

MEMOIRE

PRÉSENTÉ À

L'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE  
D'AGRONOMIE DE RENNES

PAR

GILLES FLAMION

EN VUE DE L'OBTENTION DU  
DIPLOME D'AGRONOMIE APPROFONDIE

SPÉCIALITÉ : HALIEUTIQUE

ACCROISSEMENT DE LA PRODUCTION  
PHYTOPLANCTONIQUE PAR DES AMENDEMENTS  
MINERAUX DANS UNE NURSERIE DE MOLLUSQUES

SOUTENU LE 10 OCTOBRE 1983  
DEVANT LES MEMBRES DU JURY :

M. BERTHOME J.P.  
M. COLLIGNON J.  
M. DESLOU-PAOLI J.M.  
M. FONTENELLE G.  
M. HERAL M.  
M. ROBERT J.M.

## AVANT-PROPOS

Le travail présenté dans ce mémoire s'est déroulé conjointement à la SATMAR (Société Atlantique de Mariculture) qui possède une nurserie près de Marennes (17) et au laboratoire de l'ISTPM (Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes) de la Tremblade.

Je remercie les dirigeants de la Société et, en particulier, M. J.L. ROBERT pour avoir proposé ce stage, et tiens à exprimer mes plus profonds remerciements à M. M.HERAL, Chef du laboratoire, pour m'avoir guidé et conseillé en permanence tout au long de ce travail. De plus j'exprime mes remerciements à tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont aidé, en particulier, Messieurs BERTHOME J.P., BOROMTHANARAT S., DESLOU-PAOLI J.M., NADHIS M., PROU J., RAZET D., ROBERT J.M., et ZANETTE Y. ainsi que Mme J. GARNIER.

RESUME :

Des séries d'amendements ont été effectuées, en période estivale, dans des claires de grand volume (600 à 800 m<sup>3</sup>) et dans une réserve d'eau de 16 000 à 30 000 m<sup>3</sup> alimentant la nurserie de la SATMAR, située à Marennes - Oléron, afin d'augmenter la production phytoplantonique.

Les essais en claires permettent de révéler :

- le rôle de l'azote comme premier facteur limitant : seul un ajout d'azote (entre 10 et 60  $\mu\text{g.at.l}^{-1}$ ) implique un développement rapide mais bref des populations algales in situ. Les teneurs en chlorophylle a obtenues ne dépassent pas 43  $\mu\text{g.l}^{-1}$ .

- l'importance du CO<sub>2</sub> qui peut être le second facteur limitant avant le phosphore ou la silice ; ces deux derniers éléments semblent plus jouer un rôle au niveau de la vitesse ou de la qualité des blooms induits.

- la possibilité de maintenir des concentrations en Chl. a supérieures à 10  $\mu\text{g.l}^{-1}$  avec des apports réguliers d'engrais sans renouvellement d'eau. Preuve que l'ensemble des autres facteurs tels que les vitamines, les oligoéléments (le fer en particulier) sont en quantité suffisante dans le milieu.

- la difficulté de contrôler efficacement le milieu car il existe des phénomènes d'adsorption d'ions NH<sub>4</sub><sup>+</sup> et PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>.

Les enrichissements dans la réserve de la nurserie ont permis au cours de trois mois d'expériences d'y maintenir une concentration moyenne en chlorophylle a de 3 à 4  $\mu\text{g.l}^{-1}$  ; alors que les eaux d'alimentation sont en deçà de 1  $\mu\text{g.l}^{-1}$ . Les espèces obtenues sont en majorité du nanoplancton inférieur à 10  $\mu\text{m}$  composé de flagellés qui sont pauvres en Chl. a intracellulaires. Ces flagellés sont consommés mais n'assurent pas à eux seuls les besoins nutritionnels du naissain qui enregistre néanmoins une petite croissance.

# TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
I.- <u>PRESENTATION DE LA NURSERIE</u> .....	3
1.1.- Le circuit de distribution hydraulique .....	3
1.2.- Le système d'élevage .....	4
121. Les espèces élevées	
122. Fonctionnement	
123. Charge de la nurserie	
1.3.- Organisation et caractéristiques des claires .....	5
II.- <u>MATERIEL ET METHODE</u> .....	6
2.1.- Engrais utilisés pour les amendements .....	6
211. Le nitrate de soude	
212. Le nitrate d'ammonium	
213. Le superphosphate triple	
214. Le Métasilicate de sodium hydraté	
2.2.- Protocole expérimental concernant le suivi de la nurserie .....	6
221. Lieux de prélèvements	
222. Amendements	
223. Evaluation de la croissance des bivalves	
2.3.- Protocole expérimental pour les enrichissements en claires .....	7
231. Remplissage des claires	
232. Méthode d'amendements	
233. Méthode de prélèvements	
234. Conséquences	
235. Plan succinct des enrichissements	
2.4.- Techniques analytiques .....	8
241. Facteurs physiques	
242. Facteurs physico-chimiques	
243. Les éléments nutritifs	
244. Paramètres biologiques	

III.- <u>RESULTATS DES AMENDEMENTS EN CLAIRES</u> .....	11
3.1.- Première expérimentation : mois de mai.....	11
311. Caractéristiques de l'eau avant enrichissements	
312. Nature et concentration des enrichissements	
313. Evolution des paramètres physiques et chimiques	
314. Evolution de la biomasse	
3.2.- Deuxième expérimentation : mois de juin.....	15
321. Caractéristiques des eaux avant amendements	
322. Concentration des enrichissements	
323. Evolution de certains paramètres physiques et chimiques	
324. Variation de la biomasse	
3.3.- Troisième expérimentation : mois de juillet.....	16
331. Conditions initiales	
332. Composition des enrichissements	
333. Evolution des paramètres physico-chimiques	
334. Evolution des teneurs en sels nutritifs	
335. Evolution de la biomasse	
3.4.- Essai de maintien d'un bloom .....	19
3.5.- Mise en évidence de phénomènes d'adsorption .....	19
IV.- <u>RESULTATS DES AMENDEMENTS DANS LES RESERVES DE LA NURSERIE</u> .....	21
4.1.- Circuit de recyclage court .....	21
411. Caractéristiques des enrichissements	
412. Evolution de la biomasse phytoplanctonique	
4.2.- Circuit de recyclage long .....	22
421. Caractéristiques des amendements	
422. Evolution de la biomasse	
4.3.- Suivi du naissain .....	23
431. Croissance	
432. Consommation :	
a/ Quantitative	
b/ Qualitative	

V.- <u>DISCUSSION</u> .....	25
5.1.- Phénomènes d'adsorption d'éléments fertilisants	25
511. L'ion orthophosphorique	
512. L'ion ammonium	
513. Conséquences	
5.2.- Influence de la température, de l'éclairement et de la teneur en CO <sub>2</sub> .....	26
521. Température	
522. Insolation	
523. CO <sub>2</sub>	
524. Conclusion	
5.3.- Effets des différents éléments nutritifs sur l'augmentation de la biomasse .....	27
531. L'Azote	
532. Le phosphore et l'influence du rapport N/P	
533. La silice	
534. Autres facteurs	
5.4.- Assimilation des différentes formes minérales de l'azote .....	29
5.5.- Composition des blooms induits et conséquences au niveau du naissain.....	29
5.6 - Aspects économiques .....	30
VI.- <u>CONCLUSION</u> .....	32

## I N T R O D U C T I O N

Résultat d'une maîtrise technologique sans cesse affinée, la production des écloséries en matière de bivalves n'a cessé d'augmenter ces dernières années. En conséquence, on assiste au développement et à la création de nouvelles nurseries, établissements constituant un véritable stade intermédiaire entre l'élevage des jeunes post-larves en éclosérie et la transplantation du naissain dans l'environnement naturel (Claus 1981).

C'est à partir d'une taille de l'ordre du millimètre que l'élevage des mollusques en milieu totalement contrôlé devient difficile, tant d'un point de vue technologique qu'économique, en raison des quantités considérables d'eau et de nourriture nécessaires (Le Borgne, 1977, 1981). Aussi, la nurserie, où l'alimentation en eau s'effectue à partir d'une réserve voire même directement en mer, devrait répondre à ces difficultés et permettre au naissain de poursuivre sa croissance jusqu'à une taille commercialisable variant de 2 à 10 millimètres. Malheureusement, on constate que malgré les soins apportés au naissain (nettoyage des tamis, agencement rationnel des densités en fonction des tailles...) des facteurs tels que la qualité de l'eau, la température et l'irrégularité (quantitative et qualitative) de la richesse en phytoplancton de l'eau entravent fortement la croissance des mollusques (Lucas, 1978) et abaissent le taux de survie.

Afin de pallier au manque de phytoplancton en certaines saisons, une des solutions qui semble la plus économique (De Pauw, 1981) est l'induction de bloom naturel (Ryther et al 1972, Goldman et Ryther 1976 ; Pryor et Lee Watson, 1978 ; Guerrero et al, 1981) grâce à l'adjonction dans l'eau de divers fertilisants. Parmi ceux-ci, les engrais agricoles permettent d'obtenir certains résultats tant quantitatifs que qualitatifs en manipulant différents ratios N/P et N/Si (Loosanoff et Engle, 1942 ; Ryther, 1977 ; Guerin et al, 1978 ; P. Nival et al 1978 ; Riva et Lelong, 1978 ; De Pauw, 1980 ; Riva et Lelong, 1981 ; Rodhouse et a 1981 ; Robert, 1983). Cette technologie pourrait aussi s'avérer intéressante en claires (Deltreil et al, 1977 ; Robert, 1983). Toutefois, on est obligé de constater que la plupart de ces expériences ont été menées soit en laboratoire, soit dans **des** faibles volumes atteignant rarement les 100 m<sup>3</sup> (De Pauw, 1981). Dans les systèmes à grandes échelles où l'ensemble de l'écosystème interfère (Korringa, 1976 Boyd et Musig, 1981), les enrichissements d'eau de mer sont le plus souvent faits empiriquement et sans réel contrôle des résultats (De Pauw, 1981).

Dans la perspective de dégager quelques lignes guides pour une application efficace d'engrais en grand volume, différentes expériences ont été suivies à la nurserie de la SATMAR (Société Atlantique de Mariculture) installée à Marennes (17) en liaison avec l'I.S.T.P.M. de La Tremblade.

Ainsi, a-t-on procédé à des enrichissements dans des claires de grand volume (600 à 800 m<sup>3</sup>) et parallèlement à ces essais, des amendements ont été effectués dans les réserves d'eau alimentant la nurserie afin de contrecarrer la déficience en phytoplancton typique des eaux de la région en période estivale.

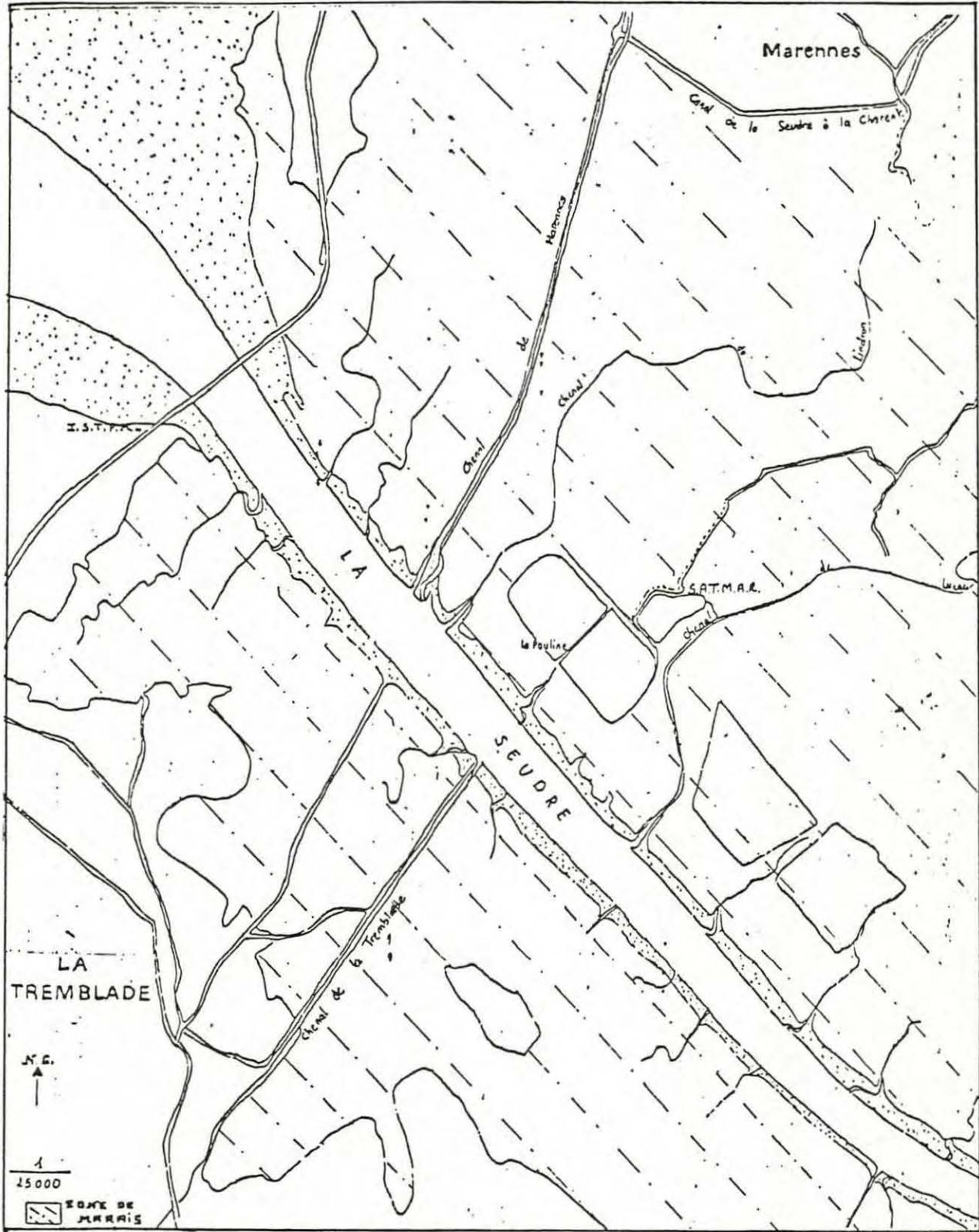


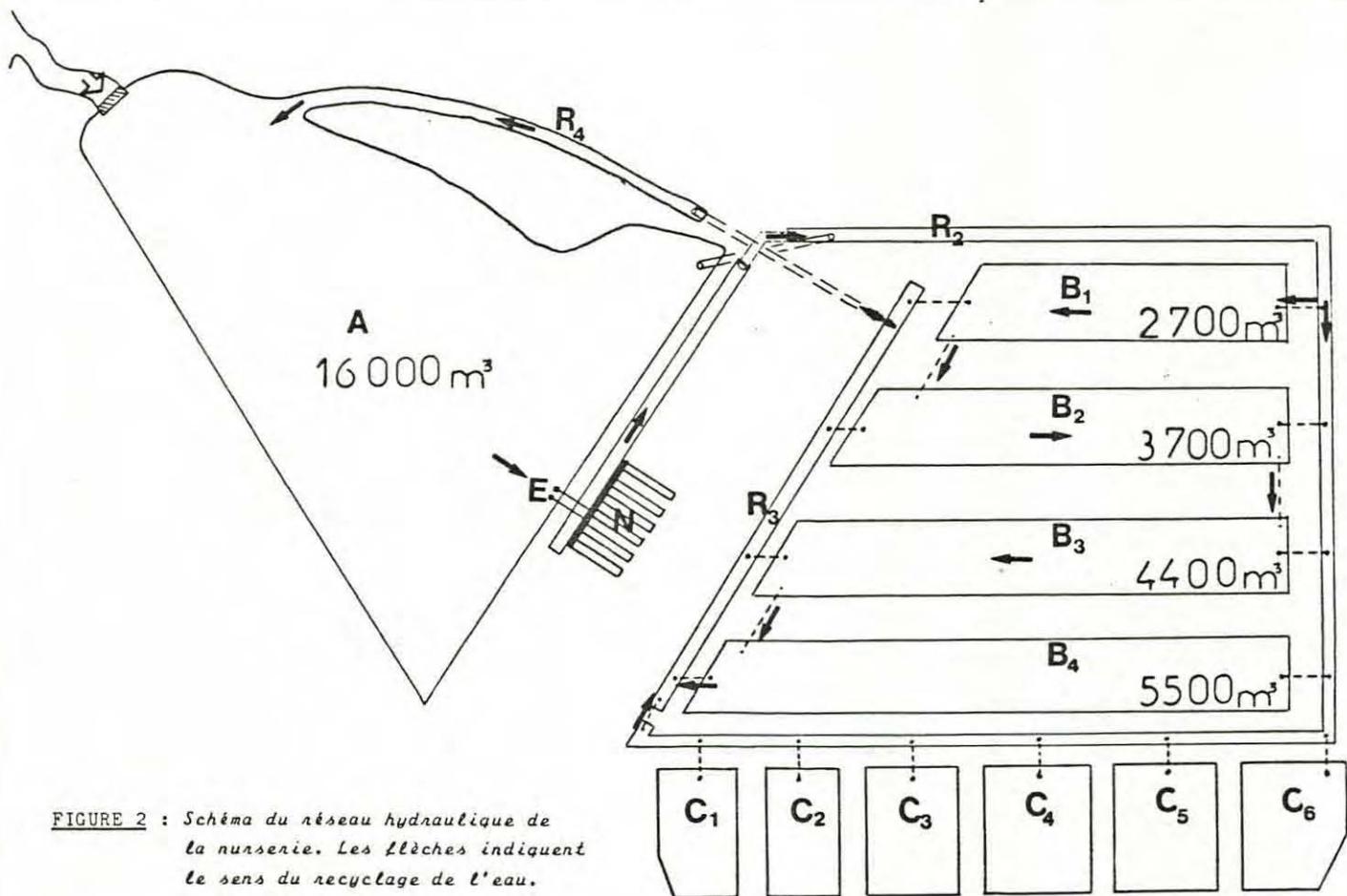
FIGURE 1 : Situation géographique de la SATMAR.

## I.- PRESENTATION DE LA NURSERIE

La nurserie de la SATMAR est située au sud de Marennes dans la zone des marais et des claires qui s'étend jusqu'à la Seudre (figure 1).

### 1.1.- Le circuit de distribution hydraulique :

La nurserie est équipée d'un ensemble de réserves d'eau qui lui permet de fonctionner en circuit fermé entre deux périodes d'alimentation. L'ensemble du réseau de recyclage récemment agrandi pose encore de nombreux problèmes (Voir Annexe A.1). La figure 2 schématise l'ensemble du système en indiquant le sens du recyclage de l'eau tel qu'il fonctionne et qui ne correspond pas toujours à celui théoriquement recherché.



- L'eau arrive dans la nurserie (N) grâce à deux élévateurs (E) qui assurent des débits de 250 ou 350 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. L'eau provient d'une réserve (A) qui couvre 1,2 ha et dont le volume moyen est d'environ 16.000 m<sup>3</sup>. Cette réserve possède, à son extrémité nord-est, une communication avec un diverticule du canal de Luzac contrôlée par une vanne à crémaillère équipée d'un clapet. Il permet un renouvellement de l'eau par simple différence de pression dès que la marée dépasse un coefficient 80 (photos 1 et 2). Un système identique de clapets (entre A et R<sub>2</sub>) prolonge le renouvellement dans l'autre réserve.

