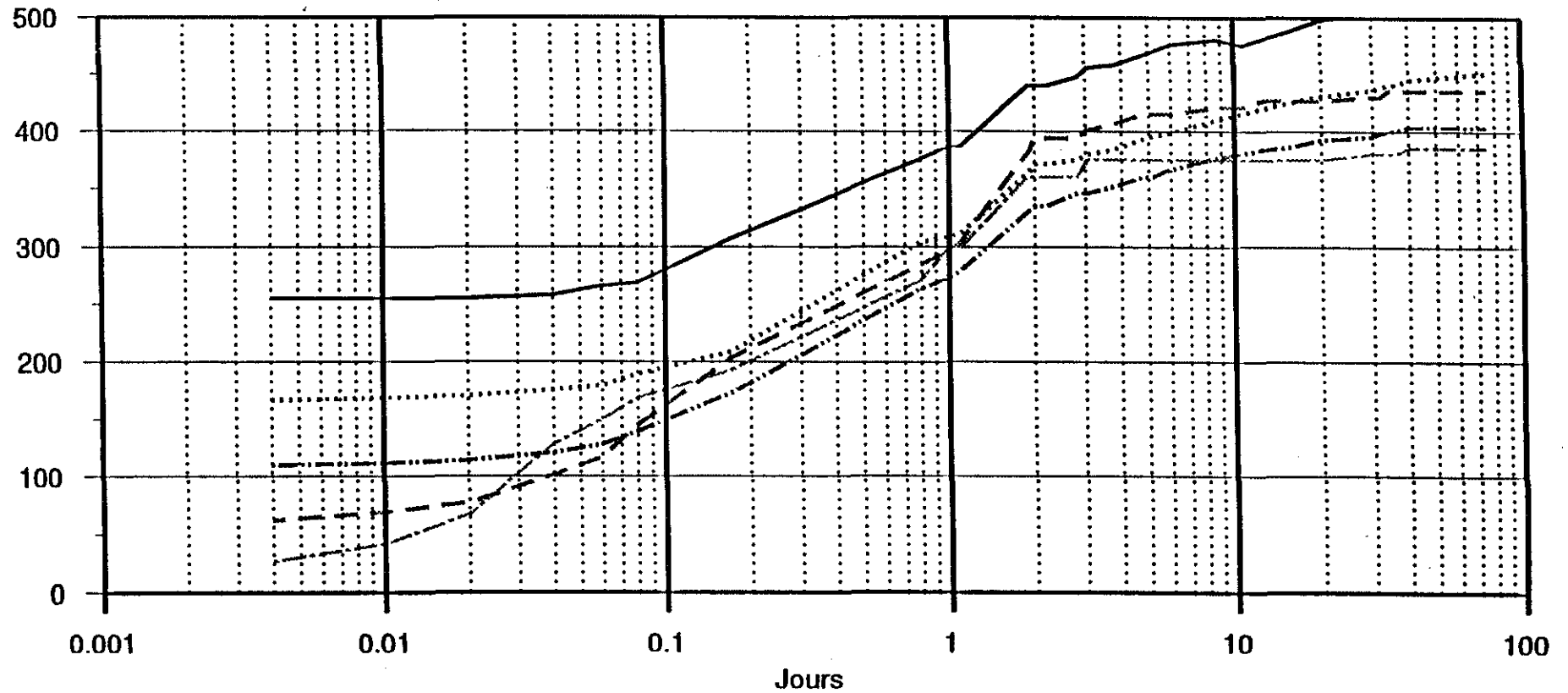
# MARENNES-OLERON

## COURBES DE TASSEMENT EN FONCTION DE DIVERSES CONCENTRATIONS (Ech.: 2.4)



**MARENNES-OLERON**  
**TASSEMENT DES VASES ECHANTILLON 2.3**

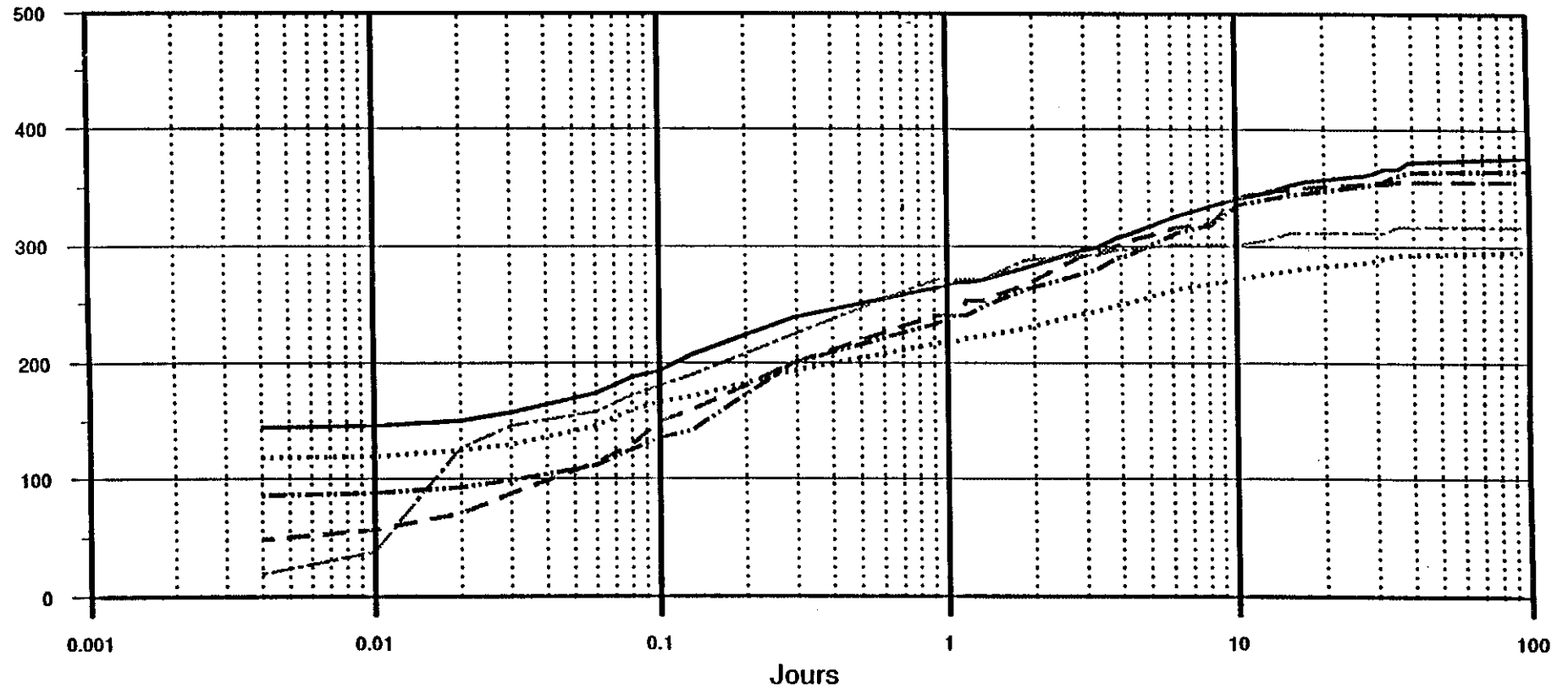
Concentration en g/l.



<b>Cinit 255 g/l</b>	<b>Cinit 167 g/l</b>	<b>Cinit 109 g/l</b>	<b>Cinit 61 g/l</b>	<b>Cinit 27 g/l</b>
—————	.....	- . - . - .	-----	-----

MARENNES-OLERON  
TASSEMENT DES VASES ECHANTILLON 2.4

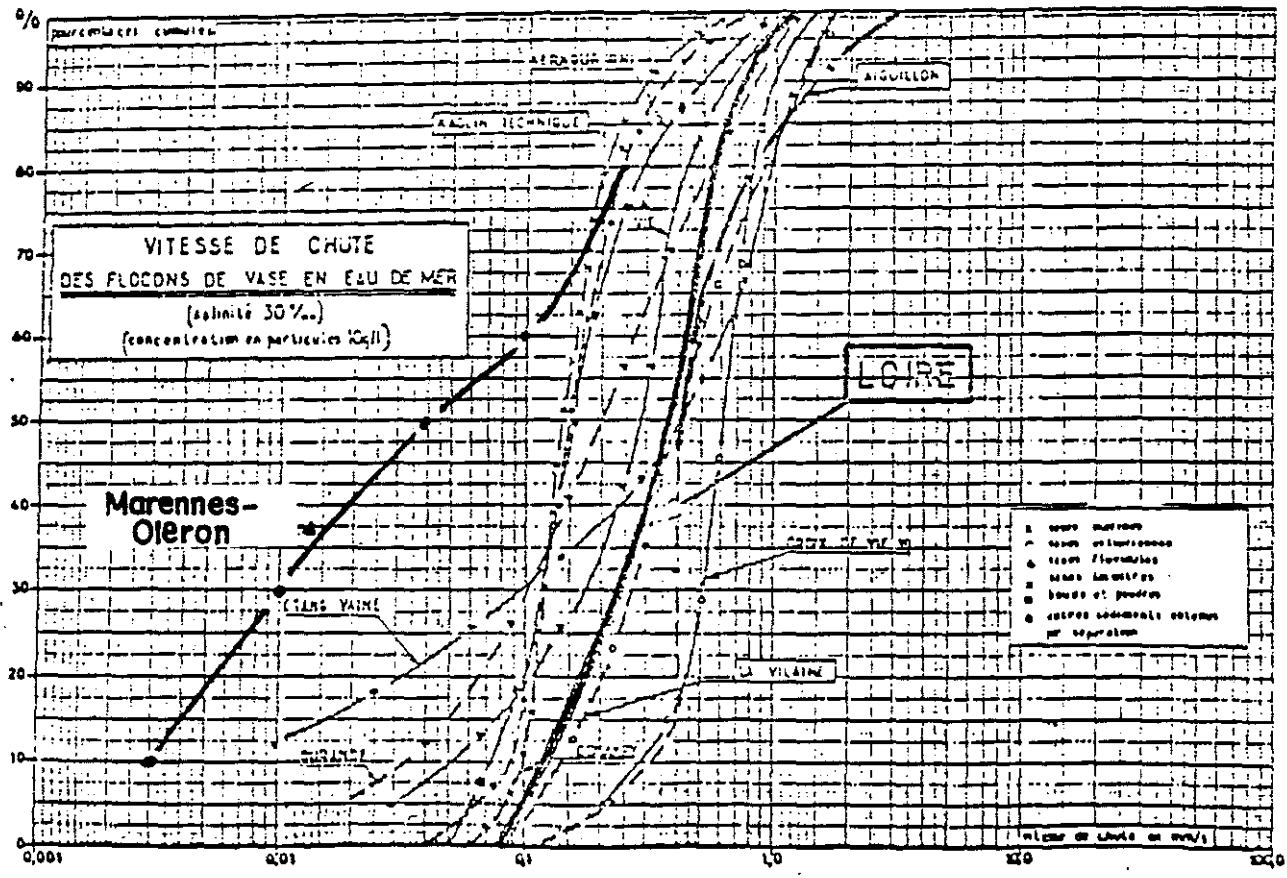
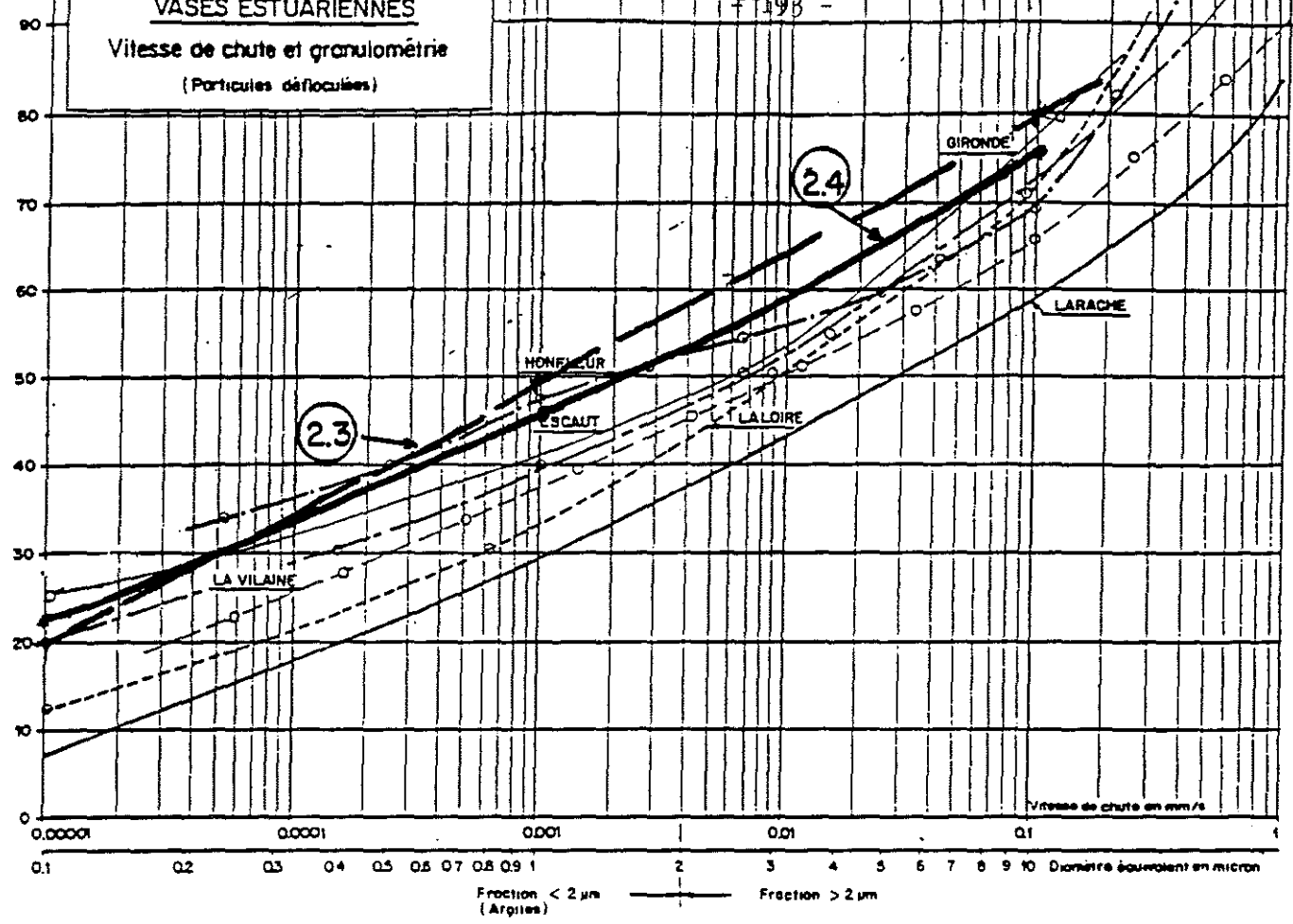
Concentration en g/l.



Cinit 145 g/l    Cinit 117 g/l    Cinit 84 g/l    Cinit 48 g/l    Cinit 19 g/l

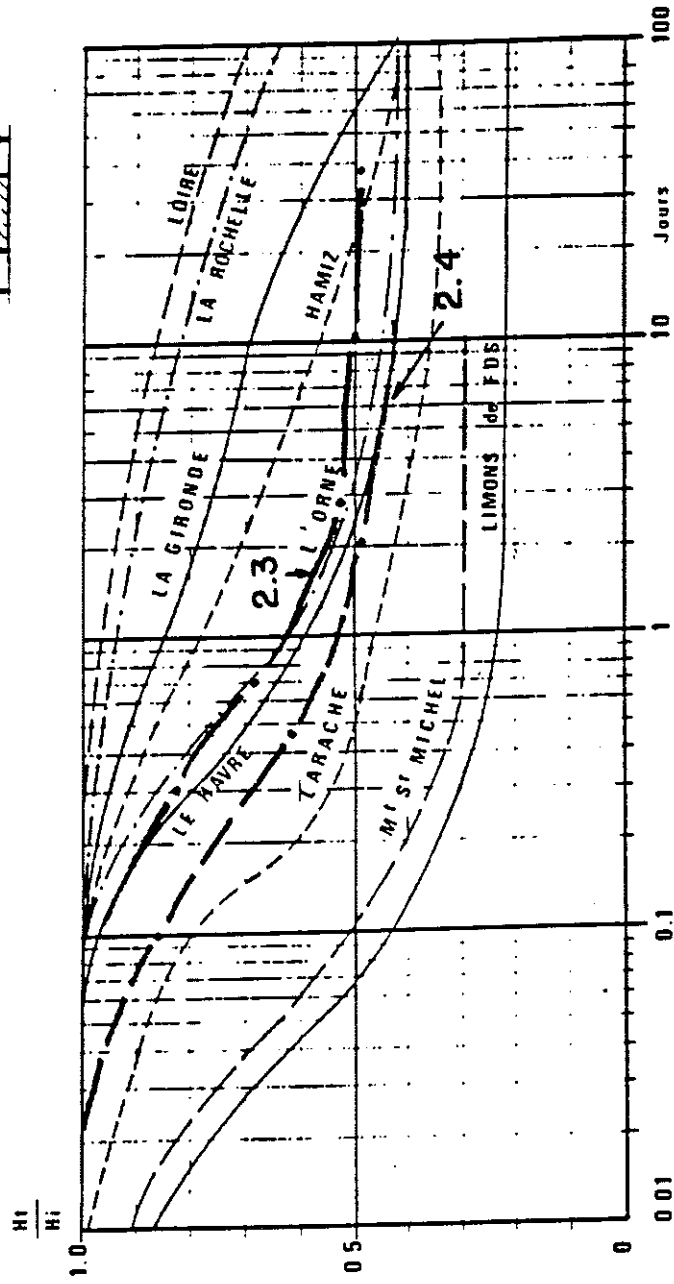
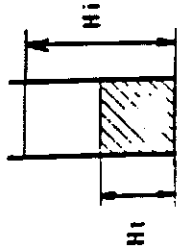


**VASES ESTUARIENNES**  
 Vitesse de chute et granulométrie  
 (Particules déflocculées)



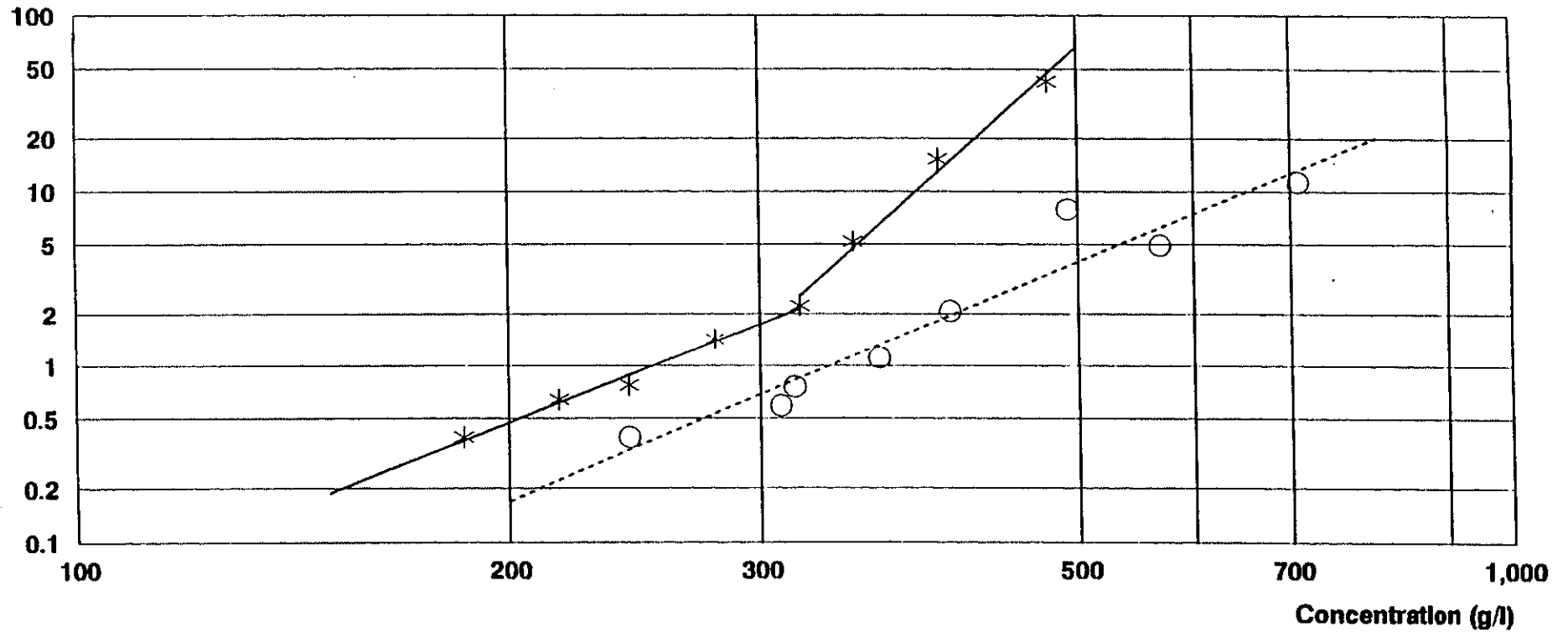
COURBES DE TASSEMENT DE DIFFERENTES VASES

(Concentration initiale 200 g/l ; Hauteur initiale: 1m)



# MARENNES-OLERON RIGIDITE INITIALE EN FONCTION DE LA CONCENTRATION

Rigidité initiale (N/m<sup>2</sup>)



