

UNIVERSITE D'AIX-MARSEILLE II  
CENTRE D'OCEANOLOGIE DE MARSEILLE  
STATION MARINE D'ENDOUME-LUMINY  
UNITE ASSOCIEE AU C.N.R.S. (UA 41)

**HYDROBIOLOGIE**

**D'UN ECOSYSTEME CONCHYLICOLE :**

**LE PERTUIS BRETON (17)**

Anne Laure **Barille**

Contrat IFREMER n° 93/5 526 001  
JUN 1993

# PLAN

## I INTRODUCTION

## II SITE ET METHODES

### 1 Présentation du site.

- 1 - 1 Grands traits sédimentologiques.
- 1 - 2 Grands traits hydrologiques.
  - 1 - 2 - 1 La houle.
  - 1 - 2 - 2 Le courant de marée.
- 1 - 3 Les cultures dans Pertuis Breton.
  - 1 - 3 - 1 L'huître *Crassostrea gigas*.
  - 1 - 3 - 2 Les moules de bouchot *Mytilus edulis*.
  - 1 - 3 - 3 Les moules de filières *Mytilus edulis*.

### 2 Hydrobiologie.

- 2 - 1 Stratégie d'échantillonnage.
  - 2 - 1 - 1 Définition des stations.
  - 2 - 1 - 2 Fréquence d'échantillonnage.
- 2 - 2 paramètres prélevés.
  - 2 - 2 - 1 Température et salinité.
  - 2 - 2 - 2 Seston minéral et organique.
    - \* Erreur sur la matière organique particulaire.
  - 2 - 2 - 3 Chlorophylle et phéopigments.
  - 2 - 2 - 4 Sels nutritifs.
  - 2 - 2 - 5 P.L.G. particulières.
  - 2 - 2 - 6 Le plancton.

### 3 Méthode d'étude de la population de *Mytilus edulis*.

- 3 - 1 Protocole expérimental.
  - 3 - 1 - 1 Matériel expérimental.
  - 3 - 1 - 2 Populations étudiées.
- 3 - 2 Association écologique.
- 3 - 3 Biométrie.
- 3 - 4 Biochimie.
- 3 - 5 Estimation de stock.

### 4 Compétiteurs trophiques

- 4 - 1 Moules de bouchots.
- 4 - 2 Huîtres *Crassostrea gigas* cultivées.
- 4 - 3 Gisements naturels.

### 5 Etude du bassin versant du Pertuis Breton.

- 5 - 1 Météorologie.
- 5 - 2 Bassin versant.
  - a) Les rivières.
  - b) Les terres.

### **III HYDROBIOLOGIE.**

#### **1 Paramètres physico-chimiques.**

##### **1 - 1 Température.**

**1 - 1 - 1 Caractères généraux.**

**1 - 1 - 2 Stations de faible profondeur : A et B.**

**1 - 1 - 3 Stations profondes : C et L.**

##### **1 - 2 Salinité.**

**1 - 1 - 1 Caractères généraux.**

**1 - 1 - 2 Stations de faible profondeur : A et B.**

**1 - 1 - 3 Stations profondes : C et L.**

**\* Conclusions sur la température et la salinité.**

##### **1 - 3 Sels nutritifs.**

**1 - 3 - 1 Les sels nutritifs du Pertuis Breton.**

**1 - 3 - 1 - 1 Composés azotés.**

**a ) Ammonium.**

**b ) Nitrites.**

**c ) Nitrates.**

**d ) Azote organique dissout.**

**e ) Urée.**

**f ) Conclusion sur les composés azotés.**

**1 - 3 - 1 - 2 Le phosphore.**

**a ) Résultats.**

**b ) Discussion.**

**1 - 3 - 1 - 3 Les silicates.**

**a ) Résultats.**

**b ) Discussion.**

**1 - 3 - 2 Les sels nutritifs dans les rivières.**

**1 - 3 - 3 Les sels minéraux du bassin versant.**

#### **2 Paramètres biologiques.**

##### **2 - 1 Matière particulaire - seston.**

**2 - 1 - 1 Matière particulaire minérale.**

**2 - 1 - 1 - 1 Remise en suspension.**

**2 - 1 - 1 - 2 Résultats.**

**2 - 1 - 1 - 3 Couche euphotique.**

**2 - 1 - 2 Matière particulaire organique.**

**2 - 1 - 2 - 1 Erreur sur la matière particulaire organique.**

**2 - 1 - 2 - 2 Résultats.**

##### **2 - 3 Pigments chlorophylliens.**

**2 - 3 - 1 Chlorophylle.**

**2 - 3 - 2 Phéopigments.**

**2 - 3 - 3 Gradient sur la colonne d'eau.**

**2 - 3 - 4 Discussion.**

##### **2 - 4 Composition biochimique de la matière organique particulaire.**

**2 - 4 - 1 Les protéines.**

**2 - 4 - 2 Les glucides.**

**2 - 4 - 3 Les lipides.**

**2 - 4 - 4 Discussion.**

##### **2 - 5 Relation entre les paramètres.**

**2 - 5 - 1 Rapport protéines / chlorophylle a.**

**2 - 5 - 2 Rapport glucides / chlorophylle a.**

**2 - 5 - 3 Rapport protéines / glucides.**

**2 - 5 - 4 Tableau de corrélation.**

##### **2 - 6 Conclusion sur l'hydrobiologie du bassin.**

### **3 Capacité trophique du Pertuis Breton.**

**3 - 1 Somme des PLG.**

**3 - 2 Potentiel énergétique de la matière organique particulaire.**

**3 - 2 - 1 Énergie calculée sur les composés biochimiques.**

**3 - 2 - 2 Énergie calculée sur le carbone.**

**3 - 2 - 3 Conclusion.**

## **I INTRODUCTION**

La Baie de l'Aiguillon fut le berceau de la conchyliculture : les premiers parcs à moules furent établis au XIII<sup>ème</sup> siècle par un irlandais P. Walton, naufragé en 1235 près du port d'Eslande. C'est à lui que l'on attribue l'invention des bouchots.

L'élevage traditionnel sur bouchot, initialement implanté à l'intérieur de la Baie de l'Aiguillon, a entraîné un tel envasement, que la culture des moules y est devenue impraticable. Les mytiliculteurs ont dû installer leur bouchot à la sortie de la baie. Cette culture représente 20 000 tonnes; ce qui fait du Pertuis Breton le plus important secteur de production mytilicole de la façade Atlantique.

Cet élevage traditionnel occupe actuellement tous les sites exploitables, il faut donc conquérir de nouveaux espaces moins abrités avec des structures adaptées, c'est pourquoi l'implantation de culture de moules sur filières est mise en place.

Pour améliorer la gestion du bassin et tenter d'optimiser sa production, il est nécessaire de connaître sa capacité trophique et de déterminer l'action des différents facteurs susceptibles d'agir sur cette capacité trophique. Une telle connaissance permettra l'estimation de la biomasse maximale de mollusque qui pourra être cultivée dans le Pertuis Breton tout en conservant un bon rendement.

## **II SITE ET METHODES**

### **1 PRESENTATION DU SITE**

Le Pertuis Breton couvre une superficie de 350 km<sup>2</sup> sur la façade atlantique. Ce milieu estuarien est limité au sud par l'île de Ré et par la côte vendéenne au nord. (Fig. 1)

#### **1 - 1 GRANDS TRAITs SEDIMENTOLOGIQUES**

Le Pertuis Breton, vestige de l'ancien golfe Poitevin, est en comblement depuis le début du Flandrien. Le substratum calcaire-marneux n'apparaît plus qu'à quelques endroits (Hilly, 1976). C'est une zone à sédimentation active alimentée par la Sèvre Niortaise et le Lay (Lombard, 1956) (Fig. 2).

#### **1 - 2 GRANDS TRAITs HYDROLOGIQUES**

##### **1 -2 -1 La houle**

L'île de Ré protège une grande partie du Pertuis Breton de la houle océanique qui se brise sur la pointe des Baleines mais les côtes vendéennes ne sont pas épargnées. Le clapot formé par le mauvais

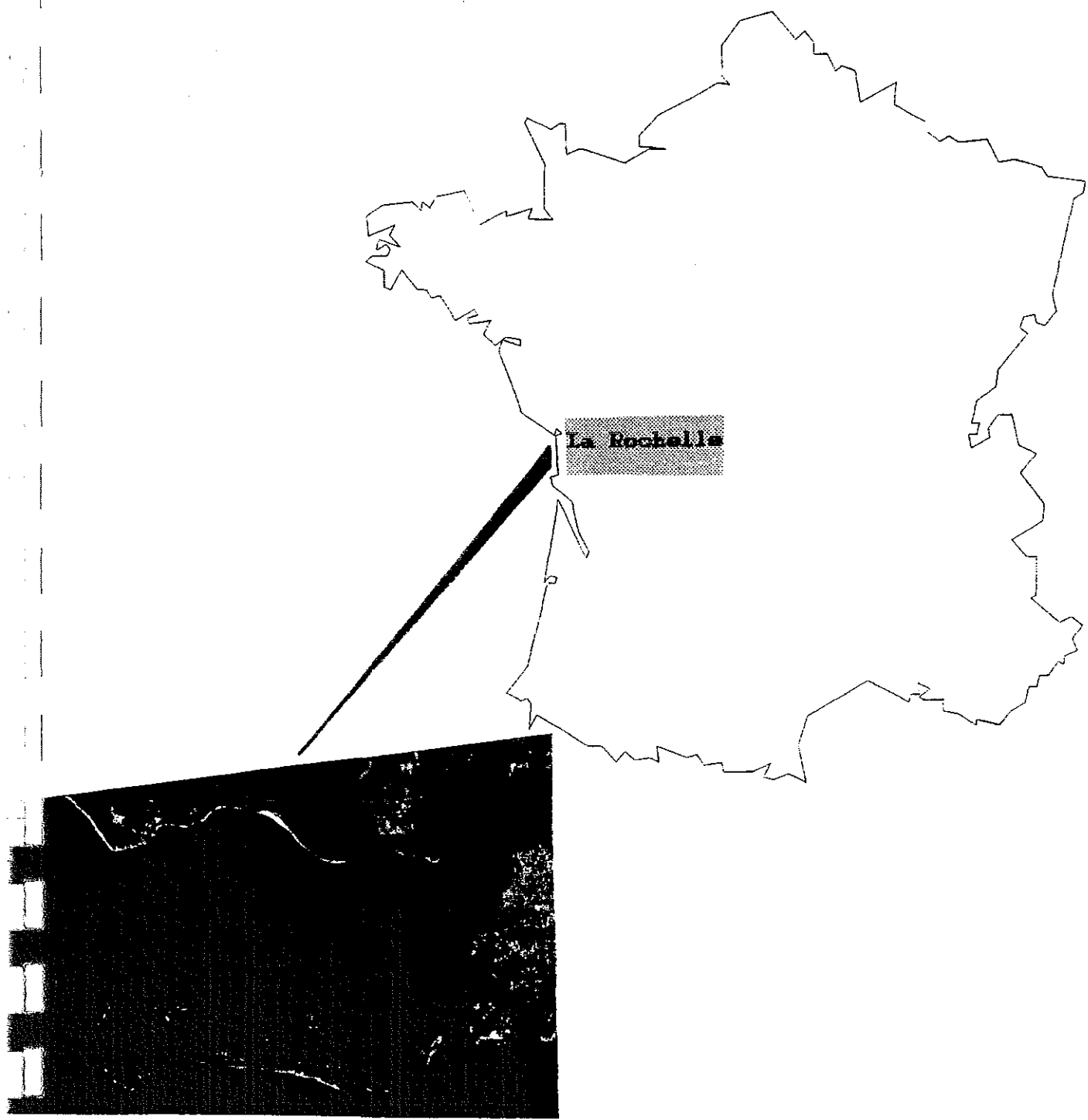
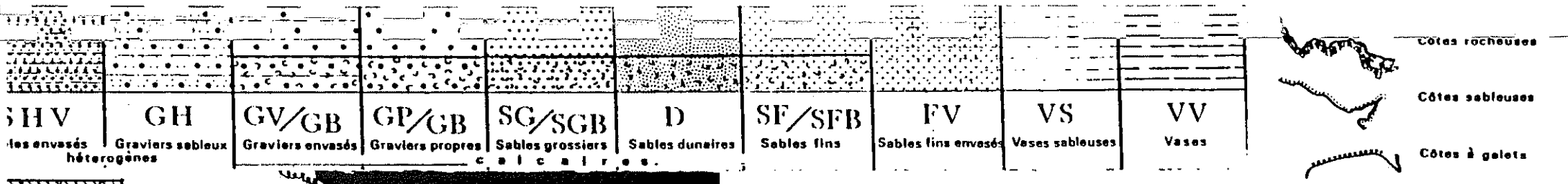


Figure 1 - Situation du Pertuis Breton



CARTE DE BIONOMIE DES FONDS MEUBLES DU PLATEAU CONTINENTAL

G. CHASSÉ, M. GLEMAREC, Ch. HILY

Réalisée au Laboratoire d'Océanographie Biologique U.B.O. avec l'aide du CNEOX

Feuille de **LA ROCHELLE**

1/100000<sup>e</sup>

D'après les campagnes "ARNORIQUE" de VI 75, VIII 75 et III 76, dirigées par C. HILY, avec intégration des travaux géomorphologiques de J.P. BARUSSEAU, D. DOREL et M. TESSON, des travaux de biologie de F. LAGARDÈRE (Université de Gironde).

Dessinée par C. QUIGER.

Figure 2 - Carte sédimentaire du Pertuis Breton.

temps n'est pas assez violent pour remettre en suspension une fraction importante du sédiment (Hilly 1976).

### **1 - 2 - 2 Les courants de marée**

Au flot, l'onde de marée rentre entre la pointe des Baleines et celle du Groin du Cou. Elle est freinée par les hauts fonds prolongeant la pointe de Loix qui la canalisent, entre la pointe d'Arçay et le banc de la Rocha, jusque dans la baie de l'Aiguillon. Les eaux de flot les plus profondes sont retenues dans la fosse de Chevarache. (Fig. 3)

Les masses d'eaux océaniques se mélangent alors avec les eaux continentales sortant de la Sèvre Niortaise et des chenaux de marais.

Au jusant, les courants de marée s'inversent et se séparent en deux masses d'eau au niveau du Jeu Breton. L'une se dirige vers l'ouest en empruntant le même chemin que le flot; L'autre part vers le sud où elle rejoint, par le Courreau de la Palice, les eaux du Pertuis d'Antioche qui longent le sud de l'île de Ré vers le large (Hilly 1976).

## **1 - 3 LES CULTURES DU PERTUIS BRETON**

### **1 - 3 - 1 L'huître *Crassostrea gigas***

Cette culture représente 8000 tonnes d'huîtres cultivées sur tables dans le Fiers d'Ars, au nord-ouest de l'île de Ré. Après 1 an, les huîtres sont décrochées des collecteurs (détrouage) et disposées dans des poches en plastique (1 \* 0.5 m), dont le vide de maille évolue avec la taille de l'huître. Ces poches sont déposées sur des tables métalliques (de 0.5m de haut et 4m de long) installées sur l'estran (Photo 1). Les poches sont régulièrement retournées pour empêcher les algues de proliférer. Elles sont dédoublées lorsque leur charge excède 15 kg. Une huître atteint la taille commercialisable (30g) en 4 ans. 80% des ventes se font entre Décembre et Janvier.

### **1 - 3 - 2 Les moules de bouchot : *Mytilus edulis***

Les bouchots sont constitués de rangées de pieux de pin ou de chêne, d'un diamètre de 12 à 25 cm, d'une longueur de 4 à 7m, qui sont enfoncés de moitié dans le sol sur une zone d'estran (Photo 2). Ils s'étendent de la Tranche/mer jusqu'à la pointe de l'Aiguillon et en partie dans l'anse de l'Aiguillon. Deux types de cultures se rencontrent dans le Pertuis Breton, selon que le naissain se fixe directement sur les pieux ou qu'il soit récolté ailleurs sur des cordes, puis transplanté sur les pieux. Les moules de bouchot atteignent la taille commercialisable (45mm) en 1 an et sont vendues de Mai à Septembre. La vente se fait essentiellement au port de Charron et secondairement dans le port de l'Aiguillon/mer.

### **1 - 3 - 3 Les filières à moules *Mytilus edulis***

L'élevage traditionnel occupe actuellement la totalité des sites exploitables dans le Pertuis Breton. A la demande des professionnels, un projet d'implantation de filières à moules a été étudié : durant 3 années (1988 - 1990), en collaboration avec les mytiliculteurs (AFREA), la région Loir-



Atlantique et Poitou-Charente, et IFREMER Brest. Les techniques de cultures et les matériaux ont été testés sur neuf filières expérimentales. Ce programme a permis de définir un nouveau type de filière mieux adaptée aux conditions du Pertuis Breton : La filière subflottante (Bompaix 1991).

Le principe consiste à maintenir la filière sous la surface de l'eau à l'aide de flotteurs élancés (type crayon) qui sont ajoutés au fur et à mesure de la pousse des moules (Fig. 4). L'immersion des aussières protègent les moules du mauvais temps. La forme élancée des bouées atténue le "coup-de-fouet" engendré par une forte houle et évite ainsi le dégrappage. Immergées entre -1m et -2m, les filières restent accessibles d'un bateau muni d'une grue hydraulique, à tout moment (Photo 3, 4).

Cette technique permet l'implantation de cultures dans des sites moins abrités donc moins convoités. Les Affaires Maritimes ont accordé une concession de 400ha entre la pointe d'Arçay et la pointe de Loix. Durant l'année 1991, 260 filières de 100m de long ont été installées en deux parcs de 10 séries de 13 filières (Fig. 3). Cette concession est accordée pour 5 ans; si au terme de ces 5 années aucun effet négatif sur les cultures préexistantes ne s'est fait ressentir, la surface de la concession sera doublée. Les boucholeurs et les ostréiculteurs redoutent la compétition des moules de filières, les pêcheurs voient leur zone de pêche se restreindre: une étude d'impact était nécessaire pour définir la capacité trophique du Pertuis Breton et déterminer les besoins de chaque culture.

L'élaboration d'un modèle prédictif du fonctionnement de l'écosystème trophique du Pertuis Breton, comprenant plusieurs compartiments tels que le phytoplancton, le zooplancton et les moules, doit pouvoir répondre à cette problématique.

## **2 HYDROBIOLOGIE**

### **2 - 1 STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE**

Une stratégie d'échantillonnage adaptée aux nécessités de la modélisation et répondant aux besoins biologiques, a été établie.

#### **2 - 1 - 1 Définition des stations**

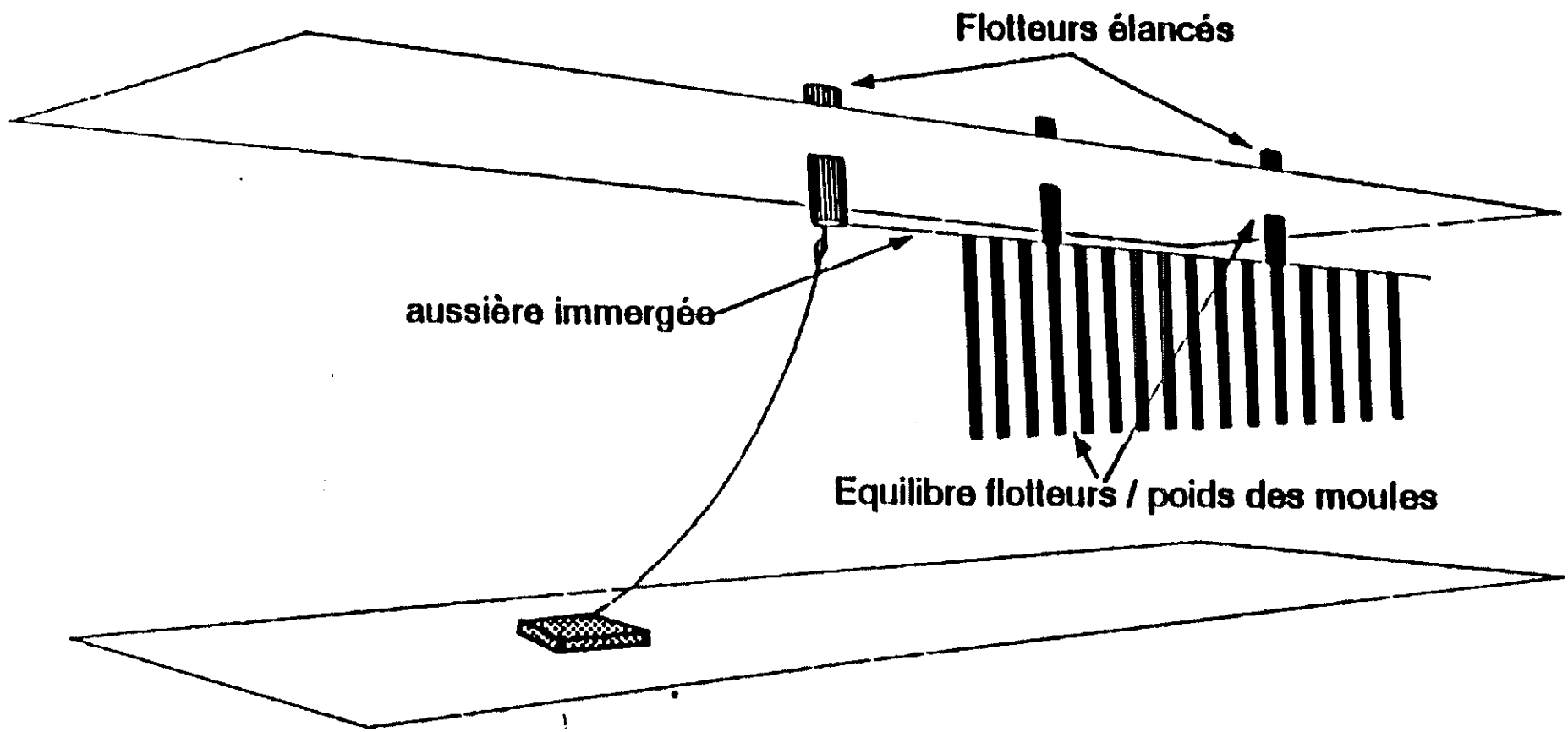
Trois stations A, B et C réparties dans le Pertuis Breton ont été choisies en fonction des particularités hydrologiques du site (cf. paragraphe 1-2) et une station "Limite" localisée en dehors du Pertuis Breton.

##### **-- Station A :**

Elle est située à 1.5 miles marin au nord du pont de l'île de Ré. Ce point a été choisi en raison de sa proximité avec le Pertuis d'Antioche pour étudier la sortie d'une partie des eaux du Pertuis Breton lors du jusant. Station peu profonde (5m), les prélèvements sont effectués à 1m sous la surface et 1m au dessus du fond (la hauteur d'eau variant en fonction du temps par rapport à la pleine mer et en fonction du coefficient de marée).

##### **-- Station A :**

Au sud de la pointe de l'Aiguillon, elle permet l'étude de l'influence des apports de la Sèvre-Niortaise sur l'écosystème. Station de faible profondeur (-4m), les prélèvements se font à -1m sous



**Figure 4:** Les trois idées qui caractérisent les filières "subflottantes".

la surface et +1m au-dessus du fond.

**-- Station C :**

Implantée à proximité immédiate des cultures sur filières, c'est à cet endroit que les qualités nutritionnelles de l'eau qui passe sur les filières à moules seront déterminées. D'une profondeur de 10m, les prélèvements se font à -1m sous la surface, à +1m au dessus du fond et au milieu de la colonne d'eau.

**-- Station Limite :**

Au nord-ouest de la pointe des Baleines, ce point permet d'étudier les échanges entre l'océan et le Pertuis Breton. Il représente les conditions limites du modèle. D'un profondeur de 30m, les prélèvements sont effectués à -1m sous la surface, -7m et -15m; la masse d'eau plus profonde restant coincée dans la fosse de Chevarache lors du flot n'intervient pas dans le modèle.

### **2 - 1 - 2 Fréquence d'échantillonnage**

Cette partie "terrain" a débuté le 4 juin 1991 et a pris fin le 15 août 1992. L'échantillonnage des différentes stations s'est fait à bord du chaland "Antares" basé à Rivedoux ( île de Ré).

Afin d'évaluer l'importance des variations de la colonne d'eau dues au phénomène de marée ( marnage = 6m pour des marées de forts coefficients), toutes les stations sont échantillonnées 5 fois par jour sur une période supérieure au cycle de marée (+- 14 h)..

Le premier échantillonnage s'effectue de nuit, les quatre autres de jour, afin de déterminer les variations nyctémérales.

**-- Station A, B et C :**

Ces trois stations sont échantillonnées le même jour. 2h30 sont nécessaires en moyenne pour aller de la station A à la station B, de la station B à la station C et retour à la station A.

En été, automne et hiver, les sorties aux stations A, B et C s'effectuent bimensuellement; une fois lors d'un fort coefficient de marée et l'autre fois lors d'un faible coefficient de marée. Au printemps, une sortie hebdomadaire permet de mieux cerner les blooms phytoplanctoniques et la période de reproduction des moules.

**-- Station Limite :**

Du fait de son éloignement au large, une journée entière est nécessaire à l'échantillonnage de cette station, le bateau restant à l'ancre entre deux prélèvements espacés de 2h30.

L'échantillonnage de la station limite se fait une fois par mois en été, en automne et en hiver, lors d'un faible ou d'un fort (en alternance) coefficient de marée. Au printemps, les sorties se font deux fois par mois.

### **2 - 2 PARAMETRES PRELEVES :**

A chacune des stations sont notés l'heure et la hauteur d'eau déterminée par le sonar du bateau. Les prélèvements d'eau se font avec une bouteille à renversement en PVC d'une contenance de 2.5l.

## **2 - 2 - 1 Température et salinité**

Mesurées à bord à l'aide d'une sonde électronique fréquemment vérifiée, la température est exprimée en degré centigrade et la salinité en g/l.

## **2 - 2 - 2 Seston minéral et organique**

Les échantillons sont gardés dans des bidons opaques rafraîchis par eau de mer. Au laboratoire, la matière particulaire est recueillie sur un filtre Whatman GF/C, d'une porosité de 1.2  $\mu\text{m}$  (préalablement calciné à 450°C) par filtration. Les échantillons sont rincés à l'eau distillée pour enlever le sel résiduel. Après séchage de 12h à 60°C, une première pesée est effectuée dès le retour à température ambiante dans un dessiccateur. Elle représente la matière particulaire totale en suspension + le poids du filtre. A la suite d'une calcination de 1h à 450°C (et retour à la température ambiante dans un dessiccateur), une seconde pesée donne le poids de la matière minérale + celui du filtre. Le poids de la "perte au feu", assimilée à la masse de matière organique particulaire, est obtenue par soustraction des deux précédentes pesées.

### **2 - 2 - 2 - 1 Erreur sur la matière organique particulaire**

La technique des pesées communément employée pour estimer les fractions organiques et minérales de la matière particulaire en suspension dans l'eau, induit une surestimation de la fraction organique (Dankers & Laane 1983). Après filtration sur filtre Whatman GF/C (préalablement cramé à 450°C), puis rincé de sorte à éliminer le sel, le filtre est mis à séché dans une étuve à 60°C pendant 24h. Il revient à température ambiante dans un dessiccateur pour éviter la réhumidification. Une première pesée, au  $\mu\text{g}$  près, donne le poids sestonique total. Le filtre est ensuite mis au four à 450°C pendant une heure, refroidit dans un dessiccateur et repesé une seconde fois. La différence de pesée, appelée "perte au feu" est généralement considérée comme une estimation de la matière organique particulaire. Or, à 450°C, non seulement la matière organique se transforme en  $\text{CO}_2$  et  $\text{H}_2\text{O}$ , mais l'eau de constitution des argiles s'évapore également. En effet, tous les minéraux argileux sont des phyllosilicates (Millot 1964), c'est à dire un silicate en feuille. L'eau se met entre les feuilles selon le degré de désordre qui lie les feuillets et permet aux feuillets de glisser les uns par rapport aux autres. La quantité d'eau de constitution des argiles dépend de la fraction argileuse du seston et de la nature de différents minéraux qui la composent.