PHOTO 1 : *vue sur  
la réserve A" et les  
deux éleveurs*

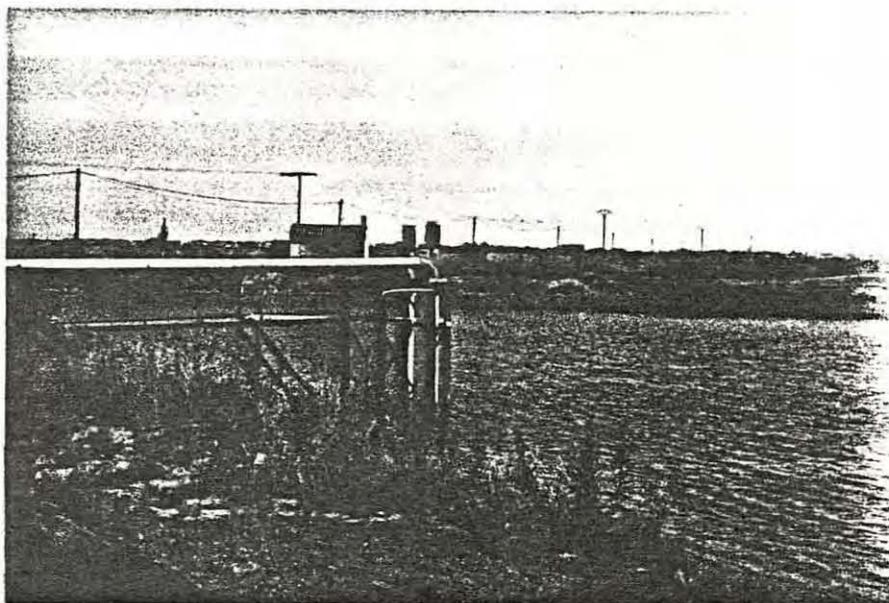


PHOTO 2 : *porte à  
clapet permettant le  
renouvellement de l'eau*

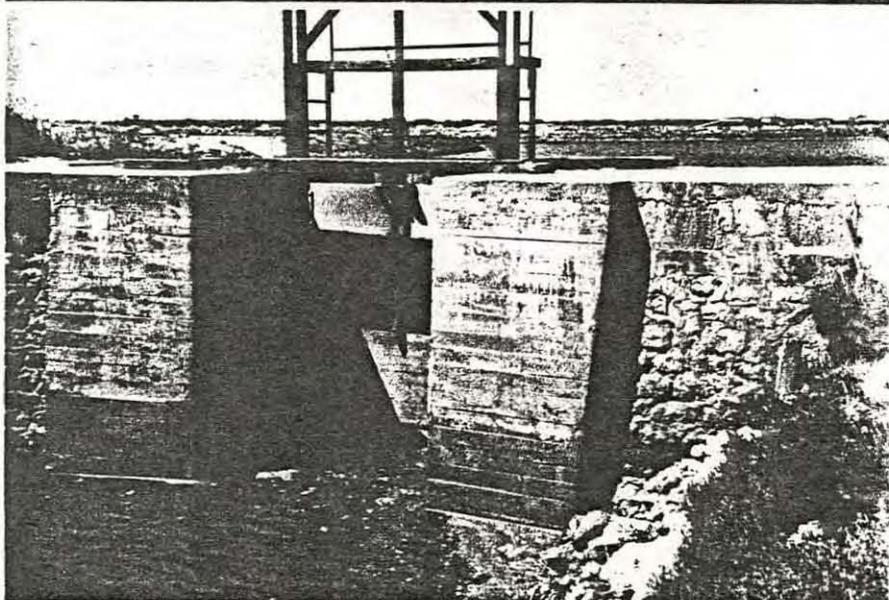
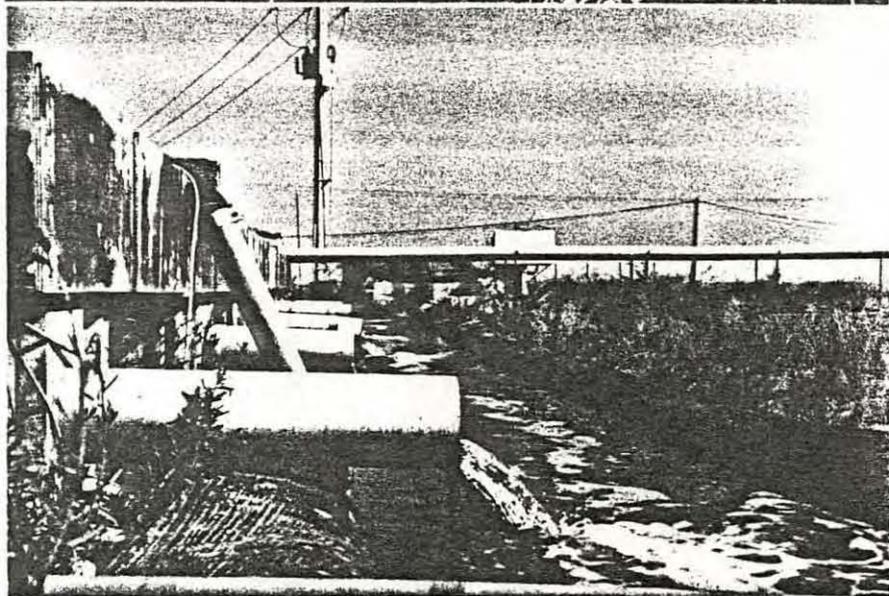


PHOTO 3 : *sortie d'eau  
de la nurserie*



- A la sortie de la nurserie, l'eau est collectée par un petit canal à faible tirant d'eau dont les parois sont munies d'une bâche plastique (photo 3). L'eau arrive alors dans un large canal ( $R_2$ ) dont le tirant d'eau dépasse 1,5 mètre. La circulation s'effectue alors comme indiqué sur la figure 2 ; les communications entre les différents canaux et bassins sont assurées par des buses situées sous les talus. Certaines d'entre elles sont obstruées par des bondons verticaux empêchant toute circulation.
- Une partie de l'eau est recyclée en empruntant les différents bassins B. Ceux-ci représentent respectivement environ  $2.700 \text{ m}^3$ ,  $3.700 \text{ m}^3$ ,  $4.400 \text{ m}^3$  et  $5.500 \text{ m}^3$ , ce qui assure en comptabilisant la première réserve (A) un temps de recyclage théorique de 5 à 8 jours en fonction des débits à fournir. Cependant, (à cause du diamètre trop faible des buses) une part non négligeable de l'eau n'est pas recyclée à travers ces bassins et passe directement du canal  $R_2$  au canal  $R_3$ . La liaison entre ce dernier et la réserve A se fait par simple écoulement gravitaire à travers deux buses prolongées par une simple tranchée.
- Deux périodes expérimentales sont à distinguer :
  - . Aux mois d'avril, mai, juillet et août, le système de recyclage fonctionnait tel qu'il a été décrit.
  - . Au mois de juin, en raison d'une fuite de la réserve A, il a été installé une pompe FLYGT de  $400 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  dans le canal  $R_3$  pour alimenter la nurserie. Le recyclage s'est effectué uniquement avec les bassins B, la réserve A n'étant plus fonctionnelle.

## 1.2.- Le système d'élevage :

### 121. Les espèces élevées :

Il s'agit d'Ostréidés et de Vénéridés :

- . Ostrea Edulis
- . Crassostrea Gigas
- . Ruditapes Semidecussata
- . Mercenaria Mercenaria

Les trois premières espèces sont largement majoritaires ; la taille du naissain varie entre 1,6 mm et 10 mm.

### 122. Fonctionnement :

L'eau fournie par les élévateurs arrive dans une large gouttière en bois qui permet de distribuer l'eau dans six bassins en béton. L'écoulement est très turbulent, ce qui assure une bonne oxygénation. A l'intérieur des bassins sont suspendus des tubes en PVC de manière à ce qu'ils soient immergés aux deux tiers de leur hauteur. Ces tubes de 0,5 mètre de diamètre ont un fond constitué d'un tamis en nylon, de mailles inférieures à 500  $\mu\text{m}$ , qui supporte le naissain. La circulation de l'eau à travers les tubes est ascendante : l'eau est évacuée par un orifice latéral situé en haut du tube (figure 3 et photos 4,5). Le débit maximum autorisé par tube est d'environ  $1,4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , l'apport d'eau est donc continu, réalisé par un procédé de type upwelling (Le Borgne et al, 1978).

PHOTO 4 : vue sur les  
tamis d'elevage

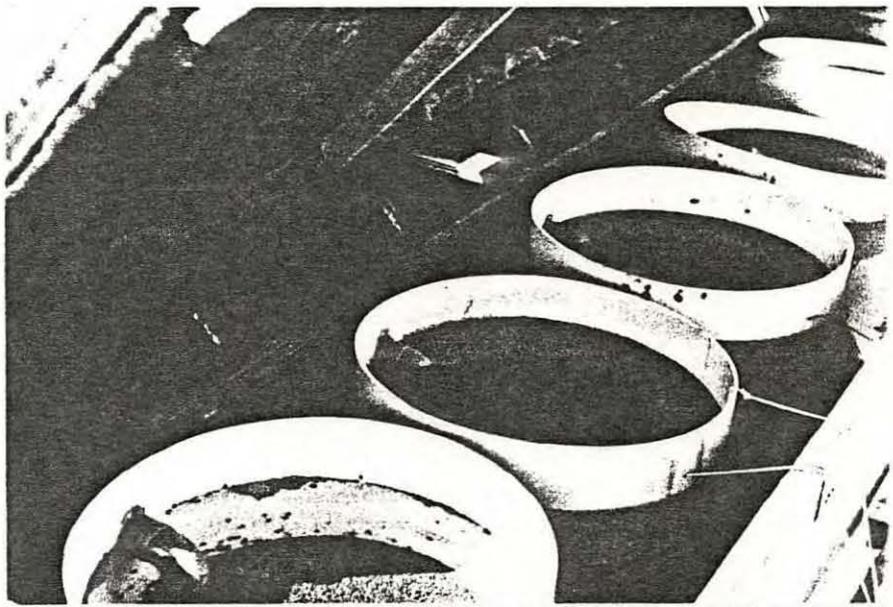


PHOTO 5 : naissain  
d'huîtres

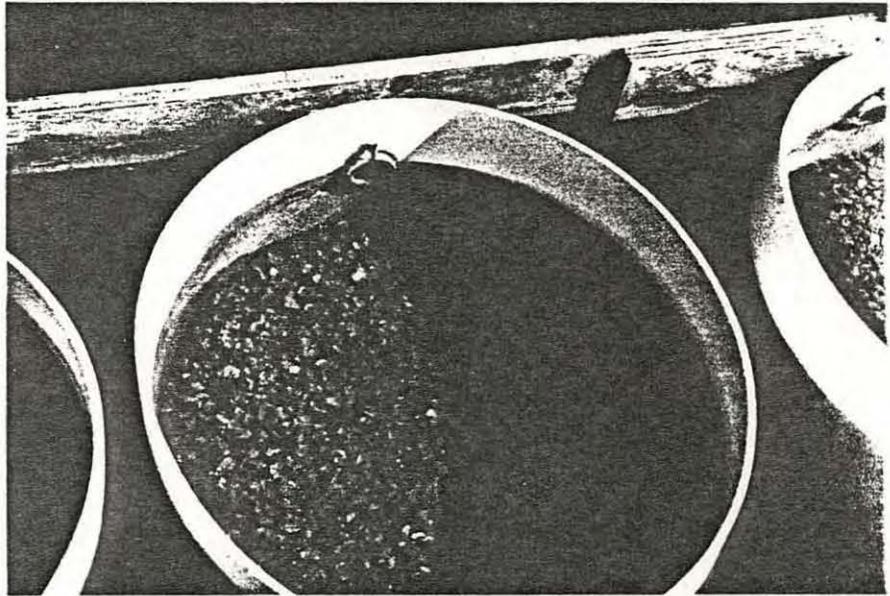
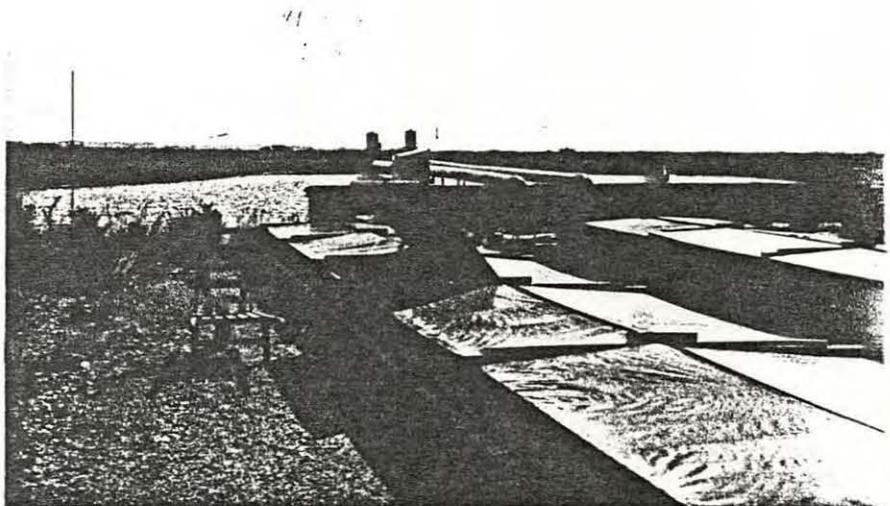


PHOTO 6 : vue sur les  
bassins d'elevage



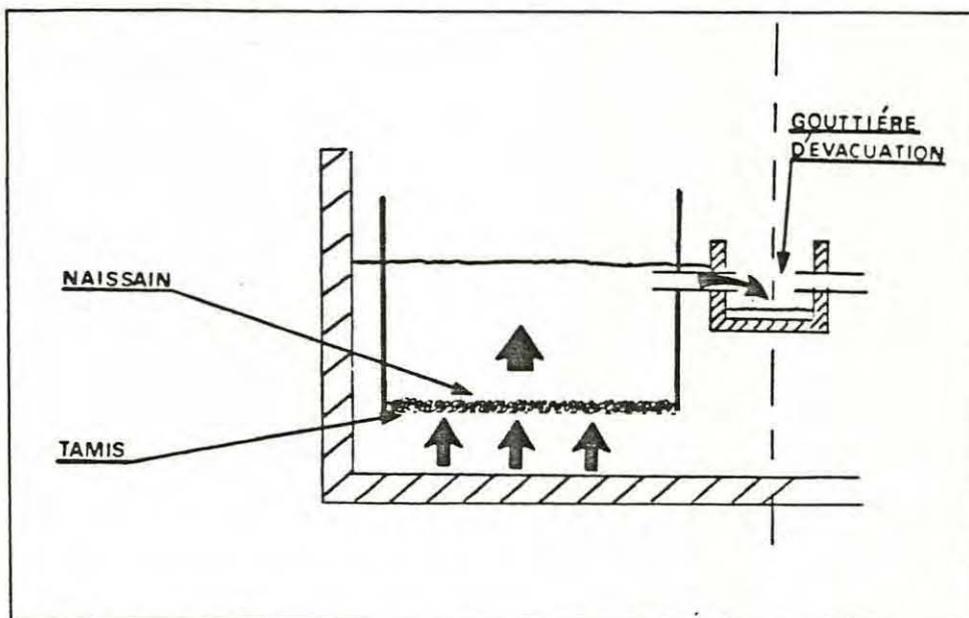


FIGURE 3 : Système par upwelling. Les flèches indiquent le sens de circulation de l'eau .

Les bassins sont recouverts d'une bâche plastique noire pour, d'une part protéger de la lumière le naissain de palourdes et d'autre part, éviter la prolifération de macrophytes (photo 6). Cependant, malgré ces précautions, les tamis sont souvent obstrués par le développement d'algues filamenteuses. Elles accentuent le colmatage dû aux fèces et aux particules non ingérées par le naissain. De plus, suivant les saisons, il existe d'autres compétiteurs : naissain de moules, ascidies... Toutes ces raisons obligent à procéder régulièrement au nettoyage des tamis.

#### 123. Charge de la nurserie :

La nurserie est composée de 6 bassins pouvant contenir chacun 50 tamis. Les densités par tamis sont fonction de la taille du naissain :

150.000 à 100.000 pour du 2 mm  
50.000 à 15.000 pour du 8 mm.

Le nombre de naissains présents varie en fonction de la demande et de la mortalité. Ainsi, pendant la période expérimentale, on dénombre entre 11 et 19 millions de coquillages avec une proportion de 45 à 98 p.100 de palourdes.

#### 1.3.- Organisation et caractéristiques des claires :

Six claires sont réparties le long d'un canal avec lequel elles communiquent individuellement par des canalisations situées sous le talus (figure 2). Dans chaque claire, un bondon vertical permet de régler le niveau d'eau désiré. Elles ont des surfaces variant entre 700 et 1.000 m<sup>2</sup> pour une hauteur d'eau maximum d'environ 1,4 mètre. Elles n'ont jamais contenu de mollusques en raison de leur création récente.

Il s'agit donc plus de "bassins" que de claires en tant qu'entité écologique tel que l'a défini Moreau en 1970.

## II.- MATERIEL ET METHODE

### 2.1.- Engrais utilisés pour les amendements :

Il s'agit des plus connus des engrais agricoles :

211. Le nitrate de soude ( $\text{Na NO}_3$ ) dose 16,4 p.100 d'azote sous forme nitrique. Produit purifié à 99,8 p.100 ; il contient néanmoins un peu d'azote sous forme nitrite (200 ppm de  $\text{NO}_2$  en masse) et de fer (10 ppm en masse). Le nitrate de soude est très hygroscopique et très soluble dans l'eau : 84 KG/100 l à 20°C.
212. Le nitrate d'ammonium ( $\text{NH}_4 \text{NO}_3$ ) dose 34,8 p.100 d'azote mi-ammoniacal, mi-nitrique. Produit très soluble dans l'eau et très hygroscopique : 192 Kg/100 l à 20°C ; il libère facilement l'ammoniac en présence de sels alcalins (Riva, 1978).
213. Le superphosphate triple dose 45 p.100 de  $\text{P}_2 \text{O}_5$ . Il est obtenu à partir de superphosphate de chaux (18 p.100 de  $\text{P}_2 \text{O}_5$ ) ayant subi une attaque phosphorique, ce qui permet un enrichissement en phosphore. Le constituant fondamental est le phosphate monocalcique monohydraté associé à du plâtre. Cet engrais contient en outre quelques oligoéléments, du magnésium et une proportion assez élevée de soufre. Le mélange est peu hygroscopique et se solubilise avec un peu de difficulté dans de l'eau de mer.
214. Le métasilicate de sodium hydraté ( $\text{Na}_2 \text{Si O}_3 \cdot 5\text{H}_2 \text{O}$ ) contient environ 28 p.100 en masse de  $\text{Si O}_2$ . Même sous cette forme hydratée, une partie du métasilicate de sodium reste insoluble que cela soit à 20°C ou à 27°C. Une attaque préalable à l'acide aurait été peut-être nécessaire pour aboutir à une complète solubilisation dans le milieu (Riva et Lelong, 1981).

### 2.2.- Protocole expérimental concernant le suivi de la nurserie :

#### 221. Lieux de prélèvements :

Les prélèvements sont effectués, en bidon de un litre, à l'entrée et à la sortie de la nurserie, ce qui permet une évaluation de la consommation en phytoplancton par les mollusques.

Afin de suivre l'impact du recyclage, lorsque l'ensemble des deux réserves fonctionne, on prend de plus un échantillon d'eau au niveau de  $R_4$  (cf. figure 2).

D'autre part, au mois de juin (lorsque seule la réserve B était fonctionnelle), des prélèvements sont faits dans B, afin de suivre l'évolution des teneurs en éléments minéraux. Etant donné le volume de ce bassin, ces échantillons n'étaient pas vraiment représentatifs de l'ensemble de la masse d'eau.

222. Amendements :

Les enrichissements, commencés à partir du mois de juin, ont lieu tous les trois ou quatre jours en quantités variables qui seront exposées plus loin.

On amende à partir du talus soit dans le bassin B<sub>1</sub>, (mois de juin), soit au niveau du canal reliant les deux réserves quand celles-ci fonctionnent (juillet et août).

223. Evaluation de la croissance des bivalves :

Pendant la période des enrichissements, on procède à un suivi de deux tamis contenant l'un du naissain d'huitres, l'autre du naissain de palourdes. Les mesures sont faites à l'aide d'une éprouvette jaugée de 2.000 ml dans laquelle on tasse le naissain avec de l'eau. On mesure ainsi le volume gagné par le naissain qui, au départ, est de 1.000 ml. Cette évaluation de la croissance reste donc très approximative et guère extrapolable à l'ensemble de la nurserie à cause des différences de densités entre les tamis.

2.3.- Protocole expérimental pour les enrichissements en claires :231. Remplissage des claires :

Il s'effectue en même temps pour toutes les claires. La hauteur d'eau atteint environ un mètre, ainsi les volumes sont compris entre 650 m<sup>3</sup> et 980 m<sup>3</sup> suivant les claires.

En raison du système de remplissage qui s'effectue par le fond, une grande quantité de matériel particulaire est mise en suspension. Aussi, ce n'est que 24 heures après qu'ont lieu les amendements.

232. Méthode d'amendements :

Avant épandage, les engrais sont mélangés et dissous avec de l'eau de mer dans une bassine. On parcourt ensuite de long en large la claire en épandant la solution d'engrais à l'aide d'une écope. Etant donné le volume important des claires, ce procédé assure une certaine homogénéisation du produit. Cependant, on a pu remarquer au cours des expérimentations que ce protocole a le défaut de remettre en suspension du matériel particulaire qui, bien qu'il sédimente assez vite en moins d'une demi-heure, a certainement influé sur certains résultats (Voir partie III).

233. Méthode de prélèvements :

- On prélève dans un bidon de 5 litres l'eau de la claire, à environ mi-hauteur (0,40 m) dans la masse d'eau en marchant sur 5 à 10 mètres du "bondon" vers le centre de la claire.

Afin de vérifier que cet échantillon est représentatif de l'ensemble du volume de la claire, on établit deux corrélations, concernant l'une la teneur en chlorophylle a l'autre la concentration en nitrate, entre d'une part la valeur obtenue par le prélèvement expérimental et d'autre part la moyenne des valeurs prises en six points différents de la claire repérés par des tiges de fer. Ces calculs portent sur une série de huit prélèvements effectués dans la claire 1 lors de l'expérience de mai : tous les résultats numériques sont exposés dans l'annexe A.2. On trouve après dépouillement une corrélation de 0,99 pour la chlorophylle a et de 0,98 pour les nitrates ; aussi, le protocole expérimental a-t-il été gardé pendant toutes les expériences.

- Dans chacune des claires expérimentées, il a toujours été effectué un prélèvement avant enrichissement puis une heure après. Les claires sont ensuite suivies tous les uns ou deux jours suivant les expériences.

#### 234. Conséquences :

- La méthode d'amendement garantie avant tout une bonne homogénéité de l'épandage mais pose un problème de turbidité.
- La méthode de prélèvement, si elle est un "bon" reflet de l'ensemble du volume d'eau, concerne uniquement le domaine pélagique de la claire et fait totalement abstraction du domaine benthique.

#### 235. Plan succinct des enrichissements :

Il s'agit ici de donner les grandes lignes qui ont guidé les différentes séries d'expériences :

- détermination du facteur limitant le développement phyto-planctonique.
- comparaison entre un enrichissement en azote et azote plus phosphore.
- Essais sur différents rapports N/P et différentes formes d'azote.
- Capacité de l'eau d'une claire à supporter plusieurs développements phytoplanctoniques successifs.