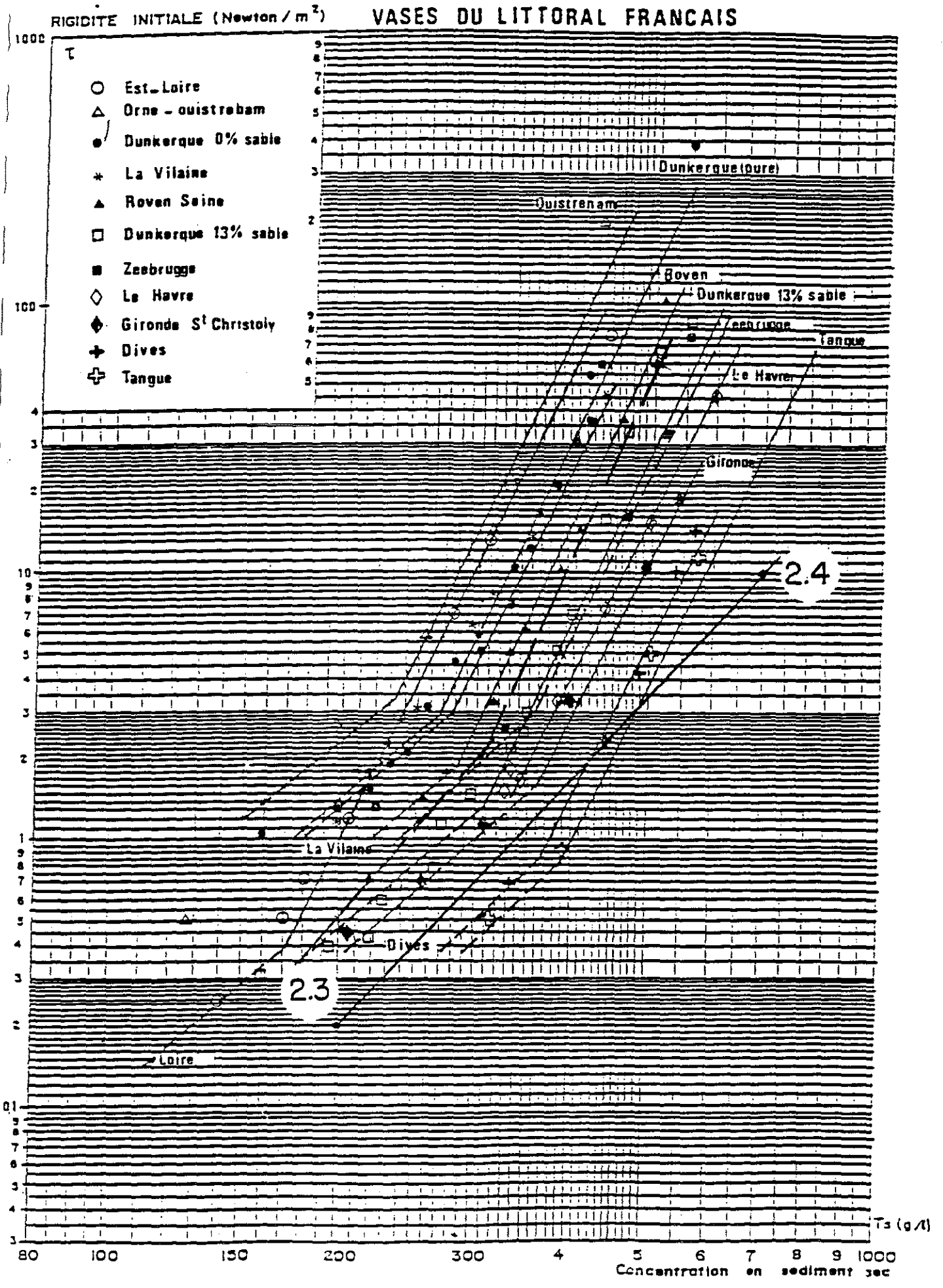
Echantillon: 2.3    Echantillon: 2.4

—\*—

- - - o - - -

# RIGIDITE INITIALE EN FONCTION DE LA CONCENTRATION EN SEDIMENT SEC

## VASES DU LITTORAL FRANCAIS

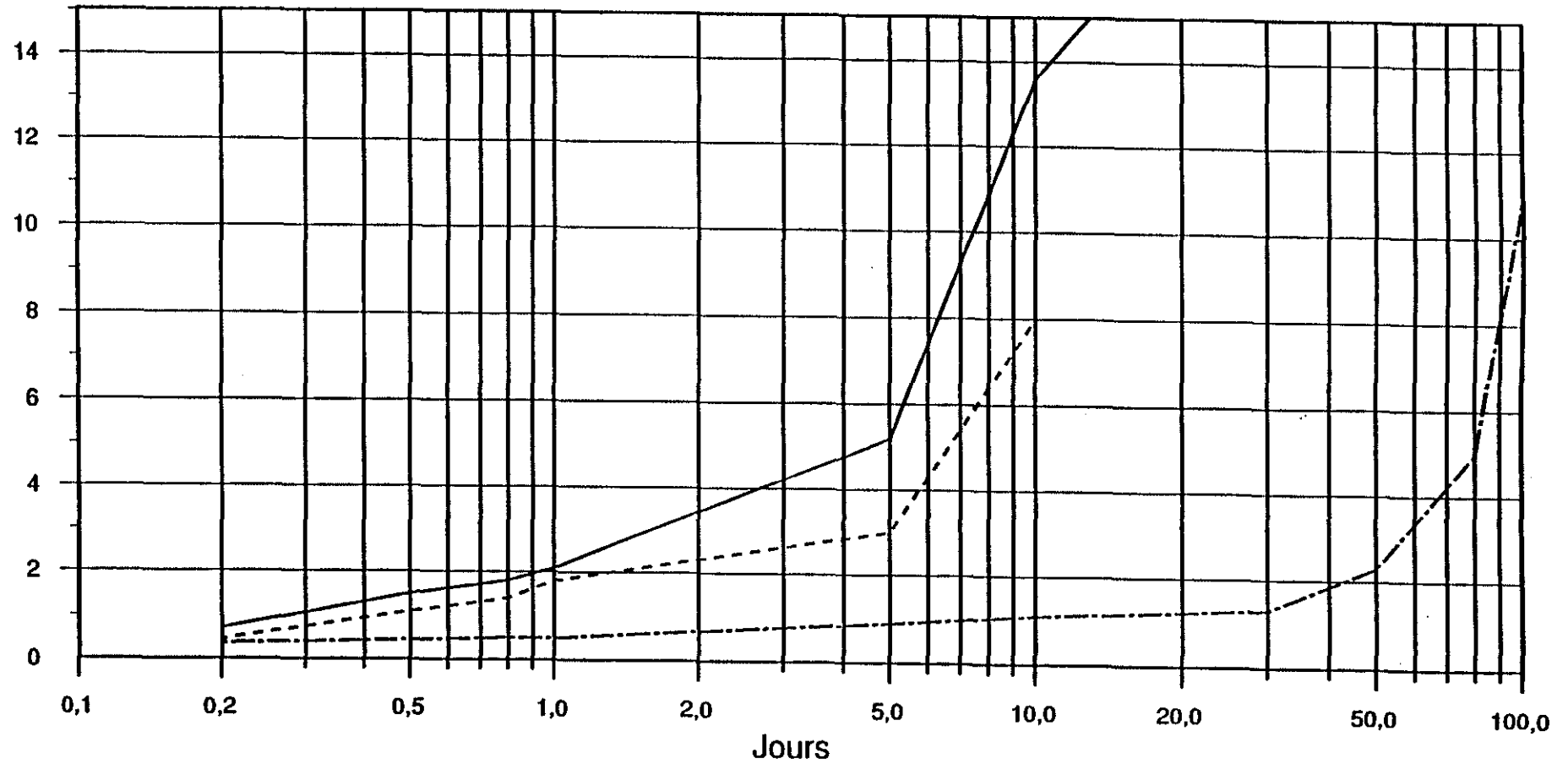




# MARENNES-OLERON

## RIGIDITE INITIALE EN FONCTION DU TEMPS

Rigidité initiale en  $N/m^2$



Ech: 2.3

Ech: 2.4

Ech: Gironde

**DIFFRACTOGRAMMES**

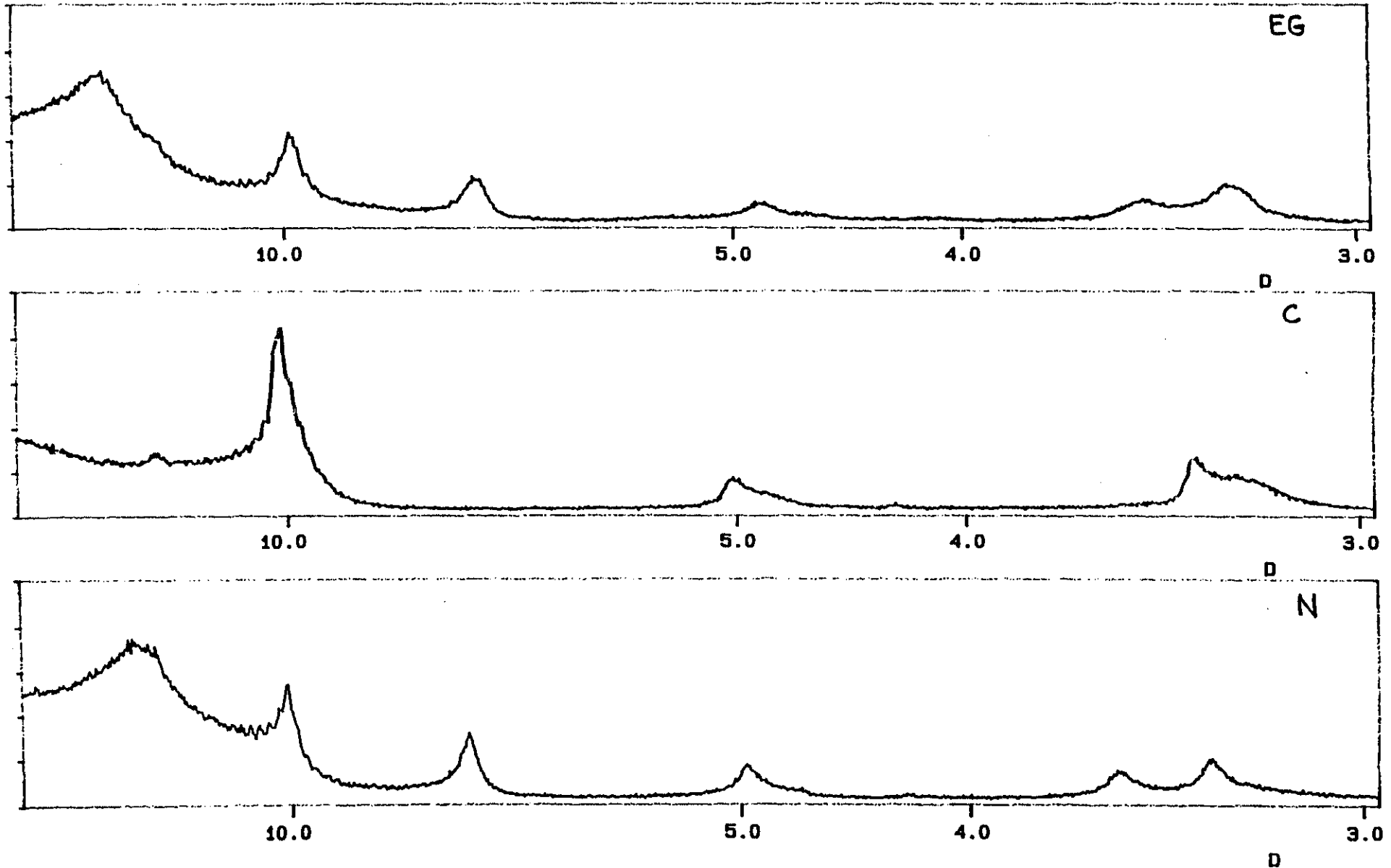
L.D

FILENAME: BLF29E.DAT  
TIME OF MEAS.: 1800.  
FILENAME: BLF29I.DAT  
TIME OF MEAS.: 1800.  
FILENAME: BLF29N.DAT  
TIME OF MEAS.: 1800.

DATE OF MEAS.: 3/10/91 10: 49  
DATE OF MEAS.: 2/10/91 14: 0  
DATE OF MEAS.: 2/10/91 18: 23

RESOLUTION: 4096 LIN FULL-SCALE: 5000.00  
RESOLUTION: 4096 LIN FULL-SCALE: 5000.00  
RESOLUTION: 4096 LIN FULL-SCALE: 5000.00

INEL



D I F F R A C T I N E L

SAMPLE BLF23N.DAT

'BLF23N.FXD

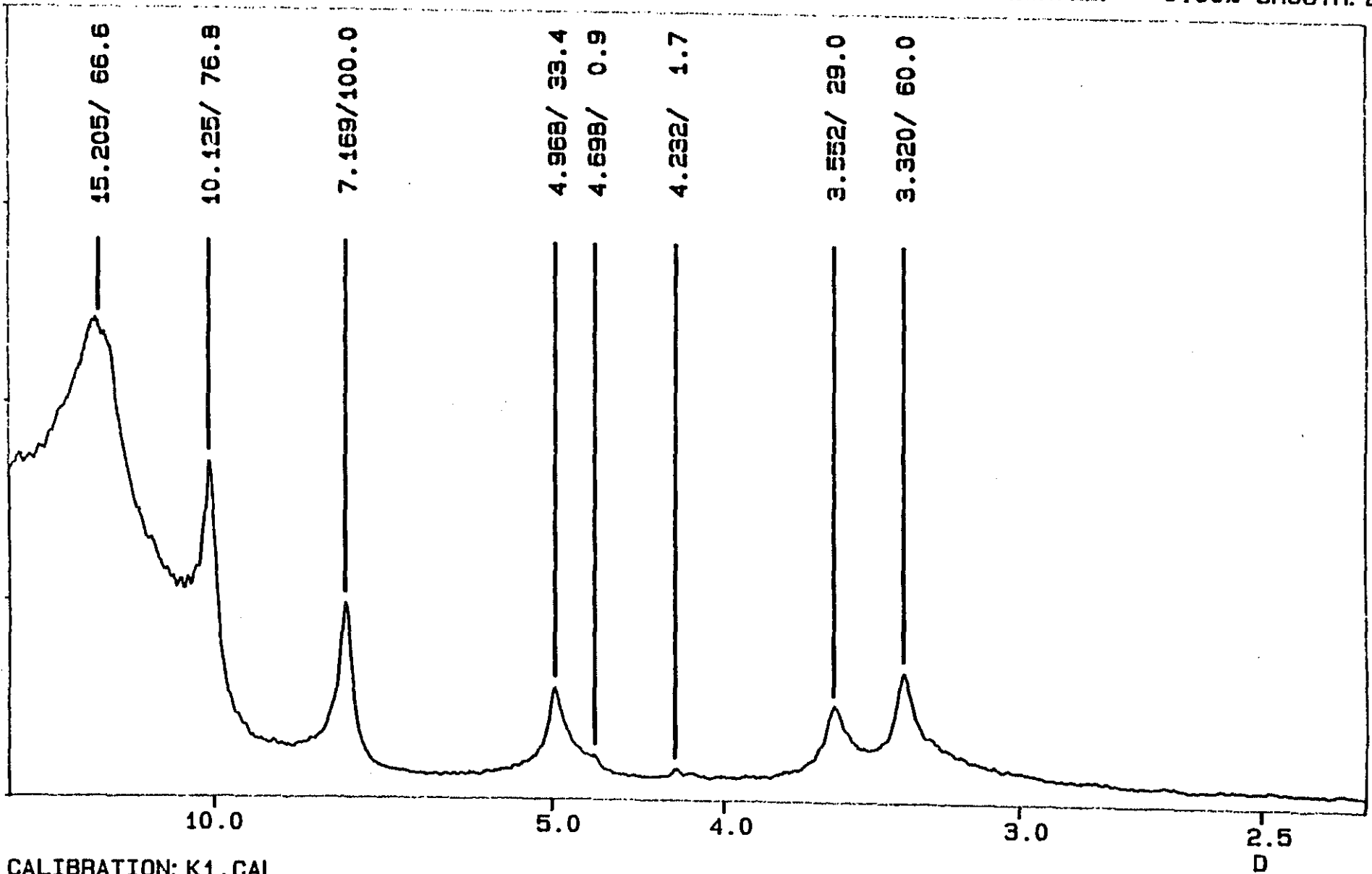
ECHANTILLON 2/3 NORMAL

LIN Y-MAX=

4000.00 THRESHOLD:

I N E L

0.00% SMOOTH: 2



CALIBRATION: K1.CAL

LAMBDA= 1.7889700 A, U= 40.00 KV, I= 24.00 MA, DATE= 2/10/91 15:23, T=

1800.SEC

D I F F R A C T I N E L

SAMPLE BLF23C.DAT

BLF23C.FXD

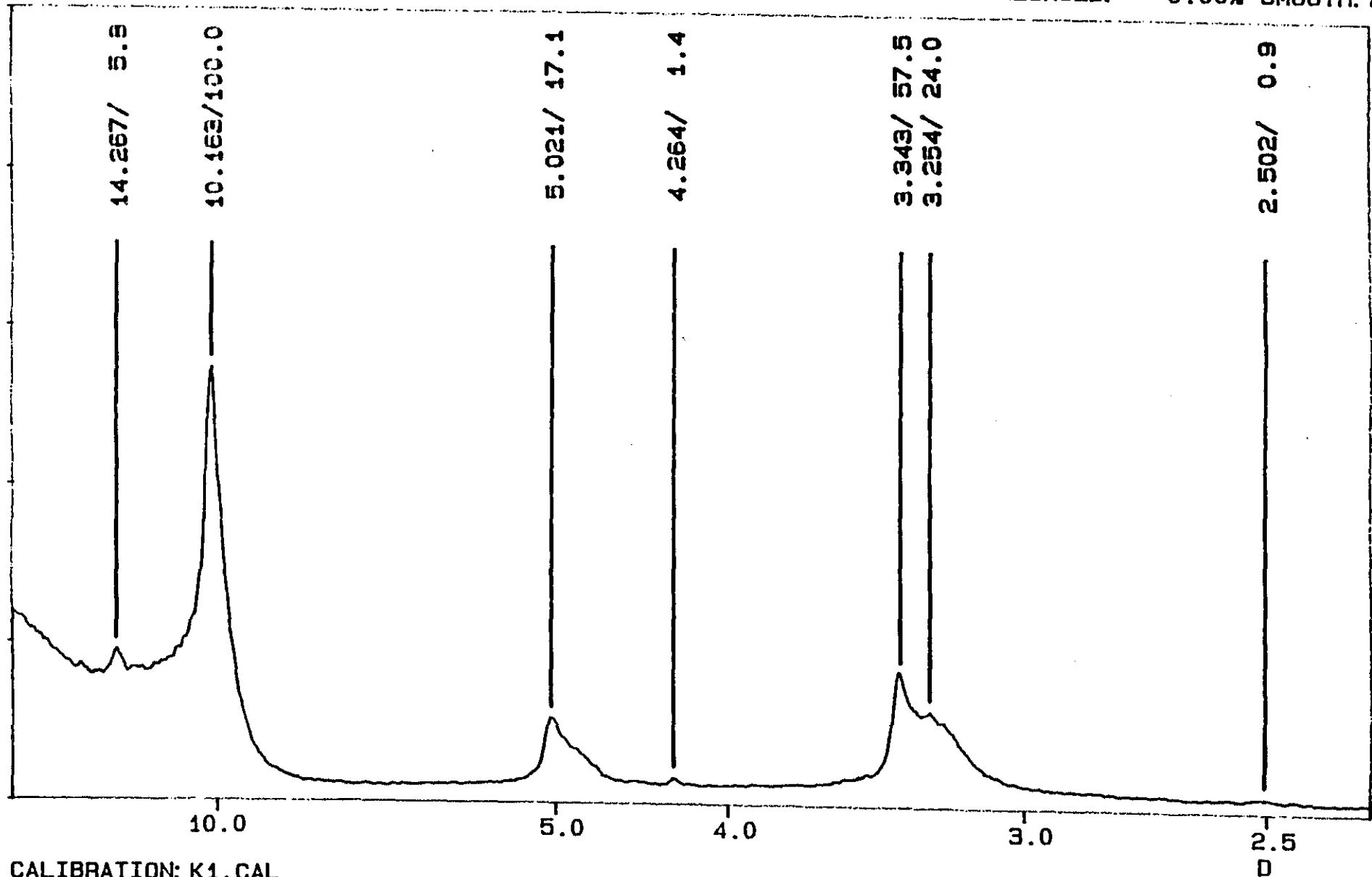
ECHANTILLON 2/3 CUIT

LIN Y-MAX=

5000.00 THRESHOLD:

I N E L

0.00% SMOOTH: 2



CALIBRATION: K1.CAL

LAMBDA= 1.7889700 A, U= 40.00 KV, I= 24.00 MA, DATE= 2/10/91 16: 8, T=

1800.SEC

D I F F R A C T I N E L

SAMPLE BLF23EG.DAT

BLF23EG.FXD

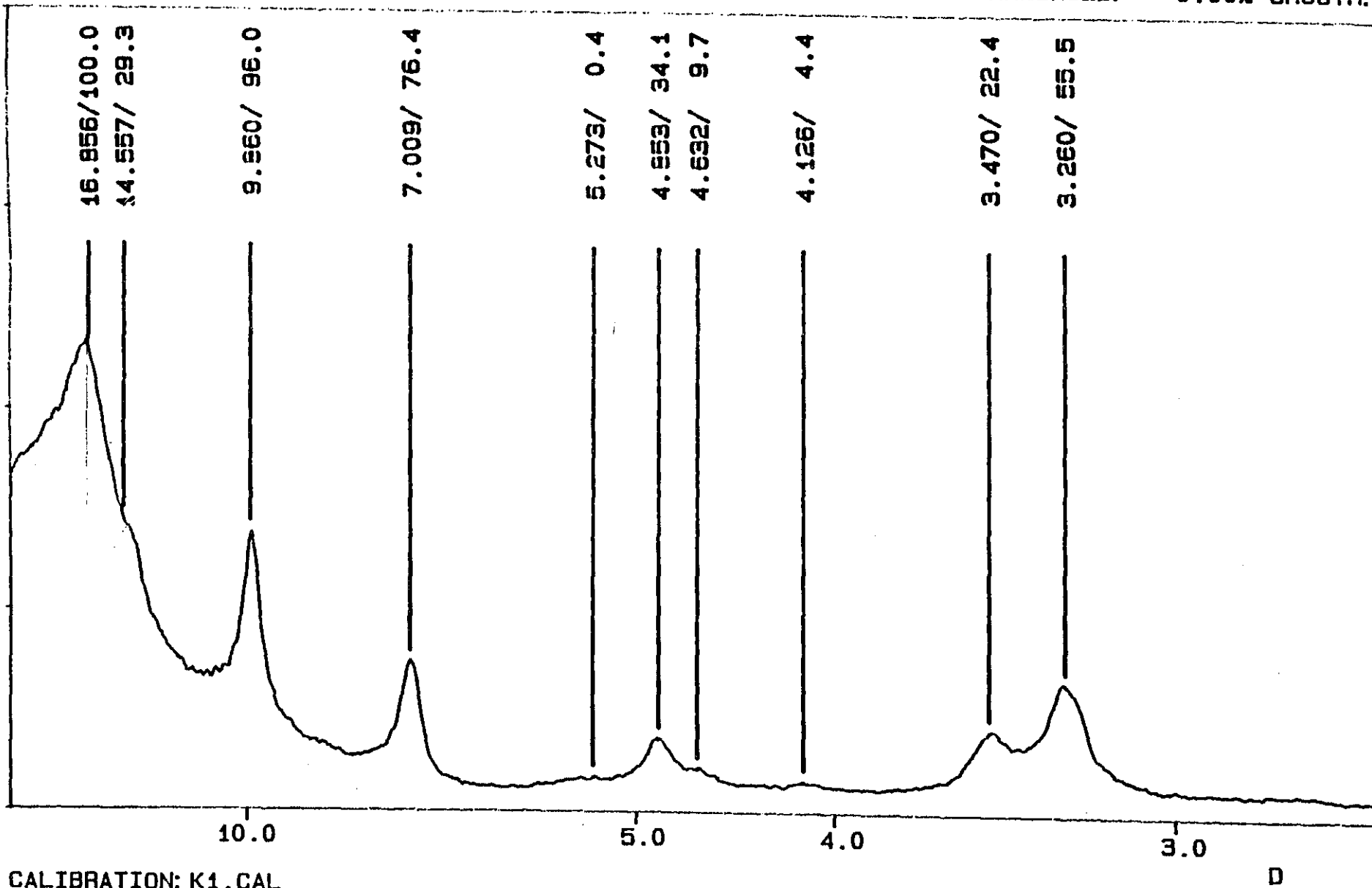
ECHANTILLON 2/3 GLYCOLE

LIN Y-MAX=

4000.00 THRESHOLD:

I N E L

0.00% SMOOTH: 2



CALIBRATION: K1.CAL

LAMBDA= 1.7889700 A, U= 40.00 KV, I= 24.00 MA, DATE= 3/10/91 10:49, T=

1800.SEC

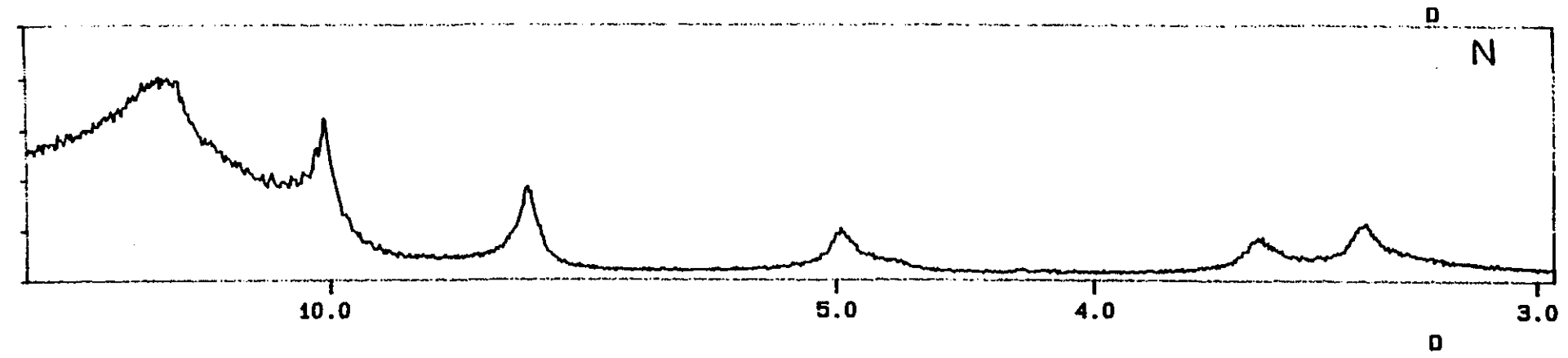
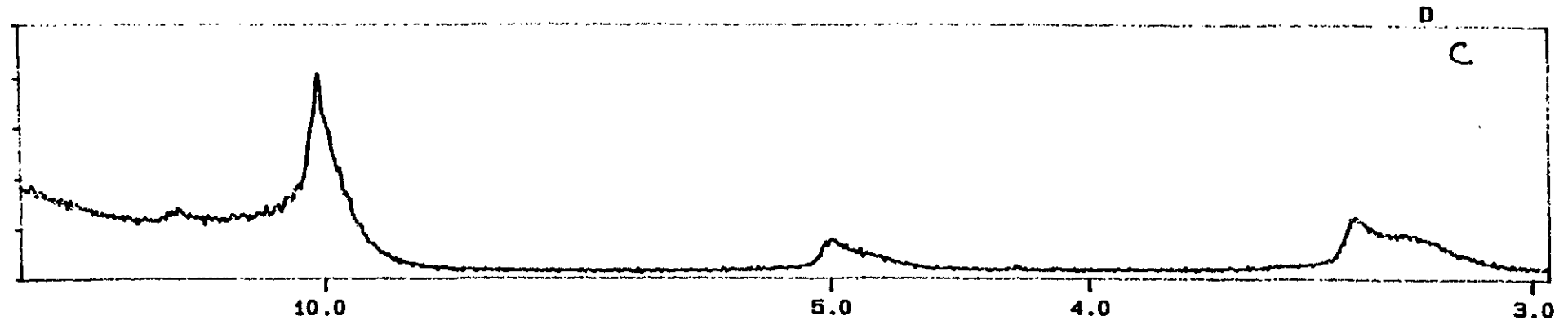
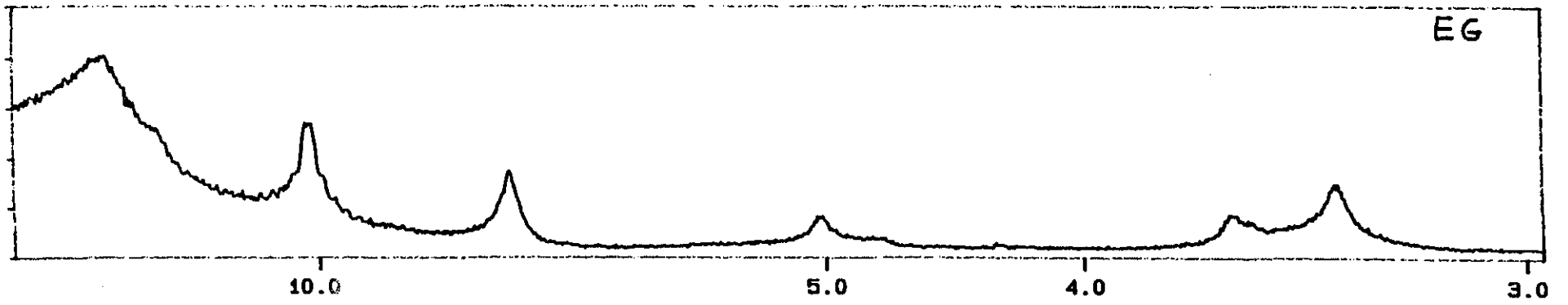
L.7

FILENAME: BLF24E9.DAT  
TIME OF MEAS.: 1800.  
FILENAME: BLF343.DAT  
TIME OF MEAS.: 1400.  
FILENAME: LF24N.DAT  
TIME OF MEAS.: 1804.