Le chapitre 2 - 1 - 1 nous apprend que la matière minérale provient des vasières de la Baie de l'Aiguillon. Gouveau (1975) a étudié la nature de la matière minérale remise en suspension dans la Baie de l'Aiguillon : calcite (5%) et dolomie (5%) restent plus longtemps en suspension que le quartz et les feldspath-plagioclases. Les minéraux argileux (90%) ne montrent pas de sédimentation différentielle et restent en proportion voisine de celle du sédiment : 40% illite; 30% kaolinite; 30% montmorillonite. Ces trois minéraux sont les composants essentiels des argiles marines et estuariennes avec une prédominance de kaolinite pour les régions tropicale et une prédominance d'illite et montmorillonite pour les régions polaires et tempérées (Millot 1964). Les courbes thermopondérales représentent les taux de déshydratation des minéraux en fonction de la température. Celle de l'illite indique une perte de poids de 5%, et celle de la montmorillonite 16% entre 60°C et 450°C (Caillère et al. 1963). Celle de la kaolinite présente deux pertes de poids : l'une, à basse température, est d'importance variable suivant la finesse des feuillets et le degré d'altération. Nous admettrons que cette perte en eau se fasse avant 60°C. L'autre se manifeste à partir de 425°C, elle est constante et correspond à une perte de 13.7 % d'eau ramenée au produit séché à 250°C. C'est cette seconde perte que nous considérerons comme effective entre 60°C et 450°C. La quantité d'eau de constitution des argiles perdue entre 60 et 450°C

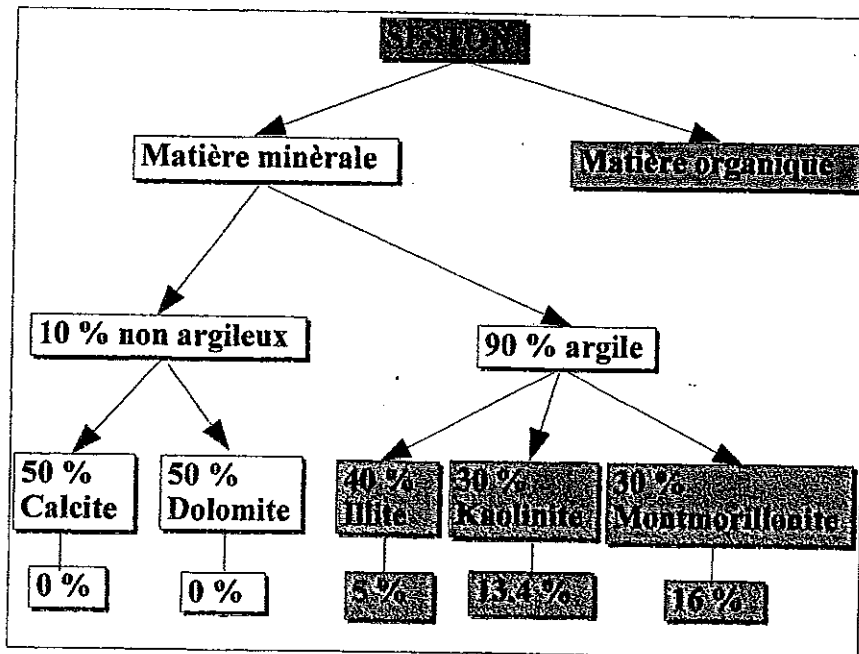


Tableau 1 : Données permettant le calcul de l'erreur commise sur la matière organique particulière par la méthode des pesées.

est calculée d'après les données récapitulées dans le tableau 1.

La matière minérale estimée par pesée représente, en fait, les minéraux déshydratés; il s'agit là d'une sous-estimation de la fraction minérale. Les quantités d'argiles pesées sont équivalentes à 95% de la fraction d'illite, 86.3% de la fraction en kaolinite et 84% de la fraction de montmorillonite. Les courbes thermopondérales expriment des pertes en eau en pourcentage de poids hydraté, il faut donc calculer le poids d'argile hydraté initial contenu dans la fraction sestonique.

Soit MIP, la matière minérale estimée par pesée.

Soient illiteH, kaoliniteH et montmoH les quantités hydratées de chacune des argiles.

$$\begin{aligned} \text{illiteH} &= \text{MIP} * 90/100 * 40/100 * 100/95 \\ \text{kaoliniteH} &= \text{MIP} * 90/100 * 30/100 * 100/86.3 \\ \text{montmoH} &= \text{MIP} * 90/100 * 30/100 * 100/84 \end{aligned}$$

La quantité d'eau E, perdue par la matière minérale entre 60 et 450°C est égale à la somme des pertes d'eau de chacun de ses constituants :

$$E = (5/100 * \text{illiteH}) + (13.7/100 * \text{kaoliniteH}) + (16/100 * \text{montmoH})$$

La contraction des précédentes équations permet d'obtenir le résultat suivant : **l'eau d'évaporation des argiles représente 10% du poids de matière minérale pesée.**

### 2 - 2 - 3 Chlorophylle et phéopigments

Après homogénéisation, 50cc d'échantillon sont prélevés à l'aide d'une seringue en propylène, et filtrés, à bord, sur filtre Whatman GF/C (porosité 1.2 µm). Chaque échantillon est tripliqué. Ces filtres sont gardés à l'abri de la lumière et à 4°C dans une glacière.

Au laboratoire, les filtres sont conservés à -18°C dans un congélateur. A la suite d'une extraction acétonique, la chlorophylle a et les phéopigments sont dosés sur un fluorimètre Turner A112 selon la méthode de Lorenzen 1966.

### 2 - 2 - 4 Sels nutritifs

Le filtrat des chlorophylles est récupéré dans un flacon en polypropylène étanche qui est placé à l'abri de la lumière et à 4°C dans une glacière. Au laboratoire ces échantillons sont conservés dans un congélateur à -18°C, puis dosés sur un analyseur automatique SKALAAR.

Phosphate : méthode de Murphy et Rilley 1962.

Silicate : méthode de Mullin et Rilley 1955.

Ammonium : méthode Koroleff 1969.

Nitrate : méthode Grasshoff 1964.

Nitrite : méthode Bendschneider et Robinson 1952.

Urée : méthode Strickland et Parson 1968.

Azote total : méthode Collos et Mornet 1993.

## 2 - 2 - 5 P - L - G particulières

**Glucides :** La détermination des glucides particulières est effectuée selon la méthode de Dubois et al. (1956), en utilisant le glucose comme standard.

**Protéines :** Les protéines sont mesurées selon la méthode de Lowry et al. (1951) en utilisant l'albumine de boeuf comme standard.

**Lipides :** Deux extractions successives sont opérées dans le chloroforme et l'analyse est effectuée après évaporation à 40°C du chloroforme selon la méthode de Marsh et Weinstein (1966), en employant le tripalmitin comme standard.

## 2 - 2 - 6 Le plancton

La récolte des éléments planctonique à l'aide d'un filet est un mode de prélèvement qui, depuis longtemps est reconnu comme imprécis; les principales sources d'erreur étant le colmatage et le refoulement devant le filet (Travers 1962, Bourdillon 1964, Kerekes 1966). C'est pourquoi cette méthode n'est pas utilisée ici.

Sur toutes les stations et à chacune des profondeurs, 250cc sont prélevés lors du premier (+- 4h) et du quatrième tour (+- 12h). Ces échantillons de plancton, aussitôt lugolés et formolés, sont conservés à l'abri de la lumière dans du papier aluminium. Au laboratoire, après homogénéisation du flacon, 10cc sont mis à décanter dans une "chambre de sédimentation" de type Uthermohl (1958). Un comptage spécifique du zooplancton et du phytoplancton se fait selon la technique de Steelman et Nielsen (1933); à l'aide d'un microscope inversé Olympus à contraste de phase.

## 3 METHODE D'ETUDE DE LA POPULATION MYTILUS EDULIS

### 3 - 1 PROTOCOLE EXPERIMENTAL

#### 3 - 1 - 1 Matériel expérimental

Ne pouvant employer le matériel lourd (barge et grue hydrauliques) des professionnels pour travailler directement sur les suspentes d'élevage et afin d'éviter la contamination de la population étudiée par des individus étrangers, nous avons adopté la technique "des paniers suspendus":

Les moules sont placées dans des paniers (40cm de diamètre sur 20cm de large) en plastique rigide (poche ostréicole), à marge large (1.2cm) pour éviter le colmatage. Le panier est protégé par une mane ostréicole en fer galvanisé (de dimension : 38.5 \* 49.5 \* 25 cm avec un maillage de 2.7 \* 3.5 cm) lestée par 2kg de fer et fermée par un grillage (Fig. 5).

Nous avons pu disposer de la moitié de la filière expérimentale IFREMER de type subflottante, qui avait fait l'objet d'étude depuis 3 ans dans le Pertuis Breton.

Les manes en fer sont solidement attachées en deux points autour de la aussière principale (par des bouts de même nature que la haussière pour des problèmes d'usure). Elles sont espacées de 2 m les unes des autres, et sont immergées entre -1.5m et -2m sous la surface. Toutes ces précautions sont nécessaires pour éviter la perte du matériel lors des tempêtes, certains de ces paniers devant rester à

poste pendant plus d'un an.

### 3 - 2 - 1 Les populations étudiées

L'étude porte sur deux populations de *mytilus edulis*. A titre expérimental, le suivi d'une population de moule de bouchot âgée d'un an est entrepris dès juillet 1991. En juillet 1991, les filières mises en place au cours de l'année, portent un naissain trop petit pour notre matériel expérimental (taille < maille des paniers). Mettre un maillage plus petit adapté au naissain, serait s'exposer à de gros problèmes de colmatage. Fin novembre 1991, le naissain avait atteint une taille suffisante pour être mis en panier.

#### -- Première cohorte.

Les moules de bouchot âgées de 1 an sont triées et calibrées. Elles ont une taille comprise entre 38 et 43 mm, le mode de la distribution de fréquence de taille de la population étant de 40.5 mm. Elles sont ensuite débarrassées de leur épibiontes et mises dans les paniers. Le 20 juillet 1991, 20 paniers de 200 moules sont installés sur la filière.

#### -- Seconde cohorte.

Il s'agit du naissain de moules récolté sur les filières au printemps 1991. Ces moules sont triées puis calibrées. Les moules entre 43 et 47 mm sont sélectionnées, le mode de la distribution de fréquence de taille mesurant 45mm. Le 16 décembre 1991, 15 paniers de 100 moules sont installés sur la filière expérimentale.

Ces deux cohortes homogènes permettent de suivre deux courbes de croissance différentes:

- de 0 à 1 an avec le naissain de filière
- de 1 à 2 an avec les moules de bouchot

Ce protocole expérimentale présente certaines particularités:

Compte-tenu de la grande taille des paniers, la compétition spatiale est minimisée. La protection de la mane empêche toute prédation. La profondeur et le lest des installations réduisent le stress et la casse dus "au coup de fouet". Ce système ne prend pas en compte la perte par dégrappage, puisque tous les individus ont une taille supérieure au vide de maille.

*Ce sont donc des conditions de croissance optimales qui ont été observées !*

Les paniers sont conservés entre 12 et 36h dans un grand réservoir d'eau de mer avant traitement. Un total de 1300 moules a été analysées.

### 3 - 2 ASSOCIATION ECOLOGIQUE

Un rapide comptage des survivants d'un panier permet d'évaluer le taux de mortalité.

Sur 50 individus, choisis au hasard, par panier, différentes associations écologiques sont notées individuellement :

- L'importance du recouvrement de la coquille par des épibiontes tels que les vers plats, les balannes, les bryozoaires, les crépidules, les petites huîtres...



- Le commensalisme interne par les pinnothères et les petits crabes.
- Le parasitisme interne par *Mytilicola intestinalis*.
- Les déformations de la coquille ou autres malformations ( tache, trou...)
- Le sexe déterminé par observation au microscope d'un frottis de gonade en maturation.

### 3 - 3 BIOMETRIE

Après avoir noté la présence des épibiontes possibles, les 50 moules sont nettoyées puis remises dans un bac d'eau de mer.

La longueur maximale est mesurée au pied à coulisse avec une précision de 0.1 mm. Les animaux sont pesés afin d'obtenir le poids total (coquille + chair fraîche + eau intervalvaire).

Les moules sont ensuite ouvertes à l'aide d'un scalpel et la chair, détachée, est déposée sur un papier filtre pour se débarrasser de l'eau excédentaire. La chair est pesée puis congelée.

Les coquilles sont rincées à l'eau douce avant séchage à 60°C pendant 1h. Les coquilles sont pesées individuellement, puis elles sont cramées à 450°C pendant 24h. Elles sont repesées, une fois revenues à température ambiante. La fraction organique de la coquille est obtenue par déduction.

La chair lyophilisée alors pesée avec une précision de 0.01 mg. Les tissus lyophilisés des 25 premières moules sont broyés individuellement en une fine poudre homogène et stockés au congélateur à l'abri de la lumière dans des sacs plastics celés.

### 3 - 4 BIOCHIMIE

Un total de 650 échantillons a été préparé pour les analyses biochimiques. Juste avant analyse, une fraction des tissus lyophilisés est pesée.

Les protéines sont extraites par la soude 1N pendant une nuit à température ambiante. Les glucides sont extraits au TCA (Acide trichloracétique) pendant 1h à 4°C. A la suite de l'extraction au TCA, le glycogène est précipité par de l'alcool absolue puis repris dans de l'eau distillée bouillante. Les lipides sont extraits selon la méthode de Bligh et Dyer (1959). Les méthodes utilisées pour les dosages sont les mêmes que celles décrites pour l'analyse des composants sestoniques. Les valeurs des composants biochimiques sont exprimés en pourcentage du poids sec (composition / pdsec \* 100).

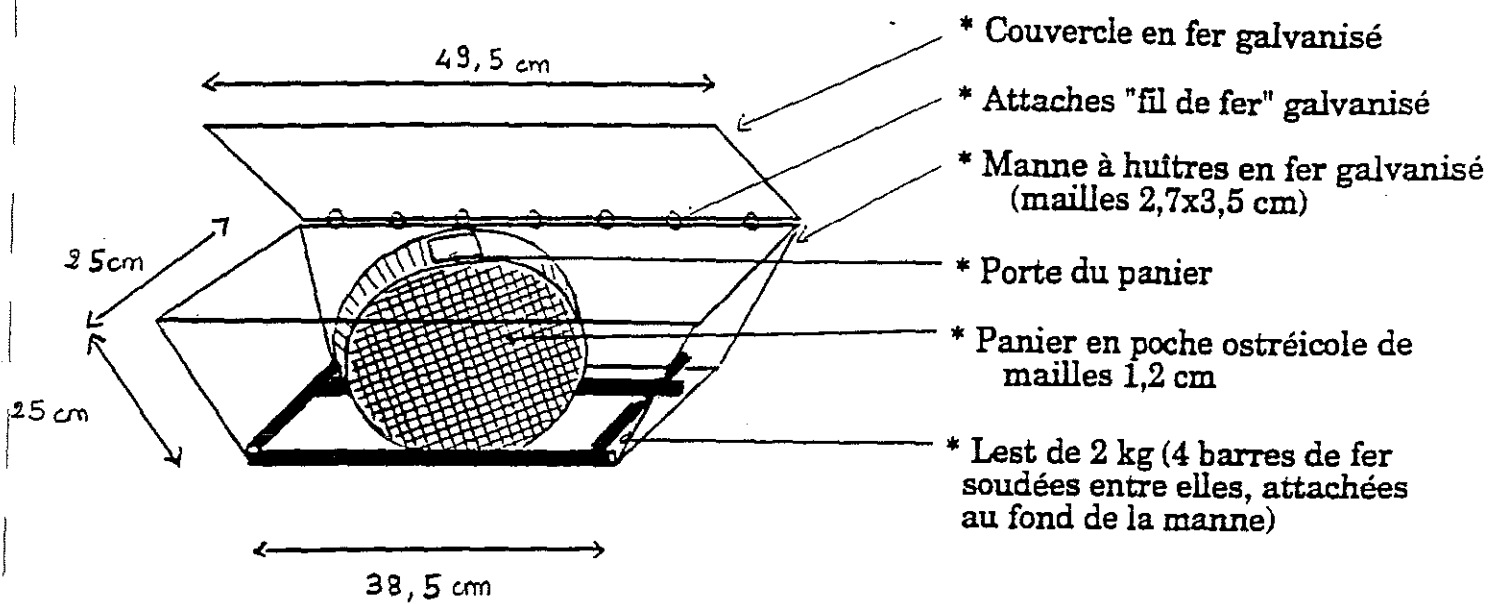
### 3 - 5 ESTIMATION DE STOCK.

La stratégie d'échantillonnage des filières à moules du Pertuis Breton nécessitant les compétences de plusieurs plongeurs, ce travail est sous-traité par la société CREOCEAN.

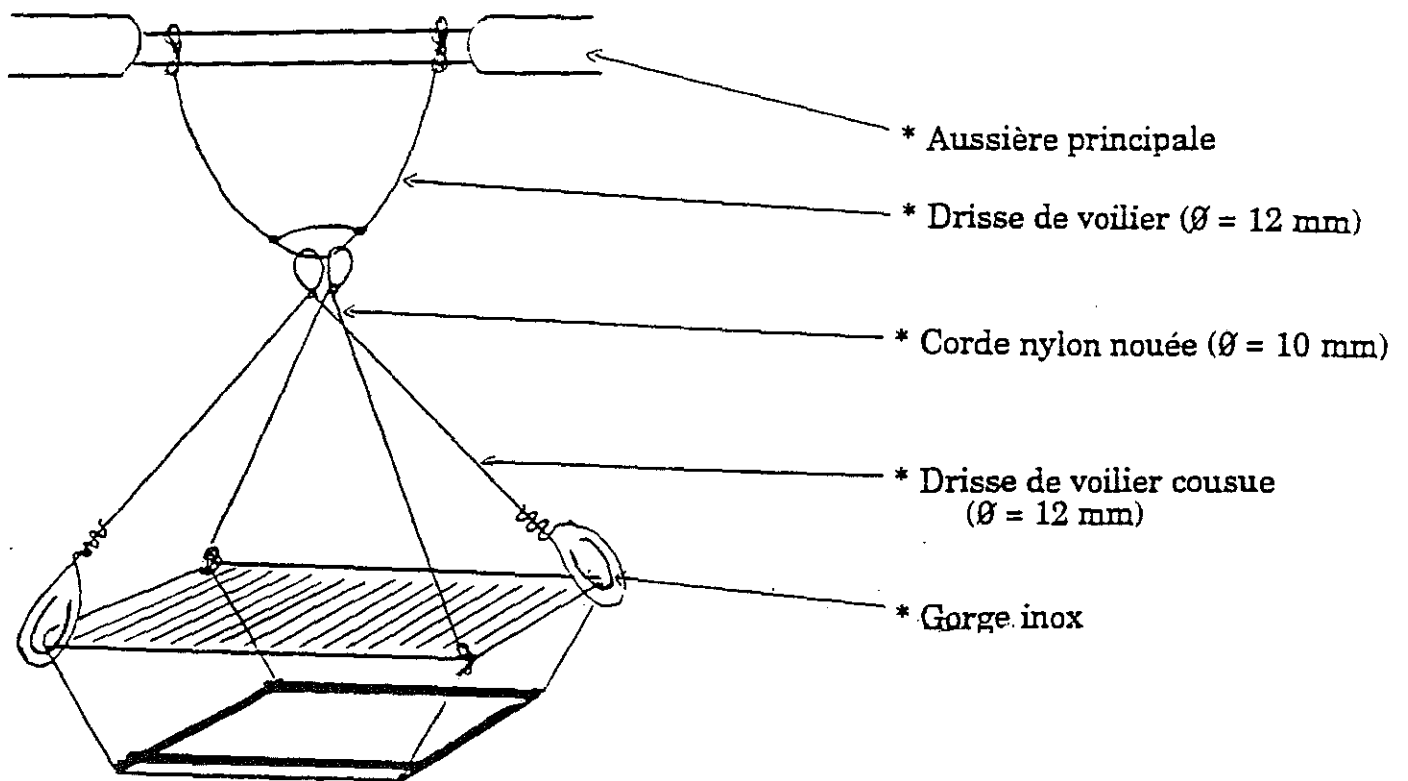
Le captage du naissain s'effectue de mai à juillet sur les filières. Pendant ces deux derniers mois, une partie du naissain est soit transférée sur les bouchots du pertuis, soit revendue dans d'autres régions. Tout au long de la croissance des moules, les paquets de moules qui ont eu une croissance plus rapide sont dégrappés et vendus. Au mois d'avril, toutes les moules sont vendues de manière à libérer la place pour le captage. Ainsi donc le stock varie tout le temps.

Le stock sera évalué à trois dates différentes:

- fin mai : pour avoir une estimation optimale du nombre de naissain capté, avant les premiers



**Figure 5** - Détail des installations d'élevage sur filière.



Technique d'attache du panier d'élevage sur l'aussière principale de la filière.

transferts.

- **septembre et janvier** : afin d'estimer le nombre de moules restantes et la masse produite à ces dates là.

Sur 40 suspentes prises au hasard (parmi les 260 \* 100), la hauteur de moule et les trois circonférences en haut, au milieu et en bas sont mesurées.

Sur 10 suspentes prises au hasard, la hauteur de moules est également mesurée. Au sommet du manchon de moule, la circonférence est mesurée puis toutes les moules sur une hauteur de 10 cm sont prélevées. Cette opération est répétée au milieu et en bas de la suspenste.

Ces trois campagnes permettent une estimation de la variabilité du stock de moules sur filières au cours de l'année 1993-1994.

## **4 COMPETITEURS**

Afin de déterminer le rôle des moules sur filières dans l'écosystème du Pertuis Breton, il est nécessaire de définir, d'une part la capacité trophique du bassin et d'autre part, l'importance des différentes populations de filtreurs qui y vivent. Les moules de filières ont fait l'objet, ici, d'une étude plus particulière, cependant il ne faut pas négliger les autres consommateurs de plancton tels que les moules sur bouchot, les huîtres et les populations naturelles de filtreurs. Les estimations de stock de ces filtreurs sont effectuées par différents organismes suivant des méthodes adaptées à chaque culture.

### **4 - 1 LES MOULES DE BOUCHOT**

Les cultures de moules de bouchot font l'objet d'un suivi attentif par madame Dardignac M.J. depuis de nombreuses années. L'estimation du stock de moules sur bouchot s'est faite entre avril et juin 1992, époque optimale de croissance, suivant un plan d'échantillonnage décrit dans Dardignac - Corbeil M.J. (1990). Le résultat de ce travail fait l'objet d'un rapport Ifremer (Dardignac-Corbeil 1993).

### **4 - 2 LES HUITRES *CRASSOSTREA GIGAS***

Cultivées sur tables dans le Fiers d'Ars (nord-ouest de l'île de Ré), le stock d'huîtres est évalué par la section régionale chaque année. Un recoupement d'information est fait grâce aux photos aériennes.

### **4 - 3 LES COMPETITEURS DE GISEMENTS NATURELS**

L'estimation des stocks de compétiteurs non cultivés dans le Pertuis Breton est extrapolée des travaux de SAURIAU (1992) sur la bassin de Marennes-Oléron.

## **5 DONNEES CONTINENTALES**

### **5 - 1 METEOROLOGIE**

Les données trihoraires de température de l'air, et de rayonnement solaire ainsi que les données quotidiennes d'insolation, de régime des vents et des précipitations sur la durée de l'étude sont fournies par METEO FRANCE.

## **5 - 2 BASSINS VERSANTS**

### **a ) Les rivières.**

Seul le débit du Lay est enregistré quotidiennement par l'Agence de l'Eau Loire Bretagne. Les débits de la Sèvre Niortaise et du canal du curé n'étant pas disponibles, ils sont extrapolés à partir de celui du Lay et des surfaces respectives des bassins versants, considérant la nature des terrains et les conditions climatiques comme sensiblement les mêmes sur ce territoire.

Les analyses de qualité de l'eau sont effectuées mensuellement par l'Agence de l'Eau Loire Bretagne sur la Lay et la Sèvre Niortaise. Ces relevés présentent des concentrations en ammonium, nitrites nitrates, ions orthophosphates et chlorophylle a.

### **b ) Les terres.**

La superficie des différents types de cultures pratiquées sur le bassin versant du Pertuis Breton sont données par les recensements agricoles communales effectués par la Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt de Vendée en 1970, 1979 et 1988.

Les quantités d'engrais et les périodes d'épandage selon les types de cultures et la nature des sols ont été communiqués par les ingénieurs INRA de la station de St Laurent de la Prée.

## **III HYDROBIOLOGIE**

Les études hydrologiques sur le bassin sont peu nombreuses, seuls Leconnoux (1952) et Callame (1961) ont fait des études ponctuelles sur les zones d'estrans. Ces travaux ont été synthétisés dans Hilly (1976). Plus récemment, Soulard (1988) a étudié les caractéristiques hydrologiques du bassin, mais seulement en période estivale après les blooms printaniers et lors de faibles coefficients de marée.

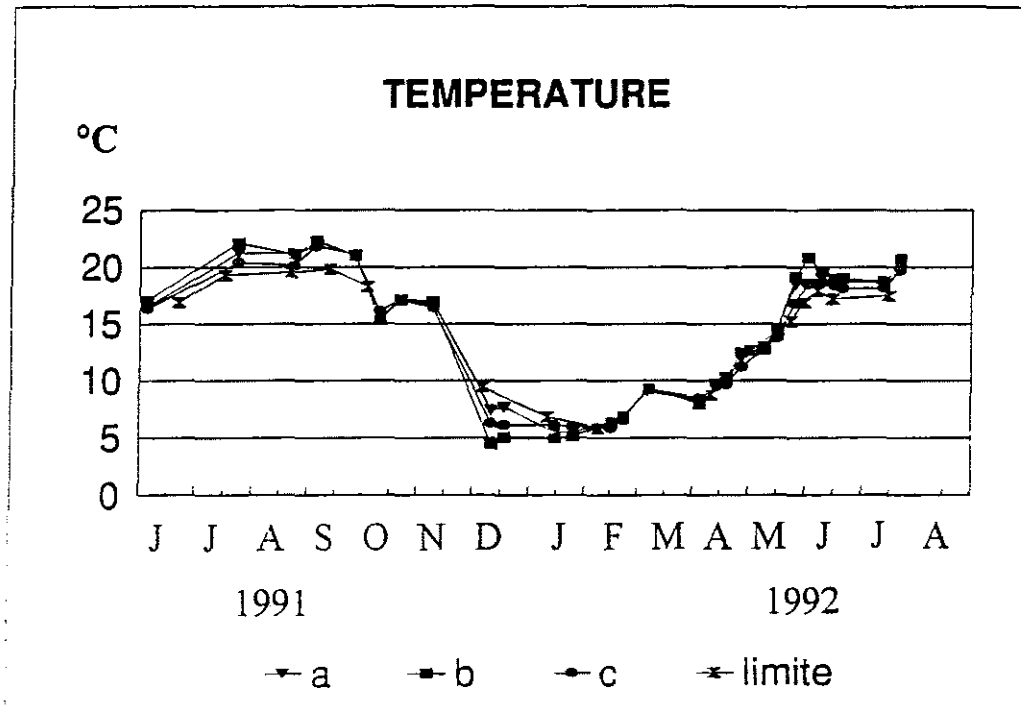
La présente étude met en lumière les cycles saisonniers des sels nutritifs et de la biomasse phytoplanctonique, et les relations qui relient ces différents paramètres entre eux sont abordées.

## **1 PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES**

### **1 - 1 TEMPERATURE :**

#### **1 - 1 - 1 Caractères généraux.**

La température de l'eau reflète l'influence du climat et plus particulièrement de l'ensoleillement, de la température de l'air et du régime des vents. Au niveau des quatre stations étudiées, la température de l'eau évolue de manière simultanée au cours de l'année (Fig 6), elle présente un cycle saisonnier bien marqué. Après un été particulièrement chaud (22°C), la température subit une première chute de 5°C



*Fig 6 : Température annuelle dans toutes les stations échantillonnées*

fin septembre, puis une seconde chute plus forte de 10°C au mois de novembre. Pendant les trois mois de l'hiver 91, la température reste entre 4°C et 7°C, puis un réchauffement simultané des 4 stations, portant la température à 9.5°C, consécutif à un important rayonnement au mois de mars (45 Kjoules / cm<sup>2</sup>) (Annexe 1), suivit d'un refroidissement rapide. Enfin, peu à peu, les eaux se réchauffent durant le printemps jusqu'à atteindre un plateau estival de 18°C en moyenne.

La station B (embouchure de la Sèvre Niortaise) connaît les variations de température de plus grande amplitude (22.5°C en juillet 91 - 4°C en décembre 91). Sa faible profondeur (4m), la sensibilise davantage aux variations thermiques de l'air.

La station Limite, située au large des Baleines, subit des faibles variations de température, l'importance de la masse d'eau et son contact direct avec les eaux océaniques lui confère une résistance thermique plus importante (maximum 20°C - minimum 6°C).