#### 2.4.- Techniques analytiques :

L'ensemble des analyses sont réalisées au laboratoire de l'ISTPM à part quelques mesures physiques ou physico-chimiques faites directement sur le terrain.

241. Facteurs physiques :

- Température : les relevés sont effectués à l'aide d'un thermomètre gradué au 1/10ème.
- Turbidité : la turbidité est déterminée par la méthode néphélométrique à l'aide d'un turbidimètre HACH 2100 A.

242. Facteurs physico-chimiques :

- La salinité des eaux a été relevée grâce à un réfractomètre portatif à prisme de type ATAGO S.C.28
- Ph : les valeurs du Ph sont déterminées à l'aide d'un Phmètre modèle C.G. 822.
- Oxygène dissous : l'oxygène dissous est dosé par voie chimique par la méthode de Winkler adaptée à un Mettler (Mémotitrator) D.L. 40 RC. Le taux de saturation en oxygène est calculé à l'aide des Tables Internationales publiées par le N.I.O. et l'U.N.E.S.C.O en 1973.

243. Les éléments nutritifs :

Les teneurs des eaux en N - NO<sub>2</sub> - NO<sub>3</sub>, P - PO<sub>4</sub> et Si - Si O<sub>3</sub> sont évaluées en suivant les protocoles de Strickland et Parsons (1972). Les échantillons sont filtrés sur filtre Whatman GFC à 0,45 um et le plus souvent congelés avant analyse

- La détermination colorimétrique des nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) se fait par diazotation avec la sulfamide en présence de N - naphtyl - 1 éthylène diamine dichlorhydrate. Le dosage des nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) est réalisé par passage de l'échantillon sur une colonne Cd - Cu pour réduire NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en NO<sub>2</sub><sup>-</sup> puis la détermination de l'ion NO<sub>2</sub><sup>-</sup> se fait comme précédemment. Les possibilités de précision sont de 0,5 ugat.l<sup>-1</sup> à 20 ugat.l<sup>-1</sup> et de 0,05 ugat.l<sup>-1</sup> à 1 ugat.l<sup>-1</sup>.
- Le dosage des phosphates inorganiques est effectué par la méthode spectrophotométrique mise au point par Murphy et Riley (1962) : en présence d'acide sulfurique et de molybdate d'ammonium, le phosphore inorganique soluble forme un complexe acide phosphomolybdique. Celui-ci est réduit par l'acide ascorbique en présence d'antimoine en un composé bleu-violet qui contient de l'antimoine et du phosphore dans un rapport atomique de un pour un. Le seuil de détection est de 0,1 ugat.l<sup>-1</sup>.
- L'analyse des silicates actifs dissous dans l'eau de mer est basée sur la formation d'un complexe silicomolybdique de couleur jaune par addition de molybdate d'ammonium à Ph = 1,2 Ce complexe est ensuite réduit en complexe bleu de couleur plus intense. Les capacités de cette méthode vont de 0,1 à 140 ugat de silicium silicique par litre.
- Les teneurs en N - NH<sub>4</sub> sont mesurées par la méthode de Koroleff (1970) avec une précision de 0,1 ugat.l<sup>-1</sup> et un seuil de détection de 0,3 ugat.l<sup>-1</sup>.

244. Paramètres biologiques :

L'évolution du phytoplancton est suivie par analyse des teneurs pigmentaires exprimées en Chlorophylle a (Chl.a) et en phéopigments, après acidification, évaluées par spectrophotométrie d'extraits acétoniques selon la méthode de Lorenzen (1967).

D'autre part, pour quelques échantillons seulement, on a effectué un comptage cellulaire, après fixation au formol neutralisé à 10 p.100, à l'aide d'un Coulter Counter Model TA II.

### III.- RESULTATS DES AMENDEMENTS EN CLAIRES

#### 3.1.- Première expérimentation : mois de mai

##### 311. Caractéristiques de l'eau avant enrichissements :

Les paramètres physiques et chimiques des quatre claires étudiées sont peu différents d'une claire à l'autre. Ainsi, la valeur moyenne du Ph est égale à 8,38 (S = 0,02) la salinité de 30°/°° et la température moyenne de 15°C (S = 0,1). Les teneurs initiales en sels nutritifs sont faibles puisque la valeur moyenne en azote est de - 1,1  $\mu\text{gat.l}^{-1}$  (S = 0,2) (N - NO<sub>3</sub> = 0,68 ; N - NO<sub>2</sub> = 0,15 N - NH<sub>4</sub> = 0,3) en phosphore de 0,1  $\mu\text{gat.l}^{-1}$  et de 7,1  $\mu\text{gat.l}^{-1}$  en silice (S = 0,5). La biomasse algale présente est, elle aussi, faible : la teneur en chlorophylle a (Chl. a) est de 1,4  $\mu\text{g.l}^{-1}$  (S = 0,1).

##### 312. Nature et concentration des enrichissements :

Les caractéristiques des amendements pour chacune des claires sont regroupées dans le Tableau 1. Notons que deux formes d'apports, préalablement dissous ou non pour le superphosphate sont aussi testées ; et, de plus, on opère un enrichissement supplémentaire en azote le sixième jour dans la claire 3.

	Nature de l'enrichissement	Concentration recherchée
Claire 1 C <sub>1</sub>	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	- 32 $\mu\text{gat.l}^{-1}$ en N (16 $\mu\text{gat.l}^{-1}$ = N - NH <sub>4</sub> = N - NO <sub>3</sub> )
Claire 2 C <sub>2</sub>	Superphosphate non préalablement dissous	- 4 $\mu\text{gat.l}^{-1}$ en P - PO <sub>4</sub>
Claire 3 C <sub>3</sub>	- Superphosphate(dissous) - Puis au sixième jour : Na NO <sub>3</sub>	3 $\mu\text{gat.l}^{-1}$ en P - PO <sub>4</sub> - 16 $\mu\text{gat.l}^{-1}$ en N - NO <sub>3</sub>
Claire 4 C <sub>4</sub>	TEMOIN	-

Tableau 1 : Nature et concentration des amendements lors des expériences de mai.

313. Evolution des paramètres physiques et chimiques :

- Le Ph varie assez peu au cours de l'expérience et reste compris entre 8,30 et 8,75 ; les plus fortes valeurs sont enregistrées dans les claires où les teneurs en  $\text{CO}_2$  diminuent (par suite d'un développement algal important) sans pour autant être limitantes. La salinité est restée proche de 30 ‰ sans variation notable. Les températures de l'eau varient entre 15°C et 16,3°C.
- Evolution des teneurs en sels nutritifs :
  - . Azote : Les évolutions des teneurs en azote diffèrent suivant la forme minérale considérée :
    - .. L'azote nitreux reste à des teneurs pratiquement constantes, de 0,16  $\mu\text{gat.l}^{-1}$  ( $S = 0,03$ ) pendant toute la durée de l'expérience, et quelque soit la claire considérée.
    - .. L'azote des nitrates : l'évolution de la forme nitrate est représentée pour les quatre claires sur la figure 4. Dans les bassins non amendés en nitrates, les teneurs restent pratiquement identiques aux concentrations initiales. Dans les claires enrichies, on observe une diminution rapide (en trois ou quatre jours) de la réserve en nitrate qui conduit à l'épuisement ; toutefois, les vitesses moyennes d'absorption par les algues unicellulaires sont très différentes puisque un jour après l'enrichissement, il reste 61 p.100 de la réserve en nitrate pour la claire 1, soit une vitesse d'environ 6  $\mu\text{gat.l}^{-1} \text{ j}^{-1}$  et 15 % pour la claire 3, soit une vitesse d'environ 12  $\mu\text{gat.l}^{-1} \text{ j}^{-1}$  seule différence entre les deux bassins étant d'un côté, la présence d'ions ammonium ( $\text{C}_1$ ), de l'autre d'ions  $\text{PO}_4$  ( $\text{C}_3$ ).
    - .. Azote ammoniacal (figure 5). Les concentrations sont stables dans les claires non enrichies en ions ammonium. Dans la claire la réserve diminue rapidement et les concentrations paraissent remonter légèrement en fin d'expérience. Il faut être prudent dans les interprétations, car les teneurs retrouvées par analyse dans les échantillons prélevés une heure après amendement ne représentent que 42 p.100 de la concentration théoriquement additionnée (Ce pourcentage était de 94 p.100 pour l'ion nitrate dans la même claire).
  - . Phosphore : (figure 6) Dans la claire 2 où le superphosphate a été mis tel quel, on retrouve uniquement 15 p.100 de la concentration théorique et cette valeur reste stable pendant toute l'expérience. Le pourcentage passe à 43 p.100 dans la claire 3 pour laquelle le superphosphate a été auparavant dissous, ce protocole augmente donc l'efficacité du produit, ce qui est bien en accord avec les résultats obtenus par Boyd *et al* (1981) On observe par la suite une diminution brutale de la réserve intervenant après addition de nitrate le sixième jour.

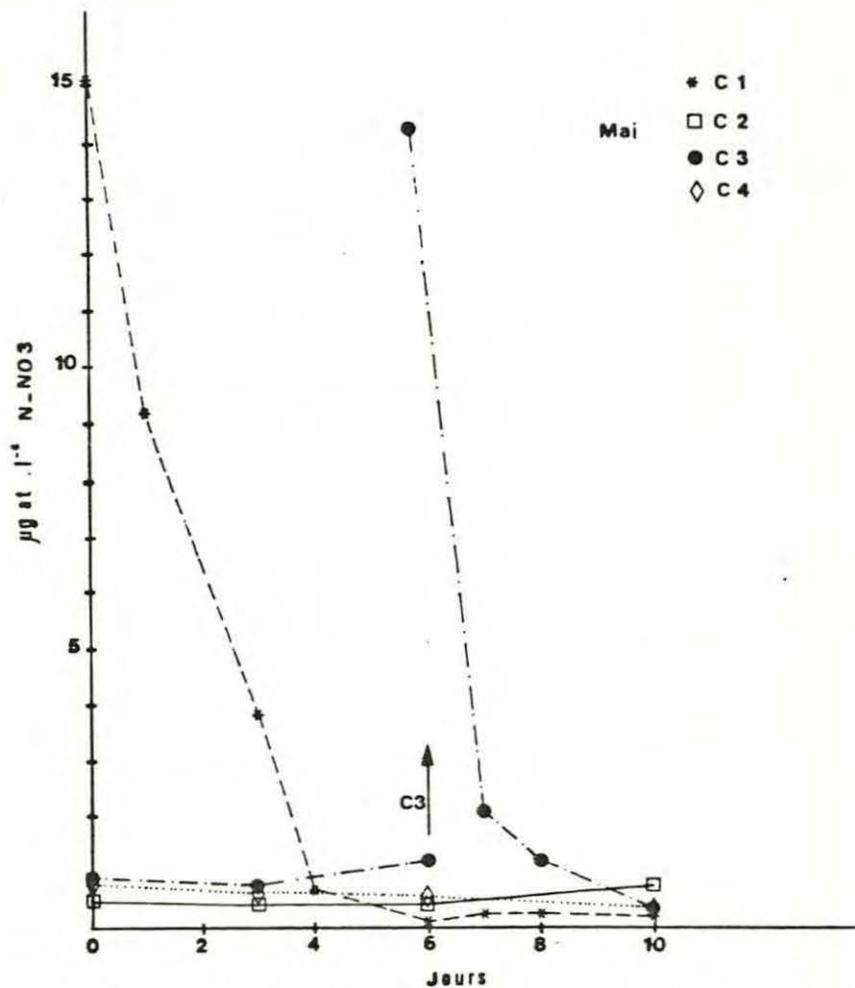


FIGURE 4 : Evolution des teneurs en nitrate dans les claires expérimentées au mois de mai.

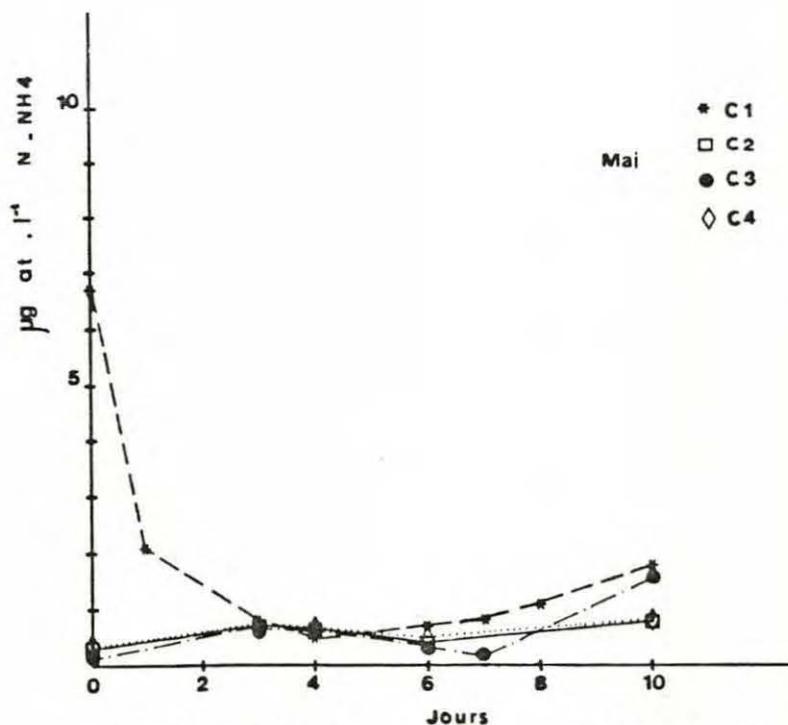


FIGURE 5 : Evolution des teneurs en ammonium dans les claires expérimentées au mois de mai.

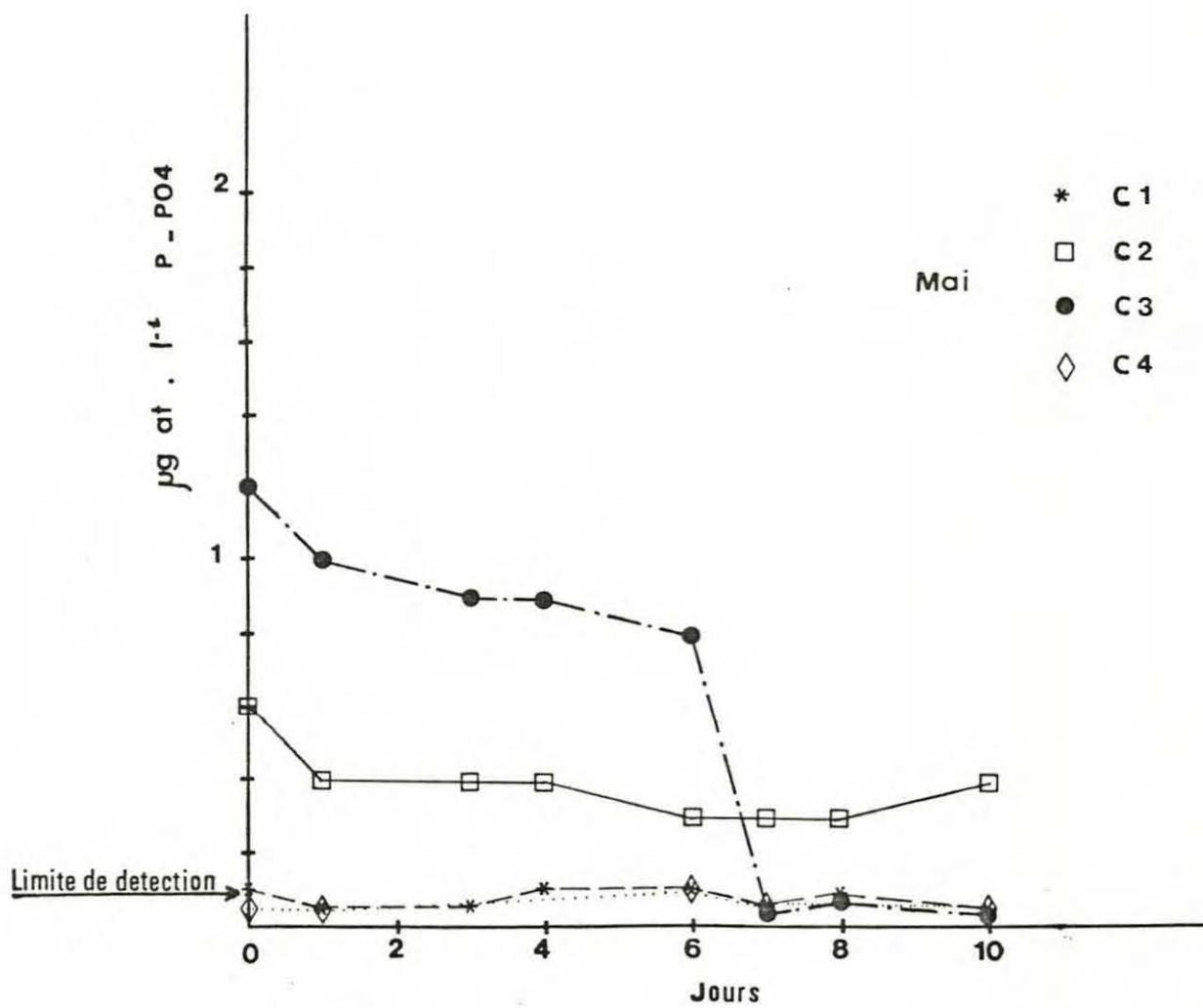


FIGURE 6 : Evolution des teneurs en phosphore dans les claires expérimentées au mois de mai.

314. Evolution de la biomasse :

Il est certain que seul un apport d'azote permet une augmentation de la biomasse algale (figure 7).

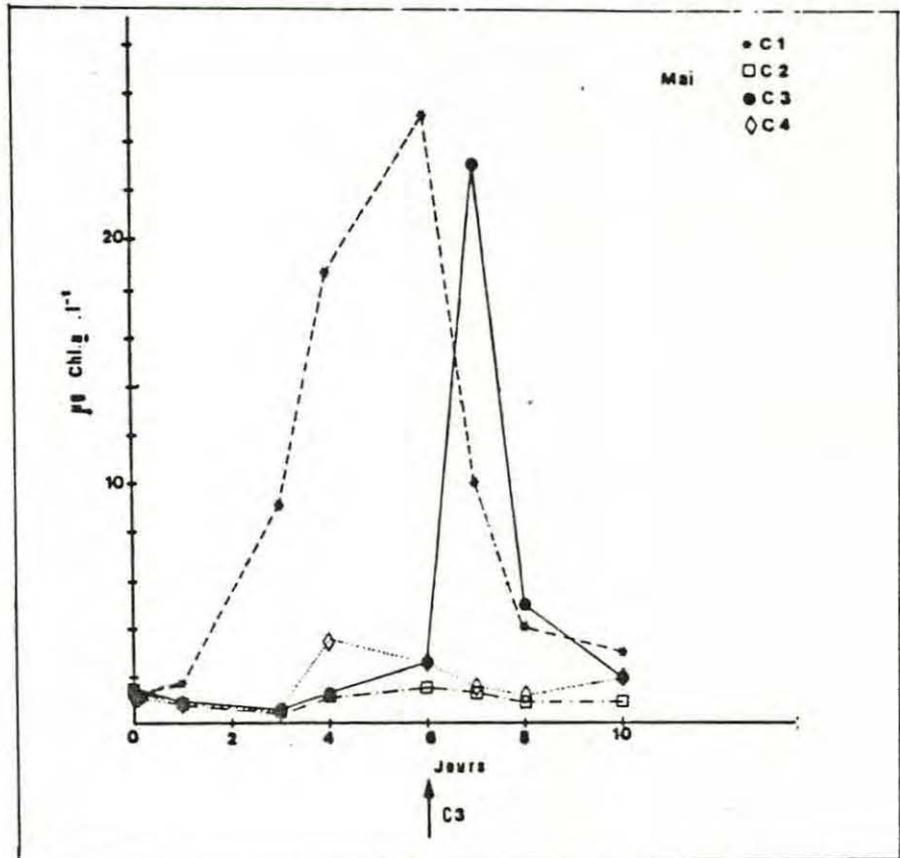


FIGURE 7 : Evolution des teneurs en chlorophylle a dans les claires expérimentées au mois de mai.

Les deux poussées phytoplanctoniques obtenues après addition d'azote n'ont pas du tout la même physionomie : dans la claire 1, il existe au début une très faible croissance qui s'accélère progressivement avant le pic de chlorophylle a obtenu vers le sixième jour ; dans la claire 3, le pic a lieu vingt quatre heures après l'enrichissement. Dans les deux cas, on constate une certaine corrélation entre l'assimilation des nitrates et la teneur en chlorophylle a synthétisée et la chute de bloom a lieu lorsque la réserve en nitrates est épuisée. Deux explications qui ne s'excluent pas sont possibles :

- . Le phosphore augmente l'assimilation des nitrates,
- . l'azote ammoniacal freine cette assimilation.

D'un point de vue qualitatif, une analyse des espèces phytoplanctoniques révèle une dominance de petits flagellés inférieure à 10 µm.

### 3.2.- Deuxième expérimentation : mois de juin :

#### 321. Caractéristiques des eaux avant enrichissements :

Si les valeurs du Ph (Ph = 8,34), de la salinité (S ‰=30‰) et de la température (T° : 19,8 °C) sont pratiquement identiques pour l'eau des deux claires, il n'en est pas de même pour les teneurs en sels nutritifs (Tableau 2).