DATE OF MEAS.: 3/10/91 11: 40  
DATE OF MEAS.: 2/10/91 17: 8  
DATE OF MEAS.: 2/10/91 14: 48

RESOLUTION: 4096 LIN FULL-SCALE: 8000.00  
RESOLUTION: 4096 LIN FULL-SCALE: 8000.00  
RESOLUTION: 4096 LIN FULL-SCALE: 8000.00

INEL



- 203 -

A15

D I F F R A C T I N E L

ECH. 2/4 NORMAL

I N E L

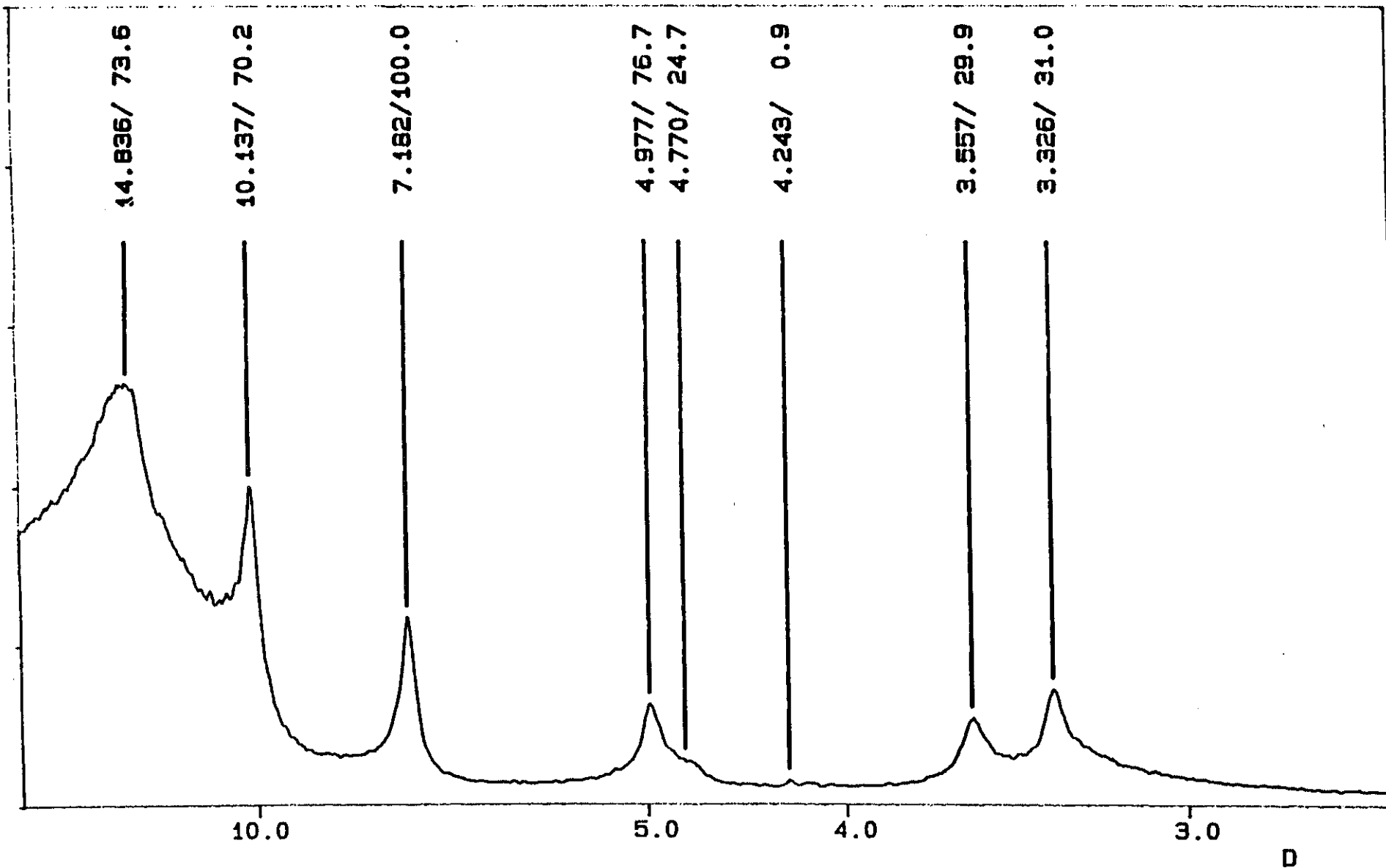
SAMPLE LF24N.DAT

LF24N.FXD

LIN Y-MAX=

5000.00 THRESHOLD:

0.00% SMOOTH: 2



- 204 -

CALIBRATION: K1.CAL

LAMBDA= 1.7889700 A, U= 40.00 KV, I= 24.00 MA, DATE= 2/10/91 14: 49, T= 1804.SEC

AI-6



D I F F R A C T I N E L

SAMPLE BLF24C.DAT

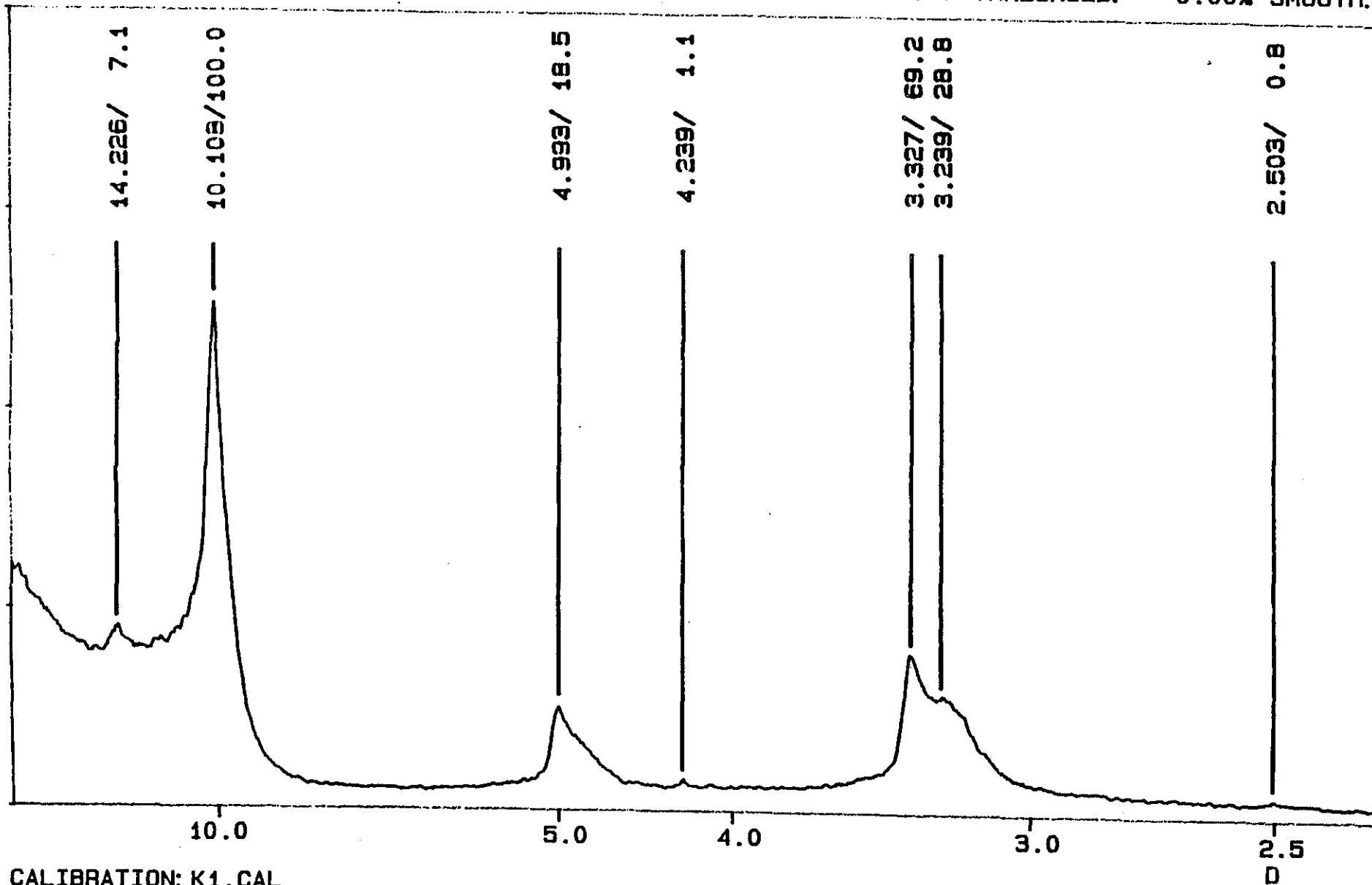
BLF24C.FXD

LIN Y-MAX=

4000.00 THRESHOLD:

I N E L

0.00% SMOOTH: 2



CALIBRATION: K1.CAL

LAMBDA= 1.7889700 A, U= 40.00 KV, I= 24.00 MA, DATE= 2/10/91 17: 3, T=

1800.SEC

D I F F R A C T I N E L

SAMPLE BLF24EG.DAT

BLF24EG.FXD

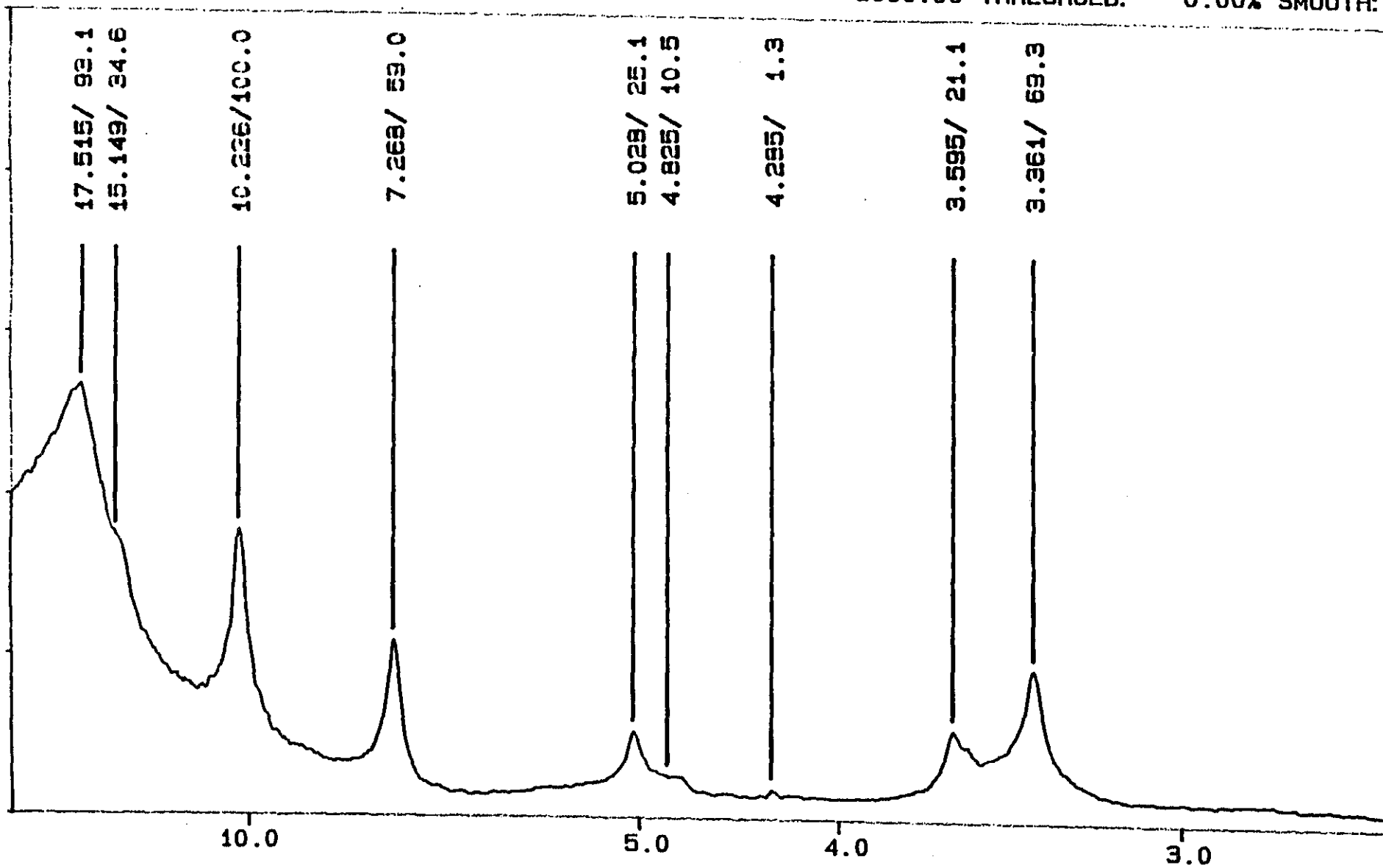
ECH. 2/4 GLYCOLE

LIN Y-MAX=

5000.00 THRESHOLD:

I N E L

0.00% SMOOTH: 2



CALIBRATION: K1.CAL

LAMBDA= 1.7889700 A, U=4024.00 KV, I= 24.00 MA, DATE= 3/10/91 11:40, T=

1800.SEC





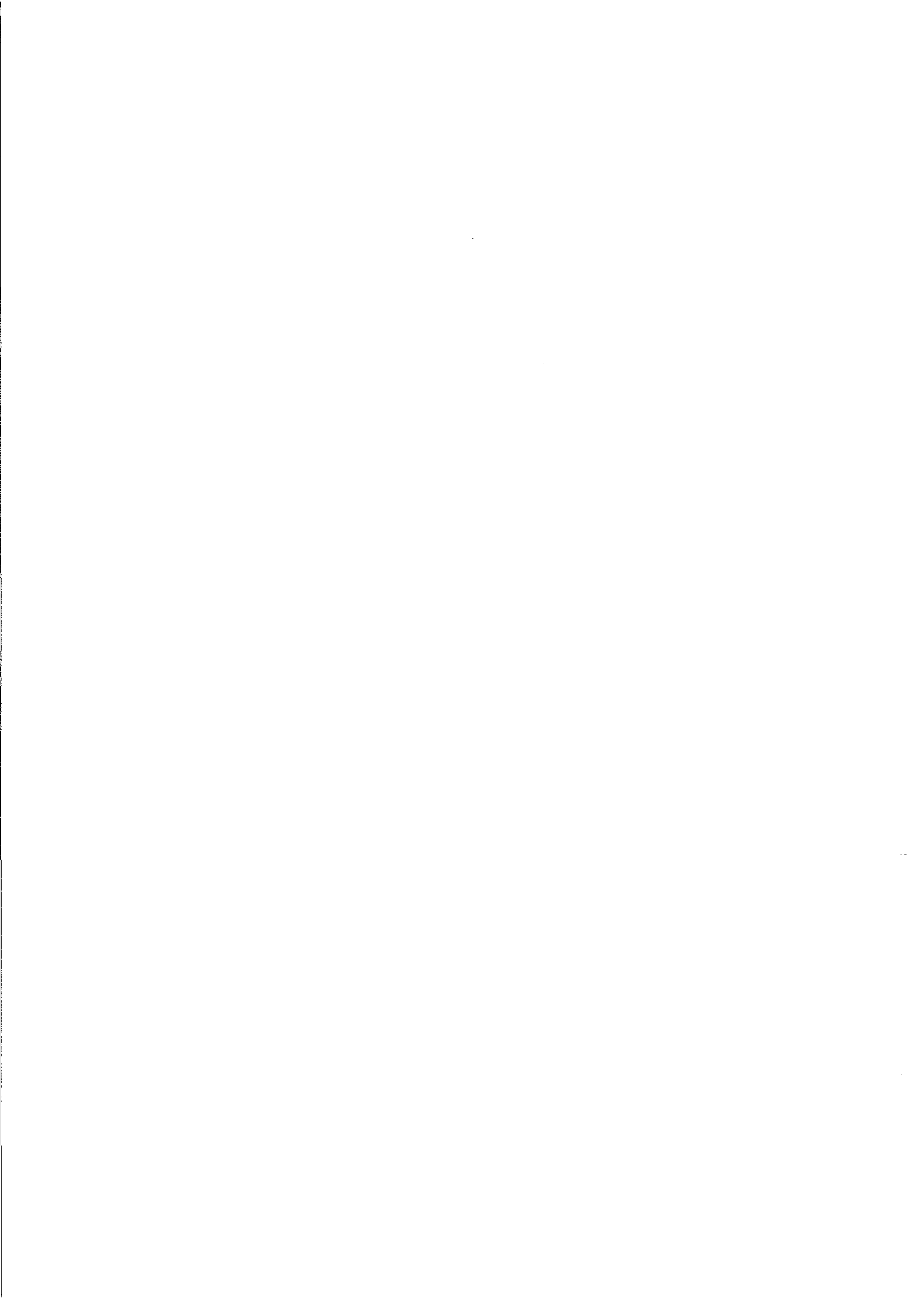
CHAPITRE VII

CONTRIBUTION A L'ETUDE DE L'AGITATION  
DANS LE BASSIN DE MARENNES-OLERON  
(HOULE ET CLAPOT)

Contrat N° 91 5 526008



RAPPORT D'ETUDE



## SOMMAIRE

OBJET DE L'ETUDE .....	I
SYNTHESE ET CONCLUSIONS .....	II
CHAPITRE 1 - METHODOLOGIE DE L'ETUDE .....	1
1.1 Introduction .....	1
1.2 Etude du régime local des vents .....	1
1.3 Formulation reliant le clapot au vent .....	3
1.4 Calcul du fetch .....	7
CHAPITRE 2 - CARTOGRAPHIE DU CLAPOT DANS LE BASSIN .....	8
2.1 Calculs préliminaires avec le modèle simplifiée à profondeur constante .....	8
2.2 Répartition du clapot dans le bassin .....	9
BIBLIOGRAPHIE .....	11

## OBJET DE L'ETUDE

L'objet de l'étude est l'estimation du régime moyen de clapot dans le bassin de Marennes-Oléron à partir des méthodes de calcul utilisées usuellement dans les études d'ingénierie côtière.

Les travaux présentés dans ce rapport s'intègrent dans le programme Charente-Marennes-Oléron, programme de recherche coordonnée pour l'analyse et la modélisation de l'écosystème du bassin de la Charente et de la zone littorale associée.

## SYNTHESE ET CONCLUSIONS

La cartographie du clapot a été calculée pour différentes conditions de vent et niveaux de marée par la méthode de Hurdle and Stive (1989) complétée par celle de Camfield (1977) pour tenir compte des larges estrans présents dans le bassin, ainsi que du frottement engendré par les parcs à huîtres.

Les résultats sont fournis sur fichier informatique en chaque point du maillage actuel de courantologie issu du modèle CYTHERE-ES1 sur la zone d'emprise du modèle biologique. Les résultats obtenus paraissent cohérents.

Des mesures en nature seraient néanmoins souhaitables afin de préciser la validité et la précision de l'approche adoptée.



## Chapitre 1

### METHODOLOGIE DE L'ETUDE

#### 1.1 INTRODUCTION

L'étude s'est déroulée de la façon suivante :

- . Etude du régime local des vents et choix de conditions caractéristiques.
- . Etude bibliographique sur les formulations reliant le clapot au vent soufflant sur le bassin. Choix d'une formulation adaptée avec la prise en compte d'une profondeur variable et du frottement induit par les parcs à huîtres.
- . Cartographie du clapot dans le bassin.

Le présent chapitre traite les deux premiers points.

Dans le second chapitre, les résultats obtenus sont détaillés.

#### 1.2 ETUDE DU REGIME LOCAL DES VENTS

Nous avons utilisé les mesures brutes des vents au sémaphore de Chassiron (pointe Nord-Ouest de l'île d'Oléron) mesurées entre le 1er janvier 1977 et le 31 décembre 1986 (disquette fournie par le LHF).

Ces mesures ont été dépouillées en classant les vents par direction (secteurs de 30°) et par vitesse (classes de 1 m/s).

Le tableau n° 1 présente la répartition de ces observations par vitesse et par direction. Le tableau n° 2 fournit les fréquences d'apparition correspondantes.

Tableau n° 1 - PHARE DE CHASSIRON - ROSE DES VENTS 1977-1986  
(Nombre d'observations)

PHARE DE CHASSIRON  
ROSE DES VENTS PERIODE 1977-1986

VITESSE DU VENT (M/S)	DIRECTION EN DEGRES												TOTAL
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	
1/	71	163	108	243	146	87	48	88	50	143	76	149	1372
2/	144	339	276	652	446	237	102	204	134	307	238	363	3422
3/	179	422	312	627	488	364	141	266	141	409	252	441	4042
4/	220	476	278	370	360	340	145	308	176	464	293	556	3986
5/	191	436	282	277	149	278	141	321	223	527	320	592	3757
6/	139	344	215	172	69	154	117	313	156	421	223	481	2804
7/	121	287	187	123	34	153	103	264	162	351	202	341	2328
8/	78	241	157	83	21	115	87	239	161	303	165	265	1915
9/	55	126	62	43	12	42	37	140	107	192	103	142	1061
10/	50	130	63	23	7	51	46	172	128	263	123	163	1219
11/	27	37	21	10	4	16	18	60	63	100	46	54	456
12/	23	33	15	4	3	15	16	85	48	108	57	61	468
13/	15	15	6	2	1	6	10	54	43	79	30	39	300
14/	7	6	6	0	0	1	6	17	18	47	18	14	140
15/	5	2	0	0	0	2	4	26	26	38	13	18	134
16/	3	2	0	0	0	0	2	15	6	15	3	8	54
17/	1	0	0	0	0	0	1	12	10	14	2	5	45
18/	0	1	0	0	0	0	0	3	6	12	0	2	24
19/	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	3
20/	0	0	0	0	0	0	0	2	1	3	1	0	7
21/	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	4
22/	0	0	0	0	0	0	1	0	0	2	1	0	4
23/	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
24/	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25/	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>1329</b>	<b>3080</b>	<b>1988</b>	<b>2629</b>	<b>1740</b>	<b>1861</b>	<b>1025</b>	<b>2590</b>	<b>1661</b>	<b>3800</b>	<b>2166</b>	<b>3677</b>	<b>27544</b>
CALMES	= 1470												
VENTS INDETERMINEES	= 208												
NOMBRE TOTAL D'OBSERVATIONS	= 29224												

Tableau n° 2 - PHARE DE CHASSIRON - ROSE DES VENTS 1977-1986  
(Fréquence pour mille)

PHARE DE CHASSIRON  
ROSE DES VENTS PERIODE 1977-1986  
FREQUENCE POUR MILLE

VITESSE DU VENT (M/S)	DIRECTION EN DEGRES												TOTAL
	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	
1/	2.4	5.6	3.7	8.3	5.0	3.0	1.6	3.0	1.7	4.9	2.6	5.1	46.9
2/	4.9	11.6	9.4	22.3	15.3	8.1	3.5	7.0	4.6	10.5	8.1	11.7	117.1
3/	6.1	14.4	10.7	21.5	16.7	12.3	4.8	9.1	4.8	14.0	8.6	15.1	138.3
4/	7.3	16.3	9.5	12.7	12.3	11.6	5.0	10.5	6.0	15.9	10.0	19.0	136.4
5/	6.5	13.6	9.6	9.5	5.1	9.5	4.8	11.0	7.6	18.0	10.9	20.3	128.6
6/	4.8	11.8	7.4	5.9	2.4	5.3	4.0	10.7	5.3	14.4	7.6	16.5	95.9
7/	4.1	9.8	6.4	4.2	1.2	5.2	3.5	9.0	5.5	12.0	6.9	11.7	79.7
8/	2.7	8.2	5.4	2.8	.7	3.9	3.0	8.2	5.5	10.4	5.6	9.1	65.5
9/	1.9	4.3	2.1	1.5	.4	1.4	1.3	4.8	3.7	6.6	3.5	4.9	36.3
10/	1.7	4.4	2.2	.3	.2	1.7	1.6	5.9	4.4	9.0	4.2	5.6	41.7
11/	.9	1.3	.7	.3	.1	.5	.6	2.1	2.2	3.4	1.6	1.8	15.6
12/	.8	1.1	.5	.1	.1	.5	.5	2.9	1.6	3.7	2.0	2.1	16.0
13/	.5	.5	.2	.0	.0	.2	.3	1.8	1.5	2.7	1.0	1.3	10.3
14/	.2	.2	.2	.0	.0	.0	.2	.6	.6	1.6	.6	.5	4.8
15/	.2	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.9	.9	1.3	.4	.6	4.6
16/	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.5	.2	.5	.1	.3	1.8
17/	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.4	.3	.5	.0	.2	1.5
18/	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.2	.4	.0	.0	.8
19/	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1
20/	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.0	.2
21/	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1
22/	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1
23/	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
24/	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
25/	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
<b>TOTAL</b>	<b>45.5</b>	<b>105.4</b>	<b>68.0</b>	<b>90.0</b>	<b>59.5</b>	<b>63.7</b>	<b>35.1</b>	<b>86.6</b>	<b>56.8</b>	<b>130.0</b>	<b>74.1</b>	<b>125.8</b>	<b>942.6</b>
CALMES	= 50.3												
VENTS INDETERMINEES	= 7.1												
NOMBRE TOTAL D'OBSERVATIONS	= 29224												

A partir de ces résultats, nous proposons, pour chaque secteur de direction, de sélectionner la vitesse de vent maximale sur 10 ans qui permet de calculer les clapots extrêmes à attendre dans le bassin et une vitesse de vent médiane correspondant à une fréquence de non-dépassement de 0,5 pour faire les calculs de clapot (tableau n° 3).

**Tableau n° 3 - CONDITIONS DE VENT PROPOSEES POUR LES CALCULS**

Direction (degrés)	Vitesse médiane (m/s)	Vitesse maximale sur 10 ans (m/s)
0	5	17
30	5	18
60	4	14
90	4	13
120	3	13
150	4	15
180	5	22
210	6	21
240	6	21
270	6	23
300	5	22
330	5	21

1.3

FORMULATION RELIANT LE CLAPOT AU VENT

Considérons un vent de direction  $\Theta$  et de vitesse  $U_A$  soufflant sur une distance  $F$  (appelée fetch) dans le bassin. Le clapot qui en résulte aura une période de pic  $T_p$  et une hauteur significative  $H_s$ .

Le dépouillement de campagnes de mesures en nature a permis à plusieurs auteurs de proposer des relations du type :

$$H_s = f(F(\Theta), U_A, h(\Theta), t_a)$$

$$T_p = g(F(\Theta), U_A, h(\Theta), t_a)$$

avec :

- h Profondeur moyenne le long du fetch
- t<sub>a</sub> Temps d'action du vent

Traditionnellement, c'est la méthode SMB (Sverdup, Munk, Bretschneider) qui a été la plus utilisée pour ces calculs (Bretschneider, 1958).

Plus récemment, les campagnes de mesures effectuées dans le cadre du programme Jonswap ont permis d'améliorer cette méthode dans le cas de l'eau profonde (Hasselmann et al, 1976).

Ces deux méthodes sont exposées dans le Manuel pour la Défense des Côtes (Shore Protection Manual, 1984) édité par l'US Army aux Etats-Unis.

Hurdle et Stive (1989) ont récemment réunifié ces deux méthodes qui n'étaient pas cohérents entre elles lorsque l'on passait de l'eau profonde à la profondeur finie.

C'est donc cette dernière formulation qui a été utilisée pour la présente étude.

### 1.3.1 FORMULATION SIMPLIFIEE

Dans le cas le plus simple (profondeur relative importante et fetch limité), ces formules s'écrivent :

$$Hs = 0,0016 \left( \frac{FU_A^2}{g} \right)^{1/2} \quad (1)$$

$$Tp = 0,286 \left( \frac{FU_A}{g^2} \right)^{1/3} \quad (2)$$

avec la condition :

$$ta \geq td = 65,9 \left( \frac{F^2}{gU_A} \right)^{1/3} \quad (3)$$

g Accélération de la pesanteur  
td Temps de développement d'un clapot

Dans le cas où la condition (3) n'est pas remplie, il faut recalculer Hs et Tp avec un fetch réduit Fr vérifiant :

$$ta = 65,9 \left( \frac{Fr^2}{gU_A} \right)^{1/3} \quad (4)$$

Ces formules sont souvent utilisées pour obtenir un premier ordre de grandeur du clapot.

### 1.3.2 FORMULATION COMPLETE

Pour le cas de Marennes-Oléron, nous avons pris en compte quatre facteurs complémentaires qui sont :

- . la hauteur d'eau moyenne qui est, en général, faible,
- . la variation spatiale de la hauteur d'eau,
- . la présence de parcs à huîtres sur les estrans,
- . une correction de la vitesse du vent.

Lorsque la hauteur d'eau moyenne est faible, cela limite le développement du clapot. Il faut alors remplacer les formules précédentes par :

$$\bar{H} = 0,25 \tanh (0,6 \bar{h}^{0,75}) \tanh^{0,5} \left[ \frac{4,3 \cdot 10^{-5} \bar{F}}{\tanh^2(0,6 \bar{h}^{0,75})} \right] \quad (5)$$

$$\bar{T} = 8,3 \tanh (0,76 \bar{h}^{0,375}) \tanh^{\frac{1}{3}} \left[ \frac{4,1 \cdot 10^{-5} \bar{F}}{\tanh^3 (0,76 \bar{h}^{0,375})} \right] \quad (6)$$

$$\bar{td} = 65,9 \bar{F}^{\frac{2}{3}} \quad (7)$$

avec :

$$\bar{H} = \frac{gHs}{U_A^2} \text{ et } Hs : \text{ hauteur significative du clapot}$$

$$\bar{T} = \frac{gTp}{U_A} \text{ et } Tp : \text{ période de pic du clapot}$$

$$\bar{td} = \frac{gtd}{U_A} \text{ et } td : \text{ temps nécessaire à l'obtention d'un régime permanent de clapot}$$

$$\bar{h} = \frac{gh}{U_A^2} \text{ et } h : \text{ hauteur d'eau moyenne}$$

Les termes surlignés sont adimensionnels.

$U_A$  est la vitesse de frottement du vent (cf. § 1.3.3) (10)

Dans le cas où le vent souffle pendant une durée  $t_a < t_d$ , il faut recalculer le clapot en considérant un fetch réduit selon la formule :

$$\bar{F} = \left(\frac{t_a}{65,9}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (8)$$

D'autre part, la présence d'estrans importants dans le bassin nous a amené à prendre en compte l'effet de la variation des fonds jusqu'à des hauteurs d'eau très faibles (quelques dizaines de centimètres).

Enfin, nous avons introduit sur ces estrans une rugosité de fond plus importante pour tenir compte de la présence des parc à huîtres.