### **1 - 1 - 2 Stations de faible profondeur : A et B.**

Ces stations, dont la profondeur est inférieure à 5m, présente une bonne homogénéité thermique sur toute la colonne d'eau (Fig 7). Aucune stratification ne peut être observée, en raison du brassage par les courants de marée (amplitude de marée = 4m). Seul un léger réchauffement des eaux de surface est perçu en été.

### **1 - 1 - 3 Stations profondes : C et L (limite)**

En hiver les masses d'eau sont parfaitement homogènes (Fig 8). Lors du brusque réchauffement de mars, la colonne d'eau montre un gradient thermique de 2°C, mettant ainsi en évidence qu'il s'agit là d'un réchauffement de surface, provoqué par le rayonnement solaire, qui se transmet lentement aux eaux plus profondes par conduction. Dès que l'air s'est refroidi, les eaux de surface se sont aussitôt refroidies.

En été, une légère stratification peut être observée. Juillet 1992, la station du large montre un gradient thermique de 2.5°C entre les eaux de surface et les eaux de -15m (profondeur maximum = 30m). Les eaux de surface participent aux mouvements d'eau dus à la marée en rentrant dans le Pertuis Breton sur de faibles fonds surchauffés, tandis que les eaux de fond restent bloquées dans le fossé de Chévarache lors du courant de flot (Hilly 1976). Ce phénomène, également remarqué par Soulard (1988) au cours de son étude estivale du Pertuis Breton, lui fait envisager l'hypothèse d'une eutrophisation possible du bassin. Cependant il faut rappeler que dans la présente étude c'est un phénomène ponctuel, et que les prélèvements effectués par Soulard ne se faisaient que par petit coefficient de marée, ce qui masque complètement l'effet "mélange des eaux" dû à la marée.

## **1 - 2 LA SALINITE**

### **1 - 2 - 1 Caractères généraux**

Les variations de salinité proviennent de l'apport en eau douce dans le Pertuis Breton par les rivières de la Sèvre Niortaise et du Lay et des nombreux chenaux qui drainent les marais avoisinants. L'importance de ces variations dépend des précipitations qui alimentent un bassin versant de 6100 Km<sup>2</sup> (Annexe 2).

La salinité, enregistrée à la station limite, reste constante tout au long de l'année (34.5‰) (Fig

9).

En été, toutes les stations sont homogènes, salinité moyenne de 35‰, car le faible étiage estivale ne permet pas l'ouverture des écluses qui gèrent l'arrivée des eaux douces dans le bassin.

Dés l'automne, les importantes précipitations forment un apport d'eaux douces qui arrive essentiellement dans la baie de l'Aiguillon. Un gradient de dessalure est observé depuis la station B (la moins salée), vers les stations A et C, où les masses d'eaux douces et salées commencent à se mélanger, jusqu'à la station L.

### **1 - 2 - 2 Stations de faible profondeur : A et B**

Lors des faibles précipitations (Annexe 3), aucune stratification n'est observée dans les stations de faible profondeur (Fig. 10). En hiver, un net gradient de dessalure apparaît à la station B. Les eaux douces, amenées par la Sèvre Niortaise, ne se mélangent pas aux eaux sous-jacentes plus salées. Près du pont de l'île de Ré, les eaux sont bien mélangées, sauf lors d'apports très importants comme en février-mars, où une différence de salinité de 0.5‰ peut être notée entre la surface et le fond.

### **1 - 2 - 3 Stations profondes C et L**

Homogènes en été, les deux stations ont des comportements très différents lors des fortes précipitations hivernales (Fig. 11). Un gradient de 1‰ est observé entre les eaux de surfaces et celles du fond à la station C, tandis qu'à la station L, la salinité reste constante sur toute la colonne d'eau.

## **\* CONCLUSIONS SUR LA TEMPERATURE ET LA SALINITE**

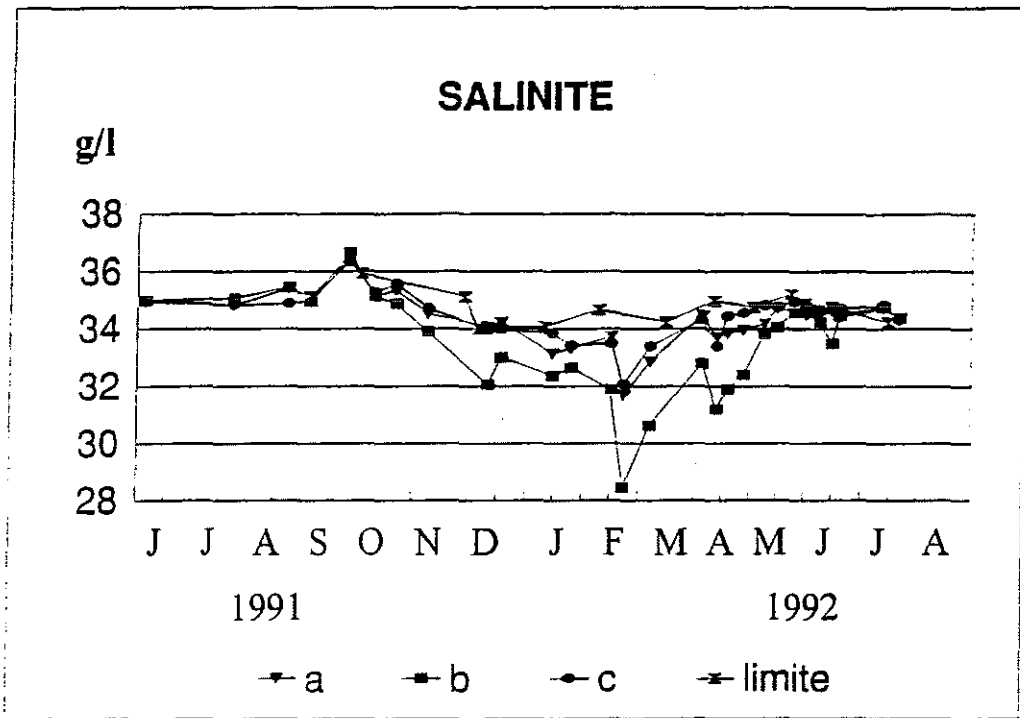
La température est un mauvais marqueur des masses d'eau dans le Pertuis Breton, car les eaux des stations peu profondes, se réchauffent plus par rayonnement solaire que par conduction thermique.

La salinité, bon marqueur, permet de vérifier qu'une grande partie des eaux de la baie de l'Aiguillon, repartent au jusant en passant par la station C, au dessus de la fosse de Chévarache, et qu'une faible partie de ces eaux s'en va par le Courreau de la Palice, en étant rapidement brassée par les courants.

La station L, ne subissant aucune influence du bassin, peut être considérée comme représentative des masses d'eaux océaniques.

L'étude des cartes périodiques de Lecatonnoux (1951), sur la salinité et la température du Pertuis Breton, montre que les côtes nord de l'île de Ré et le littoral vendéen subissent un régime océanique tout au long de l'année. Cela implique que le courant de jusant, entraînant les eaux de la Baie de l'Aiguillon, passe au dessus de la fosse de Chévarache sans influencer les bords du Pertuis Breton. Cela peut s'expliquer par les phénomènes de contre courant, bien connus en rivière.

## **1 - 3 SELS NUTRITIFS**



*Fig 9 : Salinité dans toutes les stations échantillonnées*



### 1 - 3 - 1 Les sels nutritifs du Pertuis Breton.

Le phytoplancton constitue une part essentielle dans l'alimentation des mollusques filtreurs, il est donc important d'étudier les facteurs nécessaires à son développement. Le phytoplancton est formé d'organismes autotrophes : qui pratiquent la photosynthèse.

La photosynthèse peut se résumer en équation :



Grâce à l'énergie solaire, le phytoplancton "transforme" le gaz carbonique et l'eau en matière organique (les tissus de l'algue) avec un dégagement d'oxygène.

Le gaz carbonique dissout dans l'eau de mer provient du  $\text{CO}_2$  de l'air qui a un pourcentage remarquablement constant :  $0.03\% \pm 0.003$ . Bien que la pression partielle du  $\text{CO}_2$  dans l'eau de mer soit fonction du Ph, de la salinité et de la température, les phénomènes d'équilibre mer-atmosphère jouent de telle sorte, que, bien que la quantité de  $\text{CO}_2$  libre dans l'eau de mer soit faible, le phytoplancton peut disposer du  $\text{CO}_2$  qui lui est nécessaire (Harvey 1955).

L'eau ne pose évidemment aucun problème de pénurie dans le milieu marin. En revanche l'énergie lumineuse qui parvient aux organismes autotrophes peut être insuffisante dans certains cas.

Très tôt, Redfield (1934) et Fleming (1940) ont démontré que l'assimilation de carbone C nécessitait l'incorporation d'azote N et de phosphore P ( $\text{C/N/P} = 108/15/1$ ). Ces rapports ont été vérifiés aux cours des années et récemment par Fiala et al. (1976) : ( $\text{C/N/P} = 106/12.5/1$ ). Des expériences *in vitro* ont montré qu'un élément présent en quantité apparemment suffisante n'est pas nécessairement disponible, il faut distinguer les formes assimilables de celles qui ne le sont pas, notamment pour le phosphore et l'azote (Fitzgerald 1970).

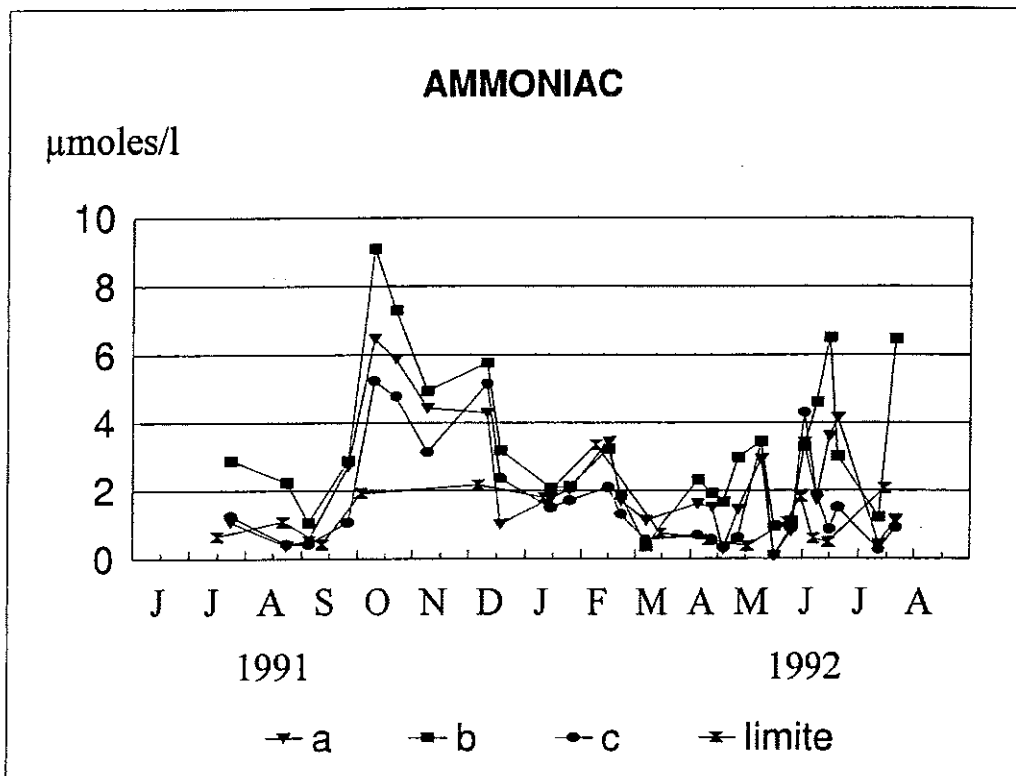
#### 1 - 3 - 1 - 1 Les composés azotés

L'azote dans l'eau de mer se présente sous différentes formes; minérales : ammoniac, nitrite et nitrate; organique : azote organique dissout et urée. Ces formes azotées ont été dosées séparément et présentent toutes un cycle saisonnier bien marqué.

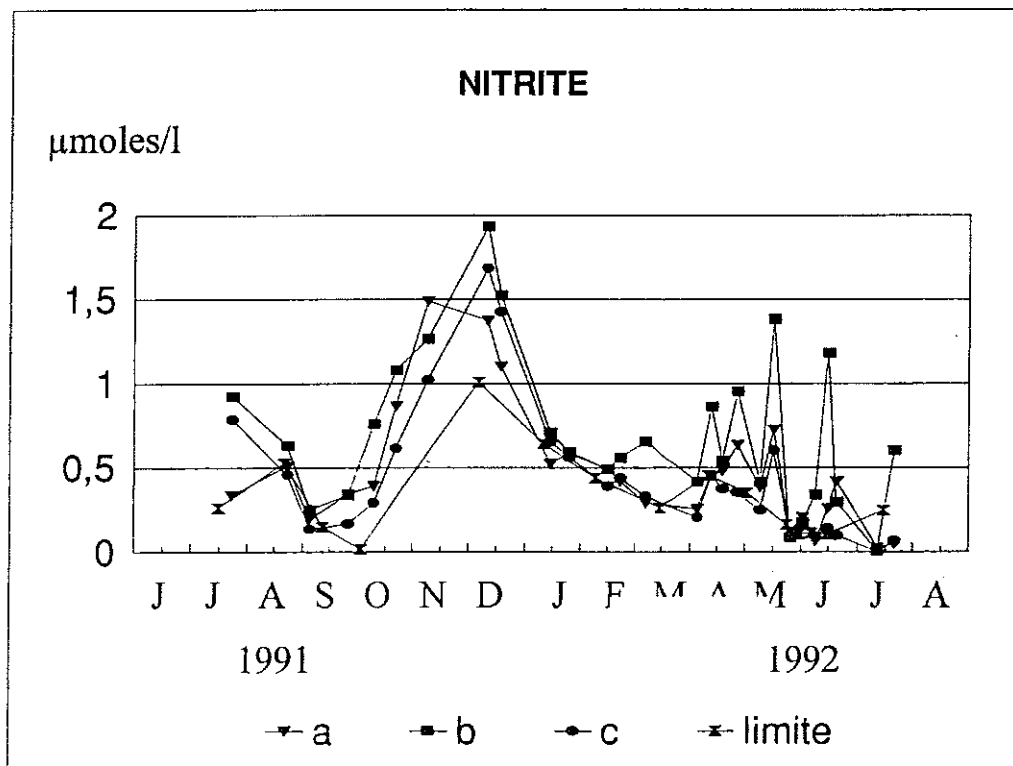
L'azote minérale dissout se présente sous trois formes : ammonium  $\text{NH}_4^+$ , nitrite  $\text{NO}_2^-$  et les nitrates  $\text{NO}_3^-$ . Les nitrates du Pertuis Breton sont 10 fois plus importants que les ions ammonium et 50 fois plus important que les nitrites, ces ordres de grandeurs sont confirmés par Bougis (1974). Les déterminations analytiques du phytoplancton donnent de 10 à 20 atomes d'azote pour 100 atomes de carbone (Kain et Fogg 1960). Le phytoplancton doit donc trouver une source d'azote, faute de quoi sa croissance sera limitée. L'étude des différentes sources d'azote dans le Pertuis Breton constituera le premier paragraphe de ce chapitre.

##### a) Ammonium :

En été, les valeurs en ammonium sont très basses ( $< 3 \mu\text{moles/l}$ ) (Fig 12). A la fin du mois de septembre, elles atteignent leurs maxima :  $9 \mu\text{moles/l}$  à la station B et  $6.5 \mu\text{moles}$  à la station A, pour



*Fig 12 : Concentrations annuelles de NH<sub>4</sub> dans toutes les stations*



*Fig 13 : Concentrations annuelles de NO<sub>2</sub> dans toutes les stations*

Les nitrates sont absents du bassin jusqu'en octobre (Fig 14). En novembre les teneurs évoluent vers un maximum atteint début janvier (70  $\mu\text{moles/l}$ ) qui diminuent ensuite régulièrement jusqu'en mars. Les mois d'avril et mai montrent quelques oscillations (10 à 40  $\mu\text{moles/l}$ ) et dès le mois de juin tous les nitrates sont épuisés.

Les nitrates proviennent, pour une très large part, d'apports telluriques. En effet les fortes concentrations en nitrates rencontrées dans la bassin font suite aux périodes d'épandage des engrais azotés, préconisées par l'INRA (Annexe 7) et aux importantes quantités d'azote apportées par les cours (Annexe 8). Héral et al (1981) en arrivent aux mêmes conclusions concernant les éléments azotés du bassin de Marennes-Oléron. Cependant une faible part de ces nitrates peut provenir de la transformation de l'ammoniac en nitrites puis en nitrates par les bactéries nitrifiantes. Ce phénomène expliquerait la "disparitions" des de  $\text{NH}_4$  et  $\text{NO}_3$  alors qu'il n'y a pas de poussée phytoplanctonique pour les consommer. L'évolution temporelle des différents stocks concorde avec cette hypothèse :

<b>ammonium</b>	<b>pic en</b>	<b>octobre - novembre</b>
<b>nitrite</b>	<b>pic en</b>	<b>novembre - décembre</b>
<b>nitrate</b>	<b>pic en</b>	<b>décembre - janvier</b>

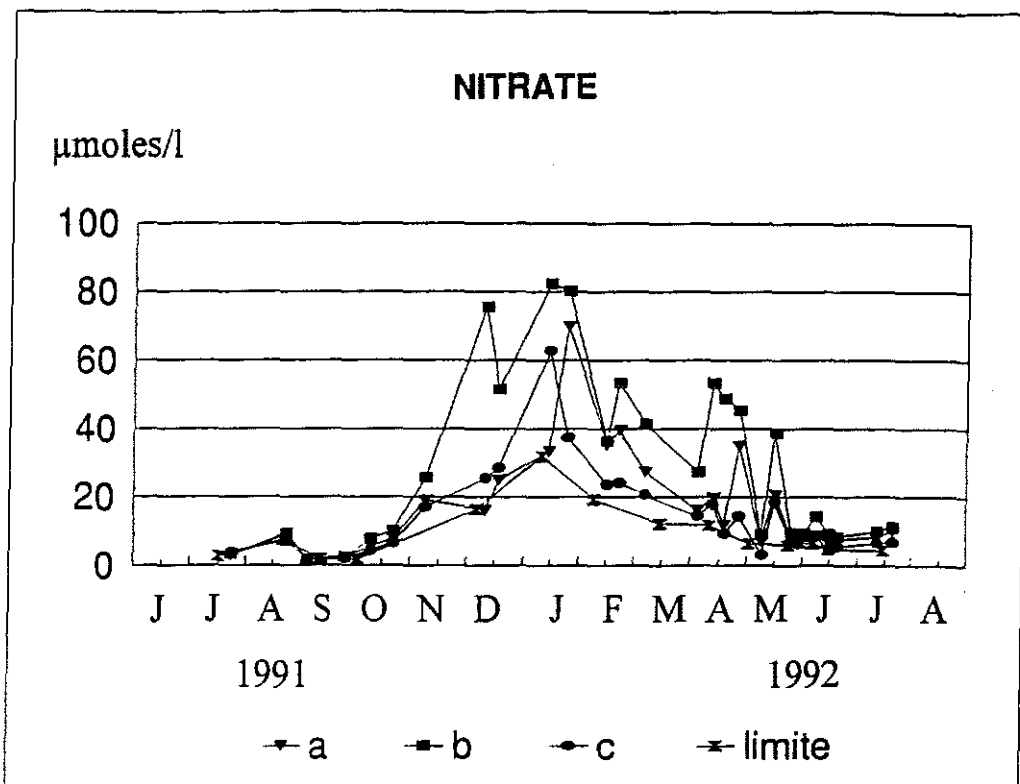
Héral et al (19981) montrent que les nitrates de Marennes-Oléron ne peuvent pas avoir une origine autochtone régénérée, vu le faible temps de transit des masses d'eau dans le bassin qui est estimé à 11 jours (Bacher 1992). Ceci tendrait à prouver que le temps de résidence dans le Pertuis Breton est considérablement plus long (à vérifier avec le modèle hydrodynamique).

La forte baisse printanière du stock de nitrate est due à une action combinée de la diminution des apports, et de sa consommation par les microphytes, en effet, un bloom phytoplanctonique apparaît en février 1992 (Fig 24).

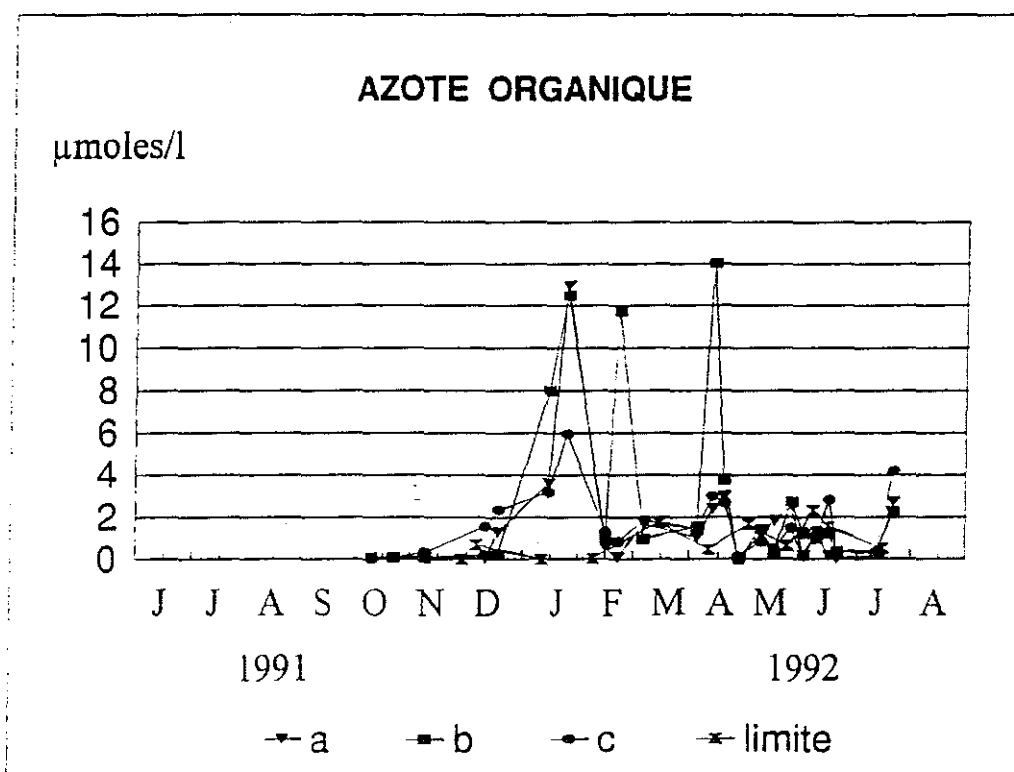
#### **d ) Azote organique dissout:**

L'azote organique dissout est formé essentiellement par des acides aminés, des acides nucléiques, des polypeptides et des protéines. Bien qu'il n'ait été dosé qu'à partir du mois d'octobre 1991, l'azote organique dissout présente un cycle bien marqué (Fig 15) correspondant à celui des nitrates. Les valeurs maximales sont observées simultanément dans toutes les stations du bassin et atteignent 12  $\mu\text{moles/l}$  dans les stations A et B et 6  $\mu\text{moles/l}$  au niveau de la station C. La station du large ne présente pas de cycle particulier et les valeurs sont toujours inférieures à 2  $\mu\text{moles/l}$ . Les analyses d'eau douce ne mesurent pas ce paramètre, cependant si comme dans Riley (1937), les cours d'eau étaient d'importants vecteurs d'apports de matière organiques azotés, les fortes valeurs signalées dans le bassin devraient être corrélées avec les fortes précipitations, hors c'est l'inverse qui se produit.

D'autre part le pic d'azote organique dissout observé au printemps ( 25  $\mu\text{moles/l}$ ) dans le bassin de Marennes-Oléron par Héral et al (1981), n'apparaît pas du tout dans le Pertuis Breton. Pourtant l'excrétion azoté des moules est loin d'être négligeable lors du réchauffement printanier (Bayne et Scullard 1977). Pour Bayne (1976), les acides aminés peuvent être rejetés de manière significative par les mollusques dans certaines circonstances. Le pic relevé dans le Pertuis Breton apparaît au mois de janvier, lorsque les températures sont les plus basses il ne peut donc s'agir d'un excrétions de la part des moules. Le faible ensoleillement ne permettant pas le développement phytoplanctonique, l'azote organique dissout ne peut provenir d'un excrétion *in vivo* ou *post-mortem* du phytoplancton ou du zooplancton. Ce pic pourrait correspondre à des bactéries de petite taille (< 1.2  $\mu\text{m}$ ) qui passeraient à travers les filtres wathman GF/C employés pour retenir la fraction particulaire; ou plus probablement



*Fig 14 : Concentrations annuelles de NO<sub>3</sub> dans toutes les stations*



*Fig 15 : Concentrations annuelles de N organique dissout dans toutes les stations*

de la dégénérescence des bactéries nitrifiantes qui après avoir transformé tout l'ammonium en nitrate au mois de janvier, se retrouvent à cours "d'aliment".

Dés février, les teneurs en azote organique dissout diminuent simultanément avec l'apparition du bloom phytoplanctonique printanier (Fig. 24). Berbland et al (1974) ont montré que sur 28 espèces d'algues testées, plus de la moitié des substrats organiques étudiés sont consommés par 50% des algues.

#### e) Urée:

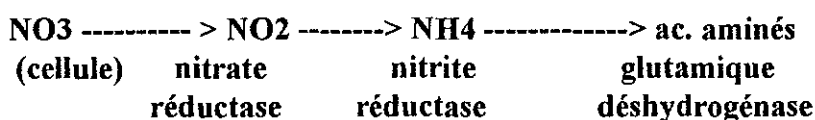
Le zooplancton émet de l'urée et surtout des acides aminés, les poissons excrètent l'azote sous forme d'urée, créatine et d'acides aminés. Letellier (1887, 1891) démontrent que les bivalves n'excrètent pas d'acide urique contrairement aux gastéropodes. De récentes études sur l'excrétion des mollusques (Héral com. pers.) montrent que la moule peut excréter jusqu'à 2  $\mu$ moles d'urée par heure et par gramme de poids sec au mois de mai. Deux pics d'urée apparaissent (Fig. 16) simultanément avec les deux pics d'ammonium observés fin mai et mi-juillet, ils témoignent du même processus; c'est à dire une excrétion des moules accrue par la chaleur de mai et de juillet et restreinte par la chute de température du mois de juin. Mc Cathy (1972) estime que l'urée peut jouer un rôle non négligeable dans la production phytoplanctonique. En effet, en été, l'urée représente 50 % de l'azote disponible dans le Pertuis Breton. De plus, l'utilisation de  $NH_4$  *in situ* dans différents biotopes confirme que les voies métaboliques permettant l'assimilation de l'urée par le phytoplancton sont actives (Slawyk 1990). Cet urée coûte donc de l'énergie à l'assimilation, cependant il est rapidement utilisé dès que les autres sources d'azote sont épuisées.