Teneur en $\mu\text{gat.l}^{-1}$	Claire 1	Claire 2
P - $\text{PO}_4$	0,1	0,3
Si	8,4	8,1
N - $\text{NO}_2$	0,21	0,18
N - $\text{NO}_3$	2,1	1,8
N - $\text{NH}_4$	1,1	0,3

Tableau 2 : Teneurs avant amendements en sels nutritifs des deux claires lors de l'expérience de juin.

La teneur en phosphore dans la claire 2 résulte certainement du précédent enrichissement. La claire ayant été vidée, cette rémanence du superphosphate était pour le moins inattendue.

#### 322. Concentration des enrichissements :

La claire 1 reçoit 32  $\mu\text{gat.l}^{-1}$  d'azote mi-nitrate, mi-ammoniacal et 5  $\mu\text{gat.l}^{-1}$  de P -  $\text{PO}_4$ . La claire 2 reçoit la même dose d'azote sous la même forme mais n'est pas amendée en phosphore.

Dans la claire 1 uniquement, on rajoute le septième jour de l'expérience un amendement binaire N + P (12  $\mu\text{gat.l}^{-1}$  d'azote ammonitrate et 4  $\mu\text{gat.l}^{-1}$  de phosphore).

#### 323. Evolution de certains paramètres physiques et chimiques :

- Pendant l'expérience, la température a fortement augmenté, passant de 19,8°C à 23°C.
- Les variations du Ph sont très importantes (figure 8) de 8,33 à 9,05 ; cette dernière valeur correspond à une teneur en chlorophylle a supérieure à 40  $\mu\text{g.l}^{-1}$ , et une mesure de l'alcalinité révèle une concentration en  $\text{CO}_2$  de l'ordre de la micromole par litre (valeur approximative obtenue par extrapolation des Tables de Strickland et Parsons à Ph = 8,8).

- Les évolutions des sels nutritifs n'ont pas été rigoureusement suivies. On peut noter que le cinquième jour de l'expérience, le milieu est redevenu fortement oligotrophe dans les deux claires et les teneurs en sels nutritifs sont toutes proches de l'épuisement :

0,41  $\mu$  mole.l<sup>-1</sup> pour N - NO<sub>3</sub> (S = 0,12)

0,3  $\mu$  mole.l<sup>-1</sup> pour N - NH<sub>4</sub>

0,1  $\mu$  mole.l<sup>-1</sup> pour P - PO<sub>4</sub>

0,4  $\mu$  mole.l<sup>-1</sup> pour Si - Si O<sub>3</sub> (S = 0,2)

Par la suite, seule la concentration en silice évolue puisqu'elle remonte d'une façon significative pour atteindre 7,2  $\mu$  mole.l<sup>-1</sup> dans la claire 1 juste avant le deuxième amendement. En fin d'expérience, cette teneur est inférieure à 0,1  $\mu$  mole.l<sup>-1</sup>.

#### 324. Variation de la Biomasse :

- L'enrichissement binaire conduit à un maximum de chlorophylle a à peine supérieur (de 4 à 5  $\mu$ g.l<sup>-1</sup>) à celui obtenu avec l'amendement azoté (figure 8).

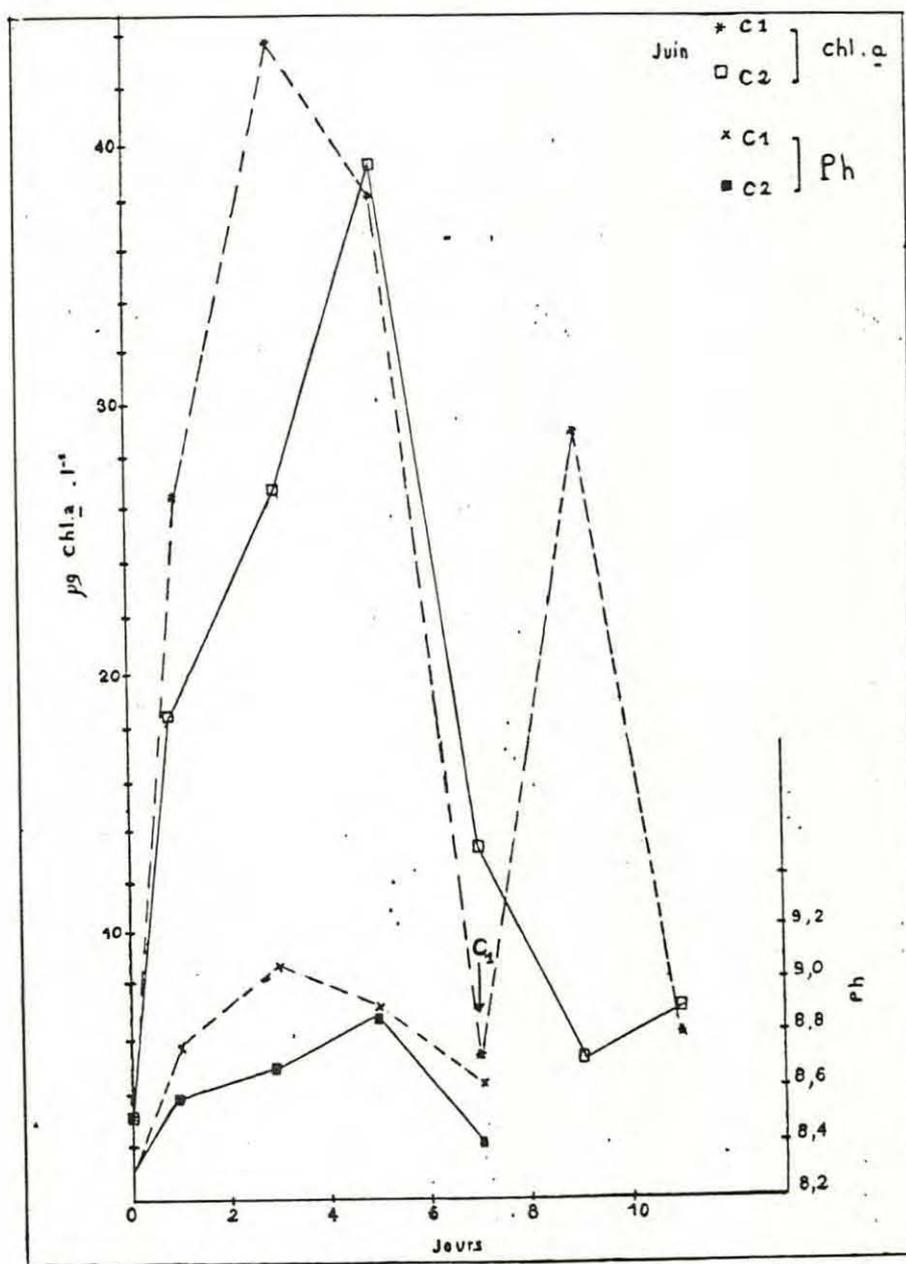


FIGURE 8 : Evolution des teneurs en chlorophylle a et des Ph dans les claires expérimentales au mois de juin.

Si on cherche à comparer les deux enrichissements non plus par le maximum de Chl. a mais par un critère de production comme la chlorophylle a synthétisée par jour, on obtient une moyenne de  $13 \mu\text{g}$  de Chl. a.  $1^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$  pour la claire 1 et de  $7,1 \mu\text{g}$  de Chl. a  $1^{-1} \cdot \text{j}^{-1}$  pour la claire 2. Cependant, ces chiffres correspondent respectivement aux 3 et aux 5 premiers jours ; le phosphore agirait donc plus au niveau de la vitesse que sur la production proprement dite. Mais la production dans la claire 1 a peut-être été limitée par le  $\text{CO}_2$ .

La reprise de la croissance phytoplanctonique après le nouvel ajout d'N + P permet simplement de conclure que l'ensemble des autres facteurs comme les oligoéléments, les vitamines, etc... sont en quantités suffisantes dans la claire.

D'un point de vue qualitatif, on observe lors du premier bloom dans la claire 1 la présence de Skeletonema associé à de nombreux flagellés ; le développement de cette diatomée est en corrélation directe avec la chute des teneurs en silicium. Lors du second bloom dans cette même claire, seuls les flagellés persistent.

### 3.3.- Troisième expérimentation : mois de juillet :

#### 331. Conditions initiales :

En début d'expérience, la température de l'eau est en moyenne de  $27,3^\circ\text{C}$ , la salinité de  $30^\circ/\text{oo}$  et le Ph = 8,40 (S = 0,02).

L'eau des quatre claires expérimentées a le même caractère oligotrophe que lors des expériences de mai, à savoir des teneurs en azote minéral total d'environ  $1 \mu\text{g} \cdot \text{at} \cdot 1^{-1}$  et en phosphore inférieure à  $0,1 \mu\text{g} \cdot \text{at} \cdot 1^{-1}$ .

La biomasse algale présente n'est pas négligeable puisqu'on relève des teneurs moyennes en chlorophylle a de  $3,7 \mu\text{g} \cdot 1^{-1}$  (S = 1,2) et des teneurs en phéopigments de  $8,8$  (S = 2,2).

#### 332. Composition des enrichissements :

Les différents amendements sont regroupés dans le tableau 3 ; pour les quatre claires, un même enrichissement est effectué pour le silice.

	C1	C2	C3	C4
	N : $10 \mu\text{gat} \cdot 1^{-1}$ ( N - $\text{NH}_4$ = $5 \mu\text{gat} \cdot 1^{-1}$ ( N - $\text{NO}_3$ = $5 \mu\text{gat} \cdot 1^{-1}$	N : $60 \mu\text{gat} \cdot 1^{-1}$ ( N - $\text{NH}_4$ = $30 \mu\text{gat} \cdot 1^{-1}$ ( N - $\text{NO}_3$ = $30 \mu\text{gat} \cdot 1^{-1}$	N : $24 \mu\text{gat} \cdot 1^{-1}$ N - $\text{NO}_3$ = $24 \mu\text{gat} \cdot 1^{-1}$	N : $24 \mu\text{gat} \cdot 1^{-1}$ ( N - $\text{NH}_4$ = $12 \mu\text{gat} \cdot 1^{-1}$ ( N - $\text{NO}_3$ = $12 \mu\text{gat} \cdot 1^{-1}$
	P - $\text{PO}_4$ : $5 \mu\text{gat} \cdot 1^{-1}$	P- $\text{PO}_4$ : $4 \mu\text{gat} \cdot 1^{-1}$	P- $\text{PO}_4$ : $8 \mu\text{gat} \cdot 1^{-1}$	P- $\text{PO}_4$ : $8 \mu\text{gat} \cdot 1^{-1}$
	Plus apport de silice	Plus apport de Si.	Plus apport de Si.	Plus apport de Si.
N/P	2	15	3	3

TABLEAU 3 : Concentration des enrichissements lors de l'expérience de juillet.

	Teneurs en $\text{g.at.l}^{-1}$	C1	C2	C3	C4
	Avant Enrichissement	N - $\text{NO}_2$	0,15	0,16	0,14
N - $\text{NO}_3$		0,36	0,38	0,32	0,27
N - $\text{NH}_4$		0,5	0,5	0,6	0,6
P - $\text{PO}_4$		<0,1	0,1	<0,1	<0,1
S - $\text{S}_2\text{O}_3$		-	-	-	-
Après Enrichissement (une 1/2 heure après)		N - $\text{NO}_2$	0,13	0,30	0,15
	N - $\text{NO}_3$	4,9 (5)	24,6(30)	22,2(24)	11,4 (12)
	N - $\text{NH}_4$	2,5 (5)	20 (30)	1,2	5,1 (12)
	P - $\text{PO}_4$	3,4 (5)	1,7( 4)	2,1( 8)	2,6 ( 8)
	S - $\text{S}_2\text{O}_3$	17,1	18,9	16,8	18,5

TABLEAU 4 : Teneurs en sels nutritifs avant et une demi - heure après enrichissement pour les quatre claires de l'expérimentation de juillet. Entre parenthèses, teneurs théoriquement recherchées.

Les teneurs obtenues in situ une demi-heure environ après les amendements sont indiquées dans le tableau 4 ; on note, encore une fois, que si l'on retrouve bien 92 p.100 du nitrate, ce pourcentage s'abaisse à 53 p.100 pour l'ion ammonium et seulement 42 p.100 pour l'ion orthophosphate.

### 333. Evolution des paramètres physico-chimiques :

- Le Ph varie relativement peu et reste compris entre 8,40 et 8,81.
- Les températures ont crû régulièrement de 27,3 °C à 28,5°C les six premiers jours de l'expérience pour retomber à 27°C le dernier jour.
- Les teneurs en oxygène dissous varient entre 115 et 32,3 p.100 de saturation ; les plus faibles valeurs sont enregistrées au lever du soleil (6 h. du matin).
- Turbidité : il est important de noter que les turbidités sont très différentes d'une claire à l'autre, les valeurs moyennes au cours de l'expérience sont de :
  - claire 1 : 25,5 N.T.U.
  - claire 2 : 31 N.T.U.
  - claire 3 : 5,4 N.T.U.
  - claire 4 : 48 N.T.U.

Les fortes valeurs sont dues à la présence de "termites" (Corophium volutator) qui troublent les eaux par remise en suspension de matériel particulaire.

### 334. Evolution des teneurs en sels nutritifs :

- . Azote (figures 9 et 10).
  - .. N - NO<sub>2</sub> reste pratiquement constant autour de 0,15 µg.at.l<sup>-1</sup> (S = 0,02).
  - .. N - NO<sub>3</sub> s'épuise très vite pratiquement en vingt quatre heures pour toutes les claires avec donc des vitesses d'absorption qui varient dans les mêmes proportions que les teneurs initiales.
  - .. N - NH<sub>4</sub> la réserve en ion ammonium s'épuise elle aussi en vingt quatre heures. La figure 10 qui indique pour certaines claires les concentrations en N - NH<sub>4</sub> des eaux interstitielles du sédiment permet de constater que celles-ci ont des teneurs bien plus élevées que les eaux sus-jacentes sans que l'on puisse pour autant faire un rapport significatif et constant entre ces deux teneurs.
- Phosphore : La réserve en ion phosphate est pratiquement retombée à 0,1 µg.at.l<sup>-1</sup> en moins de deux jours. Par contre, on assiste à une remontée générale (figure 11) des teneurs en phosphore à partir du troisième jour.
- Silicium : Le silicium n'est jamais entièrement utilisé (figure 12), la proportion de la réserve initiale consommée au deuxième jour varie de 67 % (C<sub>1</sub>) à 24 % (C<sub>2</sub>). On a donc des vitesses d'absorption très différentes pour des quantités initiales pratiquement identiques. On assiste après cette absorption à une remontée générale des teneurs en silice et ce d'une manière très accentuée pour les claires 1 et 4.

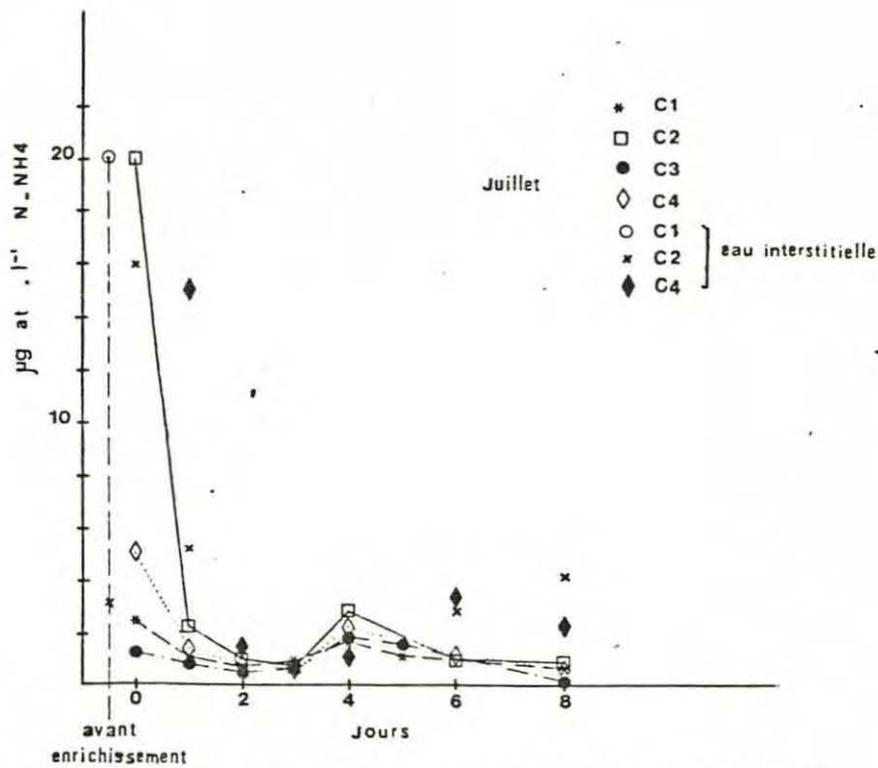


FIGURE 10 : Evolution des teneurs en ammonium dans les claires expérimentées au mois de juillet.

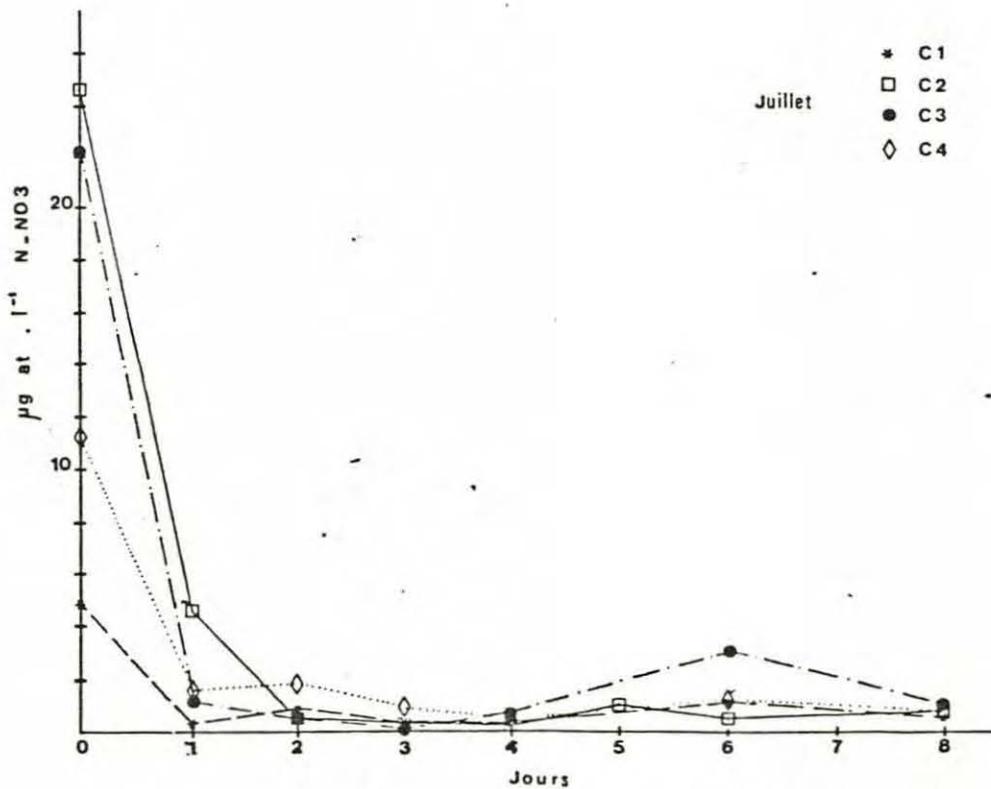


FIGURE 9 : Evolution des teneurs en nitrate dans les claires expérimentées au mois de juillet.

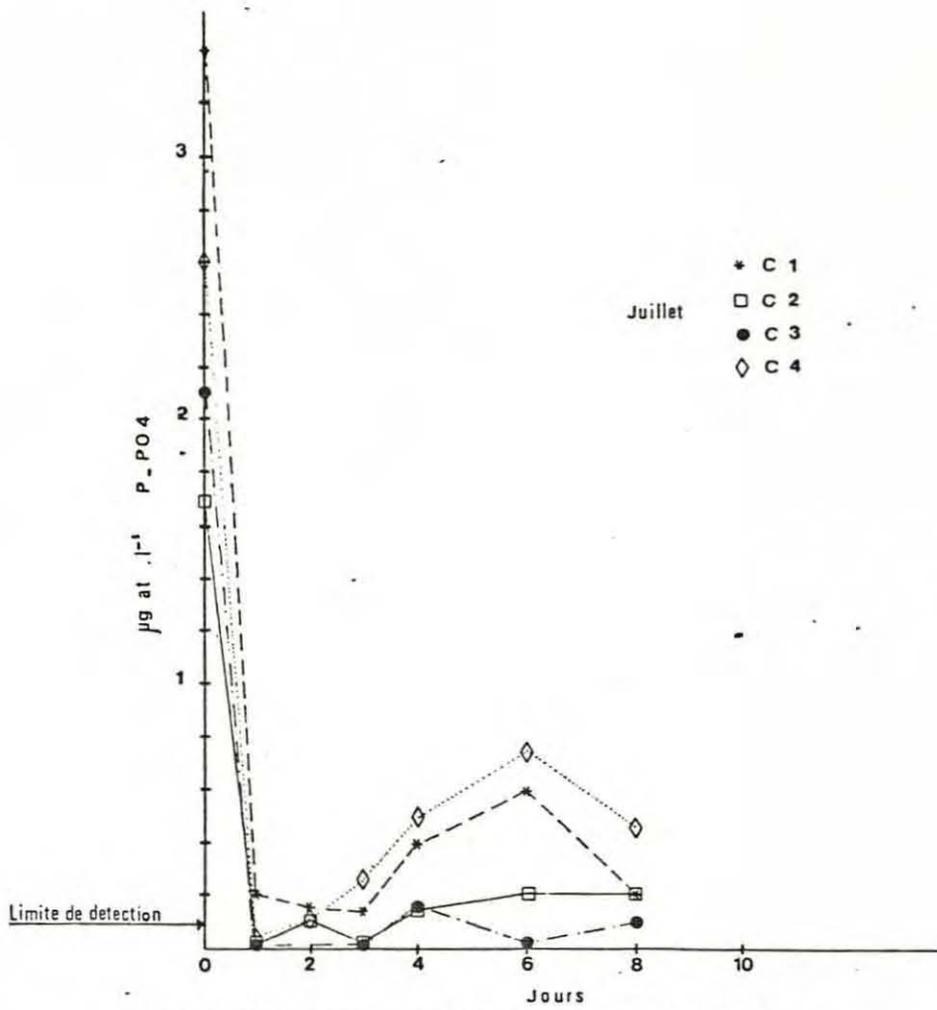


FIGURE 11 : Evolution des teneurs en phosphore dans les claires expérimentées au mois de juillet.