Sur ces deux points, nous avons utilisé la méthodologie développée par Camfield (1977) qui a travaillé aux Etats-Unis sur ce type de bassin.

Cette amélioration permet ainsi d'obtenir une atténuation réaliste du clapot sur les estrans qu'il n'est pas possible d'obtenir par la méthode classique qui ne considère qu'une hauteur d'eau moyenne.

### 1.3.3

#### CALCUL DE LA VITESSE DE FROTTEMENT DU VENT

Il est recommandé d'utiliser dans les formules précédentes une vitesse de vent corrigée tenant compte des effets de turbulence à l'interface air-eau. Cette vitesse corrigée dite vitesse de frottement se calcule de la façon suivante :

Les mesures sont d'abord ramenées à une altitude de 10 m par la formule :

$$U(10) = U(z) \left(\frac{10}{z}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

De plus, si la différence de température air-mer  $\Delta T_{a-m} = T_a - T_m$  est nulle, la couche limite est neutralement stable et aucune correction de la vitesse du vent n'est nécessaire.

Si  $\Delta T_{a-m}$  est négative, la couche limite est instable et la vitesse du vent est plus efficace, causant la croissance de la houle.

Si  $\Delta T_{a-m}$  est positive, la couche limite est instable et la vitesse du vent est moins efficace.

En l'absence d'information sur la différence de température air-mer, on prendra le coefficient de correction de température  $R_T = 1.1$ .

La vitesse du vent efficace est alors obtenue par :

$$U = R_T U(10) \quad (10)$$

La vitesse de frottement est reliée à la vitesse corrigée à 10 m par la formule :

$$U_A = 0,71 U^{1,23} \quad (11)$$

#### 1.4

#### CALCUL DU FETCH

L'application de la méthode choisie nécessite la connaissance du fetch qui est le domaine sur lequel le clapot se génère.

Deux données sont nécessaires : la longueur du fetch (F) et la hauteur d'eau le long de celui-ci (h).

Ces deux données sont fonction du point où l'on veut connaître l'agitation et de la direction du vent.

Afin de pouvoir fournir les caractéristiques du clapot en tout point du maillage actuel de courantologie issu du modèle CYTHERE-ES1, nous avons développé un programme de calcul automatique de la longueur du fetch et de la hauteur d'eau moyenne. Ce programme lit la géométrie et les profondeurs dans le bassin sur le fichier d'entrée du modèle de courantologie.

Dans la plupart des cas, la détermination du fetch est simple car le bassin est limité par la côte. Par contre, dans le Nord-Ouest du domaine, le bassin est ouvert au large et le fetch ne peut plus être limité comme précédemment lorsque le vent souffle de l'Ouest. Il ne s'agit d'ailleurs plus de clapot mais de mer de vent dont la détermination est exclue de la présente étude.

Pour ce cas particulier, nous avons donc opté pour le compromis suivant : le maillage du modèle courantologie a été étendu en direction du NW pour inclure la côte de l'île de Ré et permettre ainsi le calcul correct du fetch pour les directions N330 et N360 (figure 1). Pour les directions N270 et N300, la limite du fetch est celle du maillage étendu du modèle de courantologie. Cette limitation sous-estime l'agitation locale pour quelques points situés au Nord de l'embouchure de la Charente lorsque le vent souffle en provenance de N300.

## Chapitre 2

### CARTOGRAPHIE DU CLAPOT DANS LE BASSIN

#### 2.1 CALCULS PRELIMINAIRES AVEC LE MODELE SIMPLIFIE A PROFONDEUR CONSTANTE

##### 2.1.1 CALCUL DU CLAPOT POUR DES CONDITIONS MOYENNES ET EXTREMES

Les calculs ont été effectués en chaque point du maillage situé dans la limite du modèle biologique multiboîtes de l'IFREMER (voir figure 1) pour 12 conditions de vent extrême et 12 conditions de vent médian. Un niveau d'eau moyen (+3,70) a d'abord été choisi pour effectuer ces calculs.

Les résultats sont fournis en annexe A sous forme de tableaux fournissant les valeurs maximales déterminées sur le bassin pour chacun des cas de vent. Les coordonnées (I, J) du point de maillage où ces valeurs ont été calculées sont également fournies.

En vent médian (tableau A1), les hauteurs significatives ne dépassent pas 0,5 m pour une période de pic de 3,3 s. Les temps d'établissement de ces clapots sont assez longs (de 3 à 5 h environ).

En vent extrême (tableau A4), les hauteurs sont comprises entre 0,9 et 2,6 m et les périodes comprises entre 3,5 et 6,2 s. Les temps d'établissement sont plus rapides (1 h 40 à 3 h environ).

##### 2.1.2 SENSIBILITE DES RESULTATS AU NIVEAU DE LA MAREE

La variation du niveau de la marée fait varier la longueur du fetch de manière significative compte tenu des larges estrans ainsi que la profondeur moyenne.

Les calculs précédents ont donc été repris pour un niveau de basse mer (+1,0) et un niveau de pleine mer (+6,7) de vive-eau. Les tableaux de résultats figurent également en annexe.



On note peu de modifications pour les vents médians (tableaux A1 à A3). Cela s'explique par le fait que les clapots générés ont des périodes très courtes. On se trouve donc généralement en eau profonde et la profondeur n'a alors plus d'influence. L'augmentation de la longueur du fetch avec le niveau de la marée a également peu d'influence sur les valeurs maximales. Localement, ce paramètre a cependant une influence bien plus grande en certains points proches des estrans.

Pour les vents extrêmes (tableaux A4 à A6), les écarts atteignent 20 à 25 % entre les niveaux de basse et pleine mer.

## 2.2 REPARTITION DU CLAPOT DANS LE BASSIN

Le modèle complet a ensuite été utilisé pour calculer le clapot en tout point du modèle biologique (figure 1) pour 3 conditions de vent qui sont :

30°N	.....	5 m/s
30°N	.....	18 m/s
270°N	.....	23 m/s

La répartition des périodes et des hauteurs de clapot dans le bassin est présentée sur les figures 2 à 7.

Les résultats ont également été stockés sur les points du maillage CYTHERE sur disquettes 3,5 pouces, afin de pouvoir être relus informatiquement.

Les noms de fichiers résultats suivent le symbolisme suivant :

aabb(b)cc(c) . suf

avec :

aa :           PM marée haute (+6,2 m)  
              BM marée basse (+1,0 m)

bb(b) :       Direction du vent 30, 120, etc.

cc(c) :       Vitesse du vent V5, V18, etc.

suf :           HSM hauteur du clapot  
              TSM période du clapot

Les fichiers sont séquentiels, ASCII écrits au format suivant :

### 1ère ligne

IMAX, JMAX : nombre de colonnes et de lignes sur lesquelles les résultats sont fournis.

Lignes suivantes (par blocs de 8 colonnes)

- 1ère ligne : ordonnées des points où sont fournis les résultats,
- suivantes (IMAX lignes) : abscisse puis valeurs de Hs ou Tp.

Le tableau n° 4 fournit un exemple d'un tel fichier.

oOo

## BIBLIOGRAPHIE

BRETSCHNEIDER CL. (1958)

"Revisions in wave forecasting: deep and shallow water"  
Proc. 6e Int. Conf. on Coastal Eng., ASCE, 31-67

CAMFIELD F.E. (1977)

"Wind-wave propagation over flooded, vegetated land"  
Techn. Paper No. 77-12, Coastal Eng. Research Center, US Army Corps of Engineers,  
Vicksburg, Mississippi

HASSELMANN K., DB. ROSS, P. MULLER AND W. SELL (1976)

"A parametric wave prediction model"  
J. of physical oceanography, vol. 6, 200-228

HURDLE DP. and RJH. STIVE (1989)

"Revision of SPM 1984 wave hindcast model to avoid inconsistencies in engineering  
applications"  
Coastal Eng., 12, 339-351

US. ARMY CORPS OF ENGINEERS (1984)

"Shore Protection Manual, vol 1"  
Coastal Eng. Research Center, Vicksburg, Mississippi

**Annexe A**

**TABLEAUX DE RESULTATS**

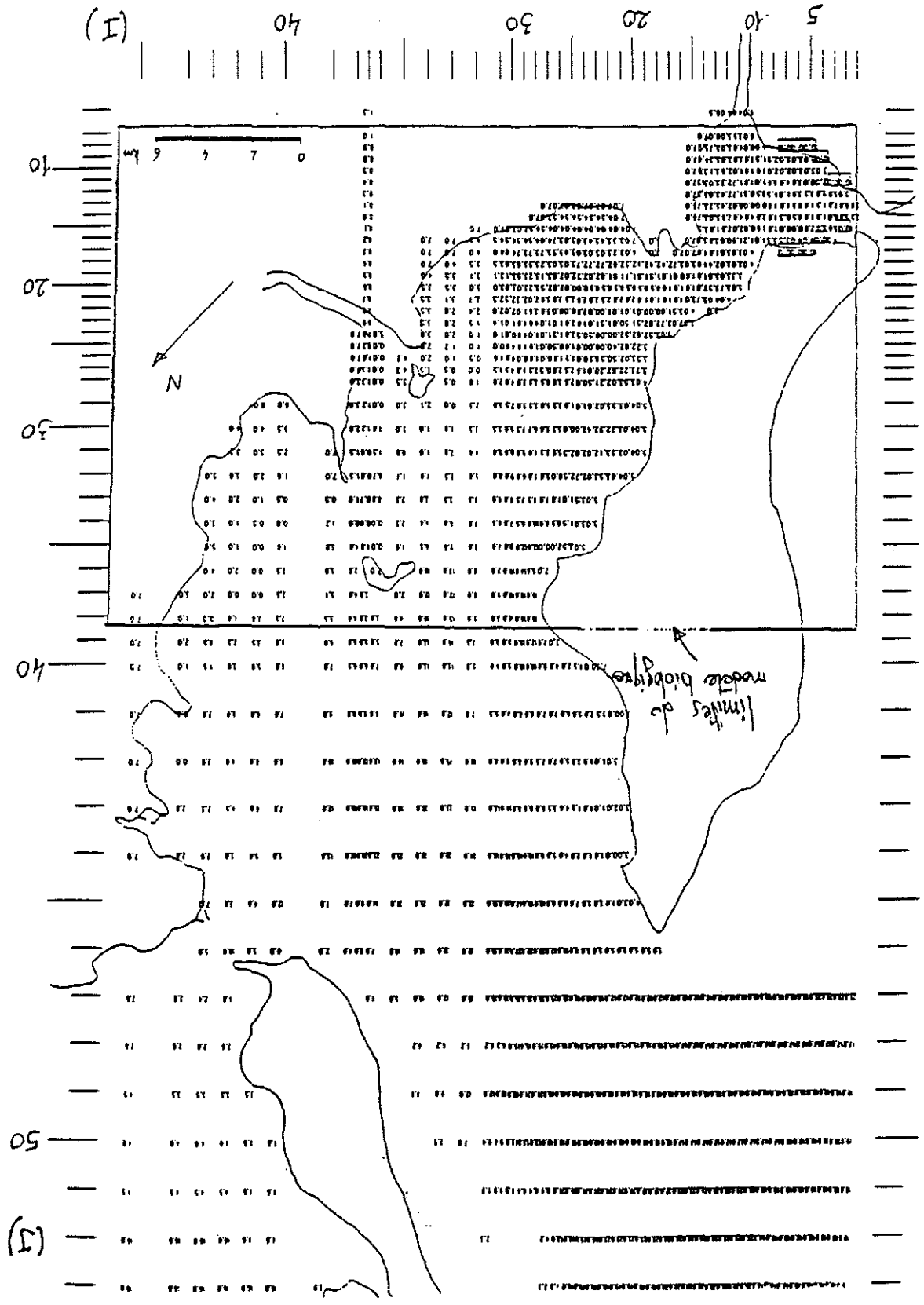




26000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
27000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
28000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
30000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
0.	25000.	25500.	26000.	26500.	27000.	27500.	28000.	30500.
0.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
500.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
1000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
1500.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
2000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
2500.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
3000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
3500.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
4500.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
5000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
5500.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
6000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
6500.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
7000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
7500.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
8000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
8500.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
9000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
9500.	.4202	.4199	.4194	.4184	.4157	.4157	.4120	.0000
10000.	.6131	.6123	.6098	.6067	.6003	.6025	.4124	.0000
10500.	.7579	.7542	.5823	.6185	.5113	.6509	.6063	.0000
11000.	.7894	.7670	.7504	.7437	.7027	.7470	.6534	.1721
11500.	.8877	.8691	.8559	.8098	.7916	.8331	.8590	.4532
12000.	.9762	.9773	.9261	.9112	.8272	.8440	.6723	.6133
12500.	1.0575	1.0283	1.0155	.9424	.8997	.8769	.7623	.7526
13000.	1.0900	1.0959	1.0284	1.0313	.9790	.9327	.8847	.8703
13500.	1.1798	1.1543	1.1326	1.1013	1.0929	.9954	.9739	.9387
14000.	1.2337	1.2126	1.1767	1.1458	1.1413	1.0795	1.0792	1.0006
14500.	1.2901	1.2643	1.2567	1.2689	1.1817	1.1880	1.1430	1.0351
15000.	1.3353	1.3300	1.3413	1.2911	1.2513	1.2413	1.1736	1.1307
16000.	1.4222	1.4025	1.3962	1.3831	1.3373	1.3339	1.3140	1.1520
17000.	1.4066	1.4282	1.4503	1.4698	1.4830	1.4888	1.4232	1.2583
18000.	1.3862	.4259	.0000	.0000	1.4821	1.3967	1.3432	1.2307
19000.	.0000	.4509	.1720	.0000	1.3144	1.3362	1.1631	1.4651
20000.	.0000	.6180	.6411	1.3112	1.3627	1.3390	1.3337	1.3704
20500.	.7657	.7659	1.3448	1.4335	1.4640	1.4024	1.6030	1.6130
21000.	.0000	.0000	.0000	1.3903	1.4804	1.6121	1.4000	1.7771
22000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
24000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.1720	.1721
25000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0014	.0072	.9240
26000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.5872	.9921	1.1050
27000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.7100
28000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
30000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
0.	31500.	32500.	33500.	34500.	35500.			
0.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000			
500.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000			
1000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000			
1500.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000			
2000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000			
2500.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000			
3000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000			
3500.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000			
4000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000			
4500.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000			
5000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000			
5500.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000			
6000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000			
6500.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000			
7000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000			
7500.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000			
8000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000			
8500.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000			
9000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000			

9500.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
10000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
10500.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
11000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000
11500.	.4181	.1721	.0000	.0000	.0000
12000.	.6146	.4542	.0000	.0000	.0000
12500.	.6641	.6177	.0000	.0000	.0000
13000.	.7676	.6653	.2433	.0000	.0000
13500.	.8913	.6662	.4553	.2434	.0000
14000.	.9407	.6232	.6204	.4867	.4353
14500.	.9416	.7884	.7094	.6438	.6439
15000.	.9573	.3938	.7884	.7881	.3065
16000.	1.0868	1.0169	1.0014	1.0153	1.5413
17000.	1.2005	1.1834	1.1834	1.6586	1.5474
18000.	1.3346	1.3370	1.7723	1.7659	1.7610
19000.	1.4721	1.8623	.1721	.0000	1.7990
20000.	1.8940	.6871	.2920	.0000	.0000
20500.	1.2791	.6866	.1721	.0000	.0000
21000.	.8234	.7076	.2434	.0000	.4867
22000.	.9621	.7086	.6435	.7877	2.1471
24000.	.9860	1.1645	2.2233	2.2609	2.3091
25000.	1.1576	2.0197	2.2364	2.2359	2.3570
26000.	1.6387	1.9066	1.9214	1.8113	2.3638
27000.	1.1351	1.3902	.7565	1.2114	1.9817
28000.	.0000	.0000	.0000	.0000	1.5677
30000.	.0000	.0000	.0000	.0000	.0000





BASSE MER VENT : Dir=30 deg V=5 m/s

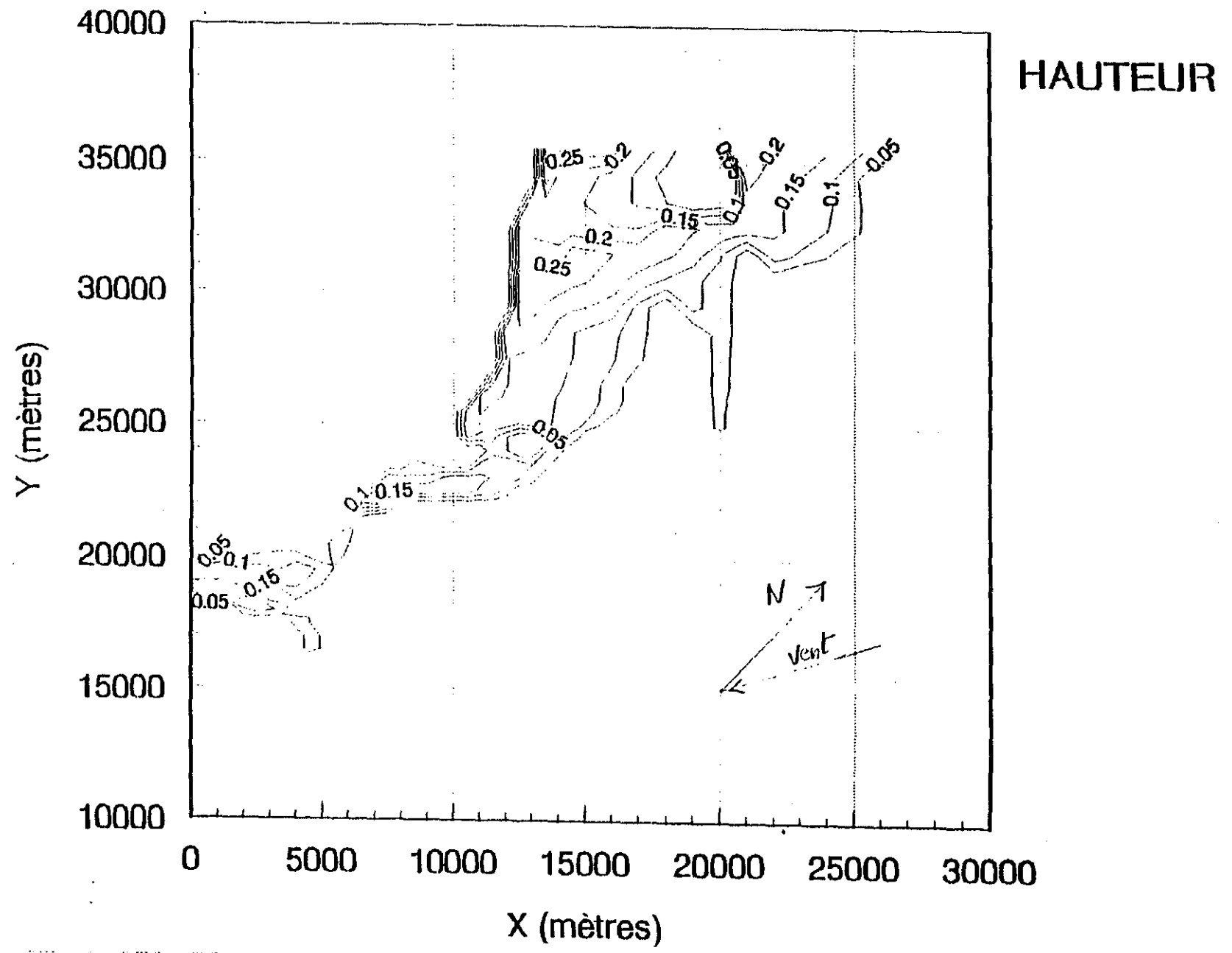
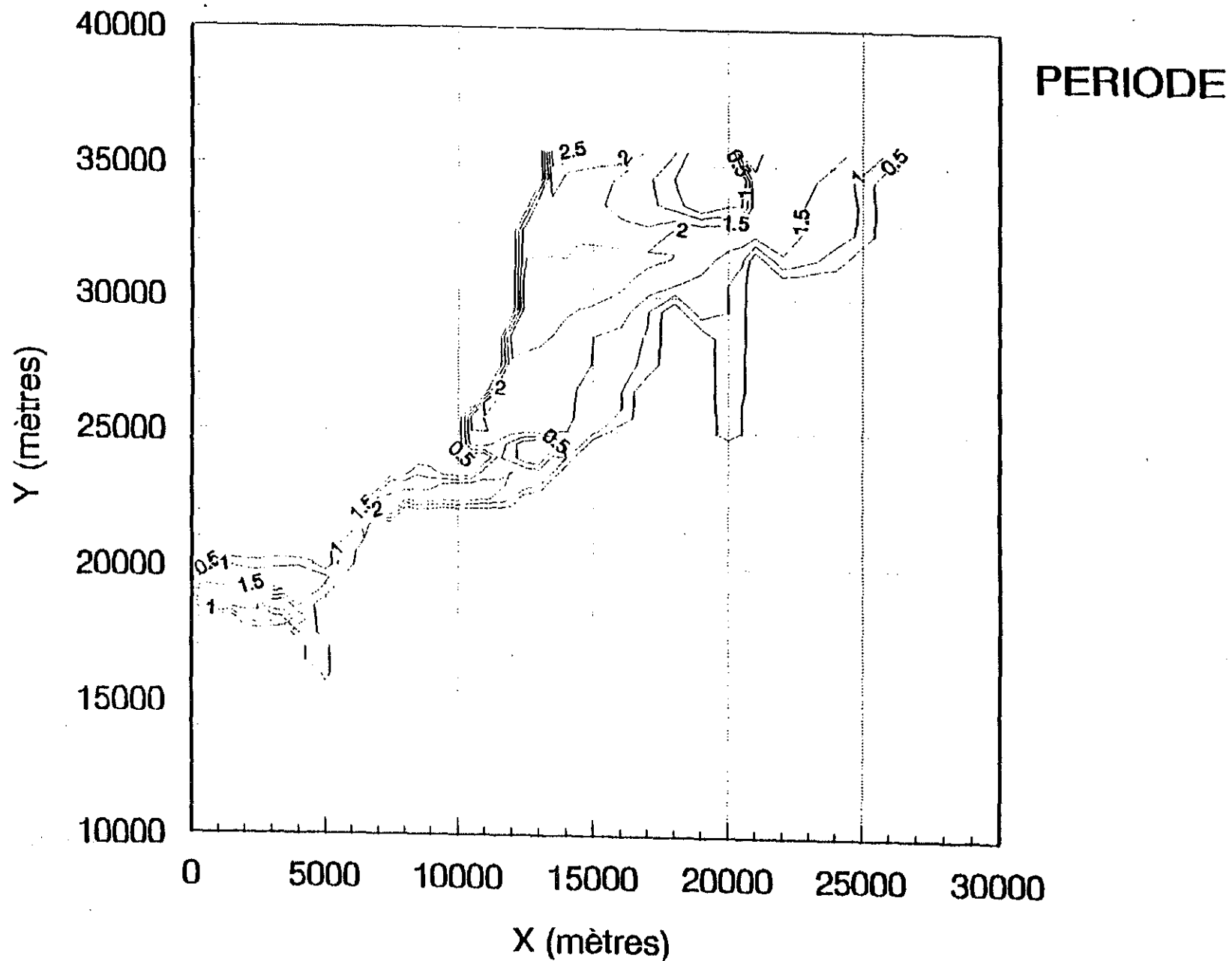
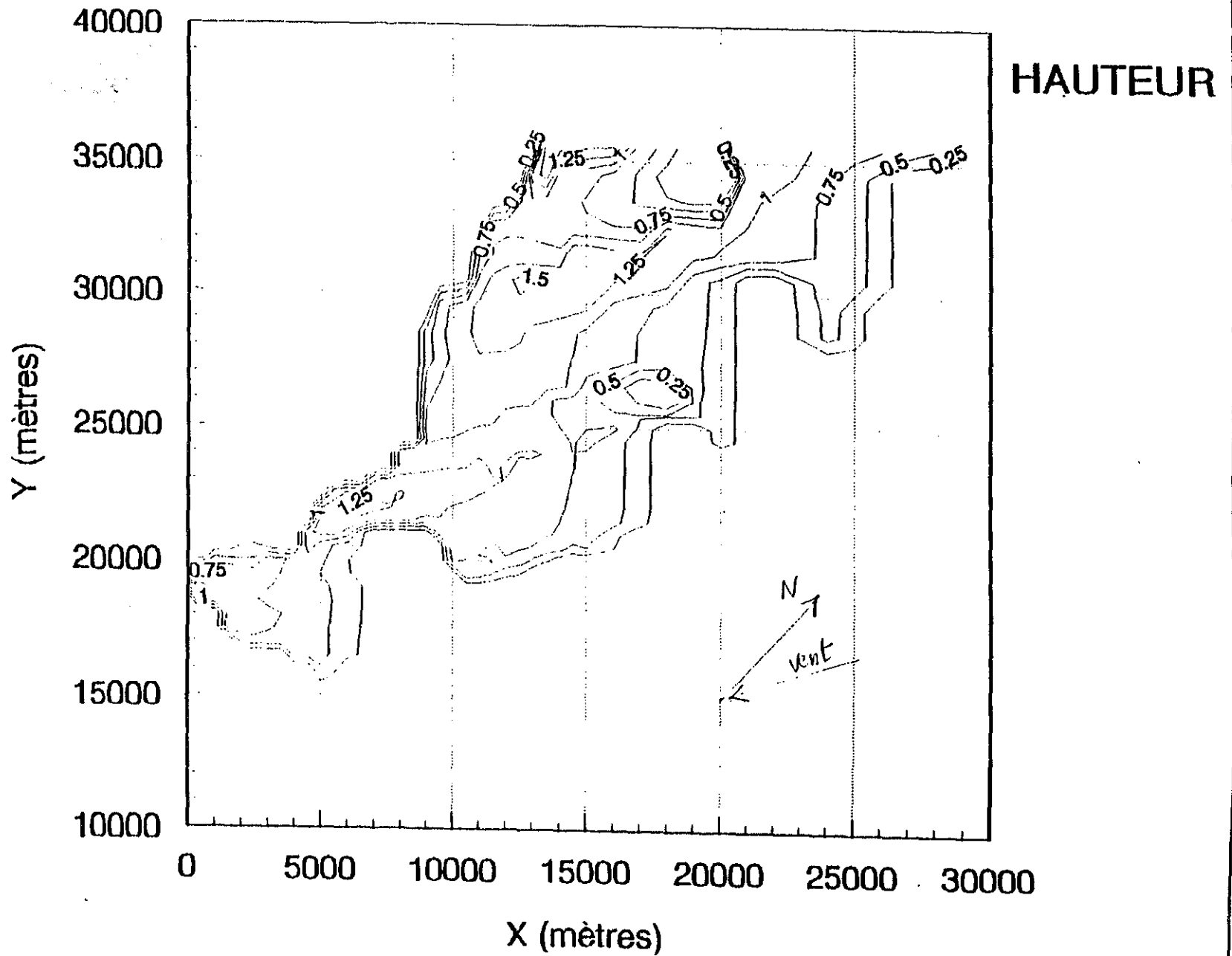