#### f) Conclusions sur les composés azotés

Les ions ammoniums sont amenés dans le bassin par les apports telluriques dus aux fortes précipitations automnales. Le faible rayonnement ne permet pas le développement phytoplanctonique. Les bactéries nitrifiantes transforment l'ammonium en nitrites puis en nitrates. C'est sous cette forme nitrate que l'azote est présent dans le bassin lors du bloom phytoplanctonique de février. L'utilisation des nitrates coûte beaucoup d'énergie à la cellule comme le résume cette équation de Packard et al (1971)

##### NO<sub>3</sub> (dans le milieu)

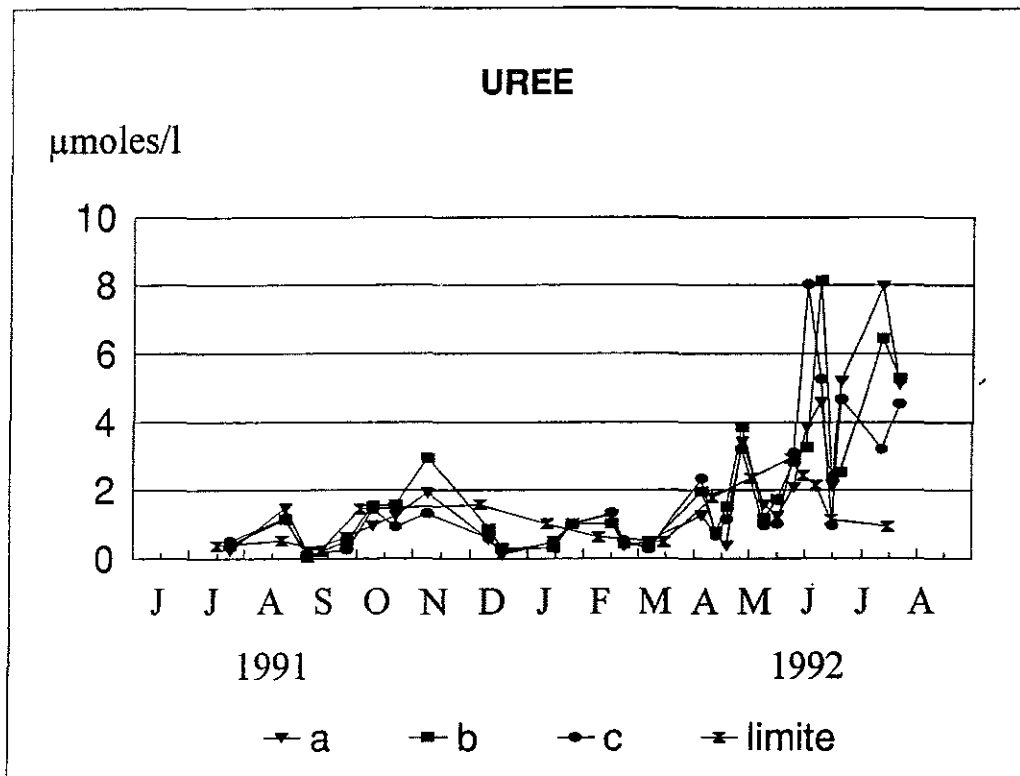
perméase



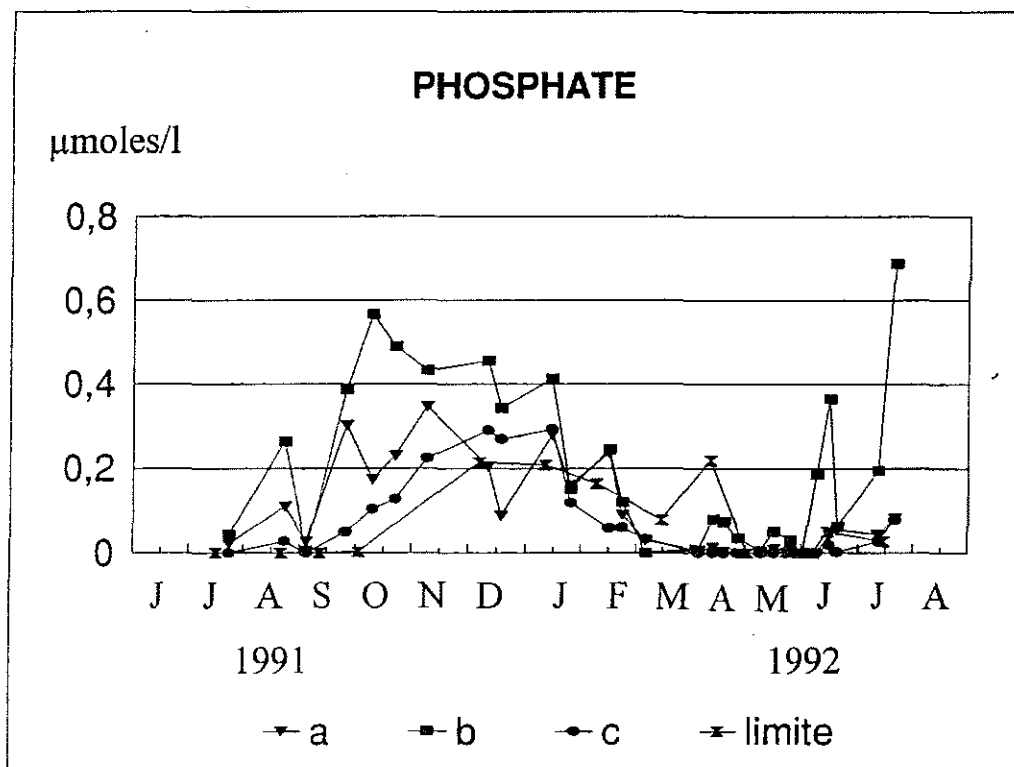
Au mois de janvier apparait un pic d'azote organique dissout issu de la dégénérescence des bactéries nitrifiantes. Cet azote organique, facilement assimilable par les cellules, est incorporé préférentiellement et disparaît très vite.

L'excrétion azotée des moules, sous forme d'ammonium, d'acides aminés et d'urée, est stimulée par le réchauffement des mois de mai et juillet. L'importance du stock en culture dans le Pertuis Breton, en fait un paramètre non négligeable. Elle est consommée aussitôt par le phytoplancton.

Les fortes valeurs d'azote organique enregistrées dans le bassin de Marennes-Oléron



*Fig 16 : Concentrations annuelles d'urée dans toutes les stations*



*Fig 17 : Concentrations annuelles de PO4 dans toutes les stations*

(comparativement à celles du Pertuis Breton) (Héral et al. 1983) peuvent être, en partie, expliquées par le fait que les huîtres (76 000 t), excrètent 1  $\mu$ moles d'acides aminés par heure et par gramme de poids sec pendant sept mois de l'année, tandis que les moules excrètent 1  $\mu$ moles d'acides aminés par heure et par gramme de poids sec pendant seulement deux mois de l'année et le tonnage est nettement plus faible (17 000 t) (Héral et al. Com. Pers.).

### 1 - 3 - 1 - 3 Le phosphore:

Le phosphore est un élément constitutif nécessaire de la matière vivante, il entre en particulier dans la composition de l'ATP (acide adénosine triphosphoré), des acides nucléiques et des phospholipides. : lorsque la quantité de phosphore est inférieure aux besoins, les cellules se contentent de moins (Kuenzler et Ketchum 1962), jusqu'à un certain seuil où elles cessent de se diviser (Thomas et Dodson 1968).

Le phosphore dans l'eau de mer se présente sous plusieurs formes : le phosphore particulaire ou dissout, minéral ou organique. Le phytoplancton absorbe le phosphore essentiellement sous forme d'ions orthophosphates  $H_2PO_4^-$  et  $HPO_4^{2-}$  (Kuenzler et Perras 1965). C'est donc la forme dissoute qui nous intéresse ici. Les dosages effectués dans cette étude portent sur les ions orthophosphates (phosphore minéral dissout).

#### a ) Résultats

La figure 17 montre un cycle saisonnier du phosphore bien marqué. En juillet 91, les valeurs de phosphate dans l'eau sont très faibles ( $<0.1 \mu$ moles/l), puis elles augmentent subitement au mois d'août pour atteindre ( $0.3-0.1 \mu$ moles/l). Au début du mois de Septembre il n'y a plus de phosphate dans le bassin, puis le phosphore s'accumule régulièrement dans le bassin jusqu'à former un plateau entre 0.3 et 0.4  $\mu$ moles/l. Dès le mois de janvier, les quantités de phosphore dissout commencent à diminuer parallèlement dans toutes les stations. Au mois de mai, il n'y a plus de phosphore dissout dans le Pertuis Breton et ce pendant tout l'été. Il faut cependant remarquer un pic de phosphate (0.2  $\mu$ moles/l) observé à la station limite en avril alors que dans les autres stations le phosphore a totalement disparu. Ponctuellement deux fortes valeurs de phosphore sont relevées au niveau de l'embouchure, à la fin du mois de mai (0.38  $\mu$ moles/l) et au mois de juillet (0.7  $\mu$ moles/l), sans influence sur les autres stations.

#### b ) Discussion.

Le phosphore peut avoir plusieurs sources:

Travers (1971) considère que la production primaire de la méditerranée occidentale est favorisée par la remontée d'eaux ayant été en contact avec le fond, plus riche en sels minéraux, se produisant particulièrement par régime de vent de nord ouest (Mistral). Soulard (1988) a effectivement rencontré des eaux beaucoup plus riches en  $PO_4^-$  au fond de la fosse de Chévarache (Tab 1) :

Prélèvement	[ $PO_4$ ] mg/l	écart-type
surface - 1 m	0.0157	0.010
- 10 m	0.0283	0.023
- 15 m	0.0383	0.038
fond + 1 m	0.1090	0.130

**Tableau 2 : Concentration de phosphate au niveau de la fosse de Chévarache données Soulard 1988.**

L'analyse hydrodynamique montre que les courants de marée n'entraînent pas cette masse d'eau profonde dans le Pertuis Breton, seul un régime de vent de sud-est bien établi et relativement fort pourrait provoquer une remontée des eaux de fond de la fosse de Chévarache, hors les données météorologiques ne permettent aucune hypothèse en ce sens (Annexe 4).

Une des autres sources de phosphore communément admise, est d'origine tellurique.

Les teneurs en phosphore en juillet sont quasiment nulles. Les données pluviométriques (Annexe 2) indiquent que du 8 juin au 29 juillet les précipitations furent très faibles. En revanche les violents orages fin juillet et début août (30/07 -> 17.4 mm/cm<sup>2</sup>, 31/07 -> 10.4 mm/cm<sup>2</sup>, 07/08 -> 10.8 mm/cm<sup>2</sup>) n'ont pas permis une bonne infiltration des terres et toutes l'eau a ruisselé entraînant les sels minéraux jusque dans le bassin. Les analyses de la qualité des eaux effectuées par le SRAE (Annexe 4) enregistrent des valeurs de 2.27 mg/l le 12/08/91 ce qui est très proche du maximum (2.3mg/l) observé en septembre. La forte valeur de phosphore enregistrée au mois d'août dans le pertuis peut donc être imputée à ces orages estivaux.

Le phosphore disparaît du bassin aussitôt au début du mois de septembre. Une importante concentration de chlorophylle (> 4mg/m<sup>3</sup>) est enregistrée au mois d'août (Fig. 24). L'apparition et la disparition simultanée de ces deux pics indiquent que la recrudescence de PO<sub>4</sub> dans le bassin a provoqué un bloom phytoplanctonique qui, ayant épuisé le PO<sub>4</sub> disponible, a disparu à son tour.

De la fin du mois de septembre jusqu'au mois de décembre, une concentration maximale persiste dans le bassin. La période d'épandage des engrais phosphopotassiques située vers le mois d'octobre (Annexe 7) et l'orage du 31/08 qui atteint des valeurs de 29 mm/cm<sup>2</sup>, peuvent expliquer les teneurs de PO<sub>4</sub> égales à 2.3 mg/l rencontrées dans les eaux de la Sèvre Niortaise (Annexe 5). Les pluies régulières et abondantes des mois de septembre à novembre, bien que moins fortes, ont entretenu cet apport de PO<sub>4</sub> dans le bassin. Les concentrations les plus élevées se trouvent à l'embouchure (station B), et diminuent suivant un gradient de dilution dans le reste du bassin. Les concentrations de PO<sub>4</sub> apparaissent avec 2 mois de "retard" à la station C, cette dilution se fait donc très lentement.

Des valeurs importantes de phosphore sont également enregistrées au niveau de la station située au large (L). D'après les études de salinité, cette station ne semblait pas influencée par les apports terrigènes il s'agit donc d'une autre source de PO<sub>4</sub>. En effet, en novembre 1991 et aux mois de mars-avril 1992, un régime de fort vent d'ouest (>8m/s) (Annexe 4), chasse les eaux de surface vers l'est du Pertuis Breton, provoquant une remontée des eaux de fond de la fosse de Chévarache, chargées en PO<sub>4</sub>, au niveau de la station L.

La chute enregistrée fin janvier est à mettre en rapport avec la poussée phytoplanctonique de février. Le développement du phytoplancton va rapidement épuiser les phosphates accumulés pendant l'hiver. De mars à mai, le phosphore minéral dissout a disparut dans les stations du bassin.

Fin mai et mi-juillet, deux pics d'intensité 0.4 et 0.8 µmoles/l sont visibles uniquement dans la baie de l'Aiguillon. Bien qu'il y ait eu de fortes précipitations au mois de juin, les analyses des eaux douces (Annexe 5) montrent de faibles valeurs pour la Sèvre Niortaise (0.06 mg/l) et le Lay (0.29 mg/l), ce qui laisse supposer qu'il s'agit d'une autre origine du phosphore.



La figure 18 a représente les concentrations en PO<sub>4</sub> sur la colonne d'eau au niveau de la station A (près du pont de l'île de Ré). En hiver les eaux de surface sont plus riches que les eaux de fond ceci prouve l'apport de PO<sub>4</sub> par dilution des eaux de la Sèvre Niortaise. Au mois d'avril à mai, le PO<sub>4</sub> est absent. En été, les eaux de fond sont plus riches que les eaux de surface. Ce phénomène a été décrit par Pomeroy et al. (1965) et confirmé par Feuillet et Gouleau (1977) et Héral et al. (1983). En hiver, une partie du PO<sub>4</sub> non utilisé s'accumule dans le sédiment. Le pouvoir fixateur du sédiment dépend de la nature même du sédiment et de sa granulométrie, tandis que la quantité de PO<sub>4</sub> accumulée est fonction de la concentration des phosphates dans l'eau sus-jacente. Le pouvoir régulateur du sédiment tend à maintenir un équilibre entre la phase aqueuse et la phase solide. Fin janvier, tandis que le phytoplancton ne s'est toujours pas développé, les stations du bassin qui avaient jusqu'ici des concentrations bien différentes se retrouvent toutes avec une valeur comprise entre 1.3 et 1.6 µmoles/l qui pourrait correspondre à cet état d'équilibre.

Ce phénomène de relargage de phosphore n'est pas visible dans la station B (Fig 18 b), située à l'embouchure, ni dans celle située près des filières à moules (Fig 18 c). Cela peut être imputé aux rejets de phosphore par les moules. En effet Sornin (1981) calcule qu'une moule cultivée sur bouchot dans la baie de l'Aiguillon peut produire quotidiennement entre 0.288 et 3.696 g de poids sec de biodépot et que l'on peut trouver de 0.08 à 0.14g de phosphore par kilo de biodépot. Si l'on tient compte des stocks importants de moules mises en culture dans la baie de l'Aiguillon, cette source est loin d'être négligeable. L'échantillonnage de la station limite qui s'arrête à -15m alors que le fond est à plus de 30 m, nous empêche de suivre l'importance du phénomène de relargage au large.

### 1 - 3 - 1 - 4 Les silicates

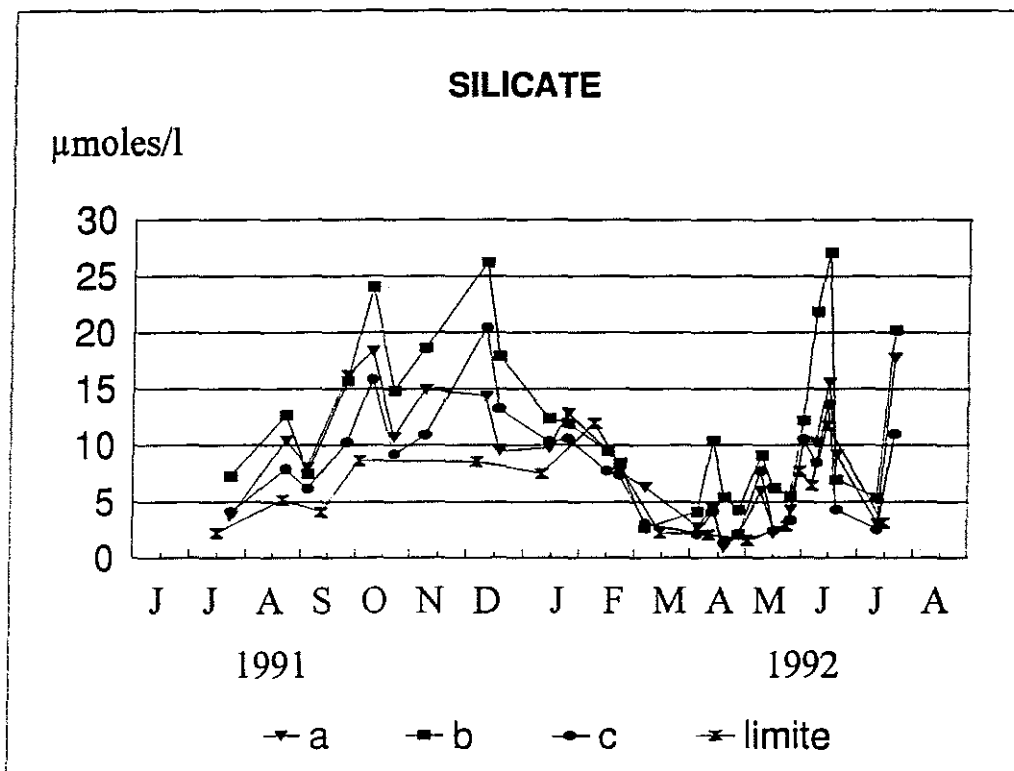
En milieu néritique, les silicates sont rarement un facteur limitant de la production primaire, cependant quelques cas sont à prendre en considération. Hafsaoui (1984) explique que les silicates sont très insuffisants dans la rade de Brest, les mêmes conclusions sont faites pour la Manche occidentale (Martin et Jezequel 1981) ainsi que dans les zones est et tropicales de l'océan Pacifique (Thomas et Dodson 1975). D'autre part Garside (1981) explique que si l'azote est le facteur limitant en été dans la baie de New York, les silicates sont déficients aux printemps.

Beaucoup d'espèces phytoplanctoniques utilisent le silicium pour élaborer leur enveloppe (diatomées) ou squelette (silicoflagellés). La silice peut représenter entre 15 et 30% du poids sec des diatomées et 60% de leur fraction minérale (Parsons et al. 1961). Les diatomées constituent l'une des classes dominantes du phytoplancton marin (Ricard 1987) et représentent 90% du phytoplancton du Pertuis Breton (Annexe 9).

#### a ) Résultats

Les silicates ont un cycle saisonnier bien marqué et sensiblement identique à celui des phosphates. Bien que la solubilité de la silice soit de l'ordre de 100 mg/l (1670 µmoles/l), les concentrations observées en milieu marin sont beaucoup plus faibles, la plus forte valeur relevée dans le Pertuis Breton sont inférieures à 30 µmoles/l (Fig. 19)..

Les fortes concentrations de silicates observées au mois d'août proviennent de la dégénérescence du bloom de diatomées (700 000 cel/l) (Annexe 9). Puis parallèlement aux phosphates, une réserve de silice se constitue dès le mois de septembre, atteignant des concentrations de 25 µmoles/l dans l'estuaire de la Sèvre Niortaise et 17 µmoles/l au niveau du pont de l'île de Ré. Ces teneurs se maintiennent tout l'hiver en l'absence de développement phytoplanctonique. Au mois de décembre



*Fig 19 : Concentrations annuelles de silicates dans toutes les stations*

(Annexe 13). Ceci s'explique par l'évolution des cultures vers une pratique intensive. En effet entre 1970 et 1988 (Annexe 14), les cultures céréalières telles que le blé et l'orge, le maïs, le tournesol ainsi que les cultures de fourrage n'ont cessé d'augmenter au détriment des pâturages et cultures vivrières qui nécessitent moins d'engrais et moins d'arrosage.

Le rapport N/P, au niveau des engrais épandus, oscille entre 6,8 et 6,9. Ce n'est donc pas à ce niveau que s'opère le déficit en phosphore.

Il est certain que les plantes assimilent rapidement les engrais phosphopotassique qui sont répandu après les labours (Cf. INRA). Après la germination des semences, un premier épandage azoté est préconisé, un second s'effectue en milieu de croissance. Ces engrais azotés sont composés de 1/2 NH<sub>4</sub> - 1/2 NO<sub>3</sub> ou 1/3 NH<sub>4</sub> - 1/3 NO<sub>3</sub> - 1/3 urée. L'ammonium est destiné à être assimilé très rapidement tandis que les nitrates le sont plus lentement. Seuls les ions phosphate et ammoniac peuvent être fixés dans les sols. Ces deux facteurs font que les nitrates ne sont ni assimilés rapidement, ni retenus par les sols et peuvent être lessivés par les pluies et entraînés vers le Pertuis Breton. Cependant la nature des terrains et des cultures implantées sur le bassin versant de la Charente, qui alimente le bassin de Marennes-Oléron, sont sensiblement les mêmes que celles du bassin versant du Pertuis Breton or le bassin de Marennes-Oléron est nitrate limitant (Ravail et al. 1986). Une des rares divergences entre ces deux bassins, distants d'à peine quelques kilomètres, est que tous les cours d'eau qui arrivent au Pertuis Breton passent automatiquement par le marais poitevin.

Les ingénieurs INRA soulignent l'inutilité de mettre des engrais phosphatés sur les terres du marais poitevin car il "regorge" de phosphates. La structure très poreuse du marais poitevin implique un temps de résidence des masses d'eau assez important. Sa nature argilo-marneuse lui confère un grand pouvoir de fixation du phosphore. Cependant aucune étude ne permet de quantifier l'importance du stock de phosphore qui peut être retenu par le marais poitevin.

## **2 PARAMETRES BIOLOGIQUES**

### **2 - 1 MATERIEL PARTICULAIRE - SESTON**

#### **2 - 1 - 1 Matière particulaire minérale.**

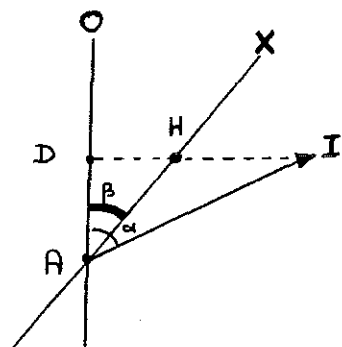
##### **2 - 1 - 1 - 1 Remise en suspension**

Le seston représente l'ensemble du matériel particulaire en suspension dans l'eau de mer, dont la taille est comprise entre 250µm (préfiltration) et 2µm (filtration sur filtre Whatman GF/C). Il est composé d'une fraction organique vivante ou détritique et d'une fraction minérale, importante dans le Pertuis Breton.

La turbidité du Pertuis Breton est conditionnée par l'hydrodynamisme de l'Anse de l'Aiguillon de forme circulaire (8 Km de circonférence). Les études de sédimentogénèse effectuées sur l'anse de l'Aiguillon, montrent un milieu exclusivement vaseux (Fridman 1953; Debyser 1961; Verger 1968). Plus récemment Gouleau (1975) relève une nette prédominance (98%) de la fraction fine (<2µm) et quelques traces (<2%) de fraction sableuse. La fraction grossière (>44µm) se situe près du canal de Luçon où elle ne constitue que 5% du sédiment, elle est formée essentiellement de débris de coquille de *Mytilus edulis*. Devant la pérennité des résultats observés depuis 1953 jusqu'en 1975, l'hypothèse d'une stabilité sédimentaire de la Baie de l'Aiguillon a été retenue; ainsi les travaux de Gouleau (1975) sont considérés comme d'actualité.

La remise en suspension de la matière particulaire dans le Pertuis Breton est liée en grande partie à l'importance des courants de marée, en effet, l'amplitude des marées explique plus de 48% de la variation de la concentration de la matière minérale dans la station B, 33% à la station C et 25% à la station A (Tab. 2). La station limite ne subit aucune influence du coefficient de marée. En revanche la non corrélation de la matière minérale avec la dessalure ou les précipitations cumulées sur 3 à 20 jours, prouve également qu'il s'agit uniquement de remise en suspension et non pas d'apport fluviaux.

Levasseur et al. (1983) ont montré que le vent pouvait avoir un rôle non négligeable dans la remise en suspension d'un estuaire tel que le Saint Laurent. Cette influence est testée sur le Pertuis Breton en décomposant le vecteur vent (données Météo France) en une composante verticale (nord) qui subit 18 rotations de  $10^\circ$ .



- AI = force du vent
- ADo = composante du vent sur axe AO
- AHx = composante du vent sur axe AX
- ADo = ( cos a \* AI )
- AHx = ( cos ( a - b ) \* AI )

L'analyse de corrélation entre la matière particulaire minérale et les différentes composantes, permet la détermination de la direction du vent qui a le plus d'effet. Le tableau 2 présente les résultats obtenus. Les vents qui influencent le plus la remise en suspension, le jour même, viennent essentiellement du secteur ouest, nord-ouest ( $300^\circ$  pour la station A,  $290^\circ$  pour la station B,  $270^\circ$  pour la station C et  $340^\circ$  pour la station limite). Le Pertuis Breton est enclavé dans les terres, les vents d'ouest et nord-ouest sont ceux qui ne rencontrent aucun obstacle sur leur route puisqu'ils sont dans l'axe de l'ouverture du Pertuis vers l'océan. Ces vents accentuent la houle océanique et les effets de marée. Les vents nord longent les côtes vendéennes entraînant les fractions les plus fines et provoquent ainsi une faible turbidité au niveau de la station limite.

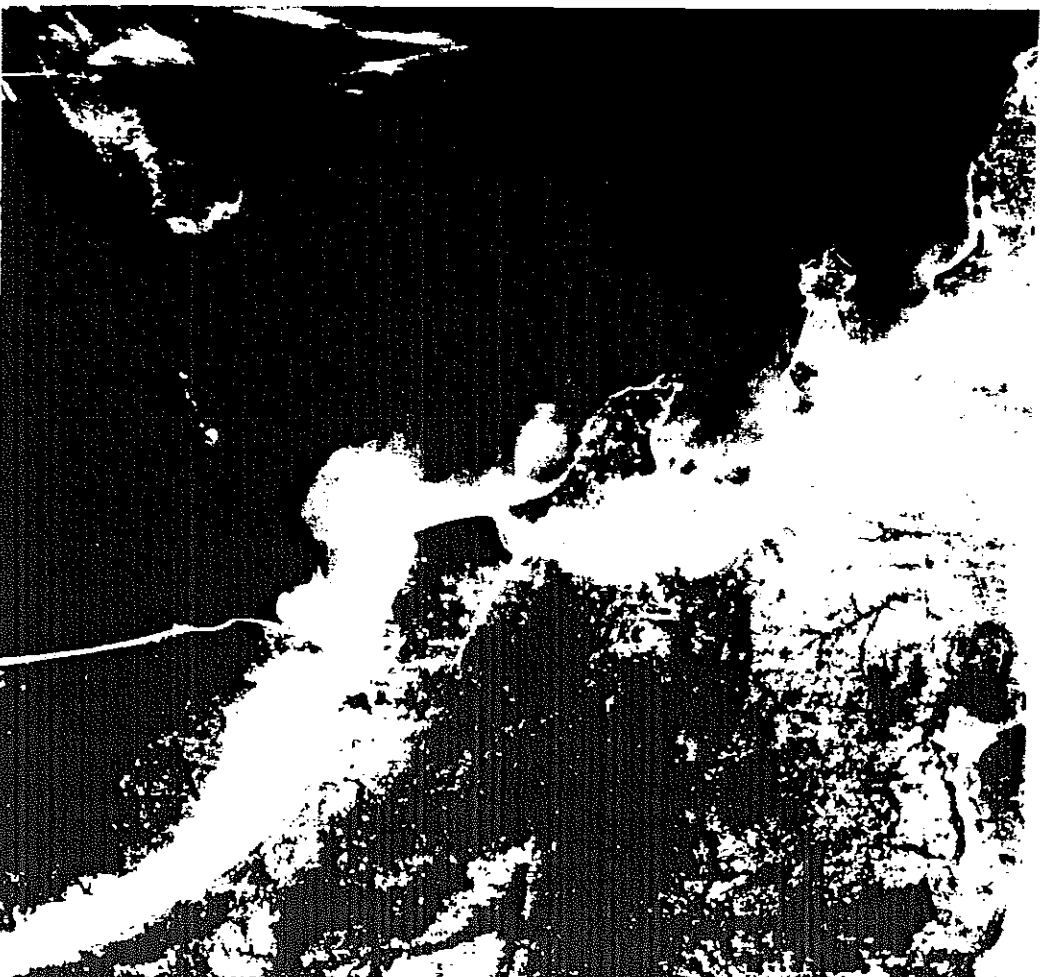
L'influence des vents soufflant sur plusieurs jours est également testée entre 2 et 10 jours cumulés. Le maximum est atteint pour une période de trois jours consécutifs dans les stations A et C tandis qu'à la station B ce sont les vents du jour même qui restent prépondérants. Ces vents, moyennés sur 3 jours, ont une influence accrue lorsqu'ils viennent du secteur sud-ouest ( $240^\circ$  pour la station A,  $220^\circ$  pour la station C et  $200^\circ$  pour la station L). Ce phénomène peut s'expliquer par la remontée du panache de Gironde lors d'un régime sud bien établi (station L). Les vents de  $240^\circ$  permettant à la matière minérale girondine de rentrer dans le Pertuis Breton par le courreau de la Palice (station A), tandis que l'axe  $220^\circ$  l'entraîne par la fosse de Chevarache (station C). Les clichés aériens (photo 5 et 6) (Castaing 1981) montrent effectivement la remontée du panache de Gironde jusqu'au nord de l'île de Ré.