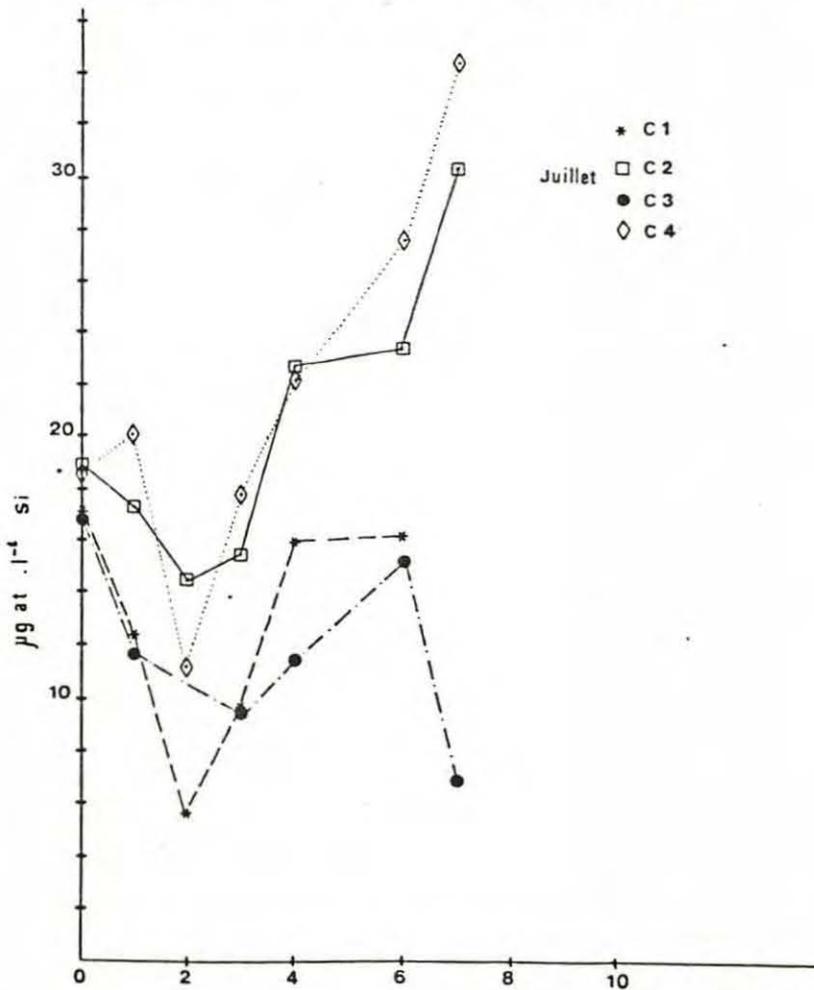
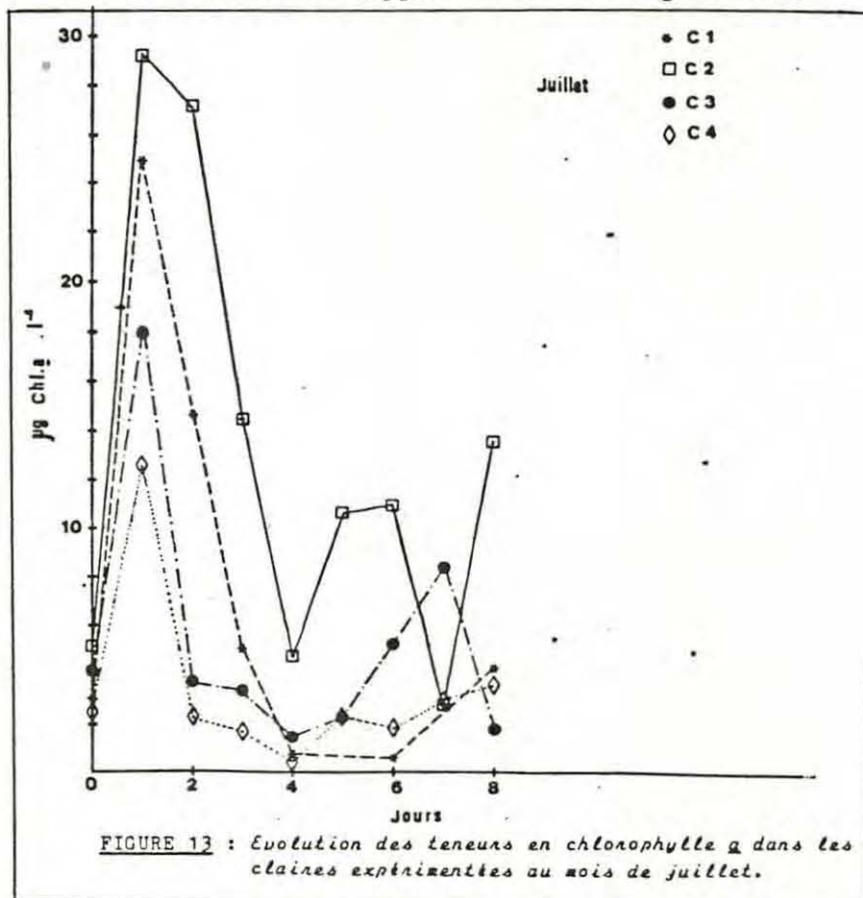


FIGURE 12 : Evolution des teneurs en silice dans les claires expérimentées au mois de juillet.

335.- Evolution de la biomasse :

- L'évolution des teneurs en chlorophylle a pour l'ensemble des 4 claires est rapportée sur la figure 13 :



L'ensemble des claires subit un développement d'algues unicellulaires rapide et bref. Il ne semble pas exister une proportionnalité évidente entre la concentration d'azote ajoutée et le taux de chlorophylle a obtenu.

Si l'on compare la claire 2 à la claire 1, on constate que l'on a des maxima de chlorophylle a presque identiques pour une concentration en azote six fois supérieure (figure 14). Une telle dichotomie peut avoir deux raisons

- . Le bloom obtenu dans la claire 2 contient peu de diatomées et beaucoup de petits flagellés à très faible teneur en chlorophylle a et, au contraire, d'après la courbe d'absorption de la silice, la claire 1 contient une proportion nettement plus élevée de diatomées qui sont aussi proportionnellement plus riches en pigments.
- . Dans la claire 1, la teneur en  $\text{NH}_4$  des eaux du sédiment est très forte ( $20 \mu\text{gat.l}^{-1}$ ) ; ainsi, on a peut-être là une source d'azote non négligeable.

Si l'on compare les claires 3 et 4 qui ont reçu théoriquement la même dose d'azote mais sous une forme différente (figure 15), on constate que les blooms sont pratiquement identiques. A priori, il ne semble pas qu'il y ait une différence fondamentale surtout si l'on considère qu'une part de l'ammoniaque mise dans la claire 4 n'est pas disponible pour le plancton.

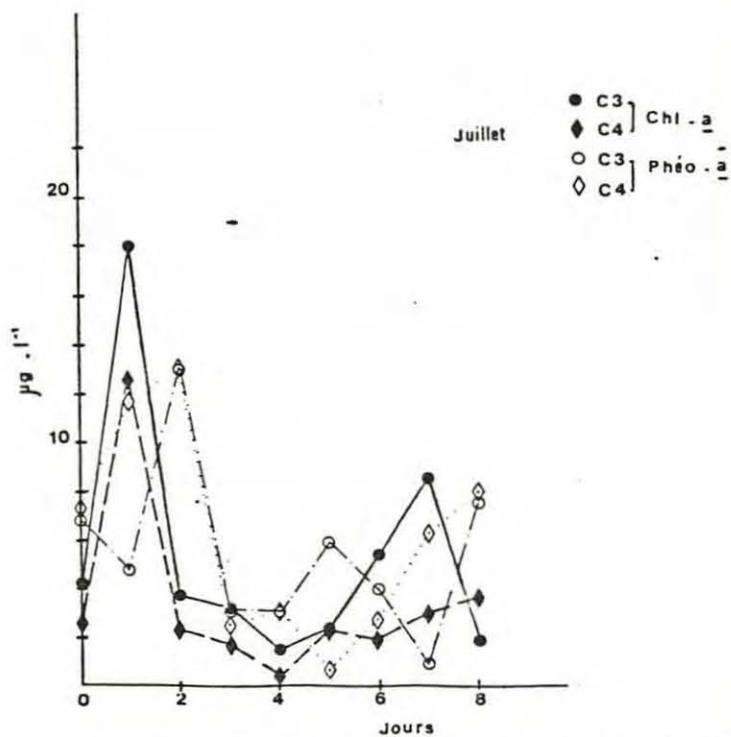


FIGURE 15 : Evolution des teneurs en chlorophylle a et en phéopigments dans les clairies C1 et C2 au mois de juillet.

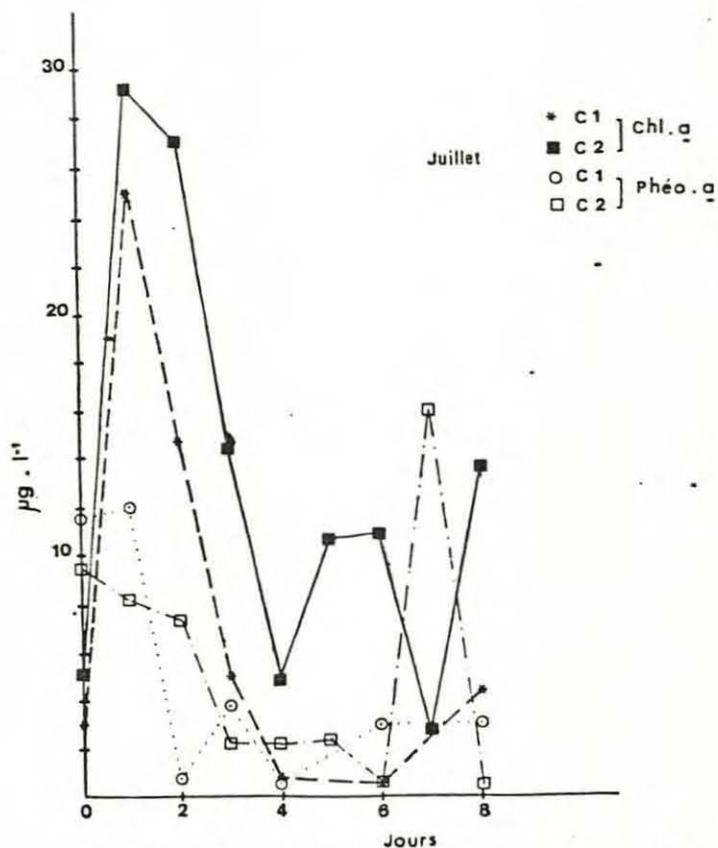


FIGURE 14 : Evolution des teneurs en chlorophylle a et en phéopigments dans les clairies C1 et C2 au mois de juillet.

### 3.4- Essai de maintien d'un bloom :

Au cours de cette expérience, au mois d'août, une claire a été régulièrement amendée tous les deux ou trois jours en N + P + Si à raison de 30  $\mu\text{gat.l}^{-1}$  en azote, 5  $\mu\text{gat.l}^{-1}$  en P -  $\text{PO}_4$  et 10  $\mu\text{gat.l}^{-1}$  en Si -  $\text{Si O}_3$ .

La température moyenne pendant les douze jours d'expérience est de 23,3°C.

Les teneurs en chlorophylle a et en phéopigments sont résumées dans le tableau suivant :

Dates des Enrichissements	7/8	9/8	12/8	15/8	17/8		
Dates des Prélèvements	7/8	8/8	10/8	12/8	15/8	17/8	19/8
Chl. <u>a</u>	0,8	5,8	25,2	13,2	10,2	21	41,3
Phéo.	0,2	0,2	0,3	15,7	2,1	3	6,7

Tableau 5 : Evolution des concentrations en chlorophylle a et phéopigments.

Ainsi, il est possible, en procédant à des enrichissements réguliers de maintenir une concentration élevée en chlorophylle a sans renouveler l'eau pendant douze jours. Ce temps correspond à peu près à l'intervalle de temps séparant deux malines successives.

- Le 10/8, il a été procédé à une analyse au Counter : on dénombre plus de  $90.10^6$  Cellules  $\text{l}^{-1}$  dont 78 p.100 ont un diamètre inférieur à 5  $\mu\text{m}$ . Il s'agit de petits flagellés contenant peu de chlorophylle a.
- Enfin, les ph relevés le 10/8 et le 19/8 sont respectivement de 9,08 et 9,17. Les teneurs correspondantes en  $\text{CO}_2$  sont de l'ordre de 3  $\mu\text{mole.l}^{-1}$ , valeur trop faible pour permettre une bonne croissance des cellules chlorophylliennes.

### 3.5.- Mise en évidence de phénomènes d'absorption d'ion ammonium par le matériel particulaire en suspension :

Au cours des expériences décrites précédemment, on a pu constater que les teneurs en  $\text{NH}_4$  relevées une demi-heure ou une heure après enrichissement en  $\text{NH}_4 \text{NO}_3$  étaient toujours très inférieures à celles théoriquement ajoutées. A l'inverse, on obtient une très bonne corrélation ( $r = 0,98$ ) pour l'ion  $\text{NO}_3^-$ . Comme il s'agit du même engrais, on a donc un comportement très différent des deux ions. Dans une claire, la technique d'amendement (décrite dans la partie II) implique une forte augmentation de la turbidité. Ainsi, une claire de 7 NTU passe à plus de 70 NTU de turbidité par suite de l'important matériel particulaire remis en suspension. Il a donc été prélevé 5 litres de cette eau turbide après avoir simulé un enrichissement.

Au laboratoire, on remplit deux fioles jaugées de 500 ml. On y ajoute 0,5 ml d'une solution de  $\text{NH}_4 \text{Cl}$  à  $1000 \mu\text{gat.l}^{-1}$  d'azote. Après agitation, on effectue :

- un prélèvement (A) de 50 ml auquel on ajoute les réactifs propres à la méthode de Koroleff.
- on opère une filtration de 50 ml sur filtre Wathmann GFC. Le filtrat (B) est, lui aussi, immédiatement additionné des deux réactifs.
- Deux autres prélèvements sont effectués l'un après avoir laissé reposer la matière en suspension pendant une demi-heure (échantillon C), l'autre pendant une heure (D). Notons que la turbidité est entre temps passé à 24 puis à 10 NTU.

L'utilisation de deux fioles permet de faire tous les échantillons en double.

Les concentrations sont relevées 6 heures après. La matière en suspension est déposée au fond et ne gêne en rien la détermination spectrophotométrique.

On obtient les valeurs moyennes suivantes :

$$A = 0,94 \mu\text{gat. l}^{-1}$$

$$B = 0,3 \mu\text{gat. l}^{-1}$$

$$C = 0,55 \mu\text{gat.l}^{-1}$$

$$D = 0,60 \mu\text{gat.l}^{-1}$$

qui montrent bien l'importance de l'absorption d' $\text{NH}_4^+$  par les argiles.

IV.- RESULTATS DES AMENDEMENTS DANS LES RESERVES DE LA NURSERIE4.1.- Circuit de recyclage court :

Du 4 juin au 8 juillet, la nurserie fonctionne en circuit fermé avec un recyclage court ne concernant que la réserve B, soit un volume global d'environ 12.200 m<sup>3</sup> (figure 2). Pendant cette période, l'eau de la réserve est partiellement renouvelée une seule fois lors de la maline du 10 au 15 juin.

411. Caractéristiques des enrichissements :

Six amendements les 5, 17, 21, 25 et 30 juin ainsi que le 5 juillet ont lieu dans le bassin B<sub>1</sub> d'un volume d'environ 2.700 m<sup>3</sup>. Les quantités d'engrais sont calculées de façon à obtenir des concentrations proches de 24  $\mu\text{gat.l}^{-1}$  en azote mi-ammonium, mi-nitrate et 4  $\mu\text{gat.l}^{-1}$  en phosphore.

On complète par un ajout équivalent à 8  $\mu\text{gat.l}^{-1}$  de silice.

412. Evolution de la biomasse phytoplanctonique :

Les teneurs en chlorophylle a ont été suivies en trois points différents : B<sub>1</sub>, l'entrée et la sortie de la nurserie (tableau 6). Le débit de pompage est de 400 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.

La teneur moyenne à l'entrée de la nurserie sur l'ensemble de la période est de 3,7  $\mu\text{g.l}^{-1}$  de Chl. a avec un écart type de 1,3  $\mu\text{g.l}^{-1}$ . Cette concentration est supérieure aux teneurs des eaux d'alimentation, comprises entre 0,8 et 1,2  $\mu\text{g.l}^{-1}$  de Chl. a. Ce gain est significatif d'autant plus que parallèlement à cette production, il existe une forte consommation : en moyenne 0,77 g Chl. a.h<sup>-1</sup> (S = 0,14).

D'autre part, les teneurs relevées dans le bassin B<sub>1</sub> sont en moyenne de 3,8  $\mu\text{g.l}^{-1}$  de Chl. a avec un écart type élevé de 2,8  $\mu\text{g.l}^{-1}$ . Les plus fortes concentrations sont, en général, obtenues 24 heures après enrichissement. Une telle constatation implique deux phénomènes :

- la masse d'eau du bassin B<sub>1</sub> se renouvelle avec un débit très faible (< à 100 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>) bien inférieur à celui théoriquement recherché (ce qui a été confirmé par des analyses de sels nutritifs). La principale circulation de l'eau s'opère donc par le réseau de canaux contournant les bassins B et ainsi l'eau enrichie de B<sub>1</sub> met environ 2 à 3 jours pour parvenir à l'entrée de la nurserie.
- Obtenir les plus fortes concentrations en Chl. a dans B<sub>1</sub>, 24 heures après l'enrichissement, bien que la masse d'eau ne soit pas statique, prouve que la cinétique du développement phytoplanctonique est très rapide ; phénomène à mettre aussi en corrélation avec la température dont la moyenne atteignait 20,9°C (S = 2,1°).

En conséquence, il est logique de ne pas obtenir de forte valeur en Chl. a à l'entrée de la nurserie et seule une partie des blooms induits est réellement utilisable.

Dates ( ) Enrichissements	B <sub>1</sub>	Entrée	Sortie	% Chloro. consommée
(5/6)	1,1	1,3	-	
6/6	8,5	1,6	1	37 %
	(B <sub>2</sub> = 6,1)			
8/6	3,5	7	5	28 %
10/6	3,5	4	1,3	67 %
(17/6)	2,1	2,6	1,3	50 %
19/6	3,2	4,7	0,9	80 %
20/6	2,3	3,1	-	-
(21/6)	1,8	2,6	-	-
22/6	2,4	2,4	1,6	33 %
24/6	1,3	3,1	1	67 %
(25/6)				
26/6	2,7	3,2	-	-
(30/6)				
4/7	-	4	-	-
(5/7)	7,2	5,6	1,6	71 %
6/7	14,6	3,7	2,1	43 %
7/7	6,1	4	1	75 %
	(B <sub>2</sub> = 7,4)			
8/7	-	3,8	0,5	86 %

Tableau 6 : Concentration en chlorophylle a dans le bassin B<sub>1</sub>, à l'entrée et à la sortie (en  $\mu\text{g.l}^{-1}$ ) de la nurserie (débit de pompage  $400 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ ) fonctionnant sur un circuit de recyclage court. Pourcentage de Chl. a consommée par les mollusques.

Dates	Nombre d'enrichissements	Entrée Nurserie	Sortie Nurserie	mi-recyclage (Canal R <sub>4</sub> )
16/7	)	1,1	-	-
19/7	)	3,8	0,85	1,3
22/7	)	5,6	0,8	1,3
24/7	) 7	1,9	1,6	2,9
28/7	)	5	1,9	3,2
1/8	)	1,9	0,3	0,5
3/8	)	3	2	2,6
du 6/8 au 13/8 : renouvellement de l'eau				
16/8	)	3,2	1,9	-
18/8	)	1	-	2
20/8	) 4	0,7	-	1
24/8	)	7,1	-	-

Tableau 7 : Concentration en chlorophylle a. en  $\mu\text{g.l}^{-1}$  à l'entrée et à la sortie de la nurserie ainsi qu'à mi-recyclage qui fonctionne sur l'ensemble des réserves.

D'un point de vue qualitatif, l'analyse des espèces obtenues lors des "blooms" dans B<sub>1</sub> révèle une prépondérance très nette de petits flagellés.