FIG. 2

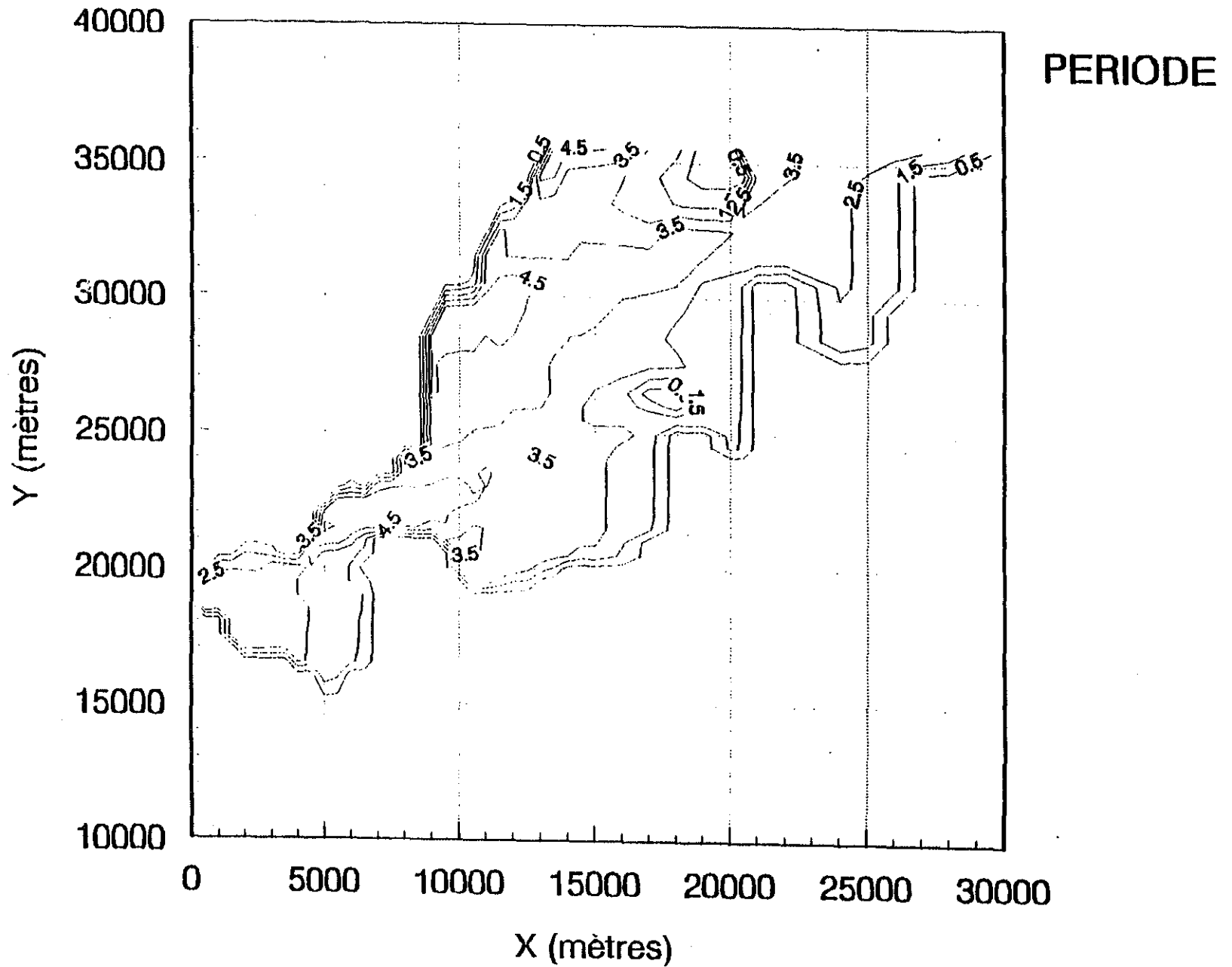
# BASSE MER VENT : Dir=30 deg V=5 m/s



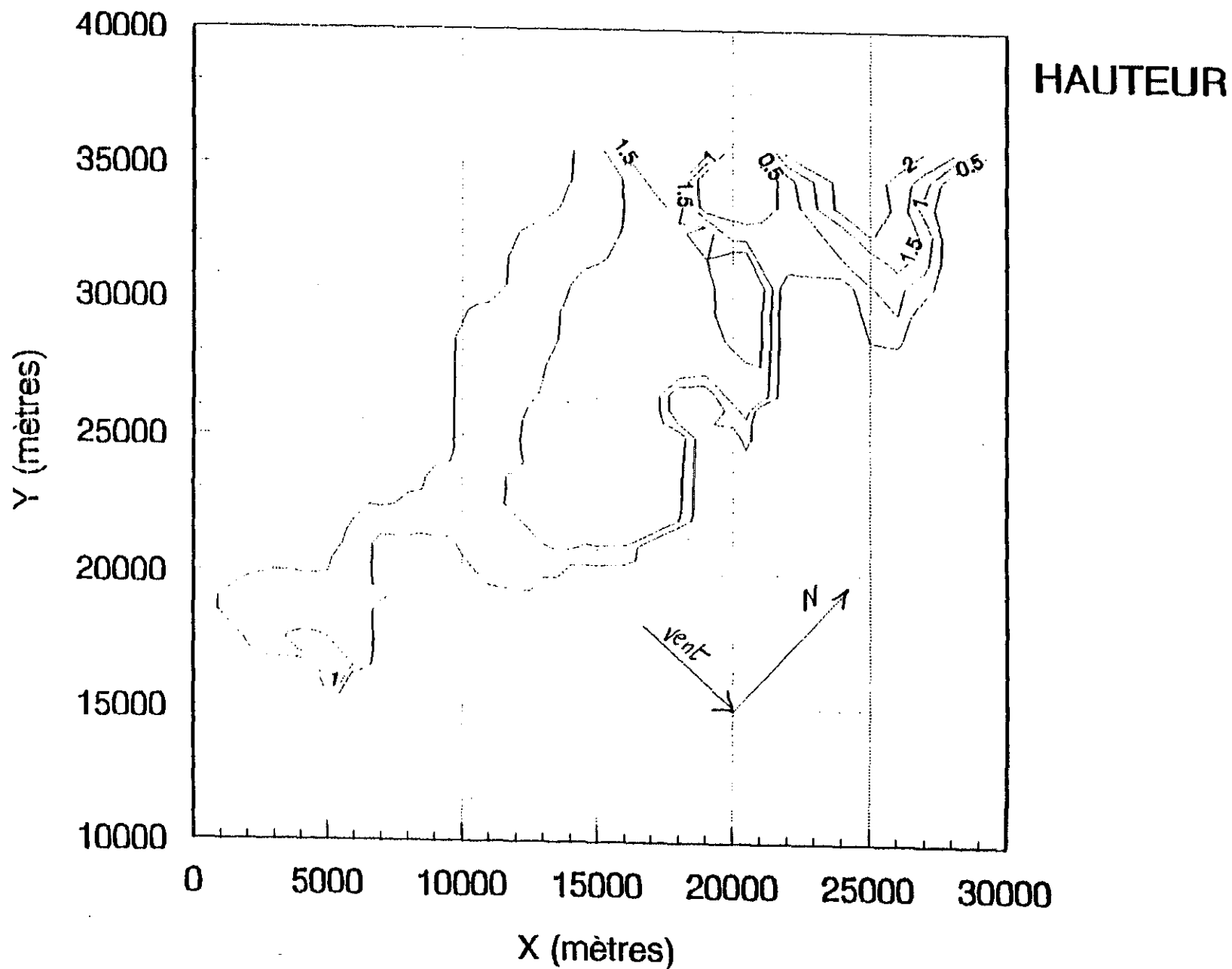
PLEINE MER VENT : Dir=30 deg V=18 m/s



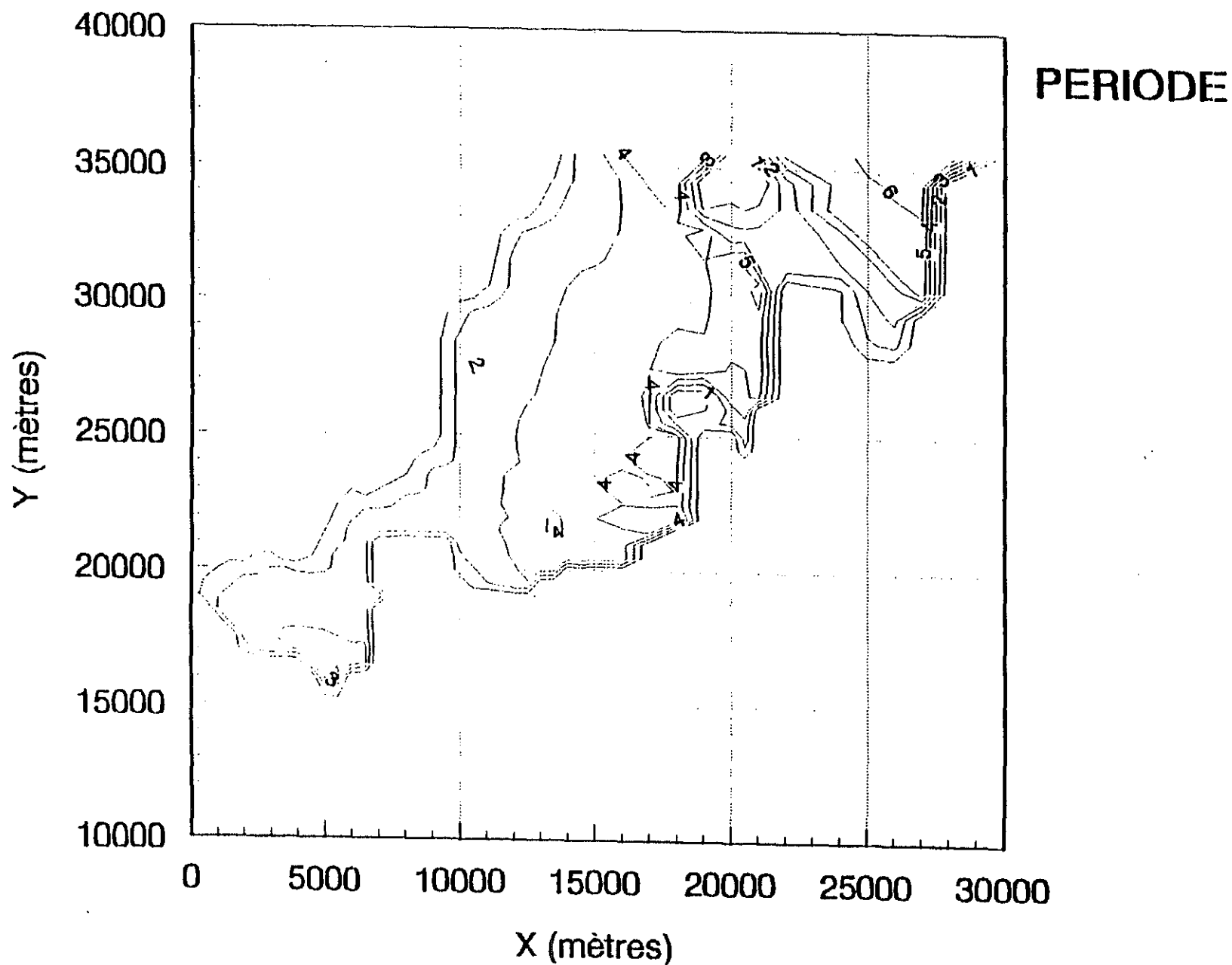
PLEINE MER VENT : Dir=30 deg V=18m/s



PLEINE MER VENT : Dir = 270 deg V = 23 m/s



PLEINE MER VENT : Dir = 270 deg V = 23 m/s



NIVEAU DE LA MAREE : 3.7 m  
 HAUTEUR SIGNIFICATIVE DE LA HOULE : 5  
 PERIODE SIGNIFICATIVE DE LA HOULE : T  
 TEMPS LIMITE DE DEVELOPPEMENT : t limite  
 FETCH MEDIAN : FMED  
 VITESSE DU VENT MEDIAN : VMED  
 PROFONDEUR MOYENNE : d  
 LONGUEUR D'ONDE EN PROFONDEUR INFINI : L

I	J	DIRECTION (DEG)	VMED (M/S)	FMED (M)	d (M)	H(M)	T (S)	T LIMITE	L (M)
19	25	0	5.0	29000.0	8.2	.4	3.1	4h 42mn	14.8
24	32	30	5.0	18100.0	6.2	.3	2.7	3h 26mn	11.5
25	35	60	4.0	14500.0	5.9	.2	2.3	3h 15mn	8.1
26	35	90	4.0	11100.0	6.6	.2	2.1	2h 43mn	7.1
28	37	120	3.0	13900.0	7.6	.2	1.9	3h 33mn	5.8
29	37	150	4.0	15500.0	7.6	.2	2.3	3h 23mn	8.6
34	36	180	5.0	23400.0	5.8	.4	2.9	4h 4mn	12.9
43	37	210	6.0	17800.0	6.3	.4	2.9	3h 9mn	13.4
44	37	240	6.0	17800.0	8.5	.4	3.0	3h 9mn	13.7
44	37	270	6.0	26900.0	14.8	.5	3.4	4h 9mn	17.3
34	21	300	5.0	32300.0	8.0	.4	3.1	5h 3mn	15.5
26	17	330	5.0	34200.0	12.6	.5	3.3	5h 15mn	16.7

Tableau A2

MARENNES - OLERON

MAREE BASSE

NIVEAU DE LA MAREE : 1.0 m  
 HAUTEUR SIGNIFICATIVE DE LA HOULE : 5  
 PERIODE SIGNIFICATIVE DE LA HOULE : T  
 TEMPS LIMITE DE DEVELOPPEMENT : t limite  
 FETCH MEDIAN : FMED  
 VITESSE DU VENT MEDIAN : VMED  
 PROFONDEUR MOYENNE : d  
 LONGUEUR D'ONDE EN PROFONDEUR INFINI : L

I	J	DIRECTION (DEG)	VMED (M/S)	FMED (M)	d (M)	H(M)	T (S)	T LIMITE	L (M)
25	20	0	5.0	24300.0	2.7	.3	2.7	4h 11mn	11.0
28	37	30	5.0	15500.0	7.3	.3	2.6	3h 5mn	10.6
28	36	60	4.0	12000.0	4.6	.2	2.2	2h 51mn	7.3
28	36	90	4.0	9800.0	5.3	.2	2.0	3h 30mn	6.5
28	37	120	3.0	10700.0	5.8	.1	1.8	2h 59mn	5.2
29	37	150	4.0	13500.0	5.8	.2	2.2	3h 6mn	7.8
40	37	180	5.0	17400.0	2.4	.3	2.5	3h 21mn	9.7
41	35	210	6.0	13500.0	3.7	.4	2.7	2h 37mn	11.0
42	37	240	6.0	14000.0	6.7	.4	2.7	2h 41mn	11.7
42	37	270	6.0	24200.0	10.3	.5	3.3	3h 52mn	16.5
37	25	300	5.0	29900.0	8.2	.4	3.1	4h 48mn	15.0
23	20	330	5.0	31800.0	11.8	.4	3.2	5h 48mn	16.0



NIVEAU DE LA MAREE : 1.0 m  
HAUTEUR SIGNIFICATIVE DE LA HOULE : H  
PERIODE SIGNIFICATIVE DE LA HOULE : T  
TEMPS LIMITE DE DEVELOPPEMENT : t limite  
FETCH MAX : FMAX  
VITESSE DU VENT MAX : VMAX  
PROFONDEUR MOYENNE : d  
LONGUEUR D'ONDS EN PROFONDEUR INFINI : L

I	J	DIRECTION (DEG)	VMAX (M/S)	FMAX (M)	D (M)	H (M)	T (S)	T LIMITE	L (M)
25	20	0	17.0	24300.0	2.7	.9	4.5	2h 32mn	31.2
28	37	30	18.0	15500.0	7.3	1.5	4.5	1h 50mn	31.2
28	36	60	14.0	12000.0	4.6	.9	3.7	1h 42mn	21.2
28	36	90	13.0	9800.0	5.3	.8	3.4	1h 32mn	17.7
28	37	120	13.0	10700.0	6.8	.9	3.5	1h 38mn	18.8
29	37	150	15.0	13500.0	5.8	1.1	4.0	1h 48mn	24.4
40	37	180	22.0	17400.0	2.4	.9	4.6	1h 49mn	32.7
41	35	210	21.0	13500.0	3.7	1.2	4.5	1h 34mn	31.0
42	37	240	21.0	14000.0	6.7	1.6	4.6	1h 36mn	33.1
42	37	270	23.0	24200.0	10.3	2.4	5.7	2h 13mn	51.1
37	25	300	22.0	29900.0	8.2	2.2	5.9	2h 37mn	55.0
23	20	330	21.0	31800.0	11.8	2.5	6.0	2h 46mn	56.6

Tableau A4

MARENNES - OLERON  
MAREE HAUTE

NIVEAU DE LA MAREE : 6.3 m  
HAUTEUR SIGNIFICATIVE DE LA HOULE : H  
PERIODE SIGNIFICATIVE DE LA HOULE : T  
TEMPS LIMITE DE DEVELOPPEMENT : t limite  
FETCH MAX : FMAX  
VITESSE DU VENT MAX : VMAX  
PROFONDEUR MOYENNE : d  
LONGUEUR D'ONDS EN PROFONDEUR INFINI : L

I	J	DIRECTION (DEG)	VMAX (M/S)	FMAX (M)	D (M)	H (M)	T (S)	T LIMITE	L (M)
20	17	0	17.0	30300.0	7.3	1.7	5.4	2h 56mn	44.7
24	32	30	18.0	19100.0	8.4	1.6	4.8	2h 6mn	35.8
24	35	60	14.0	15000.0	8.1	1.1	4.0	1h 59mn	25.0
25	35	90	13.0	12000.0	8.5	.9	3.6	1h 46mn	20.4
28	37	120	13.0	14500.0	9.7	1.0	3.8	2h 46mn	23.1
29	37	150	15.0	16700.0	9.5	1.3	4.3	2h 4mn	28.4
34	36	180	22.0	23700.0	8.2	2.1	5.5	2h 14mn	48.0
34	25	210	21.0	18900.0	5.9	1.7	5.0	1h 57mn	39.4
44	37	240	21.0	17900.0	10.9	2.0	5.0	1h 53mn	39.3
44	37	270	23.0	26900.0	17.3	2.7	6.0	2h 23mn	55.6
34	21	300	22.0	32400.0	10.5	2.5	6.1	2h 45mn	59.0
36	24	330	21.0	39100.0	8.1	2.2	6.3	3h 11mn	61.1

Tableau A5

MARENNES - OLERON  
MAREE HAUTE

- 235 -

NIVEAU DE LA MAREE : 6.2 m  
HAUTEUR SIGNIFICATIVE DE LA SOULE : B  
PERIODE SIGNIFICATIVE DE LA SOULE : T  
TEMPS LIMITE DE DEVELOPPEMENT : t limite  
FETCH MEDIAN : FMED  
VITESSE DU VENT MEDIAN : VMED  
PROFONDEUR MOYENNE : d  
LONGUEUR D'ONDE EN PROFONDEUR INFINI : L

I	J	DIRECTION (DEG)	VMED (M/S)	FMED (M)	D (M)	B (M)	T (S)	T LIMITE	L (M)
20	17	0	5.0	30300.0	7.8	.4	3.1	4h 51mn	15.0
24	32	30	5.0	19100.0	8.4	.4	2.8	3h 33mn	12.0
24	35	60	4.0	15000.0	8.1	.2	2.3	3h 19mn	8.4
25	35	90	4.0	12000.0	8.5	.2	2.2	2h 51mn	7.5
28	37	120	3.0	14500.0	9.7	.2	2.0	3h 39mn	6.0
29	37	150	4.0	16700.0	9.5	.2	2.4	3h 34mn	9.0
34	36	180	5.0	23700.0	8.2	.4	2.9	4h 7mn	13.5
34	25	210	6.0	18900.0	5.9	.4	3.0	3h 17mn	13.8
44	37	240	6.0	17900.0	10.9	.4	3.0	3h 10mn	13.8
44	37	270	6.0	26900.0	17.3	.5	3.4	4h 9mn	17.9
34	21	300	5.0	32400.0	10.5	.4	3.2	5h 4mn	16.0
36	24	330	5.0	39100.0	8.1	.5	3.3	5h 44mn	16.6

Tableau A6

MARENNES - OLERON  
MI-MAREE

NIVEAU DE LA MAREE : 3.7 m  
HAUTEUR SIGNIFICATIVE DE LA SOULE : B  
PERIODE SIGNIFICATIVE DE LA SOULE : T  
TEMPS LIMITE DE DEVELOPPEMENT : t limite  
FETCH MAX : FMAX  
VITESSE DU VENT MAX : VMAX  
PROFONDEUR MOYENNE : d  
LONGUEUR D'ONDE EN PROFONDEUR INFINI : L

I	J	DIRECTION (DEG)	VMAX (M/S)	FMAX (M)	D (M)	B (M)	T (S)	T LIMITE	L (M)
19	25	0	17.0	29000.0	8.2	1.7	5.3	2h 51mn	43.9
24	32	30	18.0	18100.0	5.2	1.5	4.7	2h 2mn	34.1
25	35	60	14.0	14500.0	5.9	1.0	3.9	1h 56mn	24.1
26	35	90	13.0	11100.0	6.6	.9	3.5	1h 40mn	19.3
28	37	120	13.0	13900.0	7.5	1.0	3.8	1h 56mn	22.3
29	37	150	15.0	15500.0	7.6	1.2	4.2	1h 58mn	26.9
34	36	180	22.0	23400.0	5.8	1.7	5.4	2h 13mn	46.1
43	37	210	21.0	17800.0	5.3	1.7	4.9	1h 53mn	38.2
44	37	240	21.0	17800.0	8.5	1.9	5.0	1h 53mn	38.8
44	37	270	23.0	26900.0	14.8	2.7	6.0	2h 23mn	55.4
34	21	300	22.0	32300.0	8.0	2.2	6.1	2h 45mn	57.3
36	24	330	21.0	34200.0	12.5	2.6	6.2	2h 55mn	59.4



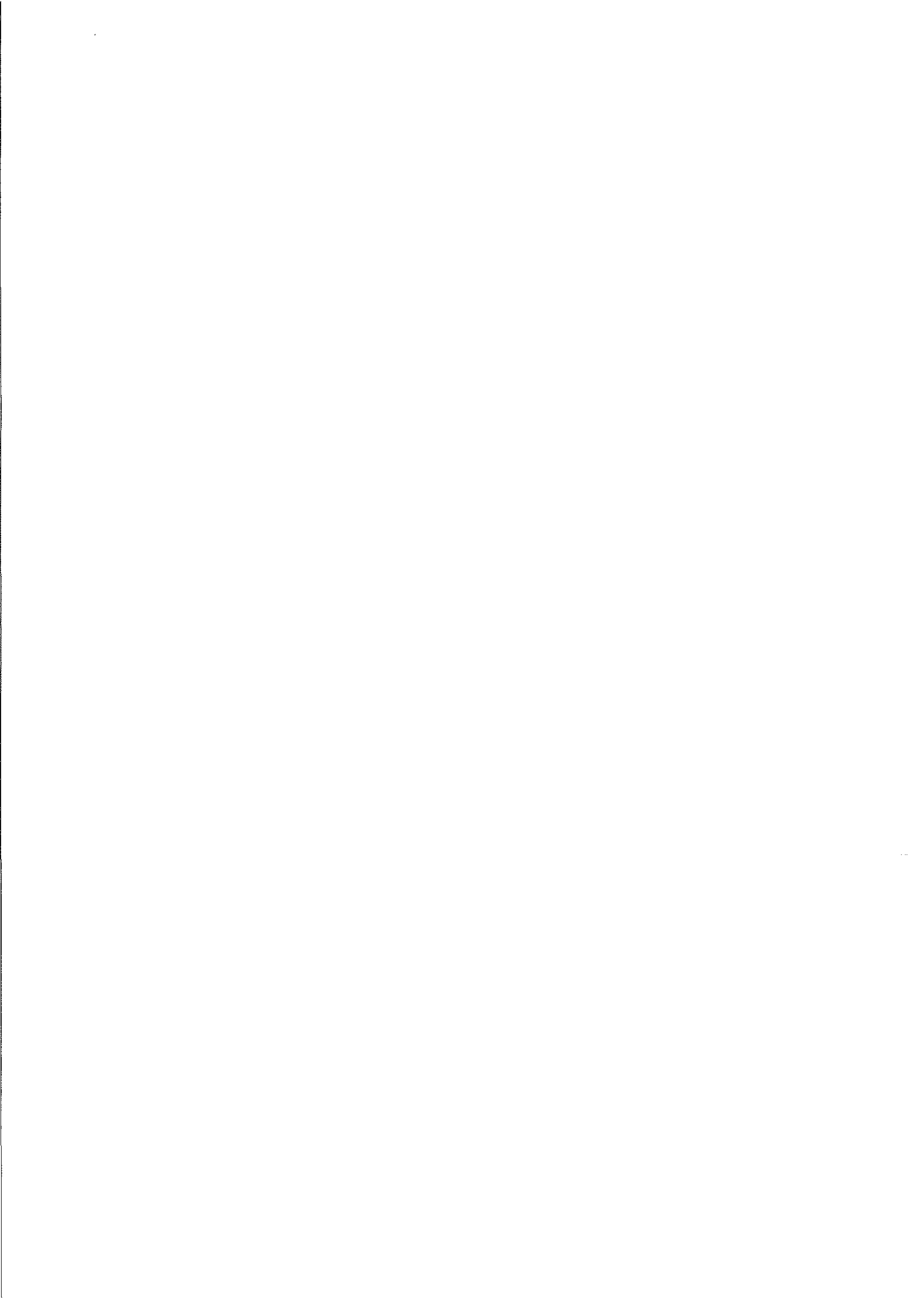
## **CHAPITRE VIII**

### **MODELE HYDRO-SEDIMENTAIRE DU BASSIN DE MARENNES-OLERON : PRESENTATION ET PREMIERS RESULTATS**

**RAILLARD O.\*, LE HIR P.\*\* ET LAZURE P.\*\***

**\* IFREMER-LABEIM, B.P. 133, 17390 LA TREMBLADE (France)**

**\*\* Laboratoire Hydrodynamique et Sédimentologique, BREST (France).**



MODELE HYDRO-SEDIMENTAIRE DU BASSIN DE MARENNES-OLERON :  
PRESENTATION ET PREMIERS RESULTATS

INTRODUCTION

Depuis plusieurs années l'écosystème conchylicole de Marennes-Oléron est l'objet de modélisations de complexité croissante qui tendent à intégrer de plus en plus de processus physiques et biologiques (Bacher, 1989 ; Raillard, 1991) afin d'accroître le réalisme et le champ d'investigation de l'outil (Héral et al., 1991). Confrontés au problème de la variabilité spatiale et temporelle des concentrations du matériel dissous et particulaire de l'eau, les travaux les plus récents ont pu mettre en évidence les limitations des modèles d'écosystème qui asservissent spatialement et temporellement la représentation des processus physiques à celle des mécanismes biologiques (Raillard, 1991). Le but de cette étude est de développer une modélisation de l'écosystème du bassin selon une discrétisation compatible avec la réalité de la physique.

Le modèle hydro-sédimentaire constitue la première étape de cet ambitieux projet. Son objectif premier est de calculer l'évolution spatio-temporelle de la concentration particulaire et dissoute des éléments impliqués dans les processus biologiques majeurs qui intéressent la production primaire et secondaire du bassin.

Dans cette phase de mise en oeuvre la modélisation se focalise sur le transport dissous et celui des sédiments cohésifs, lesquels phénomènes conditionnent fortement l'évolution des compartiments de la biologie.