Les études antérieures portant sur l'influence éolienne démontrent un effet plus important de la quadrature du vent. Le carré de la composante du vent sur l'axe prépondérant multiplie par 3 la variance expliquée (Tab. 3) pour les stations A, C et L.

Les variations de concentration en matière particulaire sont expliquées à 68, 38% pour la station A et 66,45% pour la station C par le coefficient de marée et la quadrature des vents sud-ouest cumulés sur 3 jours. La station B subit essentiellement l'influence des coefficients de marée et pour une petite part l'influence du vent instantané ouest-nord-ouest (54,17%). La station L, située au large ne subit

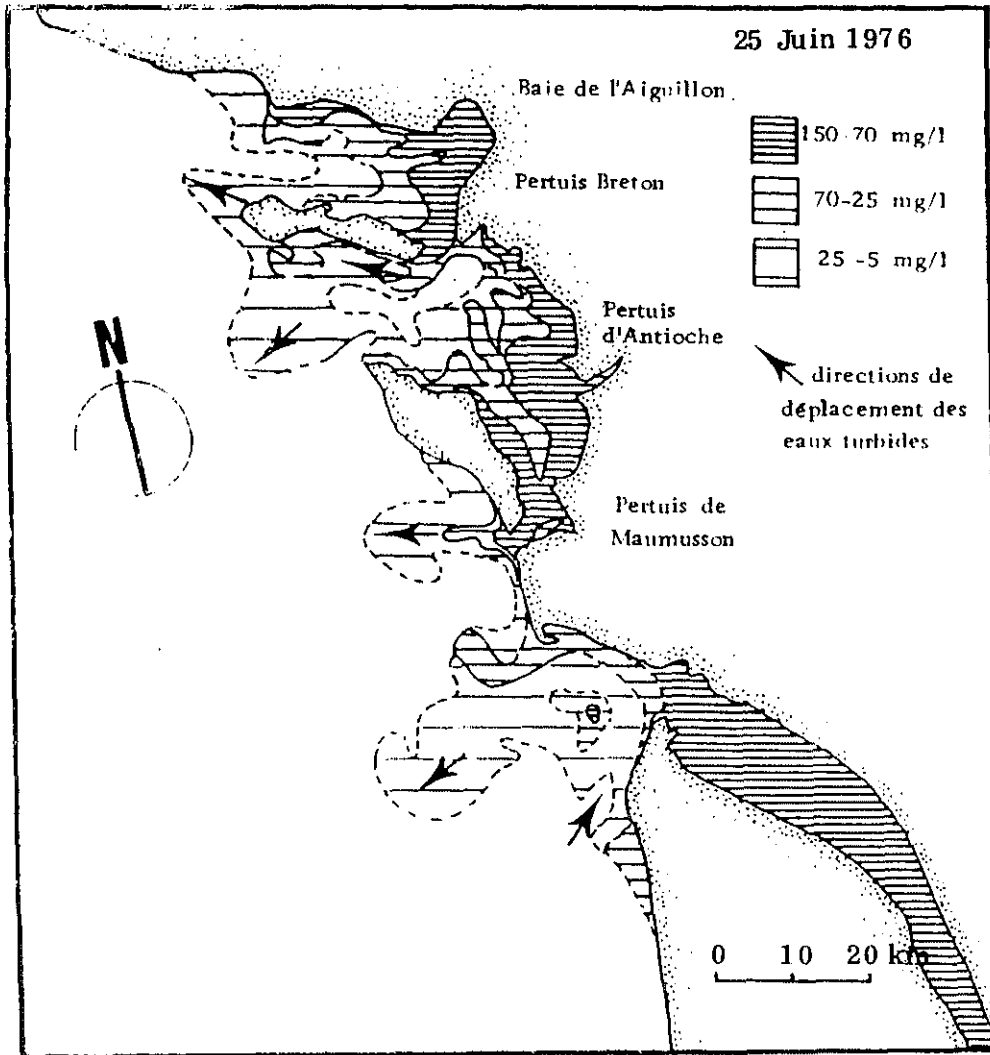
STATIONS	A	B	C	L
Coefficient de marée	25.302	48.122	33.216	0.352
Vents instantanés	8.636	6.051	2.793	5.102
Direction	300	290	270	340
(Vent instantané)**2	22.869	5.389	7.601	45.914
Vent moyen sur 3 jours	14.567	4.865	8.092	20.564
Direction	240		220	200
(Vent moyenné sur 3j)**2	43.078		33.238	69.128

*Tableau 3 % Explication de la variance de la remise en suspension de la matière minérale par les facteurs prépondérants.*

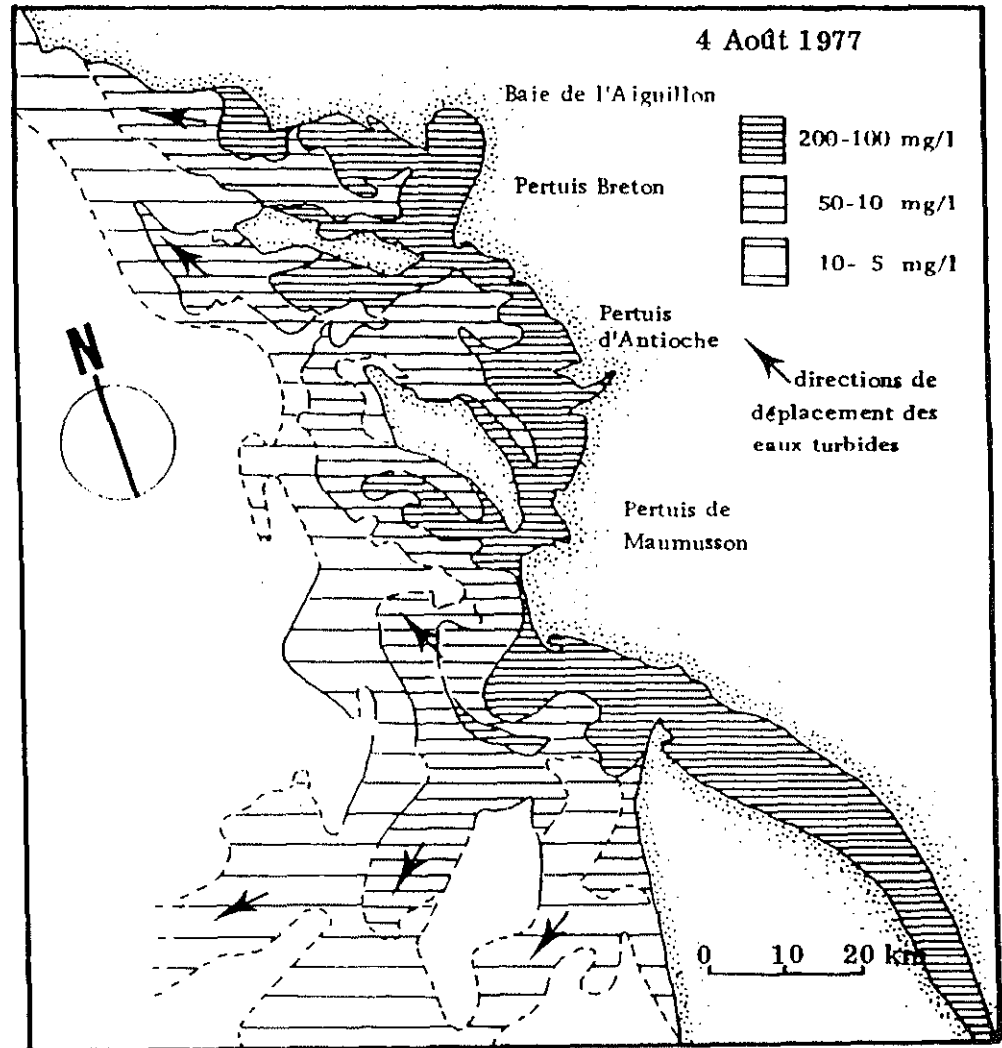


*Photo 5 : Influence des coefficients de marée sur le panache de Gironde (Landsut 2 : Castaing 1981)*

## MAREE MOYENNE



## VIVES EAUX



- Influence du coefficient de marée sur l'évacuation en mer des eaux estuariennes.
- Interprétation des restitutions photographiques.

l'influence que des vents nord-sud (69.13%).

$$A : \text{Mat min. (mg/l)} = (0.397 * \text{coeff}) + [ 0.4359 * (\text{vent3j } 240^\circ)^{**2} ] - 14.0562$$
$$R = 0.81$$

$$B : \text{Mat min. (mg/l)} = (1.558 * \text{coeff}) + [ 2.055 * (\text{vent1j } 290^\circ) ] - 54.6289$$
$$R = 0.74$$

$$C : \text{Mat min. (mg/l)} = (0.358 * \text{coeff}) + [0.4527 * (\text{vent3j } 220^\circ)^{**2}] - 14.8398$$
$$R = 0.82$$

$$L : \text{Mat min. (mg/l)} = [0.571 * (\text{vent } 3j \text{ } 200^\circ)^{**2}] + 5.5589.$$
$$R = 0.83$$

avec Ventxj yyy : composante sur l'axe yyy°, cumulée sur x jours

L'influence des courants de marée sur la remise en suspension de la matière minérale dans la Baie de l'Aiguillon a été mise en évidence dès 1975 par Gouleau mais il notait également une action de la Sèvre Niortaise en période de crue. 1991 et 1992 sont deux années qui suivent une longue période de sécheresse qui explique son peu d'importance ici. Il faut cependant garder à l'esprit le rôle des apports fluviaux lors de fortes précipitations, dans l'optique d'une modélisation prédictive pluriannuelle. "La remise en suspension sur les slikkes est plus fortes lors du flot que lors du jusant... La décantation est tardive et se produit surtout au cours de la marée descendante. A chaque marée basse, une couche de vase fraîchement déposée est soumise aux effet de l'immersion qui en assure sa fixation." (Gouleau 1975). Il observe un taux de sédimentation annuelle de 1 à 1.2 cm pour l'ensemble de la Baie de l'Aiguillon, ce chiffre corrobore les estimations de Caratini (1968). Lors des fortes décharges fluviales, le sédiment peut sortir de la Baie de l'Aiguillon. C'est ainsi que ce sont formées les vasières le long du littoral charentais (Fig .2). Ce sont ces vasières et celles de la Baie de l'Aiguillon qui alimentent le Pertuis Breton en matière minérale.

#### **\* conclusion**

Il ressort de cette étude que le facteur dominant influençant la turbidité dans le Pertuis Breton est la marée. Il s'agit essentiellement de remise en suspension de la vase de la Baie de l'Aiguillon. Cette resuspension peut être augmentée par le brassage du à la houle océanique sous l'influence des vents d'ouest. Un régime de vents de sud sud-ouest établit pendant au moins 3 jours permet au panache de Gironde de remonter dans le Pertuis Breton.

### **2 - 1 - 1 - 2 Résultats**

La matière particulaire minérale dont il est question dans ce chapitre est celle estimée par le poids de cendres sestoniques.

Le Pertuis Breton est caractérisé par une turbidité très élevée (Fig. 20) et essentiellement minérale (Tab. 4).

La station B, située à la sortie de la Baie de l'Aiguillon, subit principalement l'influence de la marée, la vase remise en suspension reste essentiellement dans la baie. Ce phénomène est accentué par les vents d'ouest qui accroissent le courant de flot. Les concentrations en matière minérale oscillent entre 50 et 100 g/m<sup>3</sup>. Les faibles charges observées de juin à août, correspondent à de faibles coefficients (<49), il en est de même pour les faibles valeurs de décembre. La très forte valeur enregistrée le 21 janvier 1992 (>20 g/m<sup>3</sup>) est le résultat d'un régime de vents de nord qui entraîne les vases, remises en suspension par un très fort coefficient de marée (107), hors de la Baie de l'Aiguillon.



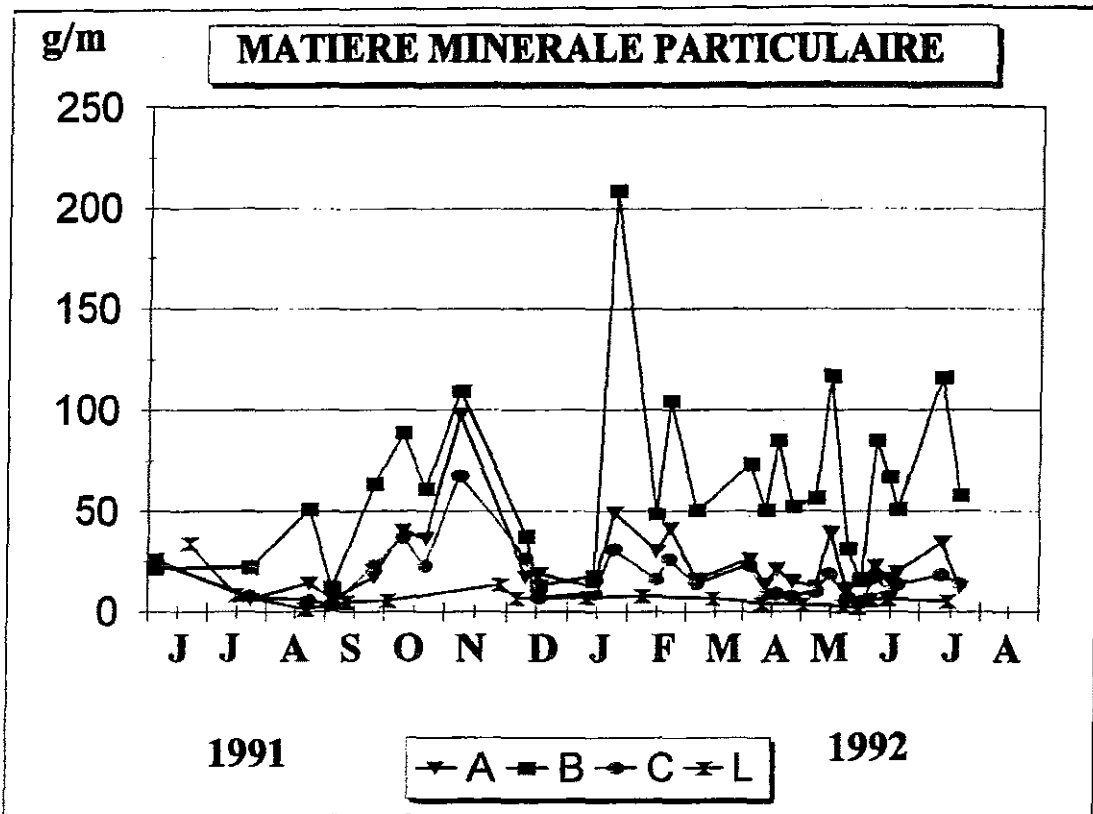


Fig 20 : Concentrations annuelles de cendres sestoniques dans toutes les stations

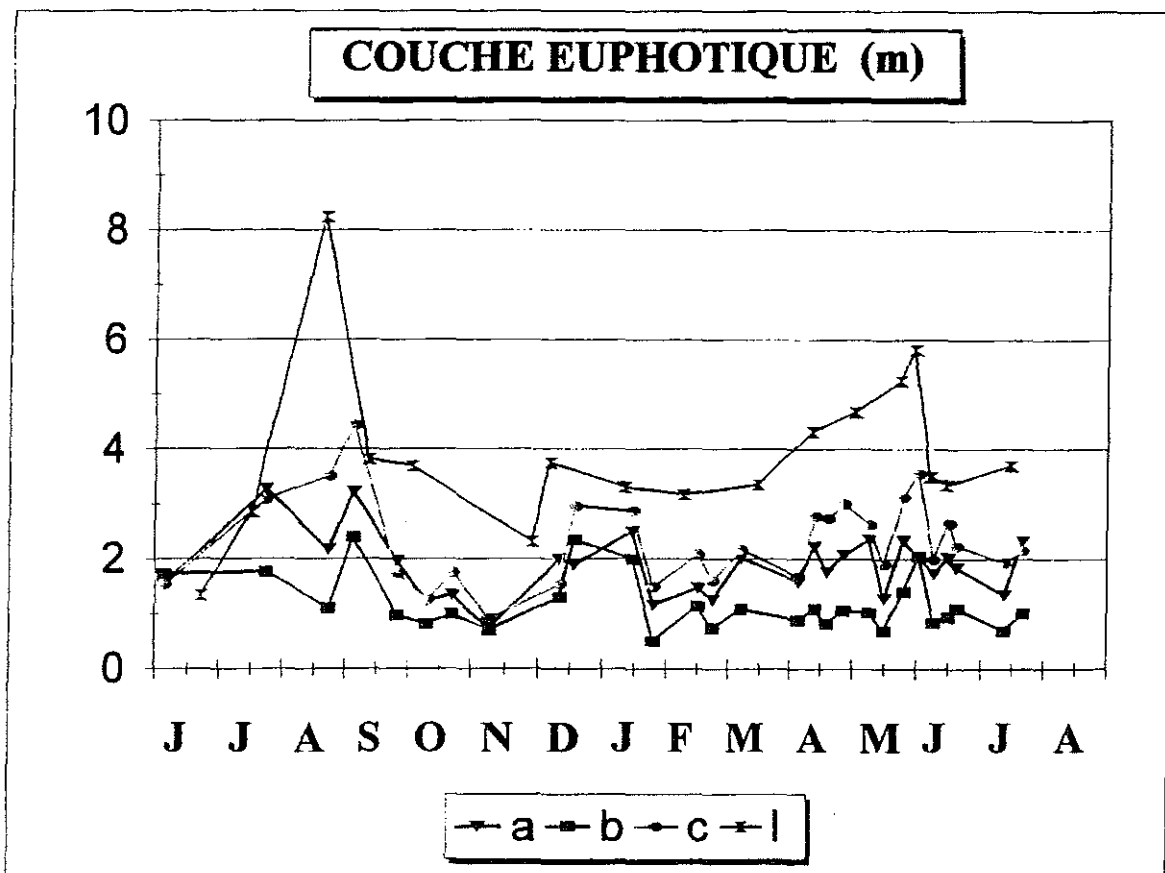


Fig 21 : Profondeur de la couche euphotique au cours de l'année

La matière minérale des stations A et C varient de manière similaire. Les prélèvements estivaux n'ont pu être faits que par petits coefficients ce qui explique les faibles charges rencontrées. Les valeurs importantes du mois d'octobre et novembre correspondent à un régime de vent d'ouest quasi permanent. En revanche, le régime de vent d'est bien établi en décembre et janvier s'oppose aux effets dus aux coefficients de marée se qui ce traduit par une turbidité presque nulle.

A la station limite, les concentrations en matière minérale particulaire sont toujours inférieures à 20 g/m<sup>3</sup>.

Station	A	B	C	L
Moyenne	83.05	87.27	79.56	77.23
Ecart-type	5.26	3.31	7.25	8.49

**Tableau 4 : Pourcentage de matière minérale dans la fraction sestonique**

Il est remarquable de constater que, malgré les oscillations dues aux changements des coefficients de marée, la matière minérale semble suivre un cycle saisonnier assez proche de celui des précipitations et que pourtant il n'y a pas de corrélation significative entre ces deux facteurs. Cela est du à la saisonnalité très marquée des régimes de vents. En été, le régime de vents est occidentale, en hiver il est oriental (Annexe 4). Les vents d'ouest qui courent sur l'océan provoquent la pluie tandis que les vents d'est entraînent une période sèche.

Bien que la fraction minérale présente dans toutes les stations de faible et grande profondeur, une nette stratification, cette stratification n'est pas de grande ampleur: le fond est 1.5 fois plus turbide que les eaux de surface (Tab. 5).

Station	A	B	C	L
Moyenne	1.449	1.355	1.907	1.338
Ecart-type	0.638	0.310	0.817	0.285

**Tableau 5 : Moyenne dans chaque station des prélèvements de matière minérale au fond sur les prélèvement en surface.**

La matière minérale représente plus de 75% de la charge sestonique (Tab.4). C'est un facteur à prendre en compte : une charge sestonique élevée augmente la turbidité et diminue la couche euphotique réduisant la production primaire. D'autre part, les études physiologique sur la nutrition des mollusques montrent qu'une trop forte charge en particule minérale nuit au taux de filtration des mollusques (Widdows 1979). Certains auteurs attribuent une origine vivante aux particules minérales lorsque le peuplement végétale est dominé par les diatomées (printemps été). Celles-ci après calcination, laissent un poids de cendre relativement important correspondant aux frustules siliceux (Paulmier 1972). Il ne peut être dissocié des minéraux d'origine non planctonique par la méthode utilisée.

La forte turbidité (Fig 20) induite par la remise en suspension de la matière minérale du bassin est responsable de l'inhibition de la photosynthèse. En effet la profondeur de la couche euphotique est reliée à la charge sestonique. Héral et al. (1983) ont établi l'équation qui régit cette relation :

$$Y = 11.2 * (X ** -0.57)$$

où Y : profondeur de la couche euphotique (m)

X : Matière particulaire en suspension (mg/l)

Cette relation appliquée aux données recueillies dans le Pertuis Breton (Fig 21) justifie le rôle limitant de la turbidité pendant les mois de septembre et octobre où la couche euphotique est inférieure à 1m.

## 2 - 2 -1 Matière particulaire organique

### 2 - 1 - 2 - 1 Erreur sur la matière particulaire organique

L'erreur commise sur la matière organique par la méthode des pesées est exprimée en pourcentage de matière organique corrigée (perte au feu - eau d'évaporation des argiles). Le tableau 6 inventorie les moyennes de cette erreur sur les quatre stations échantillonnées.

Station	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
A	31%	1004%	160%	191%
B	62%	900%	274%	216%
C	18%	360%	103%	77%
L	18%	144%	55%	39%

**Tableau 6 : Perte au feu / matière organique corrigée \* 100**

Les écart-types sont très grands car ces valeurs fluctuent en fonction de la charge sestonique minérale qui peut être très importante : de 50 g/m<sup>3</sup>, à la station A, à 208g/m<sup>3</sup> à la station B le 21 janvier 1992 (coeff. 107) et la matière organique qui peut être très faible d'autre part. Il ressort cependant de cette étude, que la matière organique particulaire estimée par la méthode des pesées est surestimée d'un facteur 3.5 dans les eaux très turbides telles que la Baie de l'Aiguillon (50-100g/m<sup>3</sup> de cendre sestonique), d'un facteur de 2-2.5 dans les milieu dont la charge sestonique minérale est comprise entre 20 et 50g/m<sup>3</sup> (station A et B) et d'un facteur 1.5 dans les eaux "claires" (station L < 20g/m<sup>3</sup>).

Plus récemment, les études entreprises sur l'hydrobiologie du bassin de Marennes-Oléron par l'équipe de Héral (comm. pers.) permet de disposer de nombreuses données concernant la matière sestonique, les cendres et la matière sèche sans cendre ainsi que des mesures de carbone obtenues par analyse sur CHN. La matière organique est estimée en appliquant le facteur 2.14 (Widdows 1978) aux mesures de carbone. Soit DIF la différence entre la matière sèche sans cendre et la matière organique estimée par CHN. Les calculs sur 139 échantillons, prélevés entre février et mai 1991, montrent une corrélation significative à 1% entre DIF et les cendres sestoniques (R = 0.62). DIF représente en moyenne 8.57 % des cendres sestoniques. Ce chiffre est tout à fait compatible avec celui calculé sur les prélèvements du Pertuis Breton (10%). Ces 8.57% correspondent donc à l'eau de constitution des

argiles qui s'est évaporée entre 60 et 450°C et constitue une surestimation importante de la matière organique estimée par la méthode des pesées.

Ces erreurs commises sur la matière organique sont extrêmement importantes lorsqu'il s'agit d'estimer la capacité trophique d'un bassin. Cette remarque peut s'appliquer sur l'ensemble des estuaires atlantiques, en effet Gouleau (1975) démontre que la nature minéralogique qualitative des suspensions des baies de l'Aiguillon (17), d'Oléron (17), de Bourgneuf (33) et de Vilaine (29) sont les mêmes. Une très légère variation géographique intervient au niveau quantitatif: les baies de Bourgneuf et de l'Aiguillon sont pourvues de 5% de calcite tandis que dans les baies d'Oléron et de Vilaine ce minéral se trouve à l'état de trace.

## 2 - 1 - 2 - 2 Résultats

Cette fraction organique dont la taille est comprise entre 250µm (préfiltration) et 2µm (filtre whatman GF/C) comprend la presque totalité des organismes phytoplanctoniques auxquels il faut ajouter le microzooplancton, les débris organiques et certains agrégats bactériens.

La matière organique corrigée MOP est obtenue en soustrayant la quantité d'eau de constitution des argiles évaporée entre 60 et 450°C de la perte au feu. Cette quantité d'eau est estimée à 10% du poids de cendres. Ce calcul est effectué pour chaque prélèvement. Les résultats moyennés sur 1 jour et pour chaque station, sont présentés dans la figure 22.

Il apparaît une valeur négative, le 21 janvier 1992, occasionnée par le coefficient de marée 107 qui engendre une remise en suspension très importante impliquant certainement la remise en suspension d'une fraction plus grossière diminuant par la-même le pourcentage d'argile dans les sestons.

La valeur négative, relevée à la station limite est due à la très faible fraction organique comparativement à la fraction minérale. Les valeurs de matière organique au large sont très faibles tout au long de l'année (< 2g/m<sup>3</sup>).

Dans le bassin, les plus fortes teneurs se rencontrent généralement à la station B sauf le 8 octobre 1991, où la station C connaît une concentration en matière organique supérieure à 5 g/m<sup>3</sup>. En automne les teneurs en matière organique particulières sont maximales, elles atteignent 7g/m<sup>3</sup>, le reste de l'année, les valeurs se maintiennent autour de 2.5 g/m<sup>3</sup> dans les stations A et C et montent jusqu'à 4g/m<sup>3</sup> à la station B au printemps.

La MOP n'a aucune corrélation avec la salinité ( $R=0.012$ ; degré de liberté = 1156). Ceci prouve qu'il ne s'agit en aucun cas de débris végétaux charriés par le Sèvre Niortaise ou les canaux qui débouchent dans la Baie de l'Aiguillon.