#### 4.2.- Circuit de recyclage long :

La période couvre les mois de juillet et août avec un volume d'eau recyclée cumulant les réserves A et B (figure 2).

##### 421. Caractéristiques des amendements :

Ils ont lieu à mi-recyclage environ c'est-à-dire au niveau du canal (R<sub>4</sub>) reliant les réserves B et A (figure 2).

Les amendements commencent à la fin de la marée de juillet le 15 jusqu'au 6 août puis reprennent après les grandes marées pour une période de 10 jours du 14 au 24 août. On enrichit le milieu tous les trois ou quatre jours, les quantités moyennes par enrichissements sont de 2 Kg de NH<sub>4</sub> NO<sub>3</sub> (≈ 50 Moles d'azotes), 1,3 Kg de Superphosphate (≈ 8 Moles de Phosphore) et 3 Kg de Metasilicate hydraté (≈ 20 Moles de silice). Une seule fois seulement (en début de période) ces quantités ont été doublées. Mais il faut bien avoir à l'esprit que compte tenu du volume de la réserve A (16.000 m<sup>3</sup>) dans lequel se déverse le Canal R<sub>4</sub>, il s'opère une dilution énorme. Ainsi, si on ramène ces quantités d'engrais à l'ensemble de la masse d'eau de A, on obtient des concentrations de 6 µgat.l<sup>-1</sup> d'N, 1 µgat. l<sup>-1</sup> de P et 2,5 µgat.l<sup>-1</sup> de silice ce qui reste faible.

##### 422. Evolution de la Biomasse :

Les teneurs en Chl.a en 3 points différents de circuit sont résumées dans le Tableau 7. La teneur moyenne obtenue à l'entrée de la nurserie est de 3,11 (S = 2). Cette concentration est inférieure à celle du mois de juin en circuit court. L'écart type est plus important : le milieu peut rester pauvre malgré les enrichissements réguliers ou, au contraire, supporter des biomasses importantes pour la saison (7,1 µg.l<sup>-1</sup> Chl.a le 24/8) ce bloom étant bien visible dans l'ensemble de la réserve A.

La faible teneur à mi-recyclage 1,96 µg.l<sup>-1</sup> (du 16/7 au 6/8) (S = 1) comparée à celle obtenue à l'entrée de la nurserie 3,18 (S = 1,7) montre une relative efficacité du recyclage avec amendements (écart de 1,22 µg.l<sup>-1</sup>) moins nette que celle obtenue en juin (écart de 2,13 entre la sortie et l'entrée de la nurserie) pour un volume presque identique.

4.3.- Suivi du naissain :431. Croissance :

Les relevés de croissance des deux tamis expérimentaux (tableau 8) montrent une bonne croissance du naissain d'huître, notamment jusqu'à fin juillet.

Dates	20/6	5/7	20/7	28/7	24/8
Huître	1.180 ml	1.580 ml	2.720 ml	(mortalités)	-
Palourde	1.030 ml	1.260 ml	1.800 ml	2.200	2.480

Tableau 8 : Volume de naissain de Crassostrea Gigas et Ruditapes Semidecussata en ml pendant les périodes des enrichissements.

Il semble que les huîtres n'ont pas résisté aux fortes températures de juillet (Moyenne 23,9°C S = 1,73), avec de brusques variations : 27,5° le 18/7, date à partir de laquelle les huîtres ont commencé à mourir.

On a constaté de nombreuses mortalités d'huîtres d'un an dans le bassin de Marennes - Oléron à la même époque.

En un mois, les huîtres enregistrent un gain de croissance "volumique" de 130 p. 100. En comparaison avec la croissance obtenue pour les palourdes, il semble que les huîtres ont mieux profité des blooms induits. Cependant, les naissains de Ruditapes ont survécu aux fortes températures et ont pratiquement doublé de volume pendant l'été.

432. Consommation :a/ Quantitative :

On constate une grande variabilité de la consommation (Tableaux 6 et 7) : les naissains utilisent entre 15,7 et 86 p. 100 du phytoplancton. Cette grande variabilité peut être principalement due aux différences de composition spécifique entre les différents blooms, chaque espèce pouvant être plus ou moins assimilée principalement à cause des critères dimensionnels. Une régression multilinéaire entre la consommation évaluée (en fonction des débits) en g Chl.a/h la T<sup>2</sup>, et le nombre d'Ostréidés et de Vénéridés effectivement présents va aussi dans ce sens car les 3 variables indépendantes expliquent 64 p.100 de la variation totale de la consommation. Voir Tableau 9. De plus, on s'aperçoit que la variable descriptive qu'explique la plus grande partie de la variation totale de la consommation est le nombre d'huîtres (notée G) (≈ 30 p.100) puis la variable température (T) (≈ 23 p.100), enfin la variable (P) nombre de palourdes (≈ 10 p.100). La variable huîtres a donc nettement plus de poids que la variable palourdes, sur la consommation en phytoplancton, ce qui tendrait à prouver que les palourdes se nourrissent plus de matériel détritique, voire de cellules phytoplanctoniques mortes.

CO T G P

CO=consommation Y  
 T=temperature X1  
 G=nombre de gigas X2  
 P=nombre de palourdes X3

	moyenne	variance
X1	20.8529	13.6801
X2	6.4596	4.9358
X3	8.7649	8.6088
Y	0.7765	0.1452

Les nombres sont exprimes en millions d'unités.

matrice de corrélation

	1	2	3	Y
1	1.000			
2	-0.446	1.000		
3	0.560	-0.261	1.000	
Y	0.480	0.275	0.534	1.000

corrélation multiple :  $R^2 = 0.6364$

analyse de variance

	dl	somme des carres	carres moyens	F
total	16	2.3226		
reg	3	1.4781	0.4927	7.5849
X1	1	0.5345	0.5345	8.2282
X2	1	0.6922	0.6922	10.6556
X3	1	0.2515	0.2515	3.8713
er.res.	13	0.8445	0.0650	

coefficients	variance	T
b0 = -1.5005		
b1 = 0.0548	0.0005	2.4446
b2 = 0.1056	0.0010	3.2951
b3 = 0.0516	0.0007	1.9676

$$CO = -1,5005 + 0,0548 T + 0,1056 G + 0,0516 P$$

$$L'hypothèse b2=0 \text{ TEST } F_{13}^1 = \frac{CM X2}{CM \text{ er res}} = \frac{0,6922}{0,0650} = 10,6556$$

... est rejetée au seuil de 1p.100

TABLEAU 9 : Résultats de l'analyse tridimensionnelle.

b/ Qualitative :

Il s'agit de résultats d'analyses dimensionnelles au Counter Coulter : des prélèvements sont réalisés à l'entrée et à la sortie de bassins contenant l'un uniquement des C. Gigas de tailles variables, l'autre du naissain de R. Semidecussata de taille 2 - 3 mm.

Globalement, les densités de coquillages sont identiques dans les deux bassins.

Le peuplement algal initial est composé à 77 p.100 ( $28,3 \cdot 10^6$  cellules l<sup>-1</sup>) de cellules dont le diamètre est compris entre 2 et 4  $\mu\text{m}$ . Les naissains d'huîtres consomment en moyenne 76 p.100 du nanoplancton (2 - 20  $\mu\text{m}$ ) avec une remarquable stabilité d'un canal de taille à l'autre puisque l'écart type est de 2,8 p.100. On observe un phénomène identique pour le naissain de palourdes avec un pourcentage plus faible de 65 p.100 ( $S = 3,2$  p.100). Les petits flagellés de faibles diamètres ( $< 10 \mu\text{m}$ ) semblent donc convenir pour la nutrition du naissain de C. Gigas ou R. Semidecussata. Au-delà de 20  $\mu\text{m}$ , il semblerait que le naissain d'huîtres opère des sélections puisqu'il existe des catégories de tailles cellulaires pour lesquelles il n'y a aucune consommation. Par contre, le naissain de palourdes semble même consommer davantage les grosses cellules : jusqu'à 71 p.100 dans certains canaux de tailles supérieures à 20  $\mu\text{m}$ . Mais il faut être prudent dans l'analyse des résultats car les cellules supérieures à 20  $\mu\text{m}$  ne représentaient qu'un très faible pourcentage de peuplement phytoplanctonique à l'entrée des tamis.

## V.- DISCUSSION

### 5.1.- Phénomènes d'adsorption d'éléments fertilisants :

Lors des expériences en claires, environ 60 p.100 d'ion ortho-phosphorique et 49 p.100 d'ion ammonium disparaissent moins d'une heure après l'amendement.

#### 511. l'ion orthophosphorique :

De nombreux auteurs rapportent de semblables disparitions après un enrichissement en phosphore du milieu (Orr, 1947 ; Brook, 1957 ; Holden, 1959 ; Schinder et al 1971). Jitts (1959) signale que les matières en suspension peuvent adsorber 80 à 90 p.100 du phosphore. Plus précisément, Feuillet (1977) attribue la disparition de phosphore, dans des claires enrichies, à une adsorption par le sédiment en relation avec sa richesse en hydroxyde de fer et d'aluminium. Enfin, Boyd et al (1981), travaillant sur différents types d'engrais phosphatés, démontre que 75 à 90 p.100 du phosphore peut être capturé par les sédiments. Aussi, il est certain qu'il s'agit d'un phénomène identique constaté pour l'ensemble des expériences. De plus, les remontées en phosphore observées en juillet (figure 11) peuvent alors s'expliquer par un simple relarguage du sédiment vers les eaux sus-jacentes (Deltreil et al, 1977). La désorption s'opère d'ailleurs d'autant plus facilement que le Ph est élevé (elle est impossible quand le Ph est inférieur à 6).

#### 512. l'ion ammonium :

D'après les expériences faites au laboratoire, la disparition d'ion ammonium semble elle aussi s'expliquer par un phénomène d'adsorption dû au matériel sédimentaire remis en suspension lors des enrichissements. Ce résultat est en accord avec les travaux de Toetz (1970) qui a mis en évidence l'adsorption de ce composé lorsque le taux de particules en suspension est élevé. Toutefois, il faut reconnaître que de tels phénomènes sont observés beaucoup plus rarement qu'avec l'ion  $PO_4^{3-}$ . Donc la nature du matériel sédimentaire doit également rentrer en ligne de compte. A ce sujet, il faut noter :

- les claires expérimentées (en première année d'exploitation) n'ont jamais contenu de mollusques qui excrètent des quantités non négligeables d'azote ammoniacal.
- Sur le plan pédologique, le sol des claires se caractérise par une carence en azote (0,21 p.100 d'azote total) ; une teneur en  $CaCO_3$  comprise entre 14 et 16 p.100 (pourcentage élevé dû à la présence de fragments de coquilles) avec une proportion en calcaire actif (c'est-à-dire susceptible de passer en solution dans l'eau) importante puisque le Ph de ce sol (d'après l'A.I.S.S. (1) 1939) est de 9,8 ; enfin, la capacité d'échange totale est comprise entre 25 et 30 meq/100 g. Si on se réfère aux travaux de Gouleau (1975) sur des sédiments du bassin de Marannes - Oléron, cette capacité d'échange est constituée à 80 p.100 de  $Ca^{2+}$  et  $Mg^{2+}$  et 20 p.100 de  $K^+$ ,  $H^+$ ,  $Na^+$ . Or l'ion  $NH_4^+$  peut participer dans des proportions non négligeables à la capacité d'échange (Sholkovitz, 1973). Aussi, il est probable que l'on ait une réaction du type (Duchaufour, 1965).

(1) A.I.S.S. = Association Internationale de la Science du Sol



et donc une adsorption sur le complexe d'ions  $\text{NH}_4^+$ . Au-delà d'une certaine proportion (du reste assez faible) d'ion  $\text{NH}_4^+$ , le  $\text{Ca}^{2+}$  cesse d'être déplacé car il a une énergie d'adsorption bien supérieure; ainsi, les phénomènes observés dans ces claires récentes n'auraient pas lieu dans des claires ayant contenu des mollusques. En conséquence, à partir d'une certaine proportion de  $\text{NH}_4^+$  reçue par le sédiment, il y aurait des phénomènes de relargage. Un tel processus pourrait expliquer les fortes teneurs en phytoplancton enregistrées dans la claire 1 au mois de juillet alors que l'enrichissement azoté initial était très faible ( $10 \mu\text{g.at.l}^{-1}$ ).

### 513. Conséquences :

Les ions  $\text{PO}_4^{3-}$  et  $\text{NH}_4^+$  apportés dans le milieu sous forme d'engrais ne sont pas immédiatement disponibles pour le phytoplancton. Feuillet (1971) a déjà montré que l'apport de superphosphate contribue à la constitution d'une réserve phosphorée dans les sédiments du fond qui libérera progressivement des ions  $\text{PO}_4^{3-}$  par diffusion. Un phénomène plus ou moins similaire semble se produire pour l'ion ammonium mais dans un laps de temps très court. Aussi, d'un point de vue pratique, il faudra tenir compte de ces effets cumulatifs, en particulier pour le phosphore, si on envisage des amendements sur de longues périodes.

## 5.2.- Influence de la température, de l'éclairement et de la teneur en carbone minéral :

### 521. La température :

Plus la température est élevée, plus les processus métaboliques sont accélérés et la multiplication active de certaines espèces phytoplanctoniques favorisée (Goldman et Ryther, 1976). Les températures enregistrées au cours des expériences, toujours supérieures à  $15^\circ\text{C}$ , ne peuvent empêcher le développement des populations phytoplanctoniques naturelles sous l'effet des enrichissements et n'ont donc pas un caractère limitant. Cependant, étant donné l'écart de  $12^\circ$  entre le mois de mai ( $15,4^\circ$ ) et juillet ( $27^\circ$ ) lors des expériences en claires, il est certain que le facteur température différencie et individualise chaque série d'expérimentations et rend délicat les comparaisons.

### 522. L'insolation :

Au regard des valeurs enregistrées sur l'ensemble du département des Charentes Maritimes, on peut considérer que l'intensité lumineuse parvenue à la surface des eaux a bien été saturante en juin et juillet mais vraisemblablement pas pour mai (même août), où la couverture nuageuse était importante.

523. Teneur en carbone minéral :

Si on analyse les valeurs de pH en Mai et Juillet, la teneur en CO<sub>2</sub> est restée suffisante pour n'être jamais limitante des mécanismes photosynthétiques. Par contre, les valeurs du Ph supérieures à 9 lors de l'expérience de juin ou lors de l'essai du maintien d'un bloom, coïncident avec un déficit en carbone qui a joué vraisemblablement un rôle limitant. Une conséquence immédiate est la nécessité de trouver un juste équilibre entre la concentration en chlorophylle a et la teneur en CO<sub>2</sub> lorsqu'on opère des amendements en claires où il n'existe pas de renouvellement d'eau. L'emploi d'un compresseur serait à envisager.

524. Conclusion :

L'ensemble des facteurs température, éclairage, CO<sub>2</sub> interagissent sur l'écosystème où l'on opère les enrichissements ; ils peuvent avoir un effet limitant la réponse des populations naturelles et ne peuvent être négligés dans l'estimation de la fertilité des eaux étudiées.

5.3.- Effets des différents éléments nutritifs sur l'augmentation de la biomasse :531. L'azote :

Les enrichissements différentiels du mois de mai montrent que dans l'eau étudiée, c'est l'azote qui limite l'augmentation de la biomasse des algues unicellulaires. Seul, un ajout d'azote, permet d'obtenir une certaine croissance des populations algales. De plus, la fin des blooms induits coïncide toujours avec l'épuisement de la réserve azotée. Ce rôle prépondérant de l'azote dans le contrôle du développement des algues unicellulaires concorde avec les résultats donnés pour des eaux de claires ostréicoles (Robert, 1983) ainsi que pour de nombreuses eaux néritiques atlantiques (Melin, 1973 ; Vince et Valiela, 1973 ; Goldman, 1976 ; Jacques et al, 1976).

Les biomasses obtenues sont du même ordre de grandeur que les teneurs maximales relevées en région d'upwelling : 20 à 30 mg Chl a m<sup>-3</sup>, résultat identique à ceux obtenus par Jacques et al, 1978.

On constate de plus que les populations naturelles réagissent immédiatement à tout apport d'azote : il n'existe pas de phase de latence. Ce phénomène est dû aux températures assez élevées et surtout au fait même d'utiliser les populations naturelles (Maestrini, 1976). Comme de plus la croissance est très rapide, surtout en période estivale, les enrichissements en nurserie doivent être effectués à des niveaux précis du circuit de recyclage pour essayer d'obtenir le maximum de Chl. a à l'entrée des bassins d'élevage.

532. Le phosphore et l'influence du rapport N/P :

Dans certaines eaux, le phosphore est souvent le premier facteur limitant la biomasse algale, notamment en Méditerranée (Berland et al, 1978 ; Gaumer et al, 1981) et dans les bassins centraux des Océans.

Dans les eaux étudiées, l'expérimentation de mai apporte la certitude que le phosphore ne joue pas ce rôle de premier facteur limitant, ce qui coïncide avec les résultats obtenus par Robert et al (1982) dans des eaux de claires ostréicoles.

Le rôle du phosphore n'est cependant pas clairement établi car les différences de biomasse observées entre un enrichissement N et N + P (mois de juin) sont minimales : 4 à 5  $\mu\text{g. l}^{-1}$  de chlorophylle a entre les deux maxima. Il n'est pas évident que le phosphore minéral soit le second facteur nutritionnel limitant.

Par ailleurs, on observe que le phosphore augmente la vitesse d'absorption des ions nitrates sans qu'il soit possible de bien quantifier ce processus à cause des phénomènes parasites d'adsorption des ions  $\text{PO}_4$ . Le phosphore influe sur la vitesse de réaction des populations algales naturelles aux enrichissements. En conséquence, en tenant compte bien sûr de la température, la manipulation de différents ratios N/P (avec des quantités d'azote suffisantes) pourrait peut-être permettre de plus ou moins contrôler le moment où apparaît le maximum de chlorophylle a ; ce qui peut s'avérer intéressant en nurserie d'autant plus que l'on sait que la valeur du ratio N/P influe sur la composition en espèces des blooms induits (de Pauw, 1981).

#### 533. La Silice :

Cet élément peut être limitant lorsque les blooms induits sont composés en majorité de diatomées. En effet, la silice représente jusqu'à 60 p.100 de la fraction minérale de ces espèces phytoplanctoniques.

Les blooms obtenus étant en majorité composés de petits flagellés, la réserve en silicium, bien que quelquefois consommée à plus de 60 %, ( $C_1$  en juillet), semble avoir toujours été suffisante.

#### 534. Autres facteurs :

##### . Azote et phosphore organiques :

Il est maintenant admis que la nutrition phytoplanctonique à partir de substances organiques dissoutes est loin d'être négligeable (Mac Carthy, 1972 ; de Pauw, 1981 ; Robert et al, 1982). Heral et al (1981) dans une étude sur la composition des eaux du Bassin de Marennes Oléron, signale qu'en été l'azote organique dissous peut représenter jusqu'à 80 p.100 de l'azote total, soit des teneurs d'environ 10  $\mu\text{g. l}^{-1}$ . Il y a là une source importante de nutriments non prise en considération et qui peut expliquer les reprises de bloom alors que la réserve azotée semble épuisée ( $C_2$  en juillet).

En nurserie, les mollusques excrètent une part importante d'azote organique (urée) qui peut être directement utilisable pour le phytoplancton.

##### . Vitamines, oligoéléments...

Le milieu contient suffisamment de ces facteurs de croissance et ce même lorsqu'il y a une forte teneur en chlorophylle a pendant 12 jours. Le fer ne joue pas un rôle limitant à l'inverse de certaines eaux de Méditerranée Nord Occidentale (Fiala et al, 1976). S'il existe un renouvellement de l'eau toutes les malines, aucun ajout de ces facteurs de croissances (d'ailleurs très chers vitamines en particulier) n'est donc nécessaire.

#### 5.4.- Assimilation des différentes formes minérales de l'azote :

La réserve en nitrate peut être épuisée en un jour seulement avec des taux d'absorption qui peuvent atteindre  $21 \mu\text{gat. l}^{-1} \text{ j}^{-1}$  (C<sub>3</sub> en juillet). Ce taux d'absorption n'est pas exceptionnel, car Eppley et al (1971) signalent des valeurs atteignant  $15 \mu\text{gat N.6 heures}^{-1}$  pour des densités en algues représentant de 10 à 50  $\mu\text{g.chl.a}$ . Cette assimilation rapide des nitrates conduit le plus souvent à une augmentation rapide mais brève de la biomasse.

De plus, on observe lors de toutes les expériences réalisées en claires, des absorptions concomitantes d'ions  $\text{NH}_4^+$  et  $\text{NO}_3^-$  par les algues unicellulaires. Si on se réfère aux concentrations en ions ammonium effectivement présentes in situ, on constate que l'assimilation simultanée des ions  $\text{NH}_4$  et  $\text{NO}_3$  a lieu pour des concentrations en ammonium bien supérieures à la valeur seuil de  $0,1 \mu\text{gat.l}^{-1}$  établie par Eppley et al (1969) pour des algues unicellulaires marines. Cette observation va dans le même sens que les résultats obtenus par Maestrini et al 1982 avec des peuplements naturels d'algues unicellulaires de claires qui se sont montrés capables d'absorber simultanément (et à la même vitesse) les ions  $\text{NH}_4$  et  $\text{NO}_3$  en présence de concentrations en ions ammonium atteignant jusqu'à  $6,9 \mu\text{M. l}^{-1}$ . Robert (1983) précise même que l'existence de concentrations seuil élevées différencie les algues unicellulaires des claires des espèces phytoplanctoniques marines. Il existerait en plus différentes vitesses d'absorption de  $\text{NO}_3$  en-deçà de la valeur seuil en  $\text{NH}_4$  mais dans le cas présent, les phénomènes parasites d'adsorption des ions ammonium empêchent de bien mettre en évidence de processus.