## RAPPEL DES PROCESSUS ET DES FORCAGES

Le déplacement des sédiments est le résultat de processus simultanés d'importance relative variable dans l'espace et le temps. Ce sont (d'après Le Hir et Guillaud (1991)) :

- La mise en mouvement des particules sédimentées sous forme de suspensions en fonction d'un forçage hydrodynamique par le courant et (ou) l'agitation de surface (houle, clapot)
- Le transport par les courants. Il convient de préciser que c'est la chronologie réelle du courant instantané et non le courant résiduel qu'il faut prendre en compte, dans la mesure où au cours d'un cycle donné, les périodes de faibles hydrodynamismes s'accompagnent d'un dépôt des particules dont ne rend pas compte le déplacement moyen des masses d'eau.
- La chute et le dépôt des particules qui dépendent de la dimension, de la forme et de la densité de ces particules, mais aussi de leur propension à s'agréger en flocons.

## PRESENTATION DU MODELE

Le modèle de transport des sédiments cohésifs est celui développé et calibré sur la baie de Morlaix par Le Hir et al. (1989) et Le Hir et al. (1991). Il comprend différents modèles couplés entre eux :

- Un module de calcul du courant qui est en fait un modèle complet de résolution des équations de l'hydrodynamisme intégré selon la dimension verticale (Salomon et al., 1989). La marée est la principale variable forçante de ce modèle, les conditions aux limites sont les hauteurs d'eau calculées par un modèle de plus

grande emprise. La discrétisation est bidimensionnelle en plan horizontal.

- Un module central de résolution de la conservation de la masse des sédiments en suspension tenant compte du transport par les courants et des échanges avec le fond par érosion/dépot. C'est une équation d'advection/dispersion classique, avec termes source et puits, résolue en différences finies selon le maillage défini pour le calcul du courant.

- Un module de tassement des fonds de vase, dont le but est de calculer la concentration du sédiment superficiel et sa résistance à l'érosion en tenant compte des phases successives de dépot, d'érosion et même de déshydratation et de réhydratation liées à l'alternance des découvements et recouvrements en zone intertidale.

#### IMPLANTATION DU MODELE DANS LE BASSIN DE MARENNES-OLERON

##### Définition des échelles spatiale et temporelle

Quoique principalement déterminé par la réalité des différents processus physiques considérés (gradients de vitesse, complexité bathymétrique, etc, ...) le choix des dimensions du modèle répond également à des exigences d'économie du coût calcul. Le couplage souhaité avec les modules de calcul de la "biologie" ne peut s'envisager avec un modèle trop couteux du calcul de la "physique". Deux raisons majeures à cela :

- les échelles de temps de variation considérées par les variables biologiques sont celles de la saison, voir de l'année.



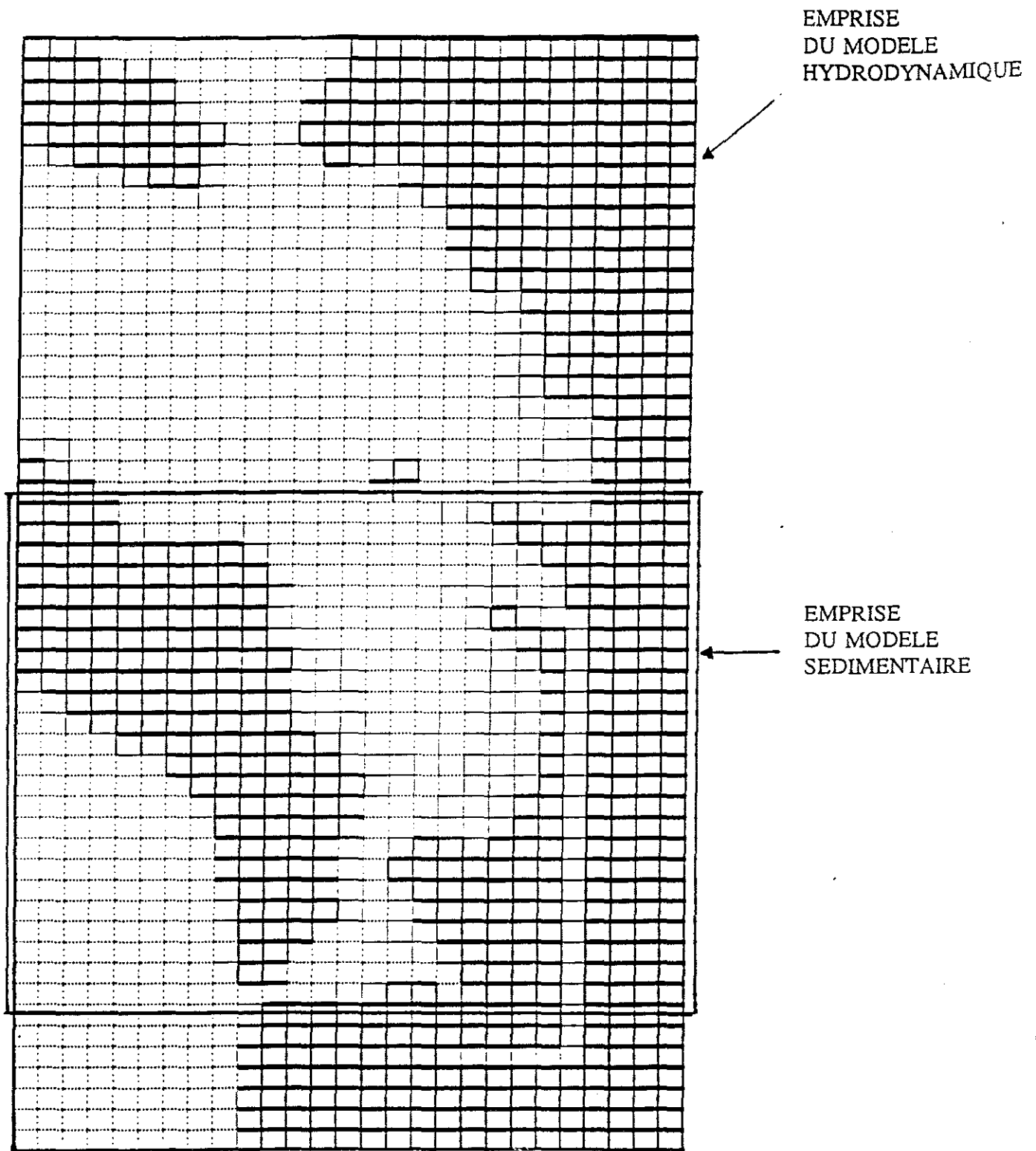


fig. 1 : Maillage du modèle hydro-sédimentaire  
en gras : mailles terrestres  
en fin : mailles d'estran  
en tiretets : mailles de pleine eau

- l'indétermination qui pèse sur la valeur des paramètres biologiques oblige à un nombre important d'essais.

Du point de vue du modèle hydrodynamique (le plus couteux) plusieurs tentatives ont été effectuées pour concilier au mieux ces exigences antinomiques de précision et d'économie. L'extension géographique du modèle présentée à la figure 1 est une première tentative pour solutionner cet épineux problème. Les échanges avec le fond ne sont pas simulés sur l'ensemble de la zone considérée par le modèle hydrodynamique (voir fig. 1). Il est en effet certain que dans les secteurs profonds du bassin ces processus n'influent que peu ou pas sur l'évolution du matériel particulaire.

Ainsi provisoirement définie, l'emprise géographique du modèle hydrodynamique semble être en mesure de respecter l'indépendance des conditions aux limites vis à vis des variations induites au niveau du bassin par les processus modélisés. D'autre part la taille des mailles (1000 m) devrait permettre de rendre compte assez correctement de l'hétérogénéité de la bathymétrie et de la répartition du sédiment.

#### Formalismes du modèle

Les équations du modèle hydrodynamique ont été précédemment décrites et explicitées par Salomon et al. (1989). Il est tenu compte du coefficient de la marée dans le calcul hydrodynamique de la manière schématique suivante : l'amplitude M2 des hauteurs d'eau aux limites du modèle, calculée par un modèle de plus grande emprise (Lazure, com. pers.), est modulée linéairement en fonction

**Conservation de la masse**

$$\frac{\partial hC}{\partial t} + \frac{\partial(uhC)}{\partial x} + \frac{\partial(vhC)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( Kh \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( Kh \frac{\partial C}{\partial y} \right) + (E-D)$$

- C : concentration du sédiment dans l'eau
- h : hauteur d'eau
- K : coefficient de diffusion
- u, v : vitesses du courant
- D, E : taux de dépôt et d'érosion

**Taux de dépôt**

$$D = W_s C \left( 1 - \frac{\tau}{\tau_d} \right)$$

- $\tau$  : tension de cisaillement sur le fond
- $\tau_d$  : tension de cisaillement critique du dépôt des particules
- Ws : vitesse de chute

**Taux d'érosion**

$$E = M \left( \frac{\tau}{\tau_e} - 1 \right) \text{ et } \tau_e = a C_s^b$$

- $\tau_e$  : tension de cisaillement critique d'érosion du sédiment
- M : coefficient d'erosabilité
- Cs : concentration superficielle des sédiments
- a, b : constantes

Tableau I. Equations fondamentales du modèle de transport.

de ce coefficient. Les fleuves Charente et Seudre ne sont, pour le moment, pas considérés dans le calcul du courant.

Les principales équations du modèle de transport sont rappelées au tableau I. Par rapport au modèle bidimensionnel implanté par Le Hir et al. (1989) dans la baie de Morlaix cette version simplifie la représentation du fond en ne considérant que 5 couches de sédiment (au lieu de 300).

## SIMULATIONS

### Calculs hydrodynamiques

La précision du modèle sédimentaire est avant tout dépendante de celle du calcul hydrodynamique. Une comparaison entre les vitesses de courant calculées par le modèle et celles mesurées par le L.C.H.F est réalisée en prélude à la mise en application du modèle de vase.

Aux vues des résultats présentés à la figure 2b, le modèle hydrodynamique semble constituer une base relativement robuste au calcul du transport sédimentaire. Globalement les niveaux des vitesses sont respectés par le modèle, de même que le rythme dans les changements de direction du courant. Les écarts les plus notables concernent le secteur de Ronce les bains (poste 15) dont le modèle sous-estime nettement les vitesses de courant.

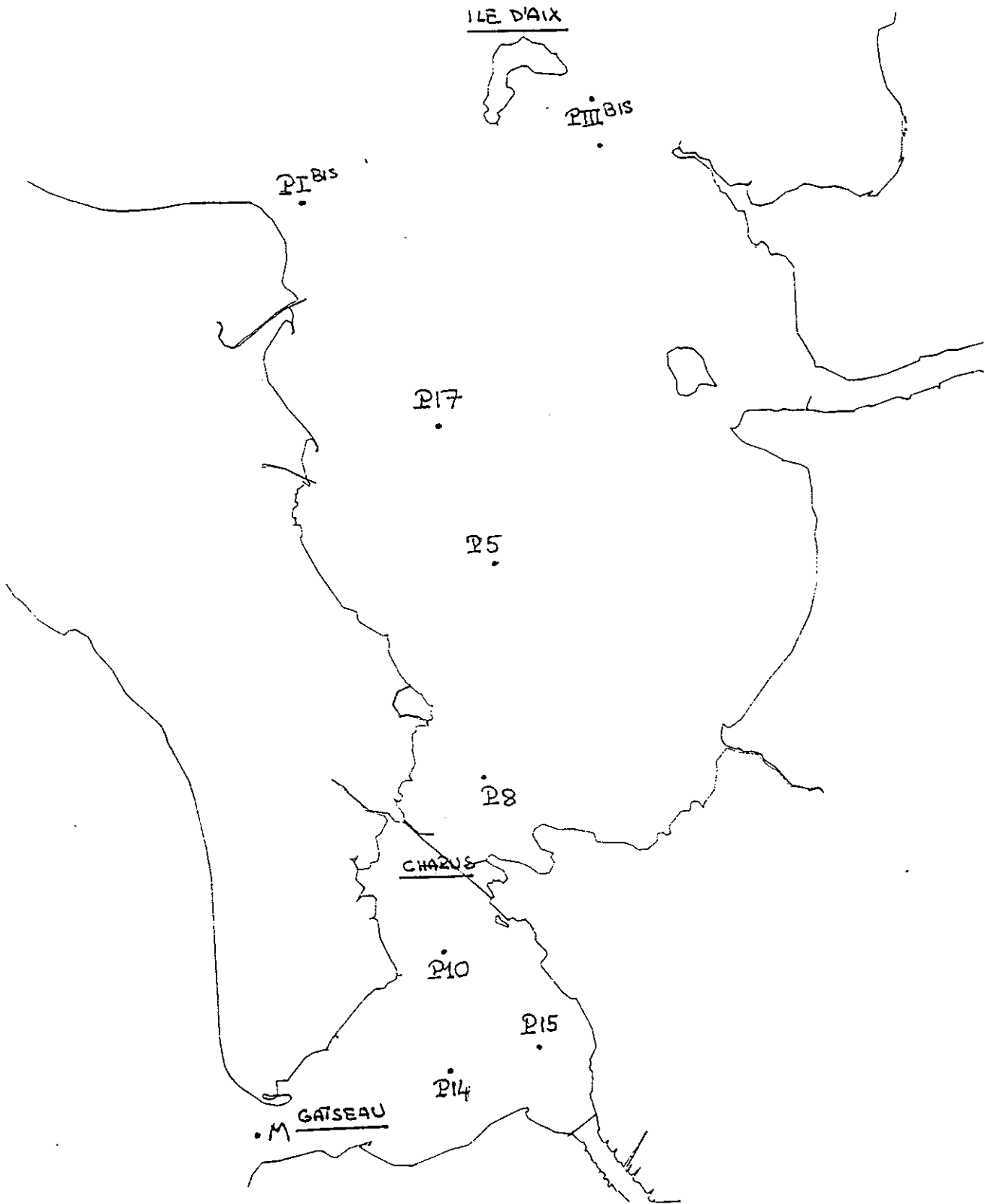


fig. 2a : Postes de mesure des campagnes d'étude du L.C.H.F 1971,72,73.

Poste M. Vives-Eaux (106)

Poste 15. Vives eaux (107-100)

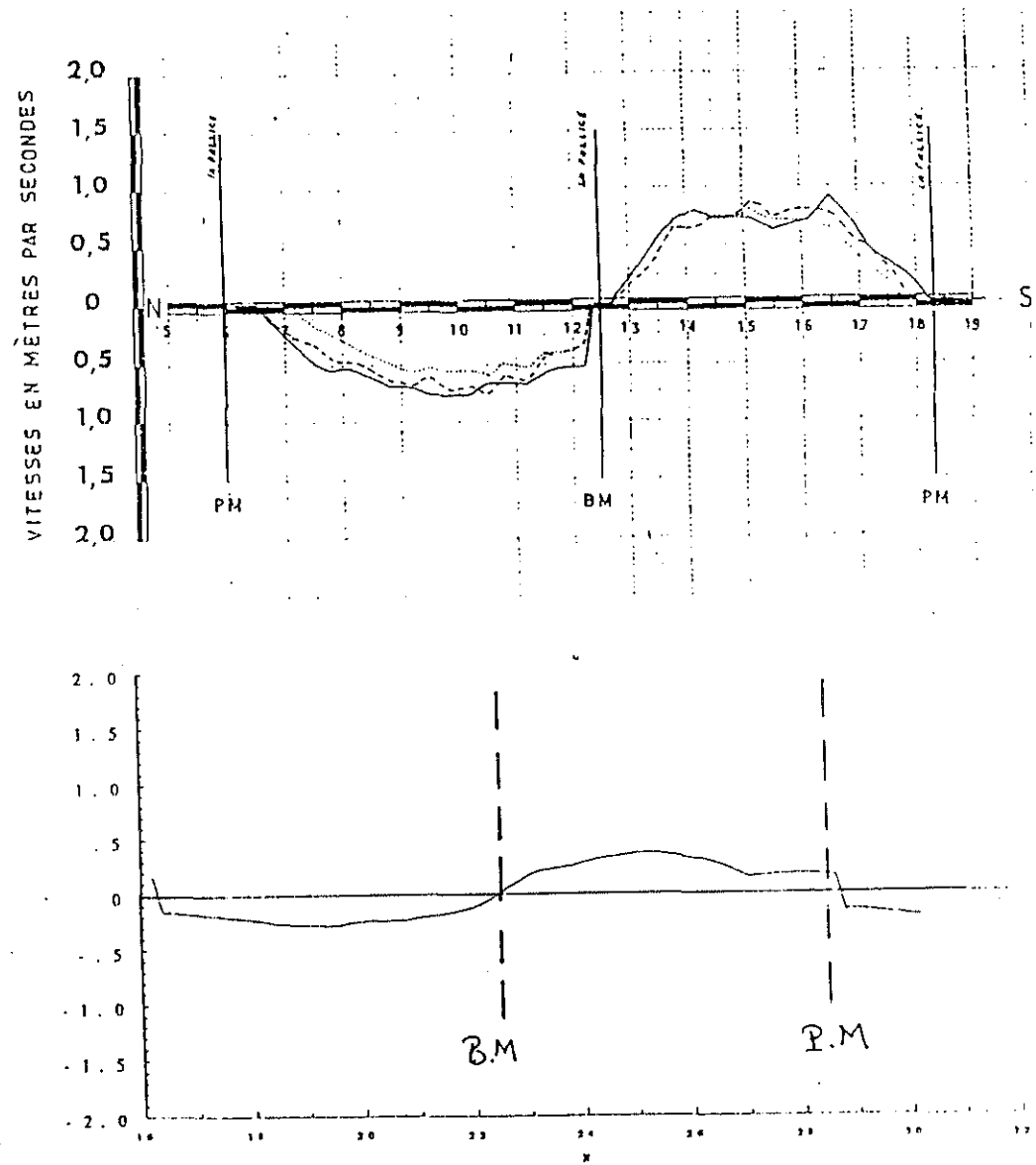
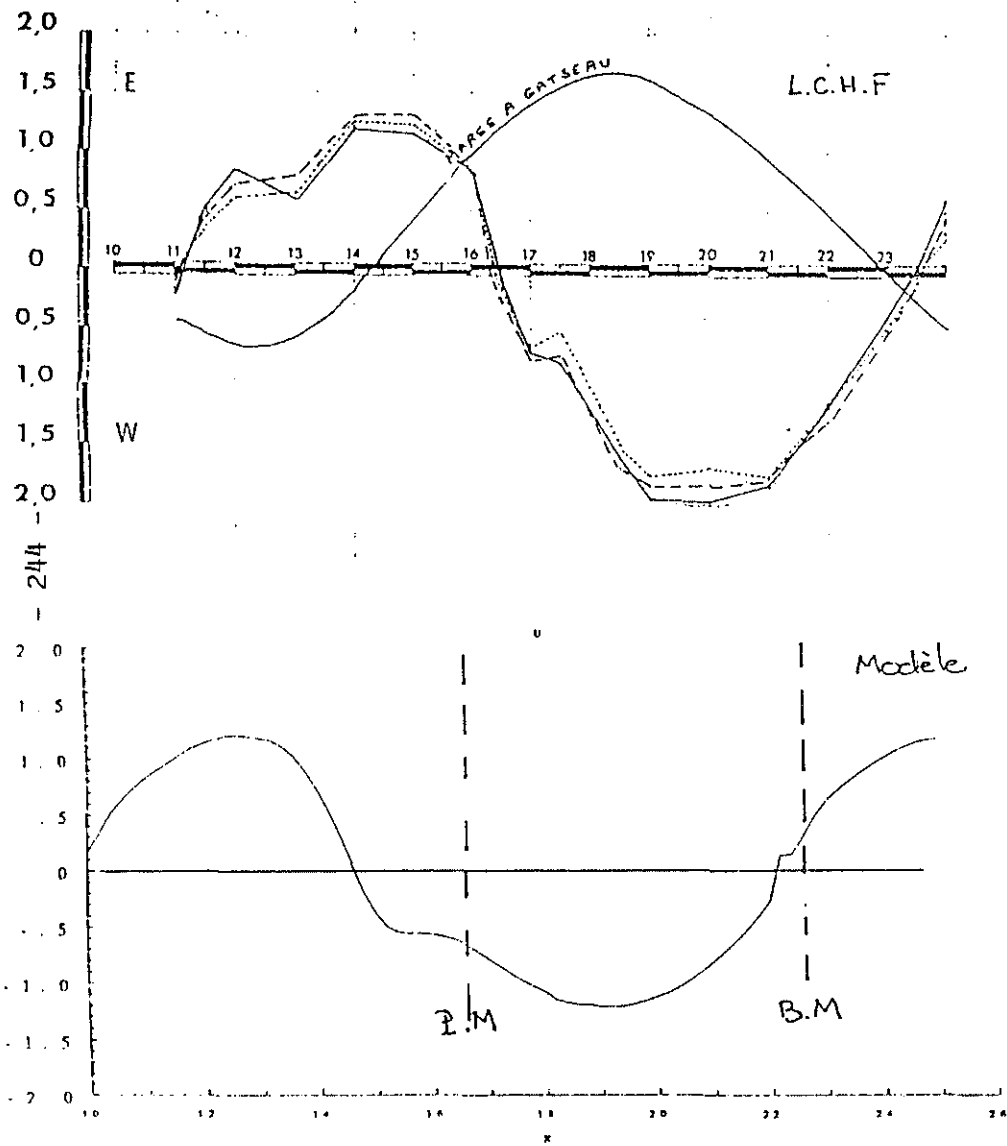


fig. 2b : Comparaisons des vitesses calculées par le modèle avec celles mesurées par le L.C.H.F en différents points du bassin.

Poste 5. Vives-eaux (84-84)

Poste 14. Vives-eaux (100)

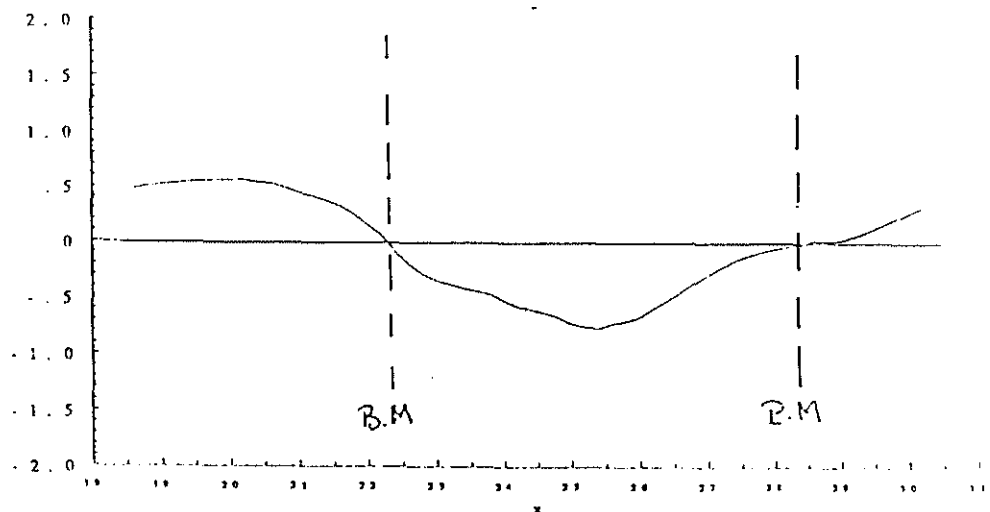
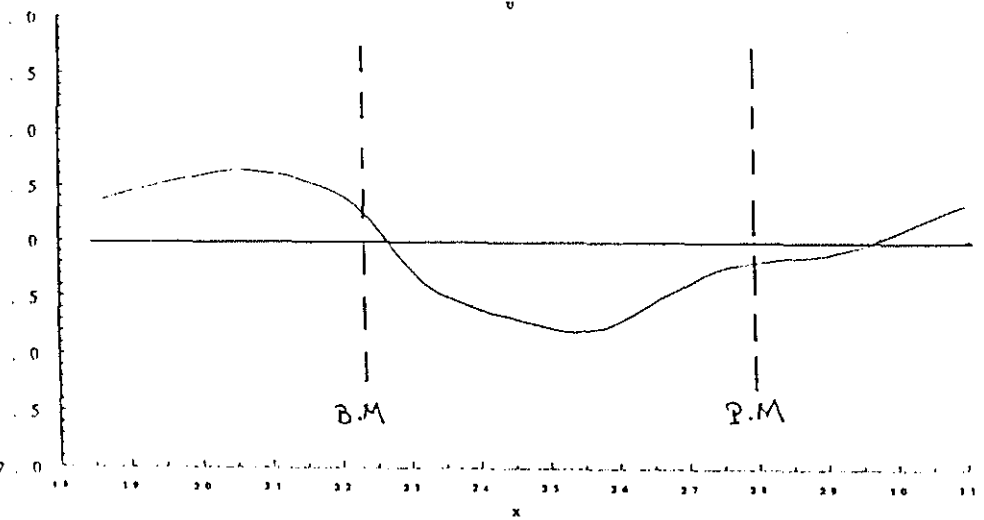
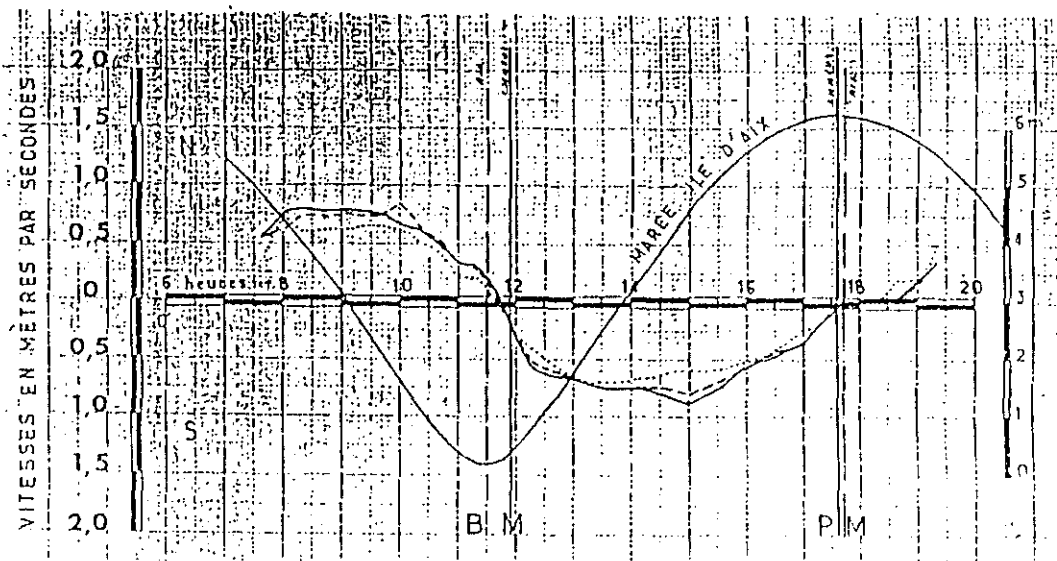
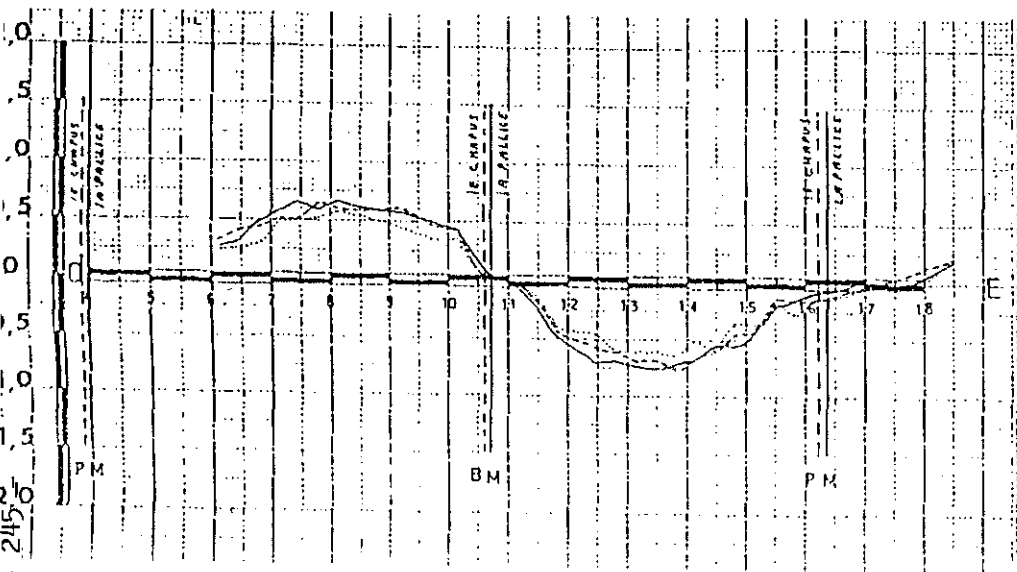
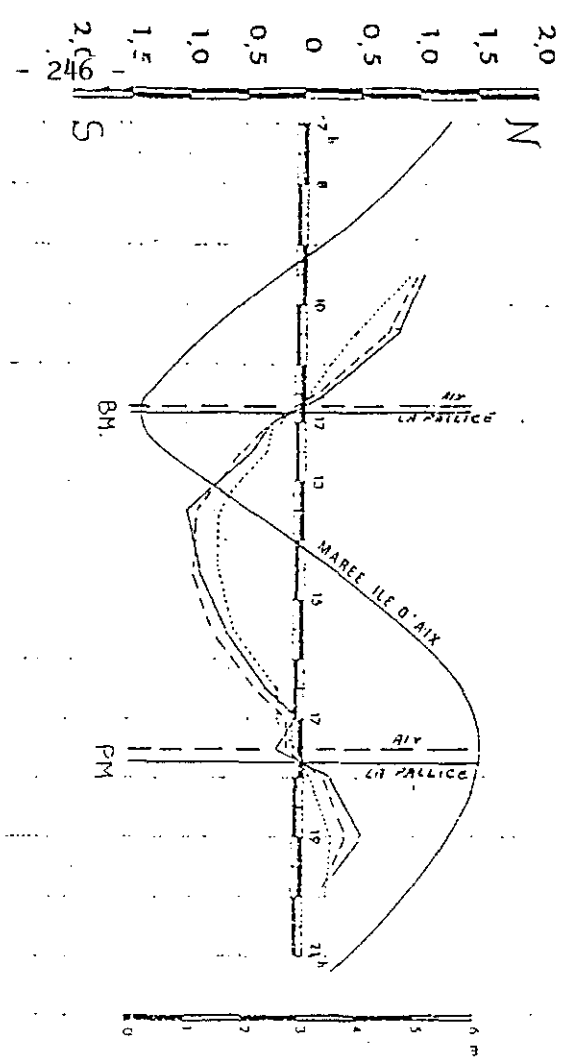
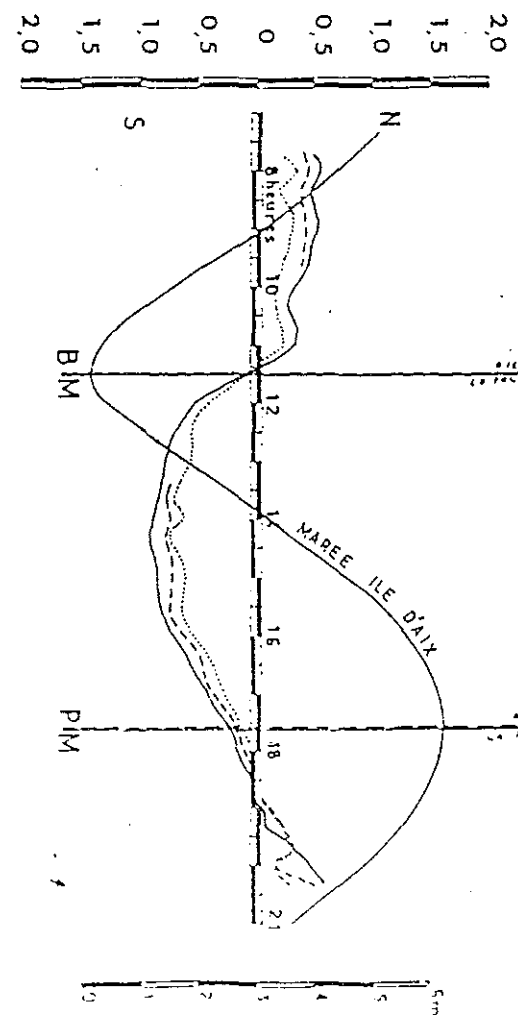