Il existe une corrélation significative à 1% entre la MOP et la matière minérale particulaire (Fig. 23) tout au long de l'année sur les quatre stations du Pertuis Breton. Les échantillons du 6 novembre 1991 sont beaucoup plus riches en MOP que les autres prélèvements comparativement à la fraction minérale. Les prélèvements du 21 janvier sont, eux, beaucoup plus pauvres en MOP, due à la remise en suspension d'une fraction minérale plus grossière lors d'un très fort coefficient (107). Hormis ces deux exceptions, la fraction organique représente 9% de la fraction minérale. Anderson (1984) trouve que la MOP représente 8% de la fraction minérale. Il s'agit donc d'une MOP provenant essentiellement de la remise en suspension. Il peut s'agir soit de débris organiques sédimentés sur le fond, soit de

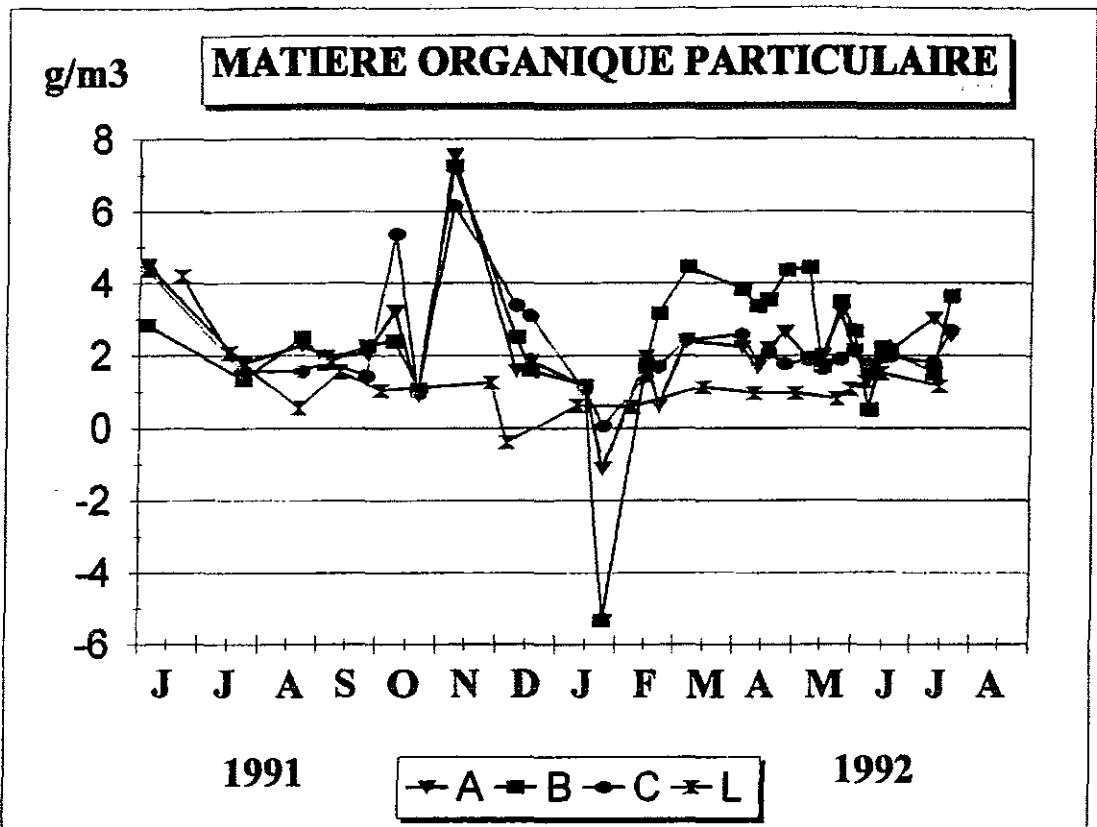


Fig 22 : Variations saisonnières de la matière organique particulaire

Fig 23 : Variations de la matière organique particulaire en fonction des cendres sestoniques

matériel vivant d'origine benthique. Cette origine benthique est soulignée par les gradients de MOP sur la colonne d'eau. En effet sur chaque station, les prélèvements de fond sont beaucoup plus riches (15% en moyenne) que les prélèvements de surface; cette différence est accentuée lorsque les valeurs de MOP sont importantes.

## 2 - 3 PIGMENTS CHLOROPHYLLIENS

### 2 - 3 - 1 Chlorophylle a

La chlorophylle a (chloa) est un pigment indispensable à la photosynthèse des végétaux. Son dosage par fluorimétrie permet une estimation de la fraction phytoplanctonique du seston ainsi qu'une partie de la biomasse phytobenthique remise en suspension par les courants de marée dans les sites de faible profondeur.

Les dosages de chlorophylle du Pertuis Breton présentent un cycle saisonnier bien établi (Fig 24). Du mois d'août au mois de novembre, une importante poussée phytoplanctonique correspond à l'apport de sels minéraux par les pluies automnales, suivit d'un arrêt pendant l'hiver et enfin une croissance printanière étalée entre la fin février et le mois de juin.

Cependant les valeurs de chlorophylle sont particulièrement faibles: 1 mg/m<sup>3</sup> en automne et des valeurs maximum de 2 mg/m<sup>3</sup> au mois de mars. La station située à l'embouchure de la Sèvre Niortaise enregistre constamment les concentrations les plus importantes. Les teneurs en chlorophylle de la station du large ne montre aucun cycle particulier et restent inférieures ou égales à 0.5 mg/m<sup>3</sup>. En automne, la station A, près du pont de l'île de Ré, atteint des valeurs de 1.5 mg/m<sup>3</sup> et la station C, près des filières, ne dépasse pas 1 mg/m<sup>3</sup>. Cette situation s'inverse au printemps où la station C subit une poussée phytoplanctonique supérieure à 2 mg/m<sup>3</sup> tandis que la station A reste inférieure à 1 mg/m<sup>3</sup>. Ce phénomène peut être expliqué par le fait que les filières à moules, près de la station C, sont "vidées" avant la période de reproduction pour éviter un captage sur les moules en culture. De ce fait, la consommation du plancton est limitée pour un temps, jusqu'à ce que la naissain grandisse.

La chlorophylle et les phéopigments n'ont aucune corrélation avec la dessalure ce qui prouve qu'il ne s'agit ni d'algues d'eau douce arrivant dans le bassin ni de débris végétaux charriés par les cours d'eau.

La figure 25 présente les concentrations en chlorophylles aux différentes stations en fonction de la matière minérale. Deux nuages de points N1 et N2 sont distincts. N1 ne présente aucune relation avec la matière minérale, il correspond aux périodes de production des microphytes automnale (uniquement dans la station B : b3, b5, b6) (Tab. 6) et printanière (toutes stations : 15...22). N2 a une corrélation significative à 1% avec la matière minérale ( $R = 0.60$ , degré de liberté = 42) indiquant qu'il s'agit de phytobenthos remis en suspension avec les mouvements de marée et les vents d'ouest. L'analyse systématique du phytoplancton devrait confirmer ces résultats.

### 2 - 3 - 2 Les phéopigments

Les phéopigments proviennent essentiellement de la dégradation des pigments chlorophylliens qui se produit lors de la mort des cellules phytoplanctoniques ou lors du broutage par des organismes filtreurs, ils sont donc caractéristiques du matériel phytoplanctonique en cours de dégénérescence.

Les phéopigments suivent le cycle saisonnier de la chlorophylle a avec un pic automnal (2 mg/

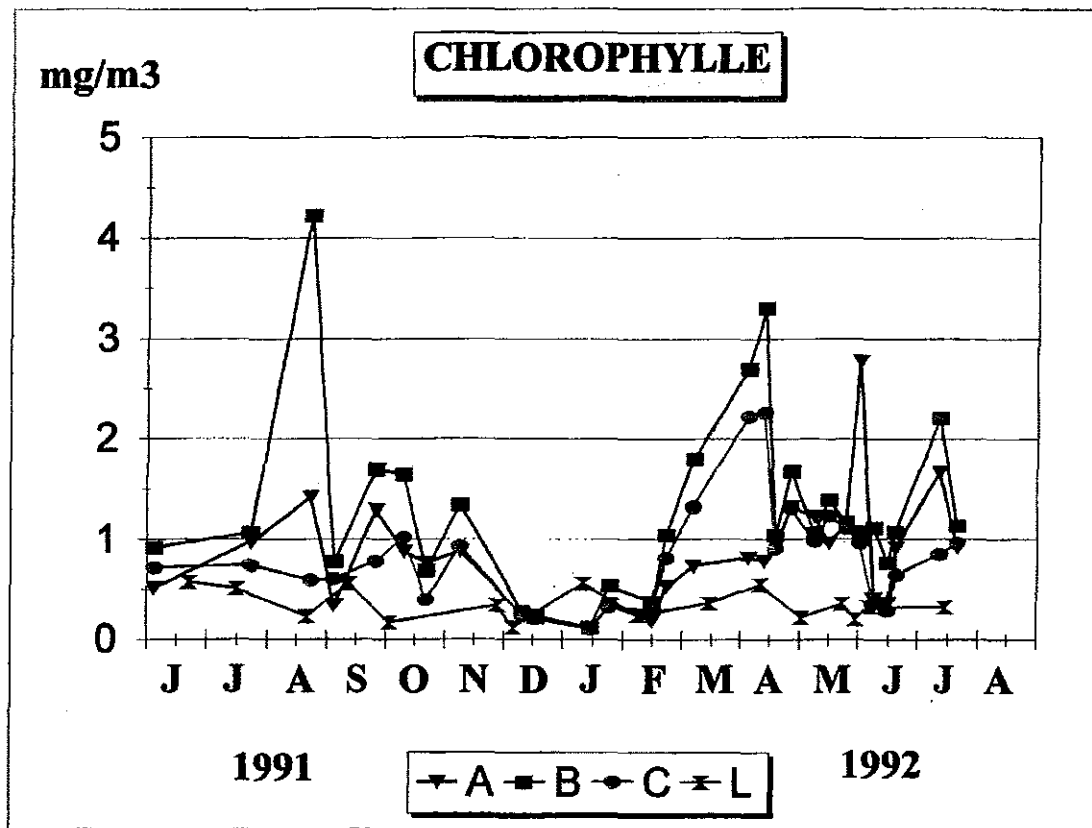


Fig 24 : Variations annuelles de chlorophylle a dans toutes les stations

## Relation matière minérale et chlorophylle

Eq :  $0.007962 * \text{mat.min.} + 0.345163$  (  $R = 0.60$  )

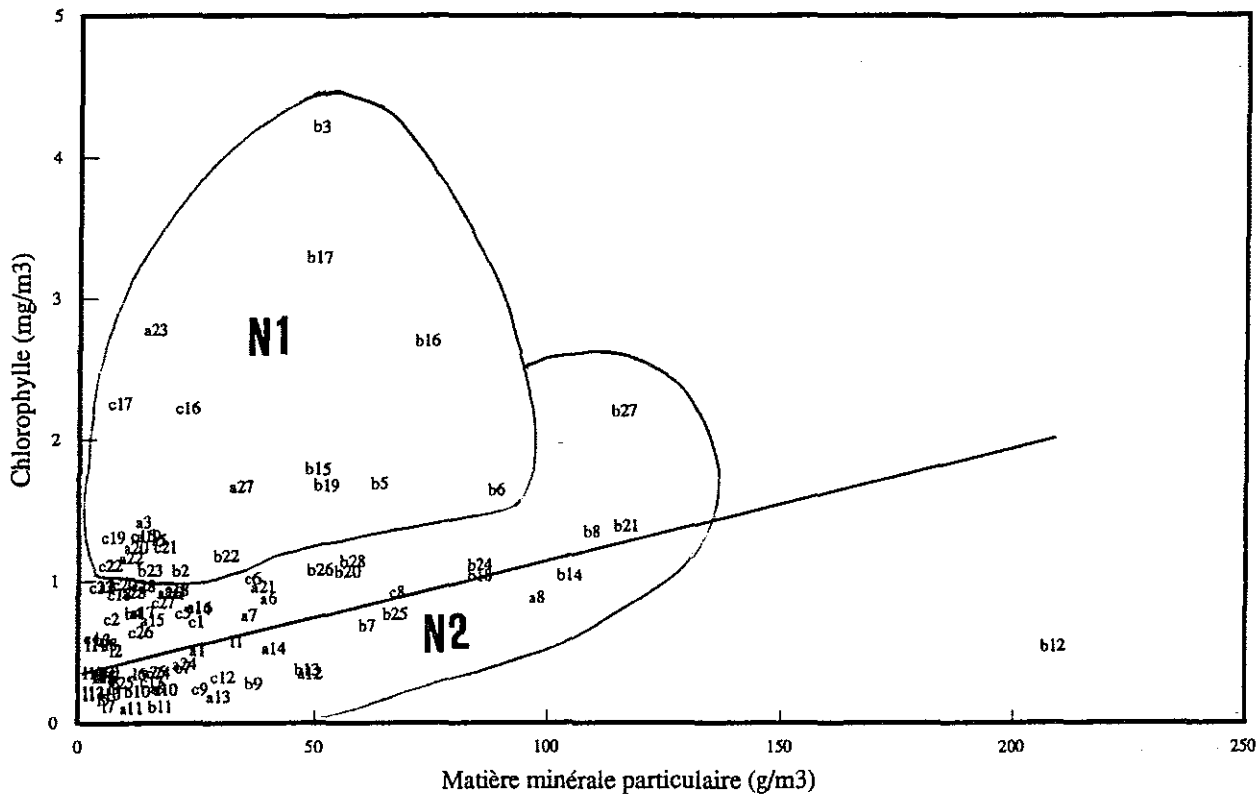


Fig 25 : Variations de la chlorophylle a en fonction des cendres sestoniques

Intitule	Date	Coefficient de maree
T1	5 / 6 / 1991	48
T2	23 / 7 / 1991	46
T3	22 / 8 / 1991	50
T4	3 / 9 / 1991	44
T5	24 / 9 / 1991	92
T6	8 / 10 / 1991	102
T7	20 / 10 / 1991	95
T8	6 / 11 / 1991	89
T9	8 / 12 / 1991	71
T10	15 / 12 / 1991	45
T11	11 / 1 / 1992	62
T12	21 / 1 / 1992	107
T13	11 / 2 / 1992	53
T14	18 / 2 / 1992	106
T15	3 / 3 / 1992	76
T16	31 / 3 / 1992	64
T17	8 / 4 / 1992	69
T18	14 / 4 / 1992	78
T19	22 / 4 / 1992	60
T20	4 / 5 / 1992	80
T21	11 / 5 / 1992	59
T22	20 / 5 / 1992	70
T23	27 / 5 / 1992	47
T24	3 / 6 / 1992	90
T25	10 / 6 / 1992	61
T26	14 / 6 / 1992	74
T27	6 / 7 / 1992	75
T28	15 / 7 / 1992	76
L1	22 / 6 / 1991	51
L2	16 / 7 / 1991	88
L3	20 / 8 / 1991	33
L4	10 / 9 / 1991	107
L5	1 / 10 / 1991	47
L6	25 / 11 / 1991	86
L7	3 / 12 / 1991	68
L8	7 / 1 / 1992	77
L9	4 / 2 / 1992	81
L10	11 / 3 / 1992	65
L11	6 / 4 / 1992	88
L12	27 / 4 / 1992	41
L13	18 / 5 / 1992	83
L14	25 / 5 / 1992	41
L15	1 / 6 / 1992	86
L16	9 / 6 / 1992	61
L17	9 / 7 / 1992	51

**Tableau 7 : Date des prélèvements et coefficients de marées.**



m<sup>3</sup>) plus faible que le pic printanier (3 mg/m<sup>3</sup>) avec un creux en hiver (Fig. 26). Les teneur en phéopigments de la station située à l'embouchure de la Sèvre Niortaise, sont toujours les plus fortes (4mg/m<sup>3</sup> en novembre et 6 mg/m<sup>3</sup> de mars à mai). La station du large ne suit pas de cycle saisonnier et les concentrations de phéopigments ne dépassent pas 1 mg/m<sup>3</sup>.

Le pic du mois d'août provient de la dégénérescence du bloom phytoplanctonique précédente (4 mg/m<sup>3</sup> station B). Les fortes valeurs de septembre à novembre qui se retrouvent dans les stations du bassin (2 - 3 mg/m<sup>3</sup>) semblent provenir des végétaux détritiques charriés par la Sèvre Niortaise lors des fortes précipitations (90 mm/mois) (Annexe 3). Durant l'hiver, les pluies sont particulièrement faibles : 20 mm en décembre 10 mm en janvier, l'étiage de la Sèvre Niortaise et du Lay est au plus bas, le transport des détritiques végétaux est quasiment nul. De janvier à février, les phéopigments apparaissent uniquement à l'embouchure de la Sèvre Niortaise cela peut être dû au développement d'algues d'eau douce qui dégénéreraient au contact de l'eau salée par osmose. Fin février à mai les fortes teneurs en phéopigments de l'embouchure témoignent de la dégénérescence d'une petite fraction de végétaux d'eau douce, mais surtout de phytobenthos remis en suspension et du phytoplancton marin présent dans le bassin comme le prouve les teneurs en chlorophylle a. Les phéopigments trouvés dans les autres stations, étant du même ordre de grandeur que la chlorophylle, on peut penser qu'il ne s'agit là que de plancton végétal d'origine marine.

### 2 - 3 - 3 Gradient sur la colonne d'eau des chlorophylle et phéopigments.

Lors des blooms chlorophylliens de printemps, les prélèvements profonds (1m au dessus du sol ) sont nettement plus riches en chlorophylle que les prélèvements effectués 1m sous la surface Fig 27. Cette tendance est beaucoup moins marquée (Fig.27 a et c), voir inversée en automne (Fig. 27b) dans le bassin. En automne, l'intensité lumineuse est moins importante qu'au printemps (Annexe 1) C'est pourquoi à charge sestonique égale (50g/m<sup>3</sup>), le phytoplancton se développe sous la surface en automne et en profondeur au printemps. Il y a donc une inhibition de la lumière printanière sur la croissance phytoplanctonique (Ryther 1956, Curl et Mc Leod 1961).

Au large, station L, les valeurs sont trop faibles pour qu'une différence entre les prélèvements de fond et de surface soit significative.

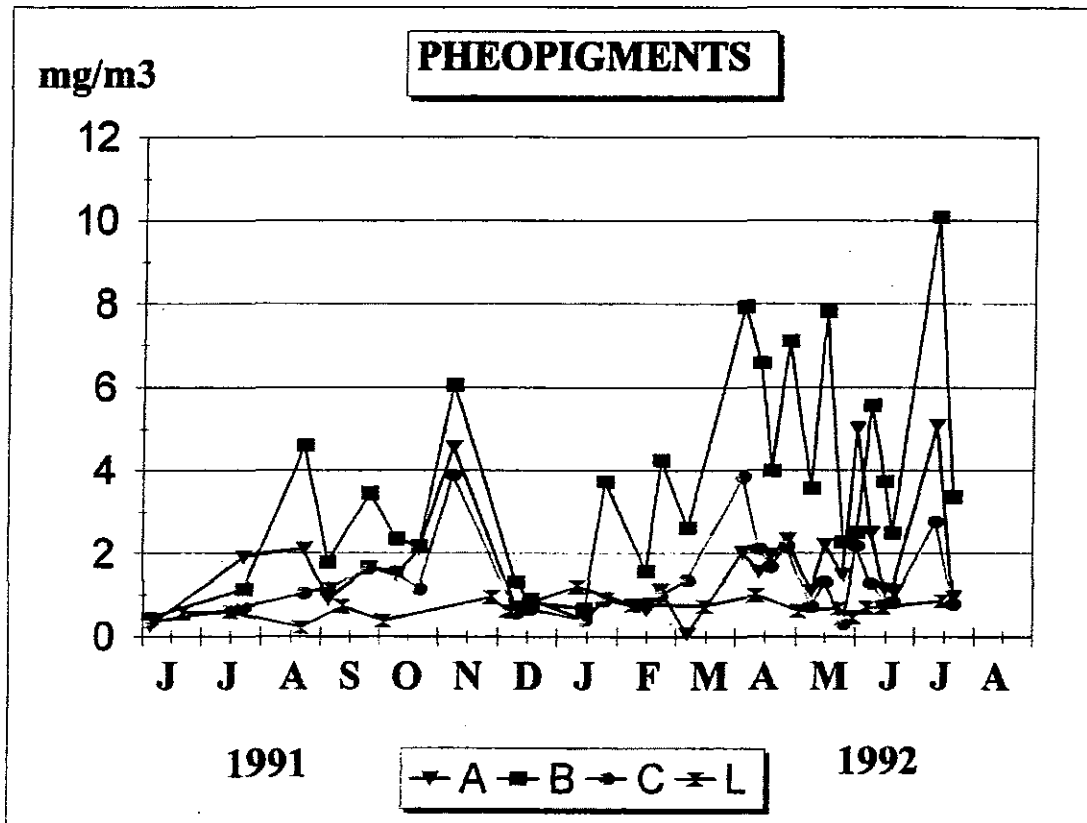
En ce qui concerne les phéopigments, les prélèvements profonds sont toujours les plus riches en raison de la sédimentation des organismes morts.

### 2 - 3 - 4 Discussion chlorophylle

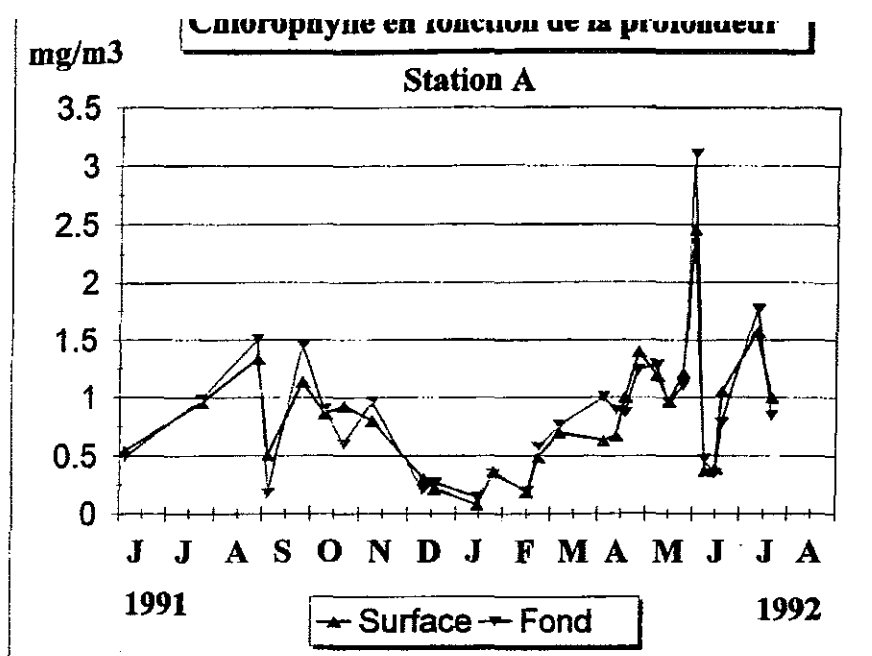
Juin-juillet 1991, les sels nutritifs sont épuisés dans le bassin, la photosynthèse ne peut plus se faire malgré les bonnes conditions photopériodiques : ensoleillement > 200h/mois (Annexe 1) et une intensité lumineuse maximale : > 55 Kj/cm<sup>2</sup> (Annexe 1).

Les orages du mois d'août 1991 entraînent par drainage des sols cultivés, les sels nutritifs dans le bassin ( SI 7-10 µmoles/l, NO<sub>2</sub> 1 µmole/l, PO<sub>4</sub> 0.2 µmoles/l ), les conditions de luminosité étant satisfaisantes, un bloom phytoplanctonique se développe aussitôt ([chl<sub>a</sub>] = 4 mg/m<sup>3</sup> à la station B et 1.5 mg/m<sup>3</sup> à la station A) épuisant instantanément les phosphates minéraux dissouts.

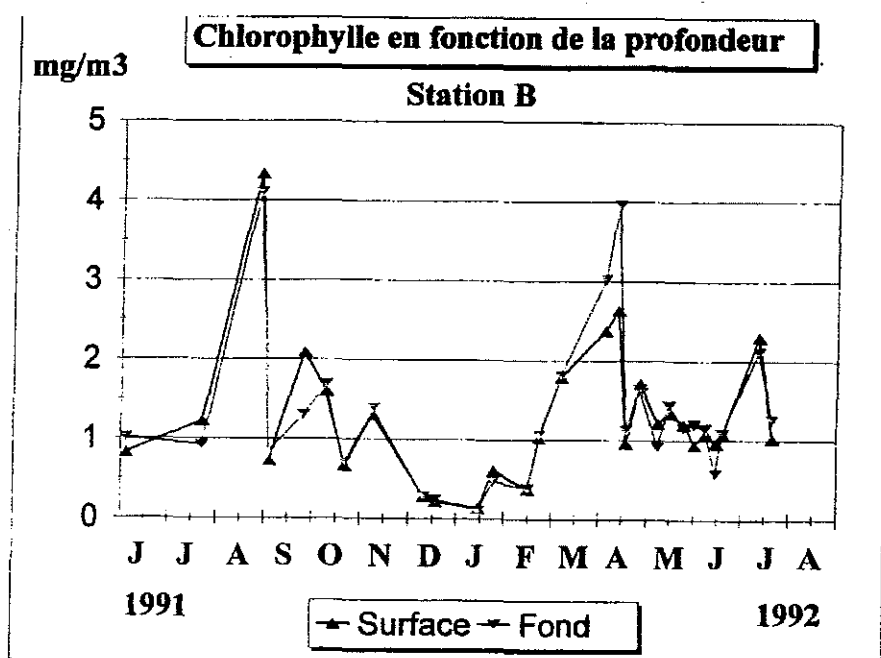
Les pluies automnales apportent des silicates, phosphates et de l'ammoniac, qui bien qu'un faible développement phytoplanctonique soit observé en septembre et en octobre ([chl<sub>a</sub>] = 1mg/m<sup>3</sup>), leur permet la constitution d'un stock de sels nutritifs. De novembre à janvier le rayonnement solaire (<15 Kj/cm<sup>2</sup>) est trop faible pour fournir l'énergie nécessaire à la photosynthèse (Travers et Travers 1962).. Si le pool de sels nutritifs n'est pas entamé, en revanche il subit des transformations.



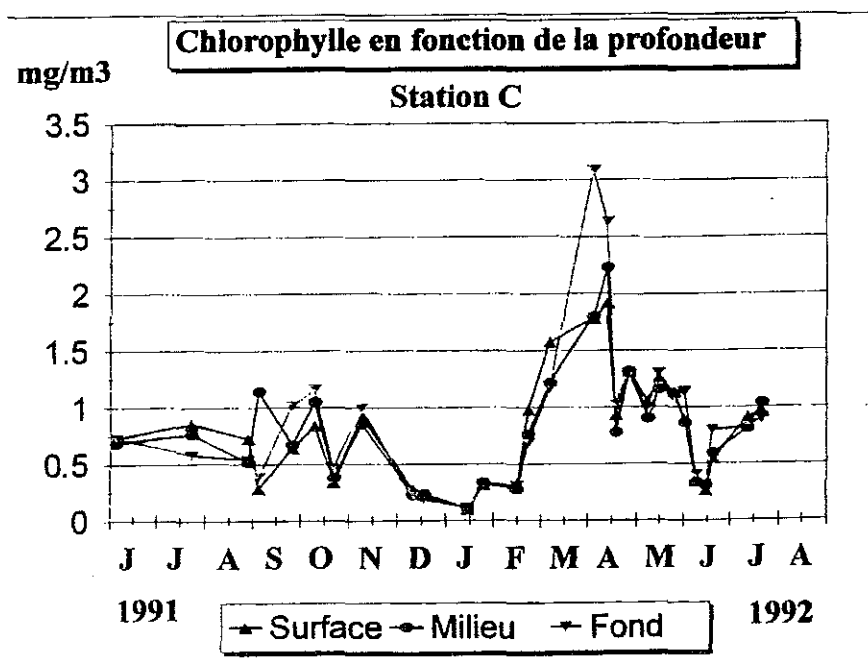
*Fig 26 : Concentrations annuelles de phéopigments dans toutes les stations*



*Fig 27a : Variation de la chlorophylle en fonctions de la profondeur à la station A*



*Fig 27b : Variation de la chlorophylle en fonctions de la profondeur à la station B*



*Fig 27c : Variation de la chlorophylle en fonctions de la profondeur à la station C*

Sous l'action des bactéries nitrifiantes, l'ammoniac (pic en octobre - novembre) est transformé en nitrites (pic novembre- décembre) puis en nitrates (pic décembre-janvier). Les silicates, après avoir atteint de 25  $\mu\text{moles/l}$  à l'embouchure de la Sèvre Niortaise se dispersent dans le bassin et sédimentent en partie jusqu'à ce que toutes les stations aient trouvé un "équilibre" de 10  $\mu\text{moles/l}$  en janvier. Les phosphates évoluent différemment selon les stations et des valeurs de 03  $\mu\text{moles/l}$  sont observées dans le bassin au mois de janvier. Une partie, non négligeable du phosphore est absorbée par le sédiment ce qui explique sa lente diminution alors qu'il n'y a pas de phytoplancton.

Dés le mois de février, un ensoleillement plus important que la normale (140 h/mois), permet la reprise de la photosynthèse qui dispose alors d'un stock important de sels nutritifs sous forme de phosphates et nitrates : c'est le bloom printanier.

Cependant il faut savoir que pendant longtemps la chlorophylle a a été considérée comme représentative du matériel phytoplanctonique actif, néanmoins, Benon et al (1977) démontrent qu'à la mort des cellules, la chlorophylle peut rester associée à des chloroplastes ou des pelotes fécales et se maintenir un certain temps sous forme dosable. Toutefois la chlorophylle, après la lyse des cellules dégénère, rapidement en phéopigments. Les erreurs commises sur l'estimation du phytoplancton sont de deux ordres. D'une part, l'espacement des prélèvements malgré la fréquence hebdomadaire d'échantillonnage au printemps, ne permet pas de savoir si l'on est au sommet de l'efflorescence algale, avant ou après. D'autre part, les dosages de chlorophylle a n'offrent qu'une vision instantanée de la biomasse phytoplanctonique présente dans le milieu. En aucun cas ils ne permettent d'estimer la production primaire ni la rapidité du turn-over des populations phytoplanctoniques. En effet une concentration de 2  $\text{mg/m}^3$  observée ne permet pas d'établir s'il s'agit d'une production de 10  $\text{mg/m}^3$  dont 8  $\text{mg/m}^3$  seraient aussitôt consommés, ou d'une production de 3  $\text{mg/m}^3$  dont 1  $\text{mg/m}^3$  serait consommé. Cela induit une marge d'erreur assez importante quant à l'estimation de la capacité trophique du bassin.