#### 5.5.- Composition des blooms induits et conséquences au niveau du naissain :

D'une manière succincte, on peut considérer que l'ensemble des blooms induits sont composés en majorité de nanoplancton le plus souvent en association avec des diatomées comme Skeletonema (particulièrement en juin). La majeure partie des travaux sur l'induction de bloom relatent une nette prédominance de diatomées du genre Skeletonema ou Cylindrotheca (Guerin et al, 1978 ; Nival et al, 1978 ; Robert et al, 1982) mais il s'agit de blooms obtenus dans des volumes plus réduits ou équipés d'un renouvellement d'eau régulier.

Les flagellés inférieurs à  $10 \mu\text{m}$  sont néanmoins bien consommés par les naissains, une espèce comme Isochrysisgalbana est d'ailleurs couramment utilisée en éclosérie. Toutefois, le jeune naissain de R. Semidecussata malgré l'abondance de ces flagellés n'a qu'une croissance modérée. Aussi, le problème des blooms induits se situe à deux niveaux : d'une part, les croissances sont meilleures lorsque la nourriture est composée à la fois de flagellés et d'une très forte proportion de diatomées, d'autre part les blooms induits sont obtenus très vite, or Berland et al (1970) ont montré que des cellules se divisant très rapidement ne sont pas les plus favorables à une utilisation comme "fourrage" car leur richesse en éléments de réserve est faible.

En définitive, obtenir une croissance modérée ainsi qu'une meilleure représentation en diatomées planctoniques serait nécessaire.

## 5.6 - Aspects économiques :

### 561. Enrichissements en nurserie :

A partir des résultats obtenus, on peut établir le coût approximatif d'un enrichissement effectué sur un mois en été et qui assurerait théoriquement une bonne croissance du naissain en nurserie :

- la concentration en chlorophylle a qu'il est nécessaire de maintenir, dans l'ensemble de la réserve d'eau alimentant la nurserie, est évaluée à l'aide de la régression multilinéaire. Les hypothèses de bases sont : une température de 23° C,  $9 \cdot 10^6$  naissains de *C. gigas* et le même nombre de *R. semidecussata* présents en nurserie. la consommation estimée est de  $1,3 \text{ g Chl. a} \cdot \text{h}^{-1}$  ; soit pour un débit de  $400 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  une teneur de  $3,3 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$  Chl. a. De plus il semble admis que pour obtenir une bonne croissance du naissain, le phytoplancton doit être consommé au maximum à 60 p. 100 (exprimé en Chl. a) (Claus, 1981 ; Heral et al, 1982). Finalement, il est nécessaire de maintenir à l'entrée de la nurserie une teneur d'environ  $5 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ .
- en extrapolant les résultats obtenus, le maintien de cette teneur dans la réserve de 32 000 m<sup>3</sup> nécessite l'apport d'environ 2000 moles d'azote, 300 moles de phosphore et 550 moles de silice sur un mois. Comme l'on trouve sur le marché la mole d'azote à 0,13 F et la mole de phosphore à 0,25 F, la dépense pour un enrichissement N + P est d'environ 340,00 F par mois en période estivale.

Ainsi l'utilisation d'engrais agricoles afin d'induire des blooms de phytoplanctons représente un coût de production très faible même dans un volume d'eau aussi élevé que la réserve alimentant la nurserie. Beaucoup de recherches sont réalisées sur l'emploi d'amendements organiques et en particulier sur les effluents de station d'épuration considérés comme la seule source d'éléments nutritifs à bon marché dès lors que l'on cherche à enrichir d'importantes masses d'eau de mer (Barnabe, 1978 ; Bazzon et al, 1978). C'est une voie d'investigation qui semble bien ne pas pouvoir concurrencer les engrais qui sont, certes, d'un coût un peu supérieur mais dont les autres avantages sont incontestables :

- Commodités d'approvisionnement ;
- Facilité de stockage ;
- Emploi aisé ;
- Qualité constante ;
- Sans problème d'accumulation de virus ou de métaux lourds fréquents avec les amendements organiques (Vaughn and Ryther, 1974 ; De Pauw et al, 1979).

562. Enrichissement en claire :

Le maintien d'une teneur en chlorophylle a de  $10 \mu\text{g. l}^{-1}$ , pendant 10 jours, dans une claire de  $700 \text{ m}^3$  s'accompagne d'une dépense en engrais très faible, avoisinant la vingtaine de francs. Toutefois, il faudrait ajouter à ce coût de production le prix d'installation et de fonctionnement d'un compresseur qui permettrait un bullage d'air nécessaire pour avoir des concentrations en  $\text{CO}_2$  suffisantes.

Cette technologie s'avère particulièrement intéressante pour l'élevage en claires de R. semidecussata. La technique d'élevage sous filet (Zanette et al, 1981) est maintenant au point. Le problème se situe au niveau des densités et du temps d'élevage : à partir de naissain de 10 - 15 mm, mis sous filet avec des densités de 80 à 100 individus au mètre carré, il faut compter souvent plus de 18 mois d'élevage pour obtenir la taille commerciale. Si l'on pouvait augmenter les densités ou baisser le temps d'élevage, la rentabilité économique de l'élevage de palourdes en claires serait évidente. C'est à ce niveau là que les amendements peuvent jouer un rôle considérable ; d'autant plus que nous avons fait abstraction de la biomasse microphytobenthique que Zanette (1981) estime à environ 25 fois supérieure à la biomasse phytoplanctonique dans les claires de Marennes - Oléron et qui constitue une source alimentaire très importante et facilement disponible pour les jeunes palourdes. Rappelons aussi que lors des expériences en claires, l'oxygène a toujours été au moins supérieur à 30 p. 100 de saturation (Tôt le matin) avec des biomasses phytoplanctoniques qui atteignaient alors 20 à  $30 \mu\text{g.l}^{-1}$ . L'oxygène n'empêche donc pas l'implantation de palourdes dans des claires amendées.

Une voie de recherche ultérieure serait de comparer les croissances obtenues par de jeunes palourdes, élevées avec des densités identiques, dans deux claires dont l'une est régulièrement amendée.

## VI.- CONCLUSION

Dans les eaux oligotrophes expérimentées, l'azote est l'élément indispensable à toutes productions phytoplanctoniques. Les blooms induits sont toujours rapides et brefs. La vitesse de croissance des populations naturelles augmente avec la température et la présence de phosphore. Les déclinés de blooms coïncident le plus souvent avec un épuisement de la réserve azotée.

Les biomasses phytoplanctoniques obtenues dans les claires (600 à 800 m<sup>3</sup>) atteignent au mieux 43  $\mu\text{g.l}^{-1}$  Chl a, ce qui est du reste assez élevé en comparaison avec d'autres travaux (Riva et Lelong 1978, 1981 ; Nival et al, 1978) surtout si l'on considère la concentration initiale en azote : 32  $\mu\text{g.at.l}^{-1}$  qui représente un tiers de celle utilisée dans l'upwelling artificiel de St Croix Virgin Island (U.S.A.).

Au delà d'une teneur d'environ 40  $\mu\text{g. Chl a l}^{-1}$ , le  $\text{CO}_2$  semble jouer un rôle limitant qu'il conviendrait d'éliminer par l'emploi d'un simple compresseur assurant un bullage d'air dans l'eau des claires.

Au niveau qualitatif, les blooms sont composés principalement de nanoplancton associé à quelques diatomées. Ces flagellés sont consommés par le naissain ; mais il faudrait davantage de diatomées et des vitesses de croissance moins rapide pour les flagellés, ce qui leur assurerait une meilleure valeur nutritive. C'est en combinant différents ratios N: P et N: Si que l'on pourrait arriver à ce résultat.

A court terme, aucun dérèglement du milieu n'a eu lieu et en particulier pas de prolifération de macrophytes indésirables. A long terme, les phénomènes d'adsorption et de relargages d'ions  $\text{NH}_4$  et  $\text{PO}_4$  par le sédiment, mis en évidence lors des expérimentations, aboutissent peut-être à des déséquilibres de l'écosystème.

Les amendements dans la réserve de la nurserie ont permis une croissance, certes modérée, du naissain de R. semidecussata ce qui constitue un résultat préliminaire important dans la mesure ou généralement la période estivale s'accompagne d'une stagnation de la croissance, voire de mortalité, comme le relate Heral et al (1982) sur une étude concernant la nurserie d'Ars en Ré.

En définitive, les accroissements de biomasse phytoplanctonique par adjonction d'engrais sont loin d'être complètement maîtrisés mais il y a là un procédé à développer puisque cette technologie très simple à mettre en oeuvre semble économiquement intéressante en nurserie et même peut-être en claire pour des élevages intensifs de palourdes.

## BIBLIOGRAPHIE

- BARNABE G., 1978.-Utilisation des chaînes alimentaires naturelles et du recyclage des eaux usées dans la production à grande échelle de juvéniles pour l'aquaculture. Publ.Sci.Tech.CNEXO: Actes et colloq., 7, 221-239.
- BAZZON M., LEPAILLEUR H. et ROGGER M., 1978.-Valorisation des rejets urbains et thermiques en zone littorale. Publ.Sci.Tech.CNEXO: Actes et colloq., 7, 285-304.
- BERLAND B.R., BONIN D.J., DAUMAS R.A., LABORDE P.L., et MAESTRINI S.Y. 1970.-Variations du comportement physiologique de l'algue Monallantus salina (Xanthophycée) en culture. Mar.Biol., 7, 82-92.
- BERLAND B.R., BONIN D.J. et MAESTRINI S.Y., 1978.-Facteurs limitant la production primaire des eaux oligotrophes d'une aire côtière méditerranéenne (Calanque d'En-Vau, Marseille). Int.Revue ges. Hydrobiol., 63, 501-531.
- BOYD C.E. and MUSIG Y., 1981.-Orthophosphate uptake by phytoplankton and sediment. Aquaculture, 22, 165-173.
- BROOK A.J. et HOLDEN A.V., 1957.-Fertilization experiments in Scottish hill lochs. I. Loch Kinarchody. Sci. Invest. Freshwat. Fish. Scot., 17, 30.
- CLAUS C., 1981.-Trends in nursery rearing of bivalve molluscs. p.1-3. In: Nursery Culturing of bivalve molluscs, CLAUD C., N. DE PAUW, and E. JASPERS (eds). EMS Special publication n°7, European Mariculture Society, Bredene, Belgium. 394 p.
- DETREIL J.P., FEUILLET M., ARCHAMBEAU G., 1977.-Etude expérimentale de la fertilisation phosphatée dans les claires à huitres. Rev.Trav.Inst.Pêches marit., 41, (3), 283-297.
- DE PAUW N., 1980.-Outdoor mass production of marine microalgae for nursery culturing of bivalve molluscs. Paper presented at the 3<sup>rd</sup> Int. Conf. on Production and Use of Microalgae, Trujillo, Peru; Oct. 26-31, 1980. 9p.
- DE PAUW N., 1981.-Use and production of microalgae as food for nursery bivalves. p.35-69 In: Nursery Culturing of bivalve molluscs, CLAUD C., DE PAUW N. and JASPERS E. (eds). EMS Special publication n°7, European Mariculture Society, Bredene, Belgium. 394 p.
- DUCHAUFOR P., 1965.-Précis de pédologie. MASSON ed.
- EPPLEY R.W., ROGERS J.N., Mc CARTHY J.J., 1969.-Half-saturation constants for uptake of nitrate and ammonium by marine phytoplankton. Limnol. Oceanogr., 14, 912-920.

EPPLEY R.W., CARLUCCI A.F., HOLM-HANSEN O., KIEFER D., Mc CARTHY J.J., VENRICK E. et WILLIAMS P.M., 1971.-Phytoplankton growth and composition in shipboard cultures supplied with nitrate, ammonium, or urea as the nitrogen source. Limnol.Oceanogr., 16, 741-751.

FEUILLET M., 1971.-Etude du phosphore dans les sédiments ostréicoles du bassin des Chasses des Sables-d'Olonne. Rev.Trav.Inst. Pêches marit., 35, 443-453.

FIALA M., CAHET G., JACQUES G., NEVEUX J. et PANOUSE M., 1976.-Fertilisation de communautés phytoplanctoniques. I. Cas d'un milieu oligotrophe: Méditerranée Nord-occidentale. J.exp.mar.Biol. Ecol., 24, 151-163.

GAUMER G., AID F., SAMSON F., 1981.-Rôles de l'azote et du phosphore dans la limitation de la production primaire des eaux de la baie d'Alger. C.R.Acad.Sc.Paris, 293, 435-437.

GOLDMAN J.C., 1976.-Identification of nitrogen as a growth-limiting nutrient in waste waters and coastal marine waters through continuous culture algal assays. Wat.Res., 10, 97-104.

GOLDMAN J.C. et RYTHYER J.H., 1976.-Temperature influenced species competition in mass cultures of marine phytoplankton. Biotech. Bioengr., 18, 1125-1144.

GOULEAU D., 1975.-Les premiers stades de la sédimentation sur les vasières littorales atlantiques. Rôle de l'émersion. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle. Sciences Naturelles. Université de Nantes.

GUERIN O., MAESTRINI S., BEKER L., 1978.-Ecotron-Embiez n°3-Utilisation d'engrais agricoles comme source de nutrilités pour la culture massive de quelques algues marines. Publ.Sci.Tech.CNEXO: Actes colloq., 7, 285-304.

GUERRERO S., FARINA T., BEKER L., 1981.-Large scale outdoor algal production for rearing feed oysters and clams to juvenile stage. p.117-139 In: Nursery Culturing of bivalve molluscs, CLAUS C., DE PAUW N. and JASPERS E. (eds). EMS Special publication n°7, European Mariculture Society, Bredene, Belgium. 394 p.

HERAL M., DESLOUS-PAOLI J.M., GARNIER J., PRIOUL D., RAZET D., 1982.-Facteurs contrôlant la croissance de Ruditapes philippinarum dans quatre nurseries de production en Charente-Maritime (France) Note au C.I.E.M., C.M.1982/F:27, 15 p.

HERAL M., ROBERT J.M., TRUQUET I., BARBAROUX O., RAZET D., 1981.-Composition en éléments azotés minéraux et organiques dissous dans l'eau du bassin conchylicole de Marennes-Oléron. Note au Cons.Int.pour l'Explor.de la Mer (C.I.E.M.), C.M.1981/E:58, 8 p.

HOLDEN A.V., 1959.-Fertilization experiments in Scottish Freshwater Lochs. II. Sutherland 1954. Sci.Invest.Freshwat.Fish.Scot., 16, 42 p.

JACQUES G., DE BILLY G., 1978.-Evolution de communautés phytoplanctoniques après fertilisation modérée. Publ.Sci.Tech.CNEXO:Actes colloq., 7, 715-742.

JACQUEQ G., FIALA M., NEVEUX J. et PANOUSE M., 1976.-Fertilisation de communautés phytoplanctoniques. II. Cas d'un milieu eutrophe: upwelling des côtes du Sahara espagnol. J.exp.mar.Biol.Ecol., 24, 165-175.

JITTS H.R., 1959.-The adsorption of Phosphorus by estuarine bottom deposits. Aust.J.Mar.Freshwat.Res., 10, 7-21.

KOROLEFF F., 1970.-Direct determination of ammonia in natural waters as indophenol blue (revised). Cons.intern.Explor.Mer, Information on Techniques and Methods for Sea Water Analysis, Interlab.Rep., 3, 19-22.

KORRINGA P., 1976.-Farming marine organisms low in the food chain. Developments in aquaculture and fisheries science. Elsevier Scientific Publ.Comp., Amsterdam, 1, 1-264.

LE BORGNE Y., 1981.-Nursery culturing of postlarvae, key to further development for bivalve molluscs hatcheries. p.141-149 In:Nursery Culturing of bivalve molluscs, CLAUD C., DE PAUW N. and JASPERS E. (eds). EMS Special publication n°7, European Mariculture Society, Bredene, Belgium. 394 p.

LE BORGNE Y., 1977.-L'écloserie-nurserie de la SATMAR et les possibilités actuelles de production de naissain de mollusques bivalves. Publ.Sci.Tech.CNEXO:Actes colloq., 4, 353-360.

LE BORGNE Y., MARIN J. et VERGONZANNE G., 1978.-Cultures et élevages de masse dans le contexte d'une écloserie-nurserie de mollusques bivalves: les productions phytoplanctoniques et le grossissement des post-larves. Publ.Sci.Tech.CNEXO:Actes Colloq., 7, 105-154.

LOOSANOFF V.L. and ENGLE J.B., 1942.-Use of complete fertilizers in cultivation of microorganisms. Science, 95, 487-488.

LORENZEN C.J., 1967.-Determination of Chlorophyll and pheopigments spectrophotometric equations. Limnol.Oceanogr., 12, 343-346.

LUCAS A., 1978.-Croissance de jeunes palourdes (Venerupis semidecussata) en nurserie et en mer en fonction des conditions d'élevage. Publ.Sci.Tech.CNEXO:Actes colloq., 7, 85-104.

Mc CARTHY J.J., 1972.-The uptake of urea by natural populations of marine phytoplankton. Limnol.Oceanogr., 17, 738-748.

MAESTRINI Y., 1976.-Production primaire et méthodes expérimentales 20 p. Note personnelle de Mr M.HERAL.

MAESTRINI S.Y., ROBERT J.M. et TRUQUET I., 1982.-Simultaneous uptake of ammonium and nitrate by oyster-pond algae. Mar.Biol.Letters, 3, 143-153.

MELIN K.E.R., 1973.-Algal biotest of Stockholm Archipelagowaters-qualitative aspects. Nutrients and their influence on the algae in the Stockholm Archipelago during 1970. Oikos, Suppl., 15, 189-194.

MOREAU J., 1970.-Contribution aux recherches écologiques sur les claires à huitres du bassin de Marennes-Oléron. Rev. Trav. Inst. Pêches marit., 34, 380-462.

NIVAL P., MALARA G., LELONG P., CELLARIO C., CHARRA R. et RIVA A., 1978. Ecotron-Embiez n°4-Evolution du phytoplancton dans des bassins de culture. Publ. Sci. Tech. CNEEXO: Actes Colloq., 7, 305-322.

ORR A.P., 1947.-An experiment in marine fish cultivation. II. Some physical and chemical conditions in a fertilized sea loch. Proc. roy. Edin., 63, 3-20.

PRYOR T.A. and LEE-WATSON L., 1978.-Development of large-scale phytoplakton cultures on Oahu. 5 p. (Mimeogr. paper).

RIVA A. et LELONG P., 1978.-Ecotron-Embiez n°9-Alimentation et croissance de bivalves filtreurs en bassin aménagé. Publ. Sci. Tech. CNEEXO: Actes colloq., 7, 415-436.

RIVA A. et VICENTE N., 1978.-Ecotron-Embies-Situation et aménagement du site. Publ. Sci. Tech. CNEEXO: Actes Colloq., 7, 267-284.

RIVA A. et LELONG P., 1981.-Growth of juvenile bivalve molluscs associated with continous cultures of natural marine phytoplankton. (Western Mediterranean, France). p. 253-268 In: Nursery culturing of bivalve molluscs, CLAUS C., DE PAUW N. and JASPERS E. (eds). EMS Special publication n°7, European Mariculture Society, Bredene, Belgium. 394 p.

ROBERT J.M., MAESTRINI S.Y., HERAL M., RINCE Y., DRENO J.P. et BEKER L. 1982.-Enrichissement expérimental d'eaux printanières de claires à huitres en baie de Bourneuf (Vendée, France) : augmentation de la biomasse et utilisation des éléments nutritifs par les algues unicellulaires. Hydrobiologia, 95, 53-63.

ROBERT J.M., MAESTRINI S.Y., HERAL M. et ZANETTE Y., 1982.-Production des micro-algues des claires ostréicoles en relation avec l'azote organique dissous excrété par les huitres. Oceanol. Acta (sous presse).

ROBERT J.M., 1983.-Fertilité des eaux des claiers ostréicoles et verdissement : utilisation de l'azote par les diatomées dominantes. Thèse de ~~3<sup>eme</sup>~~ <sup>d'Etat</sup> cycle Science Biologique. Université de Nantes.

RODHOUSE P.G. and O'KELLY M., 1981.-Bivalve production and food chain efficiency in an experimental nursery system. J. mar. biol. Ass. UK, 61, 243-256.