fig. 2b (suite)

Poste I<sup>Bis</sup>. Vues-eaux (106-104)



VITESSES EN MÈTRES PAR SECONDES



Poste III<sup>Bis</sup>. Vues-eaux (108-106)

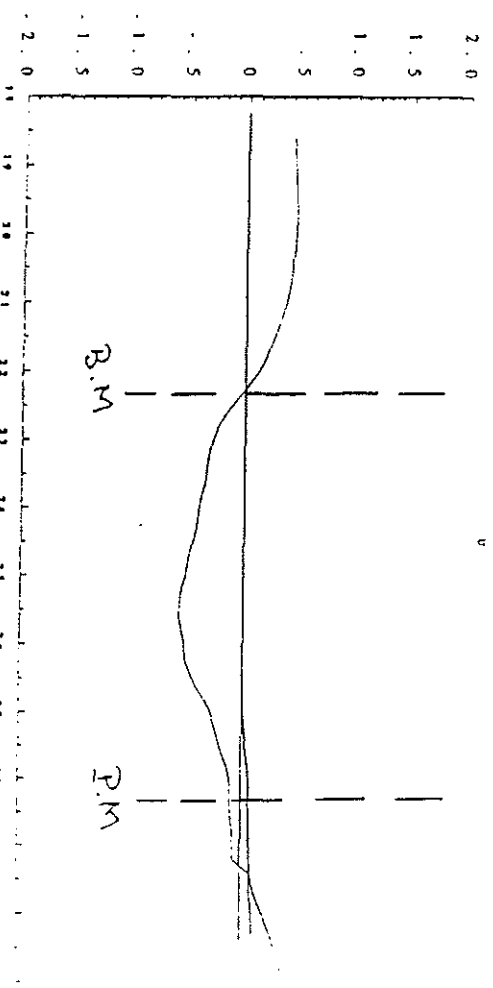
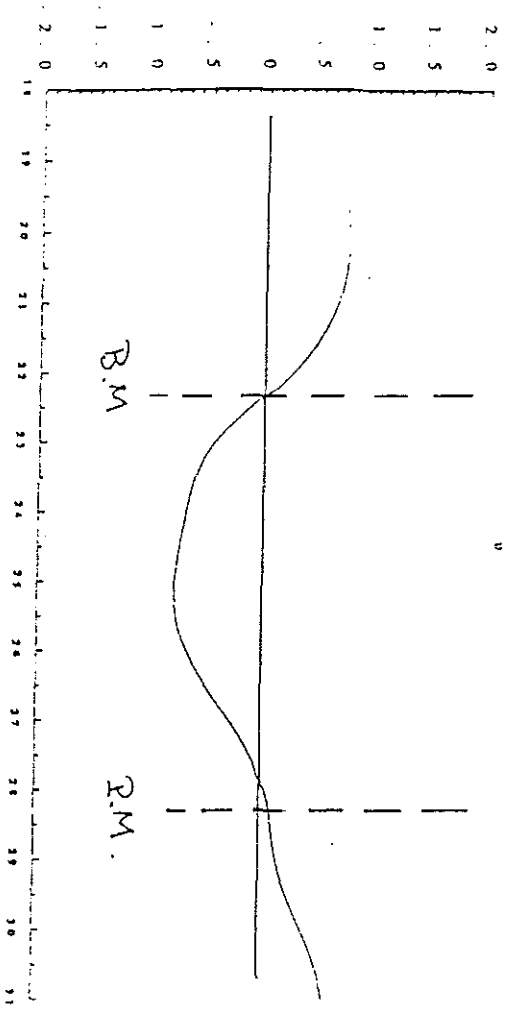
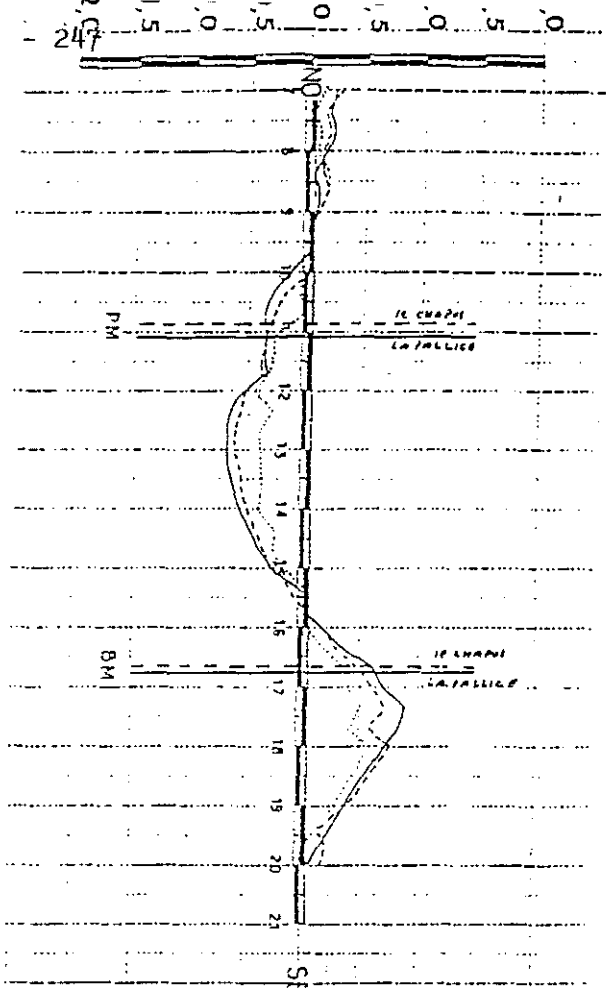


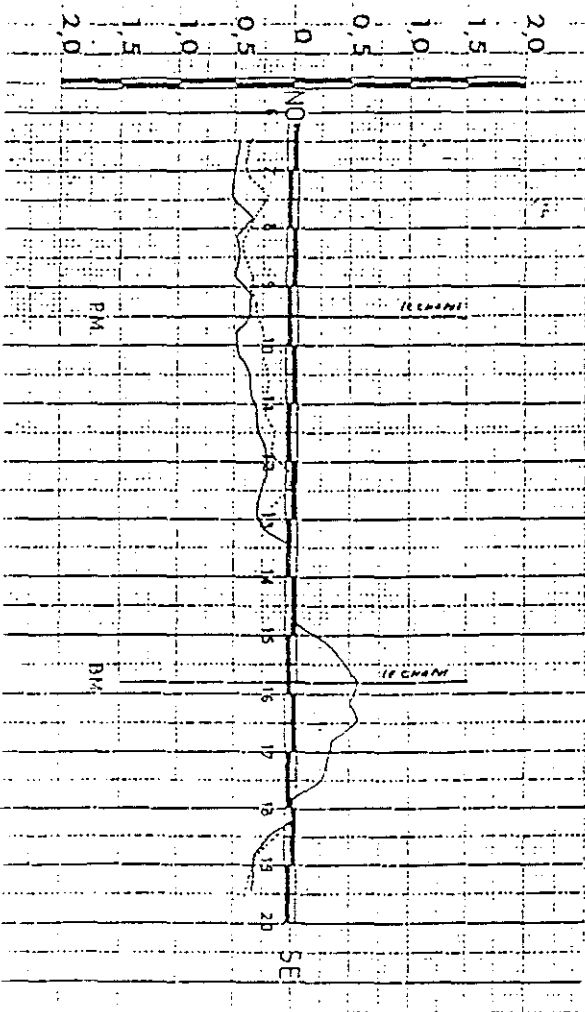
Fig 26. (suite)



Poste 100. Moulins-eaux (52-54)



VITESSES EN MÈTRES PAR SECONDES



Poste 8. Moulins-eaux (49-46)

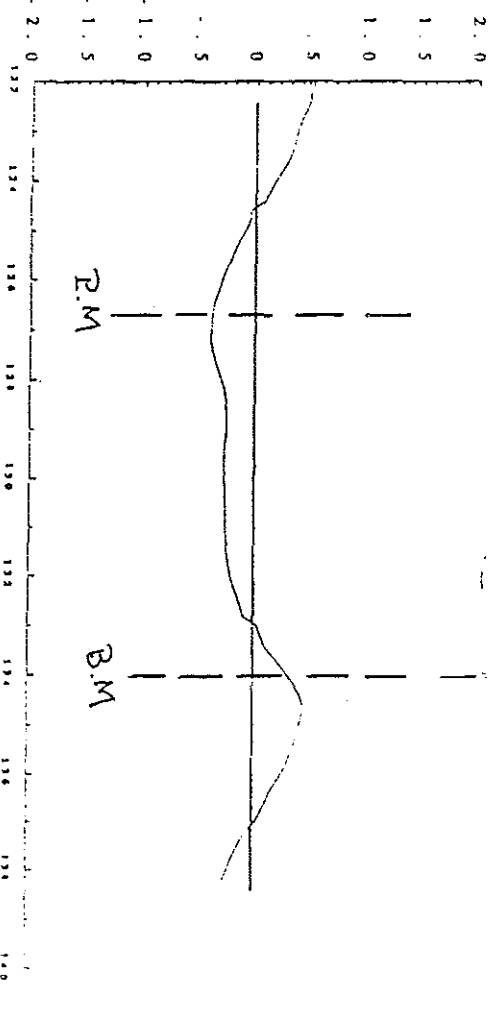
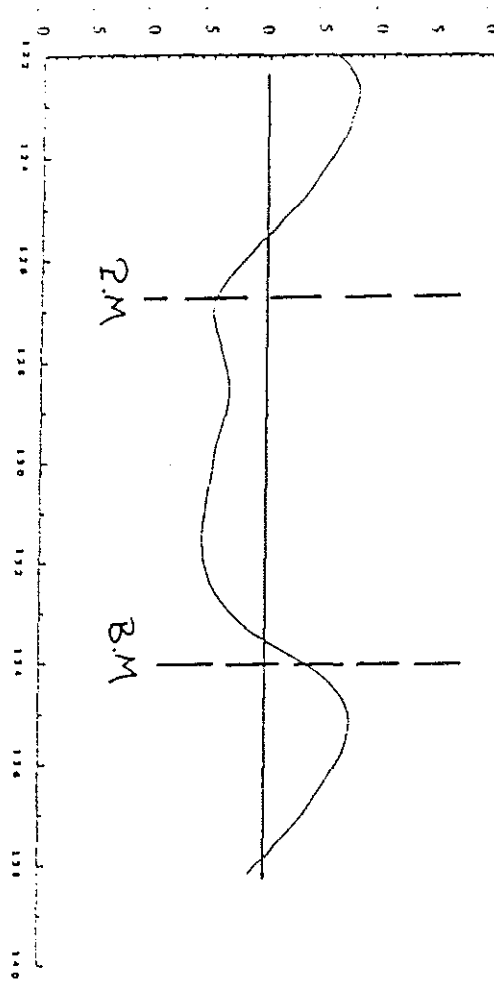


Fig 2b. (suite)

Paste 17 Motes-eaux. (44-52)

VITESSES EN MÈTRES PAR SECONDES

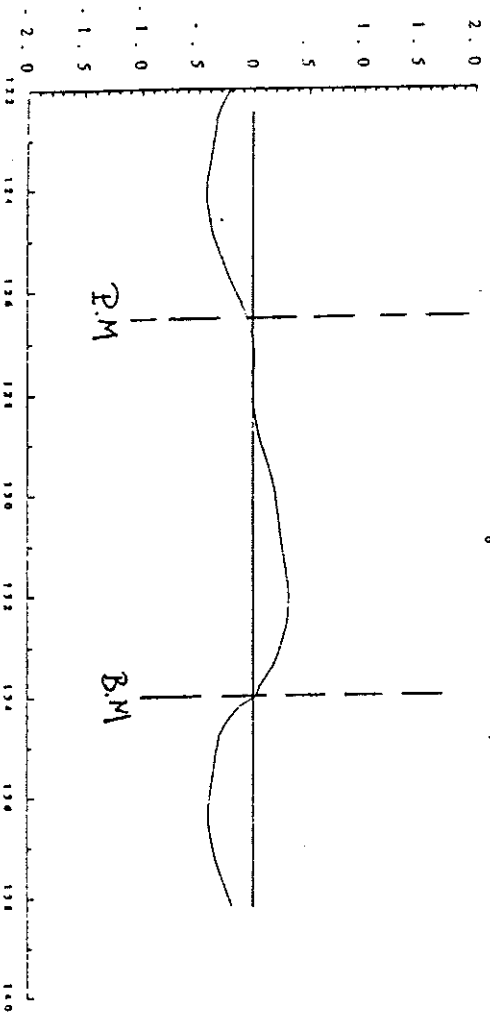
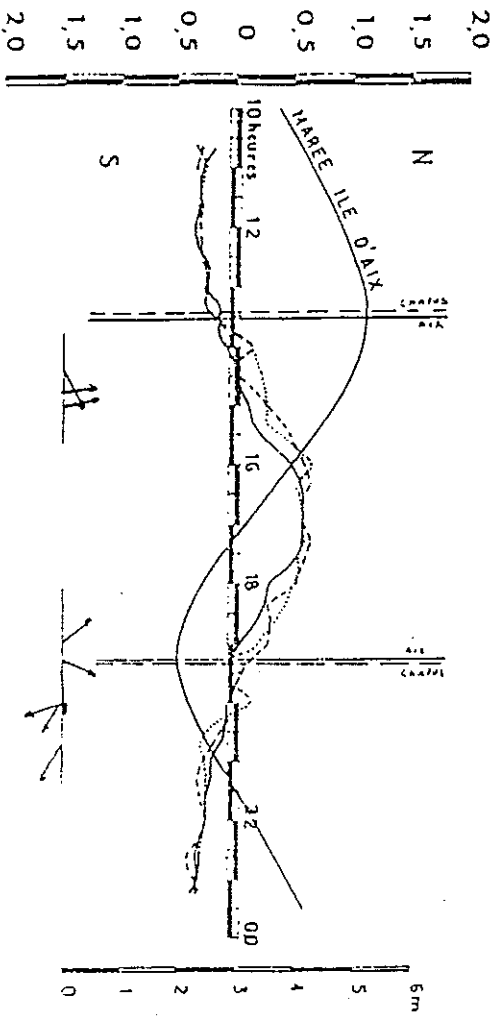


Fig 25. suite

## Calculs hydro-sédimentaire

### Conditionnements du modèle

A ce stade de l'étude l'hypothèse est faite que les vases en suspension proviennent exclusivement des stocks présents sur le fond. La concentration des masses d'eau pénétrant aux limites géographiques du modèle est ainsi prise égale à zéro. Un stock initial de vase sur le fond est attribué à chacune des mailles comprises dans la zone du modèle sédimentaire. Les mesures effectuées par Sauriau et al. (1989) révèlent 5 types sédimentaires prédominant à Marennes-Oléron (voir fig. 3a). En première approximation, seules les zones dites de "vase pure" ou de "vase sableuse" sont pourvue d'un stock initial et fini de vase (fig. 3b). Le comportement hydro-sédimentaire des éléments constitutifs de ces deux types de vases étant le plus proche de celui des sédiments cohésifs.

### Simulations

Il s'agit d'un premier essai. Aucune calibration n'a été effectuée sur les paramètres du modèle sédimentaire qui restent les mêmes que ceux du modèle appliqué à Morlaix (Le Hir et al., 1991). Les simulations portent sur une période de quinze jours.

1. Variation temporelle de la concentration de la vase dans l'eau en différents points du bassin.

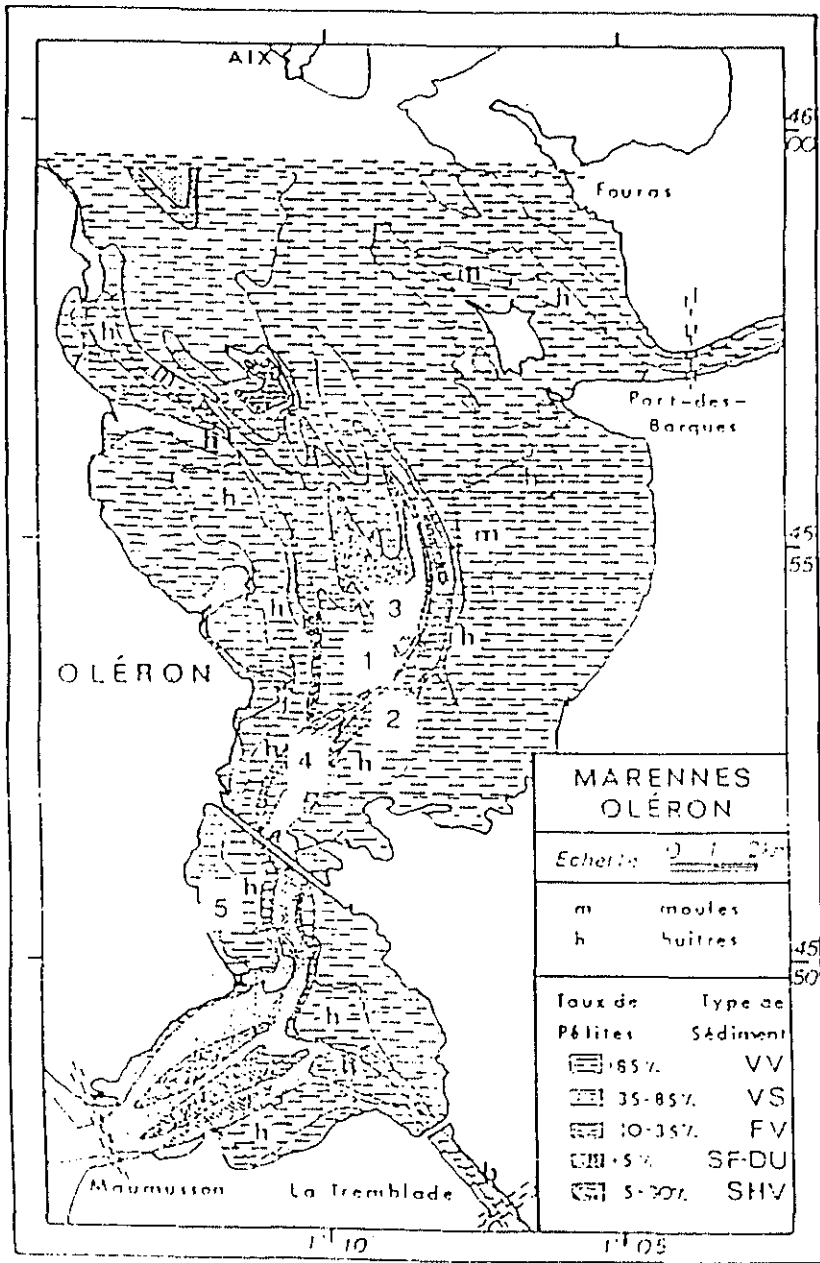


fig. 3a : Cartographie des sédiments du bassin. (Sauriau et al., 1989)

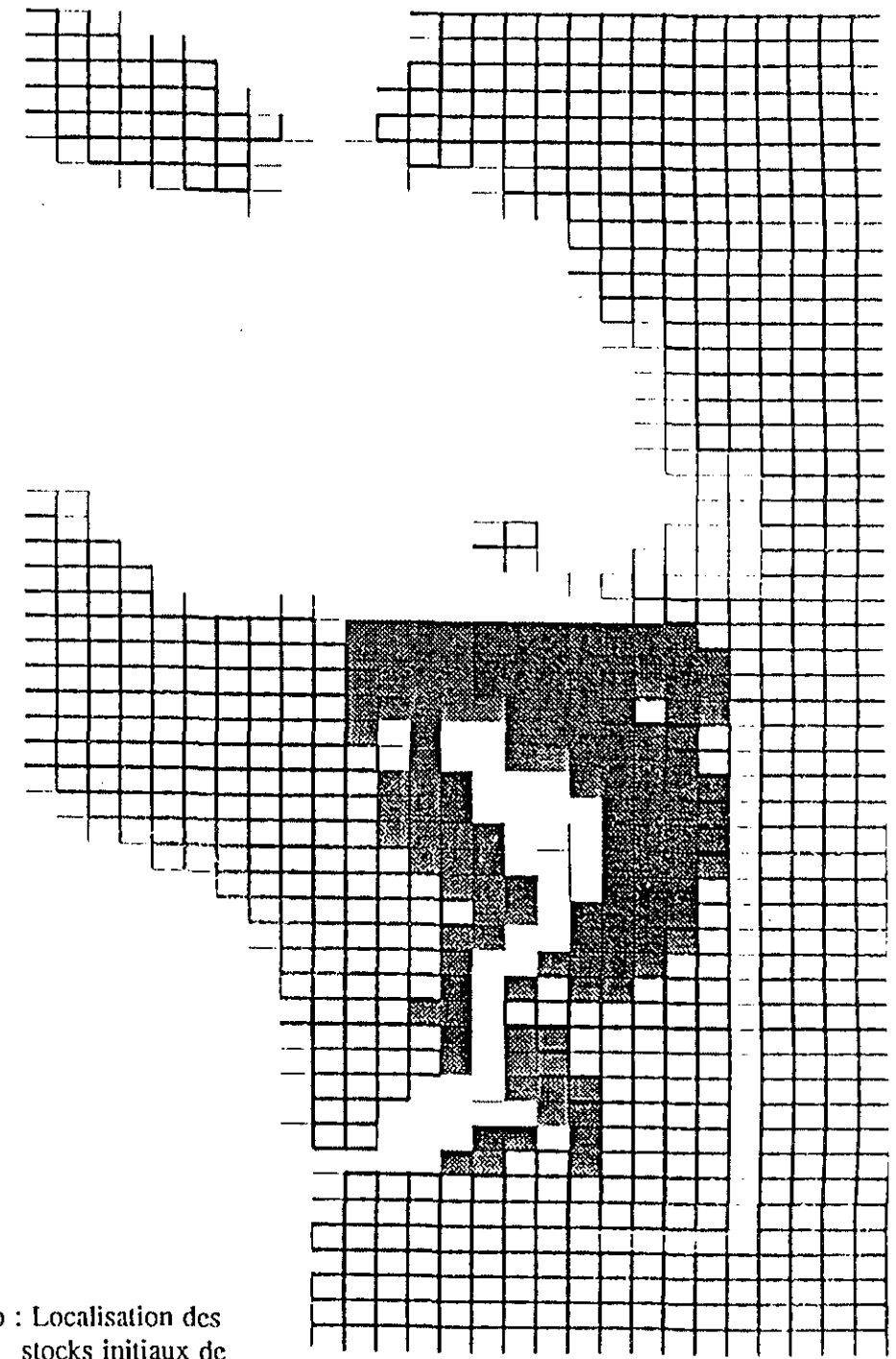


fig. 3b : Localisation des stocks initiaux de vase du modèle sédimentaire

## Au chapus

L'aspect non répétitif de l'évolution sur 15 jours de la turbidité simulée (= concentration de vase dans l'eau) met en évidence la non-stabilisation du modèle sédimentaire (fig. 4). Il convient donc de rester prudent sur les conclusions et les enseignements à tirer de ces premiers résultats.