## **2 - 4 COMPOSITION BIOCHIMIQUE DE LA MATIERE PARTICULAIRE ORGANIQUE**

L'analyse chimique élémentaire de la matière organique particulaire est réalisée en prenant en compte les teneurs en sucres G, en protéines P et en lipides L. L'évolution annuelle de chacun de ces constituants aux différentes stations est reportée dans la figure 28.

La somme de ces éléments (P+L+G) représente en moyenne moins de 20% du seston sans cendre (MOP estimé par pesée). Elle représente plus de 40% de la MOP corrigée. Ce pourcentage est plus proche de celui observé sur les chairs (64 à 84 % sur les chairs de *Crassostrea gigas* ; Héral 1982). Cependant la somme des PLG n'est jamais égale à 100% de la fraction organique lyophilisée, car la méthode de Lowry et al. (1951) ne dose pas les protéines de structure. Cela entraîne une sous-estimation de la fraction protéinique (Héral 1983). Giese (1967) trouve 20% de protéines en moins avec la méthode de Lowry qu'avec l'utilisation du facteur 6.25 appliqué à l'azote total mesuré sur CHN.

### **2 - 4 - 1 Les protéines**

Les teneurs en protéines enregistrées dans le Pertuis Breton sont généralement assez faibles (< 1.2  $\text{mg/l}$ ) ( Fig 28a ). La station B domine nettement . Les protéines particulières marquent deux

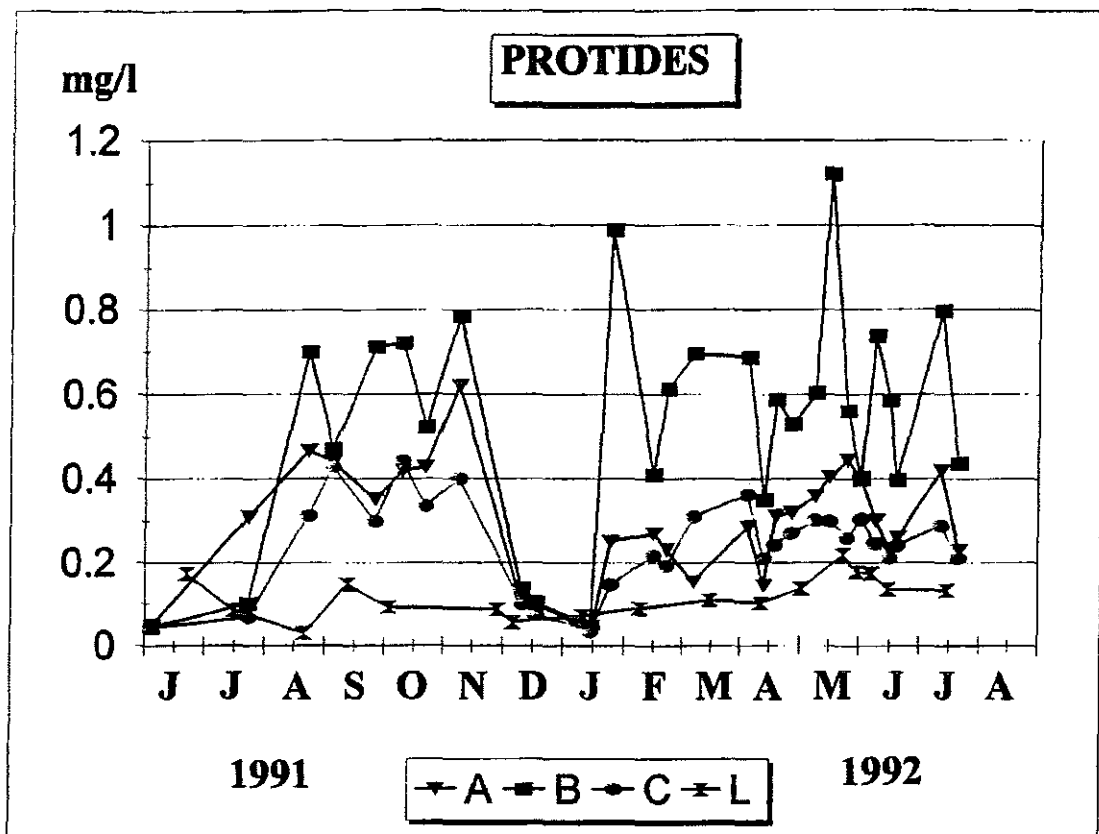


Fig 28a : Variations annuelles des teneurs en protides dans toutes les stations

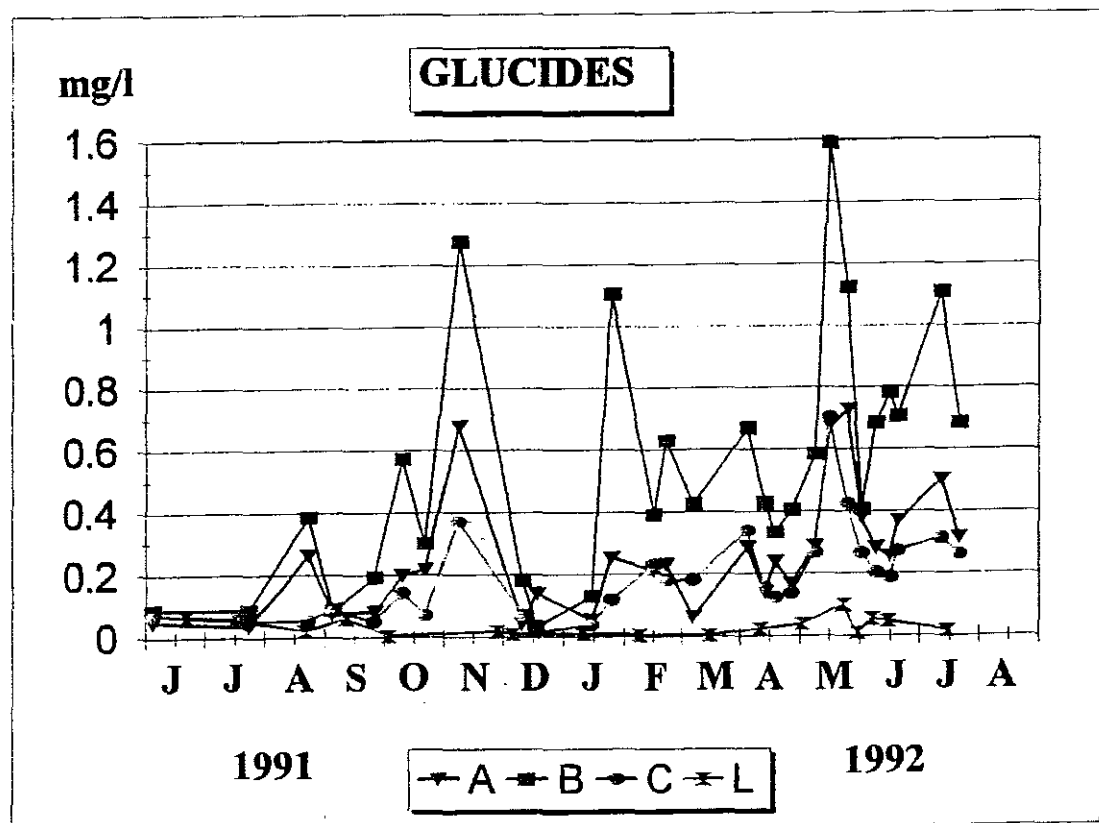


Fig 28b : Variations annuelles des teneurs en glucides dans toutes les stations

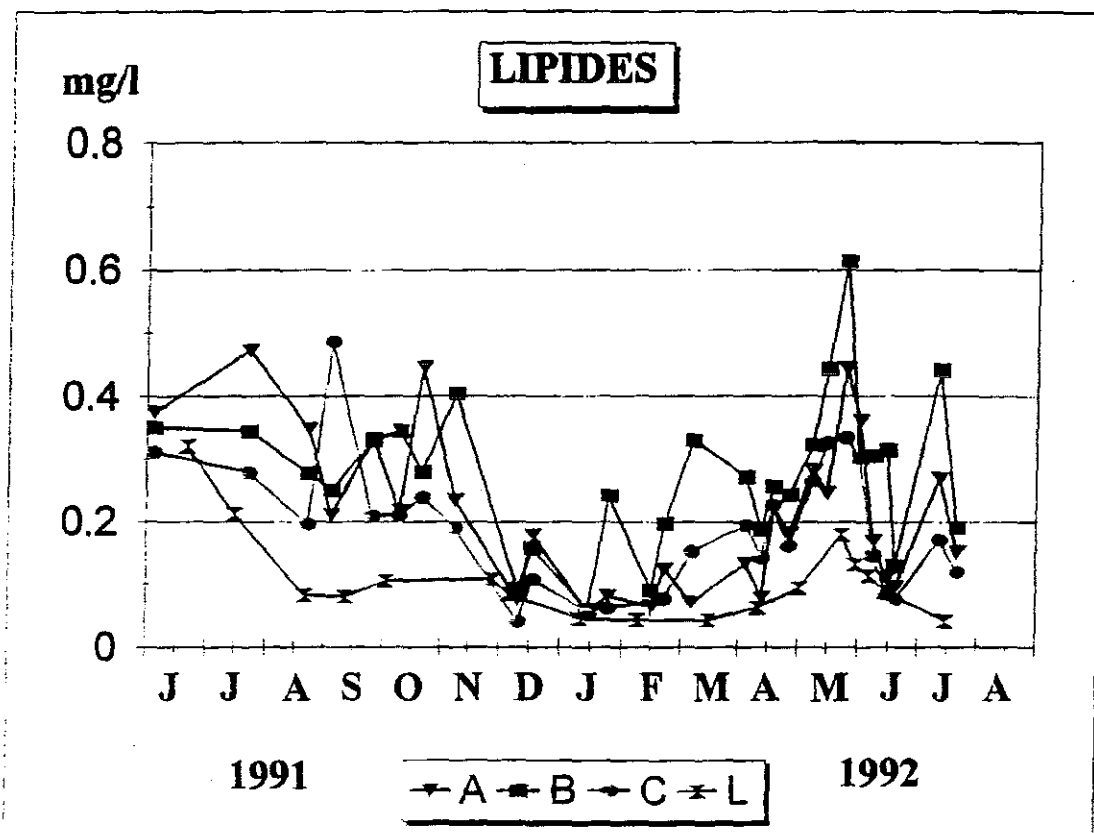


Fig 28c : Variations annuelles des teneurs en lipides dans toutes les stations

Le 23 juillet, les stations B, C et L subissent une diminution drastique des lipides, car les larves sont soit fixées, soit trop grosses pour passer à travers le préfiltre (250 $\mu$ m). Seule la station A présente un pic maximal (0.5 mg/l); Il pourrait s'agir de larves émises par les huîtres du Fiers d'Ars accumulées par un fort vent de nord-ouest (<8m/s) ajoutées à celles de Rivedoux enregistrée par la DEL (IFREMER l'Hourneau) (Annexe 6) (15/07/91 : 300 ; 29/07/91 : 1200).

Le 3 septembre 1991, tandis que les autres stations enregistrent des chutes brutales en lipides, la station C atteint son maximum (0.5 mg/l). La veille, un vent de sud a pu pousser les pontes tardives des huîtres de Fouras dont le maximum (30 000 larves/15m<sup>3</sup>) a été enregistré le 26/08/91 (Annexe 6) et expliquer le fait que le 11 septembre il n'y ai plus rien. Pendant la journée d'échantillonnage un vent d'est-nord-est a pu accumuler les larves près de la station C. Seule l'analyse systématique du plancton peut valider cette hypothèse.

Les fortes teneurs automnales et printanières correspondent aux blooms phytoplanctoniques.

Les valeurs de lipides sont accrues au mois de mai par les pontes de moules et le 6 juillet par une première ponte d'huîtres.

#### 2 - 4 - 4 Discussion

Les pourcentages en P, L et G varient de manière identique dans les trois stations du Pertuis Breton, tout au long de l'année. En juin et juillet 1991, les teneurs en lipides sont comprises entre 55 et 70% des PLG totaux (P+L+G) (Fig. 29). Cela correspond à la prédominance des pontes et les larves dont elles sont issues dans l'eau. D'août à décembre 1991, la domination des protéines (50%) caractérise la poussée phytoplanctonique automnale. Ponctuellement, le 6 novembre 1991, les glucides deviennent équivalents ou supérieurs aux protéines simultanément avec les pics de chlorophylle (1mg/m<sup>3</sup>) et de phéopigments (4mg/m<sup>3</sup>) observés dans les trois stations du bassin.

La prédominance des lipides aux mois de décembre et janvier n'est pas à prendre en compte, vu les faibles quantités dosées sur les trois constituants.

Début février à fin avril, les protéines restent dominantes, bien que les glucides leur soient quelque fois équivalents.

A partir du début mai, les glucides deviennent très largement majoritaires (50%) corrélativement au bloom phytoplanctonique printanier.

En juin 1992, il est étonnant de ne pas retrouver la prédominance des lipides observée au mois de juin précédent. En fait, en juin juillet 1991, la prédominance des lipides est accrue par la disparition quasi totale des protides et glucides, tandis qu'un an plus tard, les quantités de P et G sont toujours très importantes, ce qui masque "l'effet lipide". Cependant il faut constater que les teneurs en lipides sont légèrement plus faibles et surtout moins régulières en 1992 qu'en 1991. Les émissions massives de larves sont moins importantes mais plus étalées dans le temps aussi bien pour les moules (1991 : 30/05 - 03/07 ; 1992 : 21/04 - 23/06) que pour les huîtres (1991 : 18/07 - 13/08 ; 1992 : 06/07 - 17/08) (Annexe 6). Le fait qu'il y ait eu très peu de nourriture disponible pour les larves de moules en 1991 (juin 1991 : pas de protide, pas de glucide, pas de chlorophylle, pas de phéopigment) tandis que la nourriture semble abondante en juin 1992, peut expliquer en partie le mauvais captage enregistré sur les bouchots en 1991 et le bon captage de 1992, sans toutefois négliger l'impact de la température et de l'immersion tel que le démontrent Prou et Dardignac-Corbeil (1993).

Les dosages de P, L et G sont très faibles au niveau de la station limite. Il est difficile d'analyser des variations annuelles sur de si faibles valeurs.

Les teneurs en P et G enregistrées de juin 1991 à juillet 1992, sont du même ordre de grandeur que celles obtenues par Héral et al. (1980) et Boromthanasat (1984) dans le bassin de Marennes Oléron. Les teneurs en lipides, quant à elles sont beaucoup plus importantes dans le Pertuis Breton que dans le bassin de Marennes Oléron : les concentrations en lipides n'excèdent jamais 0.2 mg/l bien

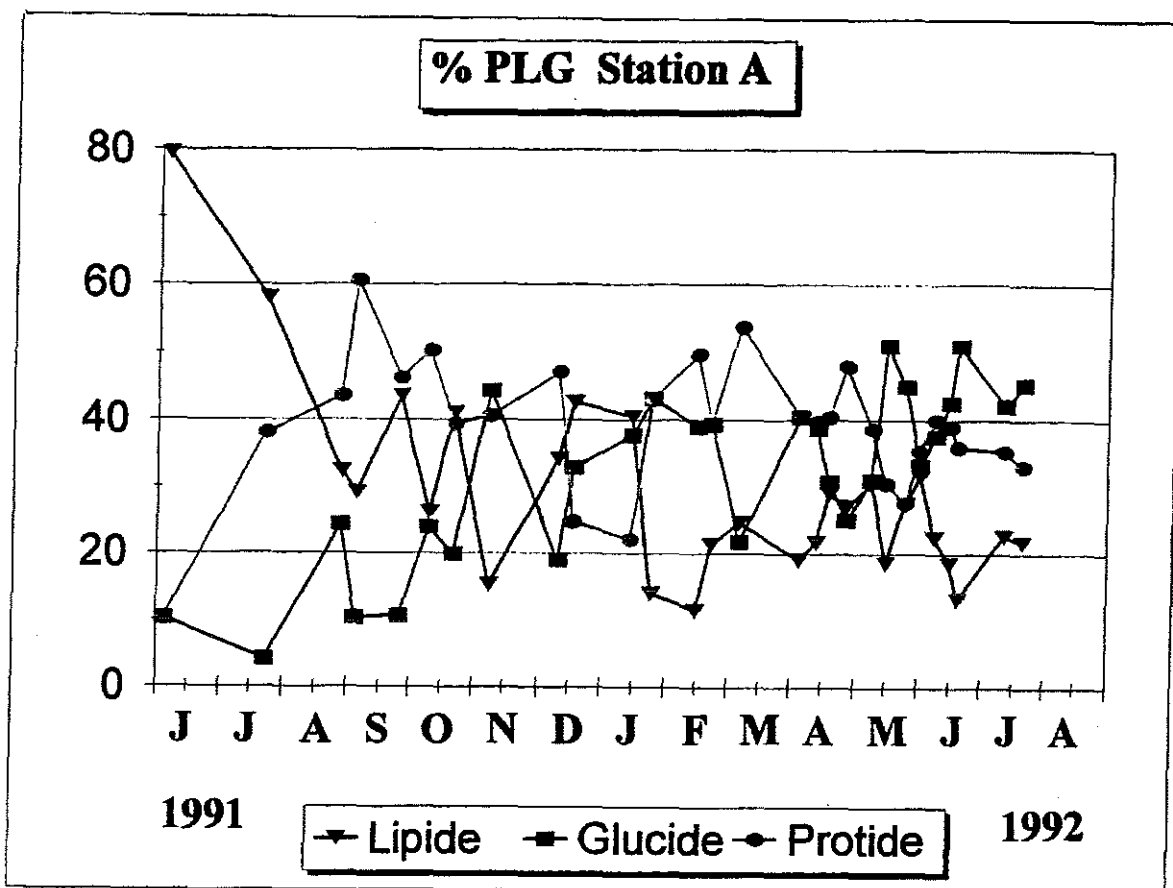


Fig 29 a: Pourcentage de chaque constituant par rapport à la somme des PLG dans la station A

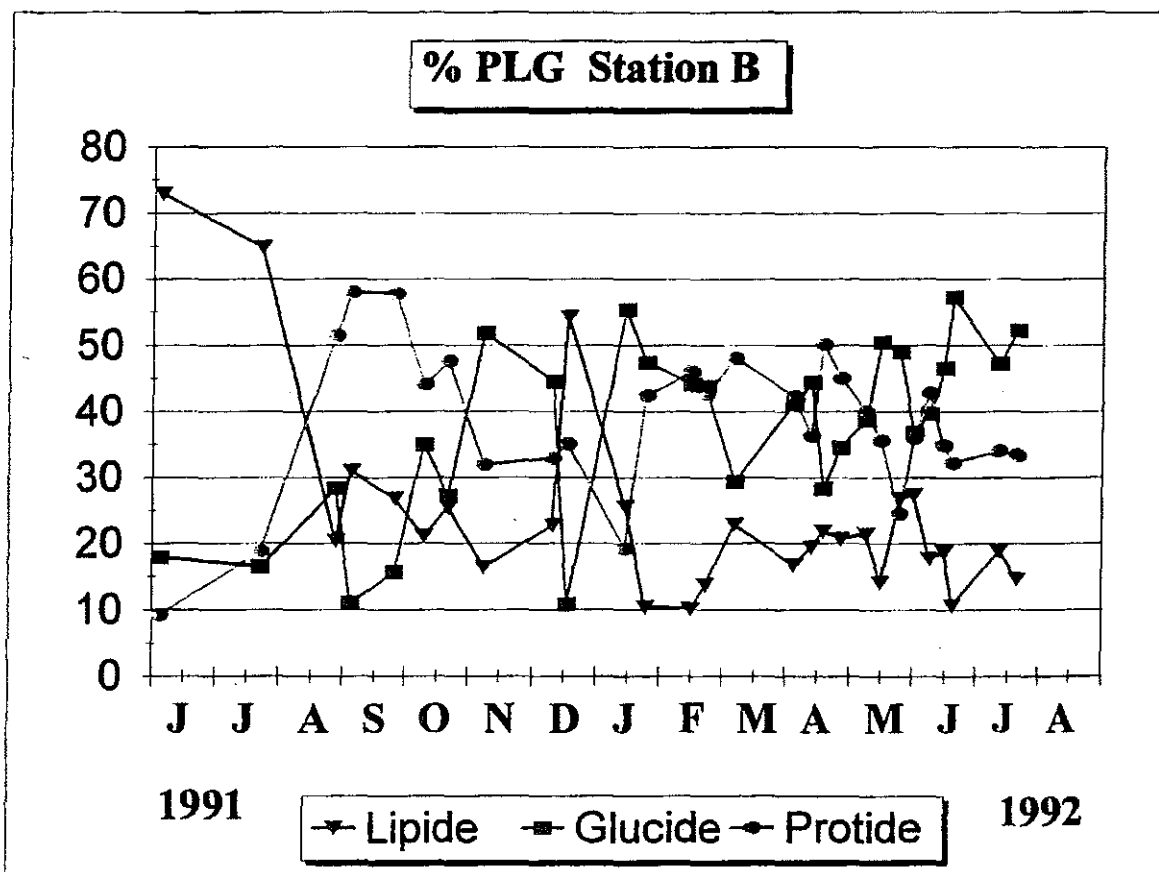


Fig 29 b: Pourcentage de chaque constituant par rapport à la somme des PLG dans la station B



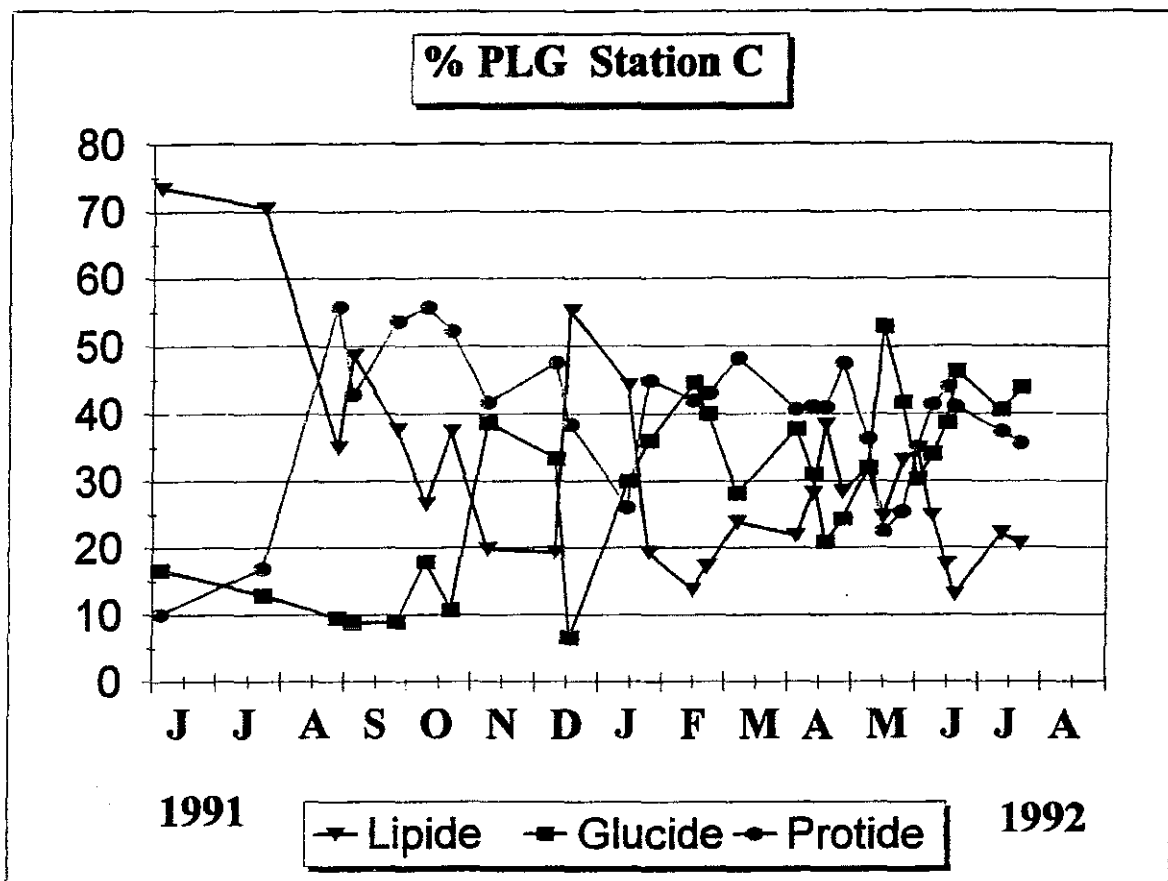


Fig 29 c: Pourcentage de chaque constituant par rapport à la somme des PLG dans la station C

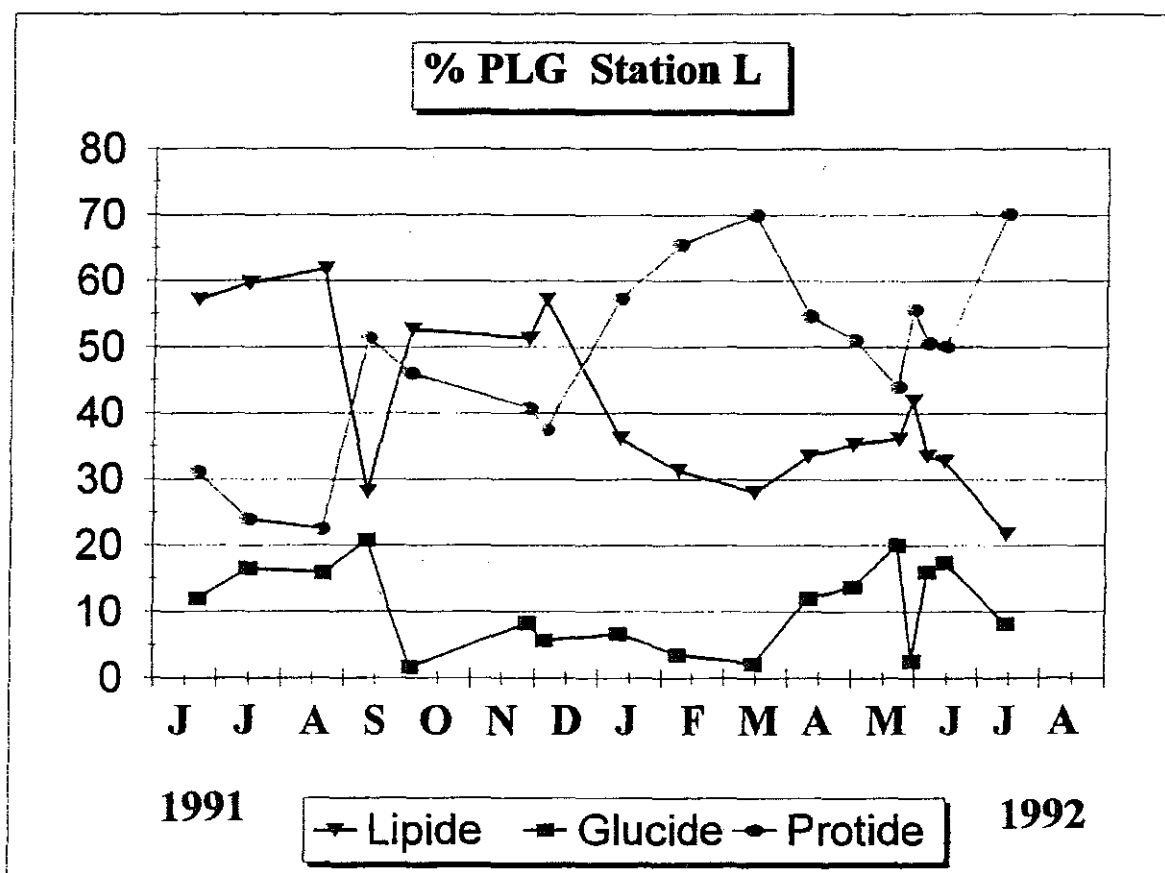


Fig 29 d: Pourcentage de chaque constituant par rapport à la somme des PLG dans la station L