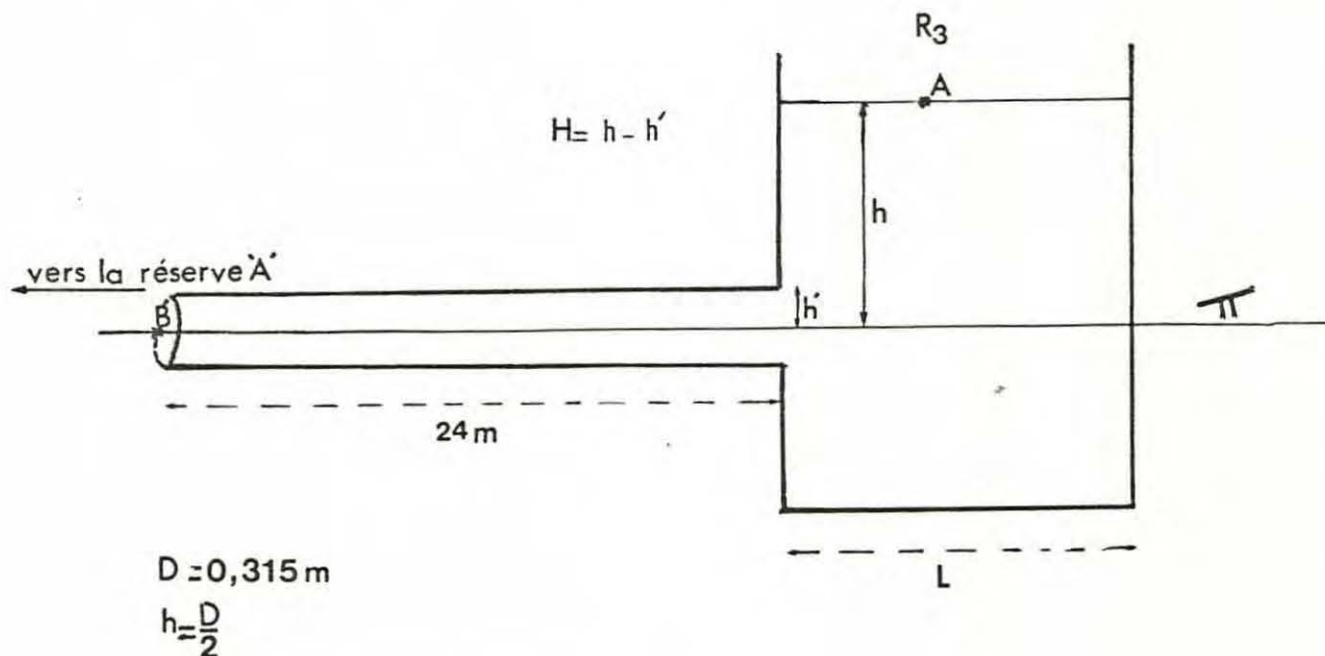
RYTHER J.H., DUSTAN W. and TENORE K., 1972.-Controlled eutrophication increasing food production from the sea by recycling human wastes. Bioscience, 22, (3), 144-152.

- RYTHER J.H., 1977.-Growth of six species of bivalve molluscs in a waste recycling aquaculture system. Aquaculture, 11, 231-245.
- SCHINDLER D.W. et al., 1971.-Eutrophication of lake 227, Experimental Lakes Area, northwestern Ontario, by addition of phosphate and nitrate. J. Fish. Res. Board Can., 28, (11), 1763-1782.
- SHOLKOVITZ E.R., 1973.-Interstitial water chemistry of the Santa Barbara Basin sediments. Geochim. Cosmochim. Acta, 37, (9), 2043-2073.
- STRICKLAND J.D.H. et PARSON T.R., 1972.-A practical Handbook of Seawater Analysis. Bull. Fish. Res. Bd. Can., 167, 1-310.
- TOETZ D.W., 1970.-Experiments on the adsorption of ammonium ions by clay particle in natural water. W. Ressources research, 3, (6), 979-980.
- VINCE S. et VALIELA I., 1973.-The effects of ammonium and phosphate enrichments on chlorophyll a, pigment ratio and species composition of phytoplankton of Vineyard Sound. Mar. Biol., 19, 69-73.
- WINKLER L.W., 1888.-The determination of dissolved oxygen in water. Ber., 21, 2843.
- ZANETTE Y., 1980.-Intervention de quelques facteurs dans l'évolution de la biomasse des claires de Marennes-Oléron. Cons. int. Explor. Mer, C.M./1980/L: 45, 11 p.
- ZANETTE Y., PEYRE R. et HERAL M., 1981.-Prégrossissement et élevage de palourdes japonaises en marais: technique entre filet. Note au C.I.E.M., C.M.1981/F:41.

PROBLEMES HYDRAULIQUES :

Le mauvais recyclage de l'eau à travers l'ensemble des bassins B est en partie dû au trop faible diamètre des buses souterraines. Ces diamètres ne permettent pas d'assurer les débits voulus ( $250$  à  $400 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ) sans qu'il se crée une nette différence de niveau d'eau entre la surface des bassins de part et d'autre d'une buse. C'est ce processus cumulé sur l'ensemble des buses assurant les communications entre les différents bassins B qui contribue au passage direct (par débordement) de l'eau de R2 à R3 (voir figure 2).

C'est surtout au niveau des buses assurant le retour de l'eau de R3 à A que l'agencement et le trop faible diamètre des deux buses ont des conséquences fâcheuses sur l'ensemble du système. En effet, représentons en coupe le système :



Soit  $Q = 250 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  le débit recherché. Comme il existe deux tuyaux, on veut pour une seule buse un débit de  $125 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  soit  $34,7 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Appliquons l'équation de Bernouilli entre A et B. H est la hauteur d'eau nécessaire pour avoir un débit de  $250 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  de  $R_3$  vers A.

Avec le plan  $\pi$  comme référence :

$$\bar{\phi}_A = \bar{\phi}_B + \sum J_{AB}$$

$$\frac{P_{\text{atm.}}}{\rho g} + \frac{V_A^2}{2g} + h = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{V_B^2}{2g} + \frac{P_{\text{atm.}}}{\rho g} + \sum J_{AB}$$

$$\frac{V_A^2}{2g} + h = h + \frac{V_B^2}{2g} + \sum J_{AB}$$

On peut faire l'approximation  $\frac{V_A^2}{2g} \approx 0$  car  $L \gg D$

$$H = h - h' = \frac{V_B^2}{2g} + \sum J_{AB}$$

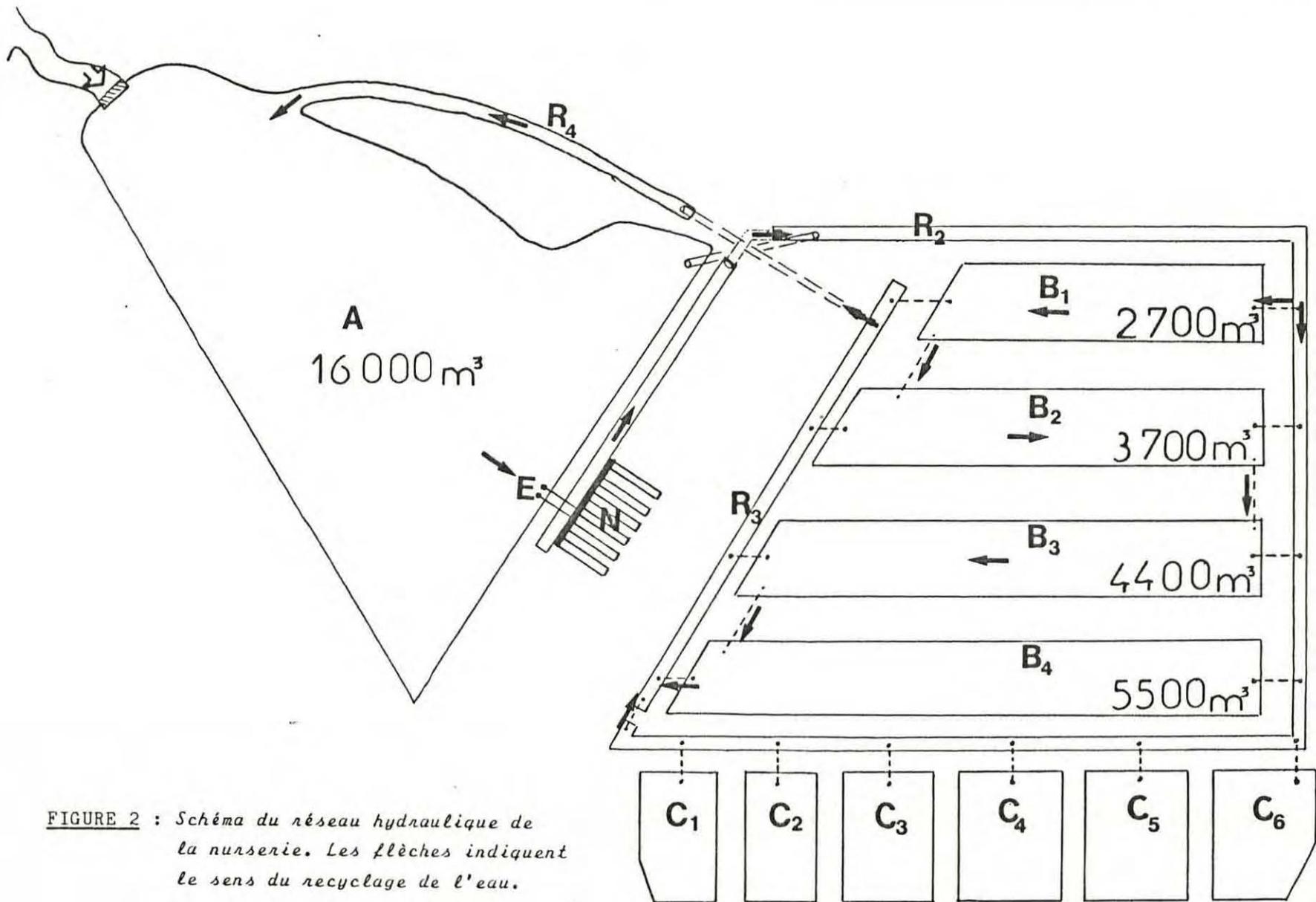
$$\text{AN.: } V = 0,445 \text{ m.s}$$

$$H = 0,0101 + \sum J_{AB}$$

Les abaques donnent pour les tuyaux en PVC  $j = 0,7 \text{ mm/m}$

Donc  $H = 0,12 \text{ m}$

Avec un même raisonnement, on en déduit qu'il faut 25 cm d'eau de différence entre  $B_4$  et  $R_3$  pour avoir un même débit de  $250 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ; de même entre  $B_4$  et  $B_3$  et ainsi de suite ... Au total il faudrait presque un mètre de différence entre  $R_3$  et  $B_1$ ; aussi l'eau déborde du canal  $R_2$  dans  $R_3$  et le système de recyclage fonctionne en shuntant les bassins B...



**FIGURE 2** : Schéma du réseau hydraulique de la nurserie. Les flèches indiquent le sens du recyclage de l'eau.

METHODOLOGIE

Afin de vérifier que le prélèvement expérimental correspond à une "bonne" image de l'ensemble d'une claire, on a effectué au cours des expériences du mois de mai, une série de prélèvements dans la claire 1 résumée dans le tableau suivant :

Teneurs en chlorophylle a en  $\mu\text{g.l}^{-1}$

Dates	Valeur du prélèvement expérimental	Valeur en six points de la claire					
		A	B	C	D	E	F
10/5	1,3	1,4	1,8	1,1	1,2	1,5	1,4
11/5	1,8 1	1,3	1,2	1,2	0,8	1,5	1,8
13/5	9,1	7,5	7,0	8,7	8,8	10,5	9,1
14/5	18,7	13,8	17	17,2	14	14,3	14,1
16/5	25	21,8	23,1	23,2	24,4	25,9	21,4
17/5	10	9,8	9,7	10,1	10,5	10,4	10,8

Si on effectue une corrélation entre la valeur expérimentale et la moyenne sur les six points, on obtient un coefficient de corrélation de 0,993 significatif à 95 %. Le prélèvement expérimental rend donc bien compte de l'ensemble de la claire.

$\mu\text{g.l}^{-1}$	C1	C2	C3	C4
10/5 Chl. <u>a</u> Phéo.	1,3 0,8	1,5 0,6	1,3 0,1	1,3 0,2
11/5	1,8 0,8	0,8 0,5	0,9 0,1	0,9 0,2
13/5	9,1 1	0,5 0,4	0,6 0,2	0,5 0,2
14/5	18,7 1,3	1,2 0,2	1,3 0,1	3,5 0,4
16/5	25 0,6	1,6 0,1	2,6 0,3	2,6 0,1
17/5	10 6,3	1,3 0,1	23 2,6	1,6 0,6
18/5	4 5,1	0,9 0,2	5 7	1,1 0,2
20/5	3 1	0,9 0,2	1,8 7,2	1,8 0,1

Résultats des expériences de mai : teneur en chlorophylle a  
et phéopigments.

$\mu\text{g.at.l}^{-1}$	C1				C2				C3				C4			
	P-PO <sub>4</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	P	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	P	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	P	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>
10/5 (1 heure après enrichissement.)	0,1	0,15	15,1	6,7	0,6	0,14	0,51	0,3	1,2	0,13	0,81	<0,3	<0,1	0,17	0,72	0,3
11/5	<<0,1	0,16	9,2	2,1	0,4	-	-	-	1	-	-	-	<<0,1	-	-	-
13/5	<<0,1	0,15	3,8	0,8	0,4	0,12	0,43	0,7	0,9	0,16	0,73	0,71	-	0,13	0,67	0,7
14/5	0,1	0,16	0,71	0,5	0,4	-	-	0,6	0,9	-	-	0,6	-	-	-	0,6
16/5	0,1	0,18	0,13	0,7	0,3	0,16	0,41	0,4	0,8 0,8	0,17 0,20	1,2 14,4	0,44 0,44	0,1	0,14	0,51	0,5
17/5	<<0,1	0,15	0,18	0,8	0,3	-	-	-	<<0,1	0,18	2,1	<0,3	<<0,1	-	-	-
18/5	0,1	-	0,17	1,1	0,3	-	-	-	0,1	0,13	1,2	-	-	-	-	-
20/5	<<0,1	0,16	0,16	1,8	0,4	0,18	0,76	0,8	<0,1	0,19	0,23	1,65	<<0,1	0,15	0,52	0,9

Expérience de mai : teneurs en éléments nutritifs

$\mu\text{gat.l}^{-1}$		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
30/5	Chl. <u>a</u>	3,2	3,1
	Phéopigments	0,4	0,5
31/5	Chl. <u>a</u>	26	18,1
	Phéopigments	1,2	0,1
2/6		43	26
		6,7	1,7
4/6		37,5	38,6
		18	11,1
6/6		5,1	4,3
		9	7,2
8/6		28,8	5
		0,2	1
10/6		6	7
		12,1	0,8

Expérience de juin : Teneur en chlorophylle a et phéopigments

$\mu\text{g.l}^{-1}$		C1	C2	C3	C4
12/7	Chl. <u>a</u>	3	5,12	4,2	2,5
	Phéo. <u>a</u>	11,6	9,5	6,8	7,3
13/7		25	29,2	18	12,6
		12	8,1	4,8	11,7
14/7		14,7	27,1	3,8	2,3
		0,8	7,4	13	13
15/7		5,1	14,5	3,4	1,7
		3,8	2,2	3,3	2,5
16/7		0,8	4,9	1,5	0,4
		0,5	2,2	3	3
17/7		-	10,7	2,3	2,3
		-	2,4	5,9	0,6
18/7		0,6	10,9	5,3	1,9
		3	0,6	4	2,7
19/7		-	2,8	8,5	3
		-	16	0,9	6,3
20/7		4,4	13,7	1,9	3,6
		3	0,4	7,5	8

Expérience de juillet : teneur en chlorophylle a et phéopigments.

$\mu\text{g.at.l}^{-1}$	C1			C2			C3			C4		
	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	N-NO <sub>2</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>
12/7 Avant amendement	0,15	0,36	0,5	0,16	0,38	0,5	0,14	0,32	0,6	0,13	0,27	0,6
12/7 30 mn après amendement	0,13	4,9	2,5	0,3	24,6	20	0,15	22,2	1,2	0,15	11,4	5,1
13/7	0,15	0,31	1,1	0,10	4,06	2,3	0,15	1,18	0,9	0,16	1,62	1,4
14/7	0,15	0,92	0,6	0,12	0,5	1	0,16	0,51	0,6	0,15	1,84	0,8
15/7	0,15	0,41	1	0,12	0,34	0,8	0,16	0,29	0,7	0,13	1	0,6
16/7	0,11	0,37	1,6	0,16	0,31	2,8	0,16	0,72	1,8	0,15	0,51	2,2
17/7	-	-	1,1	0,15	1,18	-	-	-	1,5	-	-	-
18/7	0,15	1,16	-	0,17	0,52	1	0,17	3,1	-	0,11	1,26	1,2
20/7	-	0,60	0,6	0,15	0,70	0,9	-	1	<0,3	0,15	0,84	0,6

Expérience de juillet : teneur en éléments nutritifs.

Teneur en P.PO <sub>4</sub> $\mu\text{g-at l}^{-1}$	C1	C2	C3	C4
12/7 (avant)	«0,1	«0,1	«0,1	«0,1
12/7 (après)	3,4	1,7	2,1	2,6
13/7	0,42	«0,1	«0,1	«0,1
14/7	0,16	0,11	-	0,11
15/7	0,15	«0,1	«0,1	0,26
16/7	0,4	0,15	0,16	0,5
17/7	0,6	0,2	«0,1	0,74
20/7	0,2	0,2	0,1	0,46
Eau du Sédiment		0,5 1e 12/7		1,6 1e 20/7
		0,85 1e 18/7		1,3 1e 18/7
		20,7 1e 1/9		

Expériences de juillet : Teneur en phosphore de l'eau des claires et des eaux du sédiment.

Teneur en Si $\mu\text{g.at.l}^{-1}$	C1	C2	C3	C4
12/7	17,1	18,9	16,8	18,5
13/7	12,4	17,3	11,7	20,1
14/7	5,7	14,5	-	11,2
15/7	9,8	15,5	9,6	17,8
16/7	16	22,8	11,6	22,2
17/7	-	-	-	-
18/7	16,2	23,4	15,3	27,6
20/7	-	30,3	6,9	34,5

Expériences de juillet : Concentration en Si - SiO<sub>3</sub>

**SATMAR**SOCIÉTÉ ATLANTIQUE DE MARICULTURE  
"LA SALINE" COMMUNE DE GATTEVILLE-PHARE  
50760 BARFLEUR Tél. (33) 54.00.55TARIF AU 15 AVRIL 1983

	<u>Tri sur tamis de</u>	<u>Nombre au Kg.</u>	<u>Prix au mille H.T.</u>
<u>HUITRES PLATES</u> O.edulis	8 mm.	1	F 100,00
	6 mm.		F 80,00
	3 mm.		F 50,00
<u>HUITRES CREUSES</u> C.gigas	10 mm.	1.000 à 2.000	F 100,00
	8 mm.	2.000 à 3.500	F 85,00
	6 mm.	4.000 à 6.000	F 70,00
	4 mm.	20 à 25.000	F 56,00
	3 mm.	35 à 55.000	F 42,00
	2 mm.	100 à 140.000	F 35,00

	<u>Tri sur tamis de</u>	<u>Nombre au Kg.</u>	<u>Prix au mille H.T.</u>
<u>PALOURDES</u> T. semidecussata	6 mm.	5.000 à 8.000	F 110,00
	5 mm.	8.000 à 10.000	F 90,00
	4 mm.	13.000 à 18.000	F 80,00
	3 mm.	20.000 à 30.000	F 59,00
	2 mm.	60.000 à 100.000	F 48,00
<u>CLAMS</u> M. mercenaria	2 mm.		F 42,00

TOUS NOS PRIX S'ENTENDENT HORS TAXES (T.V.A. 5,5 % en sus.)

**SATMAR**SOCIÉTÉ ATLANTIQUE DE MARICULTURE  
• LA SALINE • COMMUNE DE GATTEVILLE-PHARE, 50760 BARFLEUR - TEL. (33) 54.00.55**NAISSAINS D'ECLOSERIE - PALOURDES**RENSEIGNEMENTS SUR L'ELEVAGEDE LA PALOURDE JAPONAISE RUDITAPES PHILIPPINARUM

Différentes possibilités sont offertes suivant la taille du naissain:

- tri sur maille de 2 mm. (longueur 3,5-4 mm.)
- tri sur maille de 4 mm. (longueur 6-7 mm.)
- longueur 10-15 mm. (0,5 g. à 1 g.)
- longueur 25-30 mm. (4 à 7 g.)

EN MARAIS (Claires buvant par coefficient de 70 à 80)

- 2 mm. Prégrossissement en casiers d'une maille de 1,4 mm. Durée 3-4 mois jusqu'au tri sur 4 mm. densité 20.000/m<sup>2</sup>.
- 4 mm. Prélévage en filet double nappe maille 1 x 3 mm. Durée 6 mois jusqu'à la longueur 14-15 mm. densité 1.000/m<sup>2</sup>.
- 10-15 mm. Elevage sous filet simple nappe 6 x 5 mm. Durée 18 mois jusqu'à la récolte. Densité 100/m<sup>2</sup> de filet.
- 25-30 mm. Demi-élevage sous filet simple nappe 6 x 5 mm. Durée 8-9 mois jusqu'à la récolte. Densité 100/m<sup>2</sup>.

EN MER (Parcs découvrant par coefficient de 60 à 90)

Sols : tous les types sont possibles mais les sols durs sont préférables pour mécaniser le travail ; une exposition abritée des principaux coups de vents est souhaitable.

- 2 mm. Prégrossissement en casiers d'une maille de 1,4 mm. Durée 3-4 mois. Densité 40.000/m<sup>2</sup>
- 4 mm. Prélévage sous filet de maille carrée de 2 mm. Durée 6-12 mois suivant taille souhaitée. Densité 1.500-3.000/m<sup>2</sup>
- 10-15 mm. Elevage en parc enclos de grillage 5 mm x 5 mm. Durée 12-18 mois. Densité 250-300 /m<sup>2</sup>
- 25-30 mm. Demi-élevage en parc enclos de grillage 5 mm. x 5 mm. Durée 8-9 mois. Densité 250 à 300/m<sup>2</sup>.