Le cycle vives-eaux/mortes-eaux de la turbidité simulée au Chapus est caractérisé par une baisse des niveaux moyens de turbidité et de l'amplitude des oscillations semi-diurnes. Ces variabilités périodiques du signal sont également perçues sur les mesures effectuées en continue (fig. 4). Des désaccords importants entre le calcul et la mesure sont cependant mis en évidence à l'échelle de variation de la marée (fig. 5). En mortes-eaux comme en vives-eaux et particulièrement à marée descendante, le modèle ne reproduit ni le niveau ni la rythmicité des maxima et minima de la turbidité enregistrée.

### Transect Est/Ouest (figure 6a)

Il montre une forte hétérogénéité de la distribution de la turbidité selon cet axe. Le gradient observé concerne les niveaux moyens de turbidité et l'amplitude des oscillations à l'échelle de la marée et du cycle vives-eaux/mortes-eaux. L'intensité des échanges de vase entre le fond et la colonne d'eau sur l'estran ouest confère cet aspect nerveux à l'évolution de la turbidité en maille E. Cette variabilité s'estompe lorsque l'on se déplace vers le chenal (maille CE) et n'est pas réactivée par les échanges verticaux en maille O. Il n'existe pas de mesures précises à

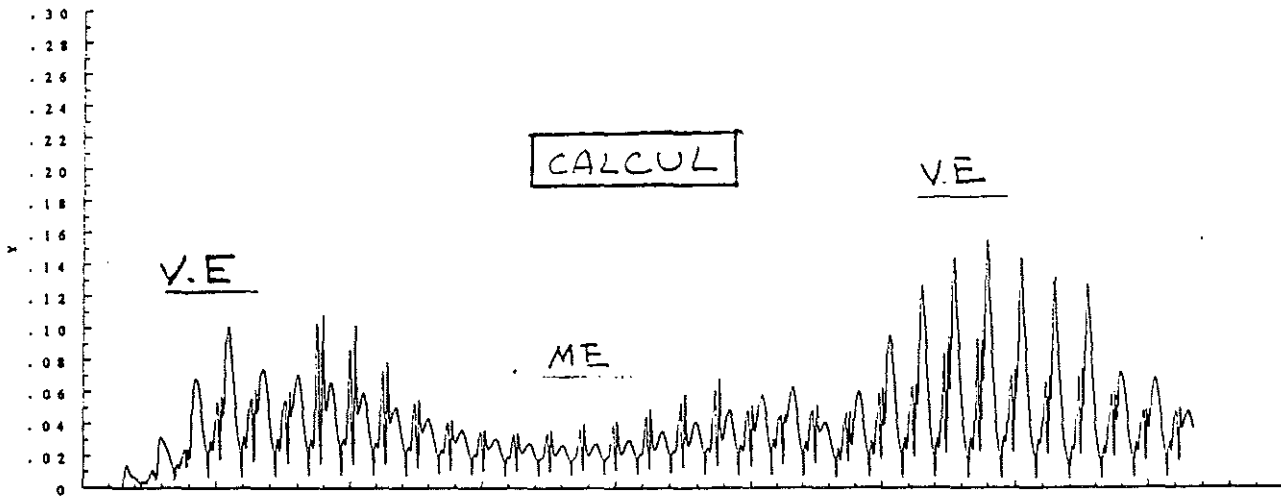
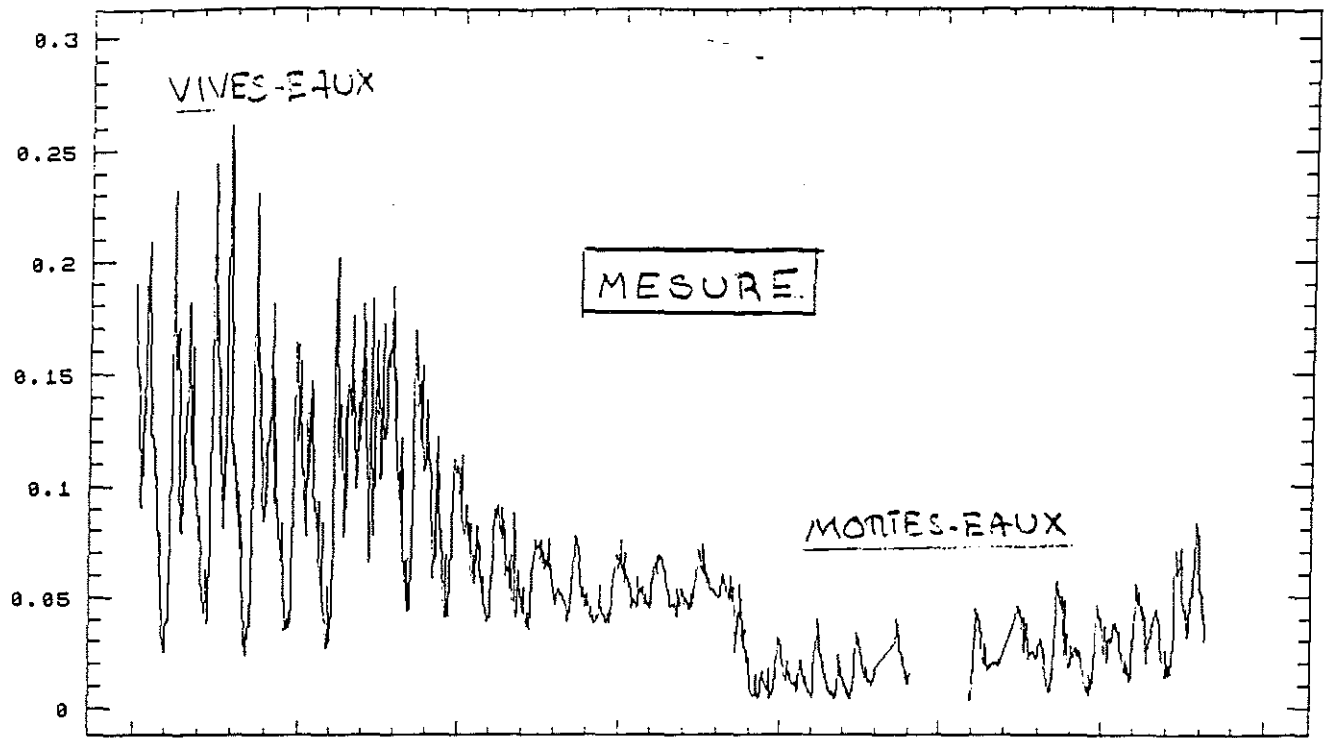


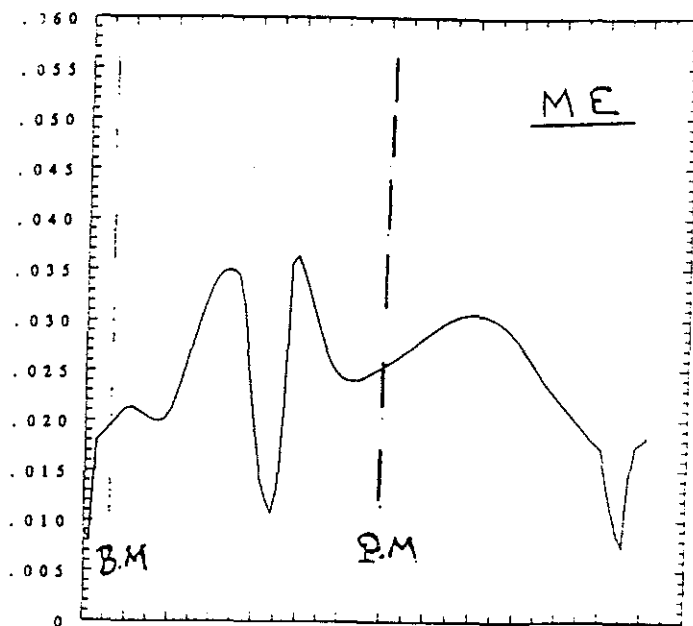
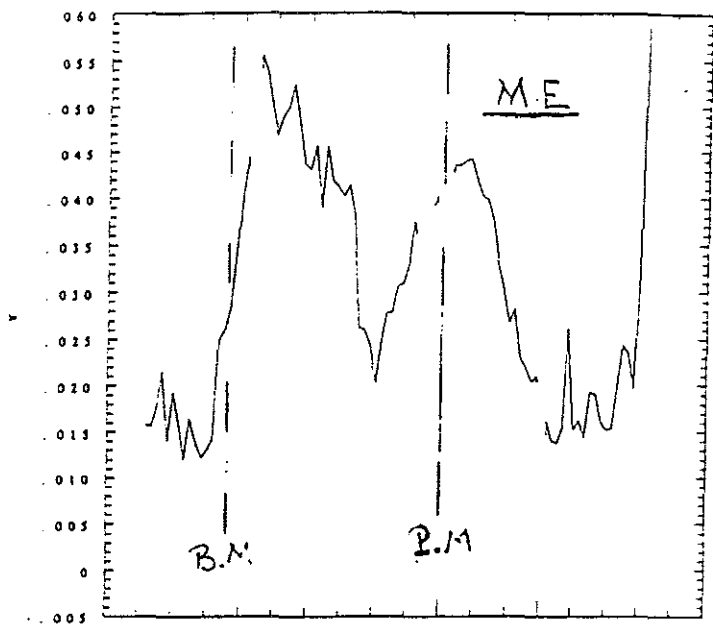
fig. 4 : Evolutions mesurée et simulée de la turbidité (g de sédiment/l) au Chapus pendant un cycle vives-eaux/mortes-eaux de marées.

V.E : marées de vives-eaux

M.E : marées de mortes-caux

MESURE

CALCUL



MESURE

CALCUL

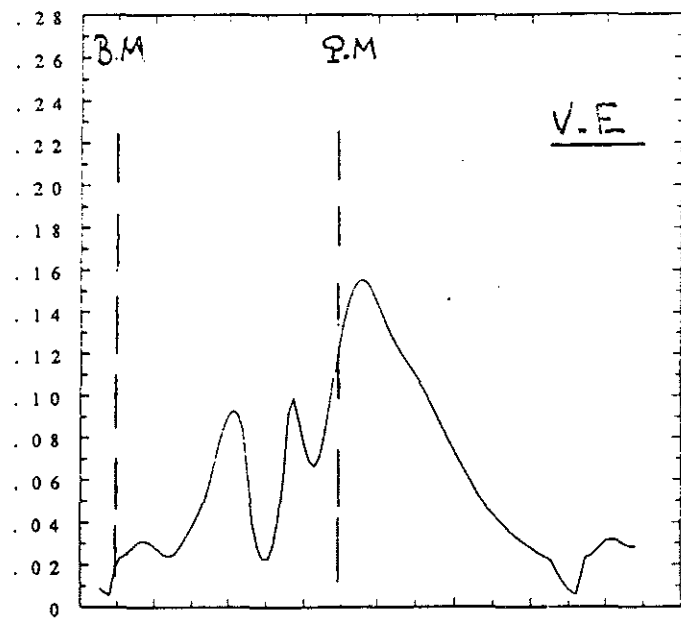
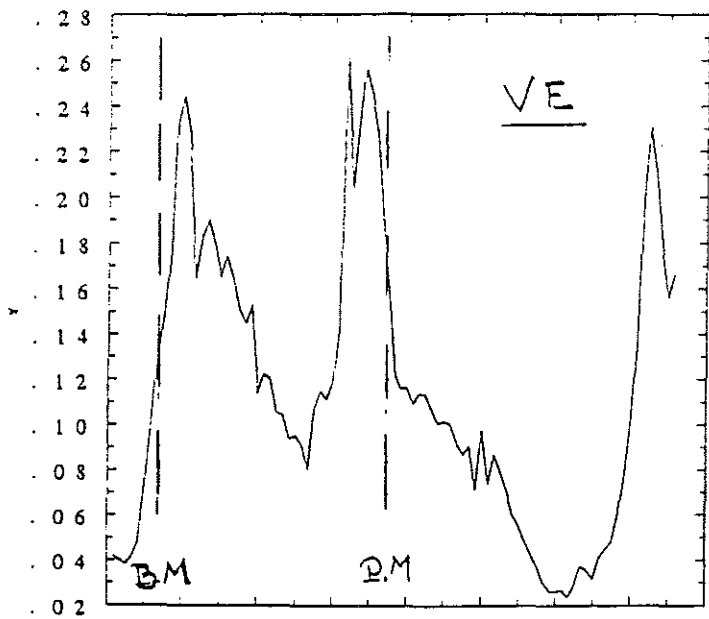


fig. 5 : Evolutions mesurée et calculée de la turbidité (g de sédiment/l) pendant une marée de mortes-eaux (M.E) et une marée de vives-eaux (V.E).

l'instar de celle du Chapus pour attester de la validité de tels résultats. Toutefois les travaux de Héral et al. (1983) sur la variabilité spatiale du seston semblent également démontrer un clivage Est/Ouest des régimes de turbidité dans la partie nord du Bassin.

Transect Nord/Sud des chenaux (fig. 6b)

Un contraste notable est perçu entre les deux mailles positionnées à l'extérieur de la zone d'emprise du modèle sédimentaire (maille N et S). La turbidité en maille S montre une dépendance plus marquée vis à vis des processus d'érosion/dépot de la zone sédimentaire (voir niveaux moyens et oscillations tidales) qui met à jour le transport résiduel nord/sud des masses d'eau dans ce secteur du bassin. Pour les mêmes raisons, le régime de turbidité de la maille N apparaît relativement déconnecté des processus prenant place en aval. Dans les chenaux situés au centre de la zone sédimentaire le régime de turbidité au sud (maille CS) se distingue de celui du nord (maille CN) par son niveau moins élevé et ses oscillations moins vives. Si dans l'ensemble les observations de Héral et al. (1983) corroborent ces hétérogénéités, elles mettent cependant en évidence une variabilité plus prononcée des turbidités dans le secteur couvert par la maille N.



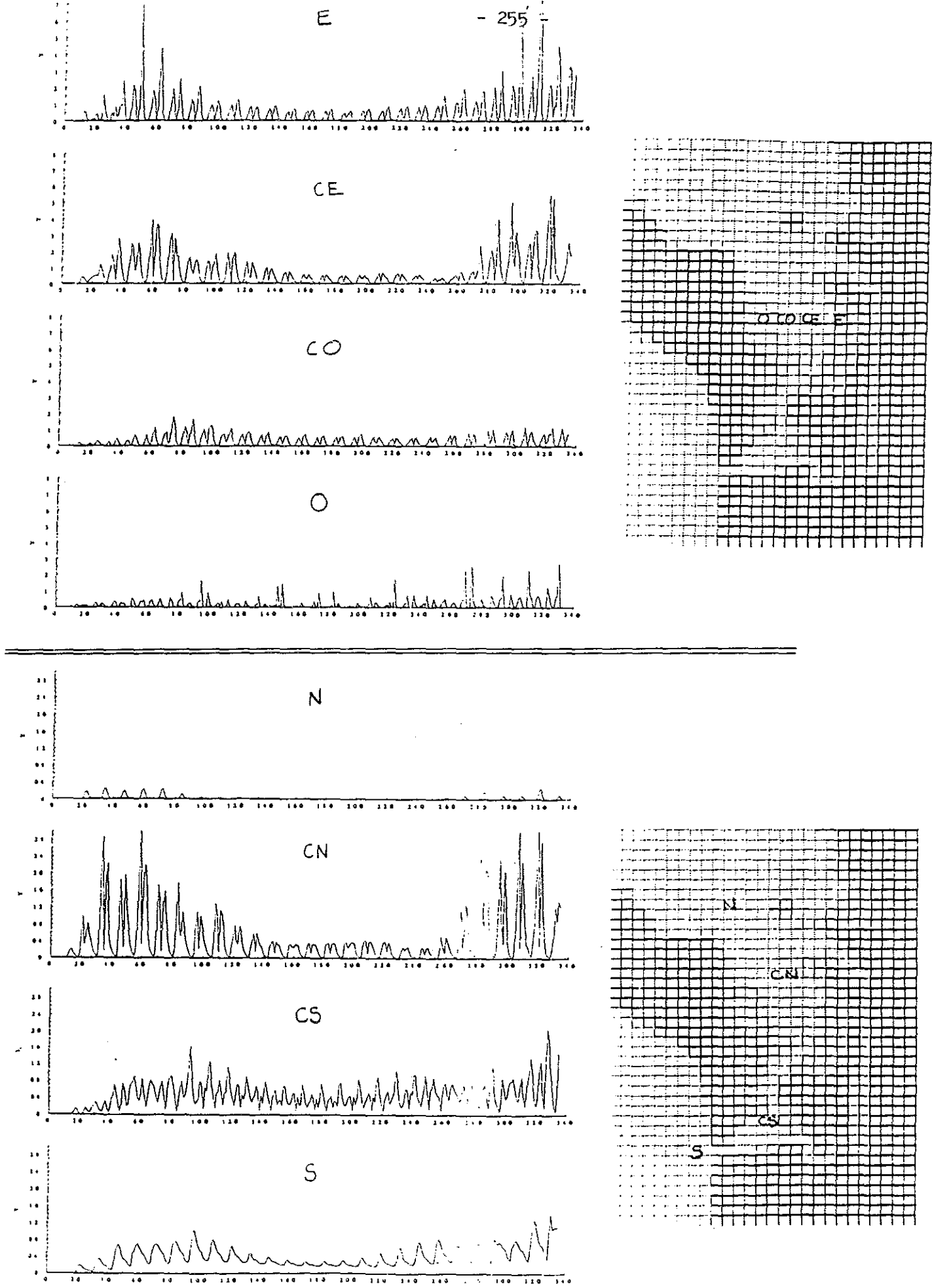


fig. 6 : Distributions temporelles des turbidités (g de sédiment/l) calculées par le modèle en différents points du maillage pendant 340 heures (15 jours).

## 2. Evolution des stocks de vase sur le fond.

Pendant les premiers jours (fig. 7a et 7b) les marées de vives-eaux provoquent un enlèvement massif des stocks de vase situés au nord et à l'est (stock < 50 kg/m<sup>2</sup>) qui élargit de manière sensible le chenal. Les sédiments ainsi érodés sont pour la plus part évacués du bassin puisque l'on ne note pas d'engraissement significatif dans le bassin pendant cette période. Lorsque les coefficients de marée décroissent (fig 7c et 7d) la tendance à l'enlèvement s'atténue et laisse place à des envasements sur la partie orientale de l'estran Est (stock > 50 kg/m<sup>2</sup>). Dans les jours qui suivent (fig. 7e et 7f), le regain d'intensité du forçage hydrodynamique entraîne de nouvelles érosions sur les bords Est du chenal et au nord-est du bassin. Cependant, les engraissements précédemment consitués se maintiennent.

Le retirement définitif de banquettes vaseuses par le modèle remet certes en cause la qualité de la présente modélisation mais n'est pas préoccupante outre mesure compte tenu du caractère très provisoire de ces résultats.

## CONCLUSIONS

Ce premier essai est encourageant. Le modèle hydro-sédimentaire présente plusieurs points d'ancrage avec la réalité du bassin et possède une marge de progression importante puisqu'il n'est ni calibré ni caractérisé d'une autre façon. Les écarts observés au Chapus et la non-stabilisation des banquettes vaseuses sont cependant là pour rappeler qu'il reste un effort substantiel à

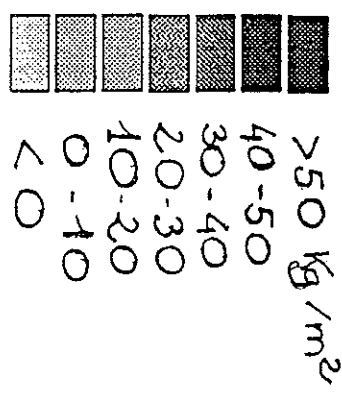
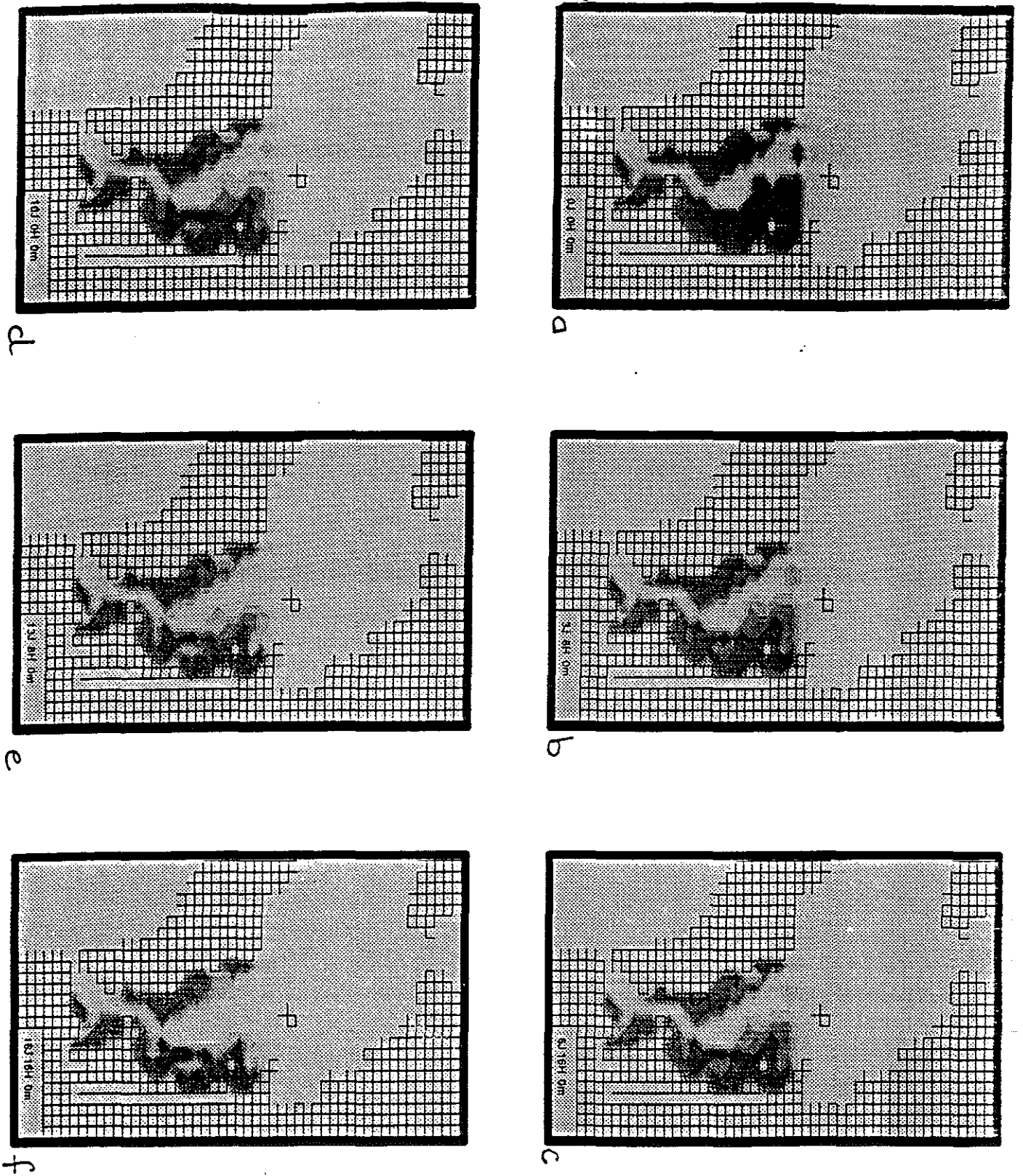


fig. 7 : Evolution simulée des stocks de sédiment sur le fond.

fournir pour parvenir aux objectifs fixés. Le travail futur de modélisation comporte trois volets :

1. Compléter le modèle :

- prendre en compte les fleuves Charente et Seudre sur les plans hydrodynamique et sédimentaire. Les travaux d'Héral et al. (1983) montrent une influence notable et variable de ces fleuves sur le régime de turbidité du bassin.

- déterminer la valeur des paramètres des lois hydro-sédimentaires d'après les mesures effectuées in situ (Anon., 1991, Anon, 1992).

- considérer l'action du vent pour les contraintes qu'il exerce sur le fond par le biais de l'agitation locale.

2. Etudier le comportement du modèle : l'analyse de la sensibilité du modèle aux paramètres des lois, de structure (échelle spatio-temporelle, nombre de variables, processus) et de conditionnement (limites, état initial, forçages) est souhaitable pour être en mesure de déterminer les points critiques et la robustesse du modèle (Swartzman et Kaluzny, 1987).

3. Calibrer le modèle : la priorité numéro un est de simuler au mieux l'évolution de la turbidité mesurée au Chapus et en d'autres stations du bassin dont les données n'ont pas encore été dépouillées à ce jour. Ce choix est motivé par la connection future de ce modèle avec un modèle biologique dont la qualité et la précision sont avant tout commandées par celles des teneurs particulières dans l'eau. L'obtention d'une répartition géographique réaliste des banquettes de vase reste présente à

l'esprit mais ne doit pas gêner la réalisation du premier objectif.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- Anonyme, 1991. Etude des vases et biodépôts de Marennes-Oléron, caractéristiques sédimentologiques. CREOCEAN, 9 p.
- Anonyme, 1992. Caractéristiques mécaniques des vases et des biodépôts de Marennes-Oléron. Rapport d'étude. Laboratoire d'Hydraulique de France, 14 p.
- Bacher C., 1989. Capacité trophique du bassin de Marennes-Oléron : couplage d'un modèle de transport particulaire et d'un modèle de croissance de l'huître *C. gigas*. *Aquat. Living Resources*, 2, 199-214.
- Héral M., 1991. Approche de la capacité trophique des écosystèmes conchylicoles. ICES mar. Sci. Symp., 192 : 48-62.
- Héral M., D. Razet, J-M Deslous-Paoli, J-P Berthomé, J. Garnier, 1983. Caractéristiques saisonnières de l'hydrobiologie du complexe estuarien de Marennes-Oléron (France). *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, 46, 97-119.
- Le Hir P., P. Bassoulet, J. L'Yavanc, 1989. Modelling mud transport in a macrotidal estuary, to be published of the 2nd conference on water Modelling and Measurement. Organiser : BHRA, The fluid engineering center, Bedford, U.K.
- Le Hir P., Bassoulet P., J. l'Yavanc, 1991. Suspended sediment transport in the Morlaix estuary : model developments and field validation. Rapport IFREMER DRO/EL-91.
- Raillard O., 1991. Etude des interactions entre les processus physiques et biologiques intervenant dans la production de l'huître *Crassostrea gigas* du bassin de Marennes-Oléron. Thèse dr. Univ. Paris, 203p.
- Salomon J.C., M. Pommeypuy, M. Breton, A. Derrien, 1989. Modèle mathématique de la dispersion des bactéries entériques en baie de Morlaix. Symposium "Modèles mathématiques pour la gestion de la qualité des eaux" organisé par la Société Hydrotechnique de France, novembre 1989.

Sauriau P.G, V. Mouret, J.P. Rince, 1989. Organisation trophique de la malacofaune benthique non cultivée du bassin ostréicole de Marennes-Oléron. *Oceanologica Acta*, 12, 2 : 193-204

Swartzman G.L., S.P., Kaluzny, 1987. Ecological simulation primer. MacMillan Publ. Comp. New York.