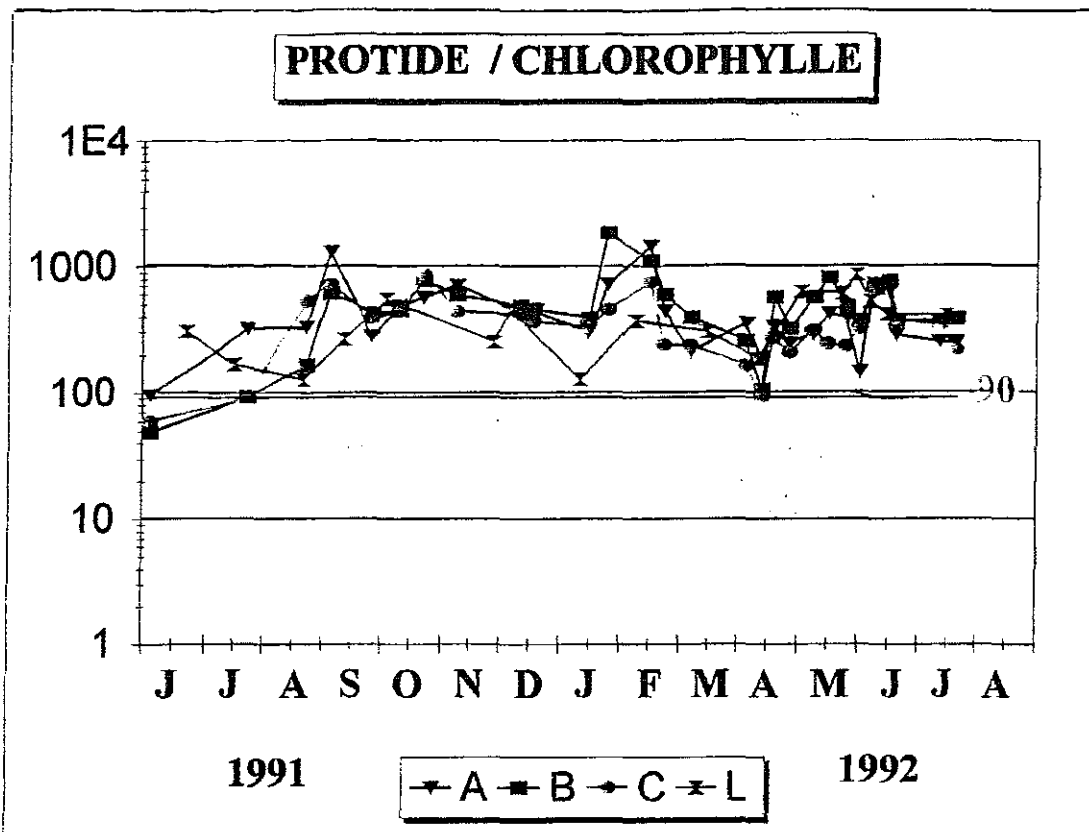


Fig 30 : Rapport protides / chlorophylle a

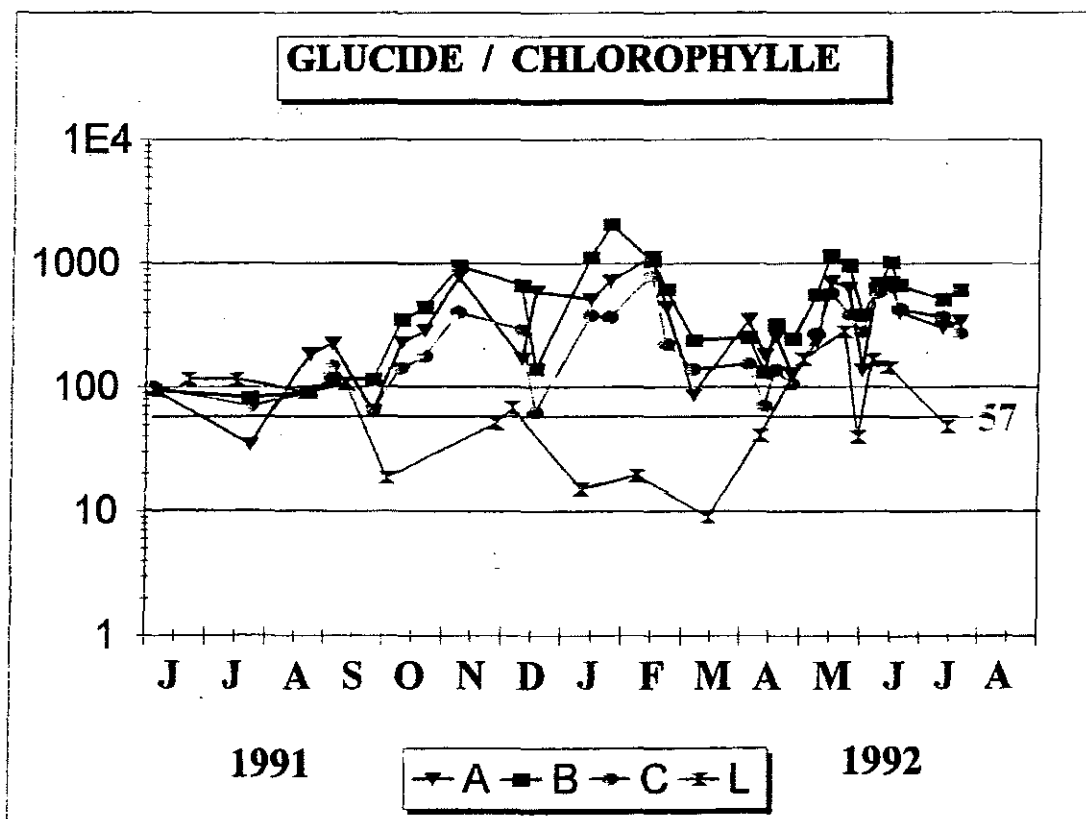
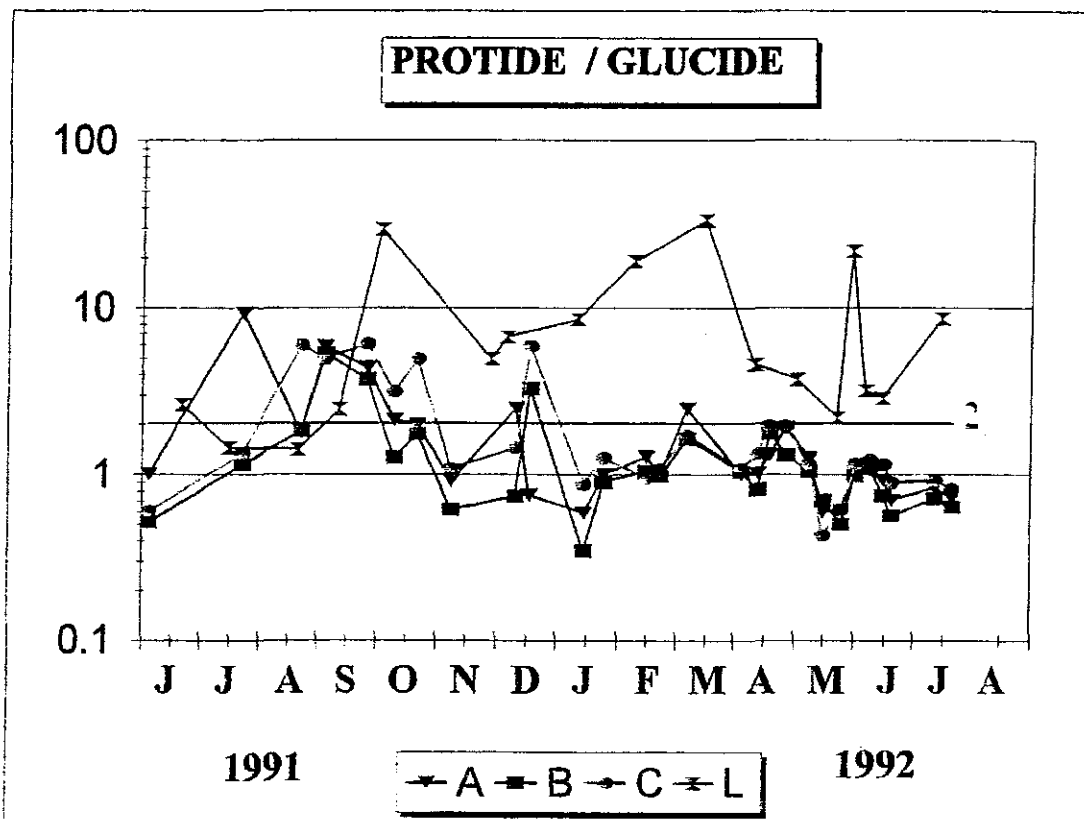


Fig 31 : Rapport glucides / chlorophylle a



*Fig 32 : Rapport protides / glucides*

qu'une légère augmentation soit signalée au mois de mai et début août 1984 par Boromthanarat (1984) et en août 1980 par Héral et al. (1980).

## **2 - 5 RELATIONS ENTRE LES PARAMETRES**

### **2 - 5 - 1 Rapport protéines / chlorophylle a :**

L'étude du rapport protéines/chlorophylle a permet de préciser la nature du matériel particulaire (Nival et al. 1970). Parson et al. (1961) ont trouvé que ce rapport varie entre 23 et 90 pour différentes espèces phytoplanctoniques vivantes. L'étude des variations annuelles de ce rapport (Fig. 30) montre que malgré une corrélation significative entre ces deux paramètres ( $R = 0.55$ ), les protéines particulières sont essentiellement d'origine détritique. En effet, au mois de juin 1991, le rapport, inférieur à 90, n'est dû qu'aux très faibles valeurs de protéines dans l'eau tandis qu'il y a également très peu de chlorophylle présente.

### **2 - 5 - 2 Rapport glucides / chlorophylle a :**

La rapport glucide/ chlorophylle a varie entre 10 et 57 pour les cellules vivantes (Parson et al. 1961). La figure 31 montre que ce rapport mesuré sur le Pertuis Breton, n'est inférieur à 57 qu'au niveau de la station limite où les valeurs de chlorophylle a n'excèdent jamais  $0.7 \mu\text{g/l}$ . Les teneurs en glucides quant à elles, ne dépassent pas  $0.2 \text{ mg/l}$  tout au long de l'année. Ce rapport semble indiquer que le peu de chlorophylle échantillonnée en station limite serait dû au phytoplancton vivant d'origine océanique. Au vu des faibles valeurs dosées, il faut prendre ces résultats avec réserve. Dans le bassin, hormis un point où il est inférieur à 57, uniquement par manque de glucides, ce rapport montre une très nette dominance du matériel détritique.

### **2 - 5 - 4 Rapport protéines / glucides :**

Le rapport protéines / glucides est considéré comme caractéristique de l'état physiologique du phytoplancton (Mc Allister et al. 1961, Micklestad et al. 1972, Martin et al. 1977). Pour des cultures de phytoplancton, ce rapport est voisin de 2. Dans le Pertuis Breton, (Fig. 32), ce rapport varie de 6 à 0.3 pour les stations du bassin et de 33 à 1.4 pour la station limite. Contrairement à ce qui se passe à la station limite où il semblerait cette fois que le plancton soit en mauvais état, ce rapport pour les stations du bassin est assez proche de 2. Les oscillations montrent tour à tour les prépondérances des protides et des glucides au cours de l'année. Il ressort de ce graphe qu'en automne, même si l'on enregistre des valeurs importantes en chlorophylle a il s'agit d'un phytoplancton dégénéré, tandis qu'au printemps ce rapport est nettement inférieur à 2, impliquant la présence d'un matériel vivant. Ce rapport diminue encore au fur et à mesure que les réserves en sel nutritifs s'épuisent dans le Pertuis Breton car une culture phytoplanctonique ayant de très faibles valeurs nutritives à sa disposition produit moins de protéines comparativement aux glucides (Mc Allister et al. 1960).

### **2 - 5 - 4 Tableau de corrélations :**

Le tableau 8 regroupe les coefficients de corrélation entre les différents paramètres hydrobiologiques mesurés pendant un cycle annuel d'échantillonnage, de juin 1991 à juillet 1992.

L'absence de corrélation significative entre la salinité et les autres facteurs prouve une origine autochtone du matériel vivant du Pertuis Breton. Il faut noter cependant, la corrélation significative à 5% entre les phéopigments et la dessalure qui montre le rôle mineur, mais réel, des apports de matériel détritique d'origine végétal par les eaux douces. Seule la matière minérale enregistre une faible

	Coeff.	MOP	Mat.Min.	Protéine	Glucide	Lipide	Chloro.a	Phéop.	Salinité	Tempér.
Coeff.	<b>1</b>									
MOP	<b>0.09</b>	<b>1</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		
Mat.Min.	<b>0.40</b>	<b>0.89</b>	<b>1</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	
Protéine	<b>0.26</b>	<b>0.76</b>	<b>0.80</b>	<b>1</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		
Glucide	<b>-0.07</b>	<b>0.42</b>	<b>0.33</b>	<b>0.59</b>	<b>1</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>
Lipide	<b>0.18</b>	<b>0.74</b>	<b>0.76</b>	<b>0.81</b>	<b>0.52</b>	<b>1</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		
Chloro.a	<b>0.01</b>	<b>0.40</b>	<b>0.31</b>	<b>0.55</b>	<b>0.46</b>	<b>0.43</b>	<b>1</b>	<b>X</b>		
Phéop.	<b>0.13</b>	<b>0.72</b>	<b>0.69</b>	<b>0.78</b>	<b>0.44</b>	<b>0.73</b>	<b>0.69</b>	<b>1</b>		
Salinité	<b>-0.14</b>	<b>-0.08</b>	<b>-0.33</b>	<b>-0.11</b>	<b>0.22</b>	<b>-0.14</b>	<b>-0.06</b>	<b>-0.21</b>	<b>1</b>	<b>X</b>
Tempér.	<b>-0.15</b>	<b>-0.04</b>	<b>-0.09</b>	<b>0.21</b>	<b>0.50</b>	<b>0.07</b>	<b>0.19</b>	<b>0.10</b>	<b>0.64</b>	<b>1</b>

Degré de liberté = 99;    Seuil significatif à 1 % = 0.27 **X**

*Tableau 8 : Tableau de corrélations entre les facteurs hydrobiologiques.*

corrélation (1%) avec la dessalure, cela correspond à la dilution de la matière minérale depuis la baie de l'Aiguillon vers la sortie du bassin, plus salée. Les apports d'eau douce de la Sèvre Niortaise, du Lay et des chenaux n'ont qu'un rôle insignifiant dans le Pertuis Breton en 1991 et 1992. Gouleau (1975) démontrait pourtant une certaine influence de la Sèvre Niortaise. Cette différence est à mettre sur le compte de la sécheresse des années antérieures qui ont considérablement diminué l'étiage des cours d'eau et donc leur impact sur l'hydrologie du bassin.

La corrélation significative entre la matière minérale et les coefficients de marée montre qu'il s'agit essentiellement d'une remise en suspension par les courants de marée. Phénomène accru par les vents (cf. chap. 2.1.1.). Prises séparément, les stations ont une meilleure corrélation avec les coefficients de marée.

La dépendance de matière organique particulaire par rapport à la matière minérale particulaire, ne fait aucun doute ( $R = 0.89$ ). La matière particulaire organique est donc, elle aussi issue, de la remise en suspension.

Les lipides montrent une bonne corrélation avec les glucides, car tout comme eux, ils sont caractéristiques du matériel vivant, ainsi qu'avec la température car les périodes de pontes sont tributaires de la chaleur.

## 2 - 6 CONCLUSION SUR L'HYDROBIOLOGIE DU BASSIN

La limitation de la production primaire est un phénomène général dans le milieu marin, la production maximale, à quelques rares exceptions près, n'est atteinte en raison de la carence en éléments trophiques ou oligo-éléments. Les expériences de Fiala et al. (1976), pratiquées au large de Banyuls (Méditerranée occidentale), montrent qu'une production maximale de 1.4 mg/m<sup>3</sup> de chlorophylle a en milieu naturel, peut atteindre 20.4 mg/m<sup>3</sup> de chlorophylle a en milieu enrichi.

La connaissance des conditions hydrobiologiques et la distribution des principaux composés minéraux permettent rarement de déterminer les facteurs limitants. En effet l'analyse est toujours incomplète, notamment en ce qui concerne les éléments traces, et la concentration instantanée en mer n'indique pas le taux de renouvellement des divers éléments. Beaucoup d'auteurs utilisent la fertilisation artificielle pour découvrir ces facteurs limitants (Fiala et al. 1976, Jacques et al. 1976, Berbland et al. 1978, Deltreil et al. 1977) bien que l'addition d'un milieu fertilisant et l'incubation expérimentale conduisent au développement d'un écosystème qui, au bout de quelques jours, n'a plus grand rapport avec celui d'origine.

Cependant il ressort de l'étude des différents travaux menés sur ce sujet depuis de nombreuses années (Tab.9) que la fertilité potentielle des eaux marines est gouvernée essentiellement par les nitrates et les phosphates. C'est pourquoi un intérêt accru est porté à ces deux facteurs chimiques. Il a également été prouvé que des facteurs physiques pouvaient avoir une influence non négligeable sur la production primaire. En effet la présente étude menée sur le Pertuis Breton permet de mettre en évidence trois facteurs limitants de la production primaire tout au long de l'année.

1 - De septembre à octobre, les concentrations de chlorophylle sont faibles malgré l'importance des stocks d'ammonium et de phosphates présents dans le bassin. D'autre part le rayonnement solaire (Annexe 1), est légèrement supérieur à celui de février-mars où l'on observe une croissance

Site étudié	Facteurs limitants	Source (1)
Mer Baltique	1. N	GRANELI et GRANELI, 1983
Eaux côtières nord patagoniques	1. N	CHARPY - ROUBAUD, 1982
Bayou Texar (U.S.A.)	1. N	HANNAH et al, 1973
Eaux côtières de Géorgie (U.S.A.)	1. N	BISHOP et al, 1984
Claires ostréicoles de Marannes-Oléron	1. N	ROBERT, 1983
Mer du Nord	1. N	SAKSHAUG et al, 1983
Mère Coast - Trondheimsfjord	1. N ou P	" " "
Fjords norvégiens saunâtres (S 25 X.)	1. P	" " "
Fjord d'Oslo	1. P ou N	GRAY et PAASCHE, 1984
Baie de New-York	1. N	YENISCH, 1977
Baie de New-York	1. N (été) 1. Si (printemps)	GARSIDE, 1981
Georges River (Australie)	pas de réelle hiérarchie, malgré NP faibles	HEATH et al, 1980
Manche	1. P	DAVIES et SLEEP, 1981
Estuaires du Golfe du Mexique	1. P	MYERS et IVERSON, 1982
Baie d'Alger	1. P, 2. Fe-Si, 3. N (mars à octobre) 1. N, 2. P-Si, 3. P-Si-Vit. (novembre à avril)	GAUMER, 1981
Méditerranée	1. P, 2. N	BERLAND et al, 1980
Golfe du Lion	1. N ou P	FIALA et al, 1976
Océan Pacifique (est, zones tropicales)	1. Si	THOMAS et DODSON, 1975
Océan Indien	1. Fe	TRANTER et NEWELL, 1967
Rade de Brest	Surface : 1. Si, 2. N ou P Fond : 1. Si-N, 2. P	HAFSAOUI, 1984
Manche Occidentale	1. Si	MARTIN - JEZEQUEL, 1981
Estuaire du Potomac	1. P	JAWORSKI, 1981

*Tableau 9 : Facteurs limitants dans différents sites.*

*(source: CLEMENT, 1987)*

phytoplanctonique bien plus importante. Donc ni la lumière ni les sels minéraux ne sont limitants au début de l'automne.

Le rôle limitant de la turbidité est effectif pendant les mois de septembre et octobre où la couche euphotique est inférieure à 1m (Fig. 21)..

De février à mars c'est encore la turbidité qui empêche l'explosion phytoplanctonique attendue. Là encore, la couche euphotique est inférieure à 1m.

2 - De novembre à début février, la rayonnement solaire est trop faible ( $< 15 \text{ kJ/cm}^2$ ) ( Annexe 1) pour fournir l'énergie nécessaire à la photosynthèse.

3 - Du mois d'avril au mois d'août, ce sont les sels nutritifs et plus particulièrement le phosphore qui contrôlent la production algale. En effet la rayonnement est maximal, la couche euphotique est deux fois plus importante et pourtant le développement phytoplanctonique est beaucoup plus faible que précédemment (février-mars). Ce résultat était prévisible : De nombreux auteurs ont démontré que le phytoplancton assimilait entre 10 et 15 fois plus d'azote que de phosphore (Tab 10).

N / P	Auteurs
15	Redfield 1934
15.5	Fleming 1940
2.3	Harris et Riley 1956
25	Mc Gill 1965
5 $\diamond$ 15	Ryther et Dunstan 1971
10	Healy 1975
12.5	Fiala et al 1965

*Tableau 10 : Rapport N / P phytoplanctonique dans la littérature.*

Mc Gill (1965) a trouvé un rapport N/P égale à 25 mais il s'agissait de populations d'eau profondes peu comparables avec les populations littorales rencontrées sur le site étudié. Les stocks de sels nutritifs disponibles un peu avant février (date du début du bloom), dans le Pertuis Breton, font état de  $60 \mu\text{moles}$  d'azote (Fig. 14) et de  $0.2 \mu\text{moles}$  de phosphate (Fig. 17).. Le rapport N/P est de 150 ! Il implique que le stock de phosphore est 10 fois trop insuffisant pour permettre l'utilisation de l'azote du bassin. La figure 17 montre une disparition complète du phosphore dès le mois de mai ( $[\text{PO}_4] = 0$ ), alors qu'il restent encore des formes azotées dans le bassin. Cela entraîne une rapide chute de concentration de chlorophylle a sans toutefois l'annihiler complètement. Deux phénomènes contribuent à l'alimentation, quoique faible, en phosphore : il s'agit d'une part du relargage des phosphates par le sédiment ( cf chap phosphore); et d'autre part de l'excrétion de phosphore organique par les moules essentiellement (cf chap. phosphore) et de la dégénérescence du plancton qui libère ainsi des molécules phosphorées directement utilisables par le phytoplancton. En effet les expériences de Provasoli et al (1957) ont montré que de nombreuses algues unicellulaires peuvent utiliser les phosphates organiques et plus particulièrement les glycérophosphates, grâce à des phosphatases liées à la surface même de la cellule qui assimilent le radical phosphate tout en laissant la fraction organique restante dans le milieu. Ces phosphatases apparaissent dans beaucoup d'espèces lorsque le milieu s'appauvrit en phosphore minéral.

Des conditions similaires à celles de ce travail ont été rencontrées dans la calanque d'En-Vaux



(Méditerranée) par Berbland et al. (1978). Leurs étude établit un rapport N/P compris entre 100 et 200, et les expériences d'enrichissements artificiels confirmèrent l'insuffisance du phosphore.

Il semblerait que le déficit en phosphates dans le bassin soit imputable au pouvoir fixateur du marais poitevin que traversent tous les cours d'eau avant de se jeter dans le Pertuis Breton. *Il est nécessaire d'entreprendre une étude de ce pouvoir fixateur sur l'étendue du marais poitevin afin de déterminer la quantité maximale de phosphate qui peut être retenue. En effet si ce seuil de stockage des phosphates par le marais vient à être dépassé par accumulation, d'importantes quantités de phosphore pourraient arriver dans le Pertuis Breton et perturber son équilibre actuel. Dans combien de temps cela peut-il se produire et quelles en seront les conséquences pour l'aquaculture du bassin ?*

La comparaison de l'inventaire spécifique du phytoplancton du Pertuis Breton (phosphate limitant) et celui de Marennes-Oléron (nitrate limitant) devrait confirmer cette conclusion. En effet, un milieu riche en N favorise les espèces à assimilation rapide de l'azote, les autres espèces tendent à disparaître, diminuant ainsi l'indice de diversité spécifique décrit par Gleason (1922) (Robert et al. 1982). Healey (1975), écrit que dans un milieu riche en azote les cellules phytoplanctoniques ont plus de chlorophylle a, tandis que dans un milieu riche en phosphore les cellules se multiplient plus rapidement.

Les phéopigments suivent la même évolution que les chlorophylles (Fig. 26). En automne et au printemps, ils sont issus de la dégénérescence des poussées phytoplanctoniques, le reste de l'année il s'agit de la dégénérescence du matériel phytobenthique et des débris végétaux sédimentés.

Très faible apport de matériel détritique par les eaux douces à cause de la sécheresse.

Une très forte turbidité induite par une importante remise en suspension du fond vaseux grâce aux courants de marée et aux vents d'ouest.

La matière organique particulière provient de la remise en suspension. Il s'agit essentiellement de matériel détritique, très abondant en automne. Le pic printanier correspond à une poussée phytoplanctonique active d'origine autochtone.

La somme des PLG représentent 40 % de la MOP. Les lipides de mai à août proviennent en grande partie des pontes des mollusques .

### **3 ROLE TROPHIQUE POTENTIEL DU BASSIN.**

De récentes études menées en laboratoire et in situ montrent qu'un des facteurs les plus importants permettant d'estimer "l'espoir de croissance" de *Mytilus edulis* est la ration alimentaire. Mais la composition biochimique de ce bol alimentaire a également un grande importance.

Il est essentielle d'essayer de mesurer les potentialités nutritives des eaux du Pertuis Breton afin d'en mesurer l'impact sur le comportement et la croissance des moules en culture. Si l'évaluation du

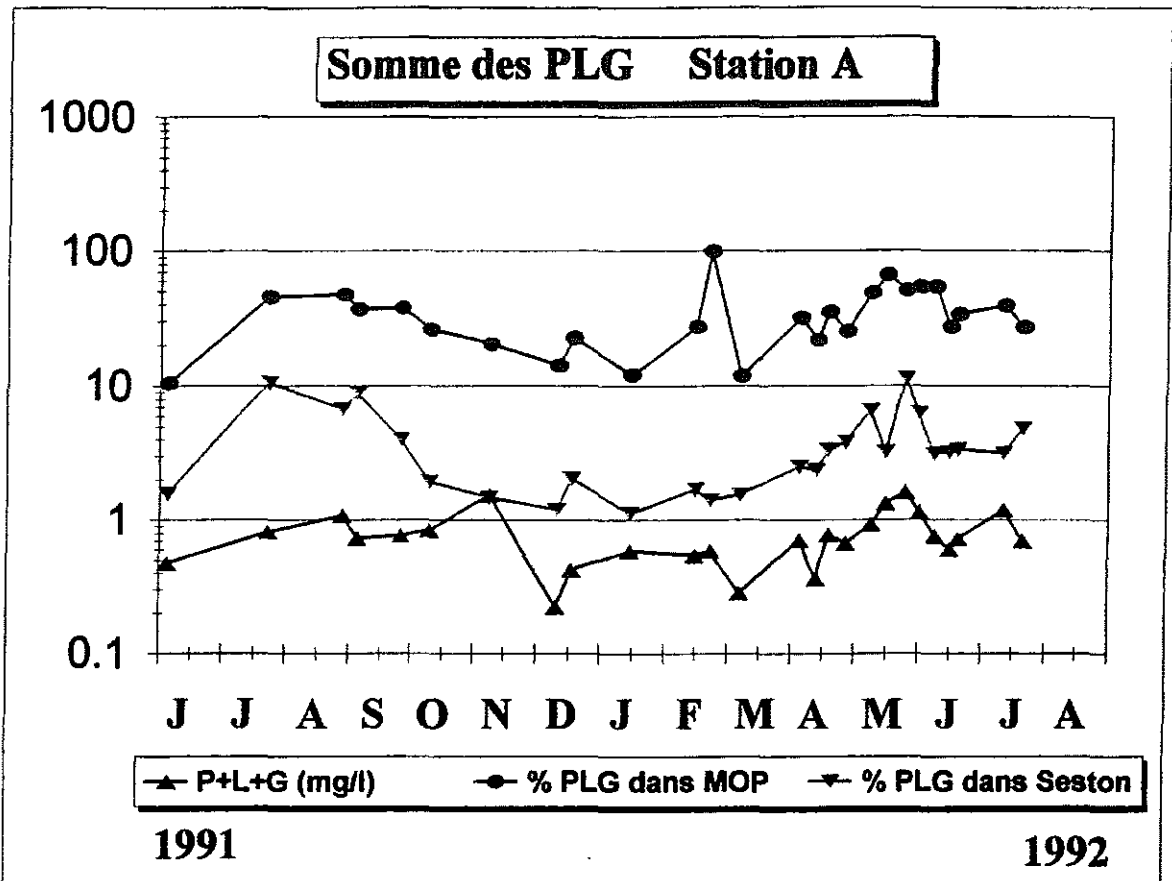


Fig 33 a: Pourcentage de la MOP et du seston représenté par la somme des PLG dans la station A

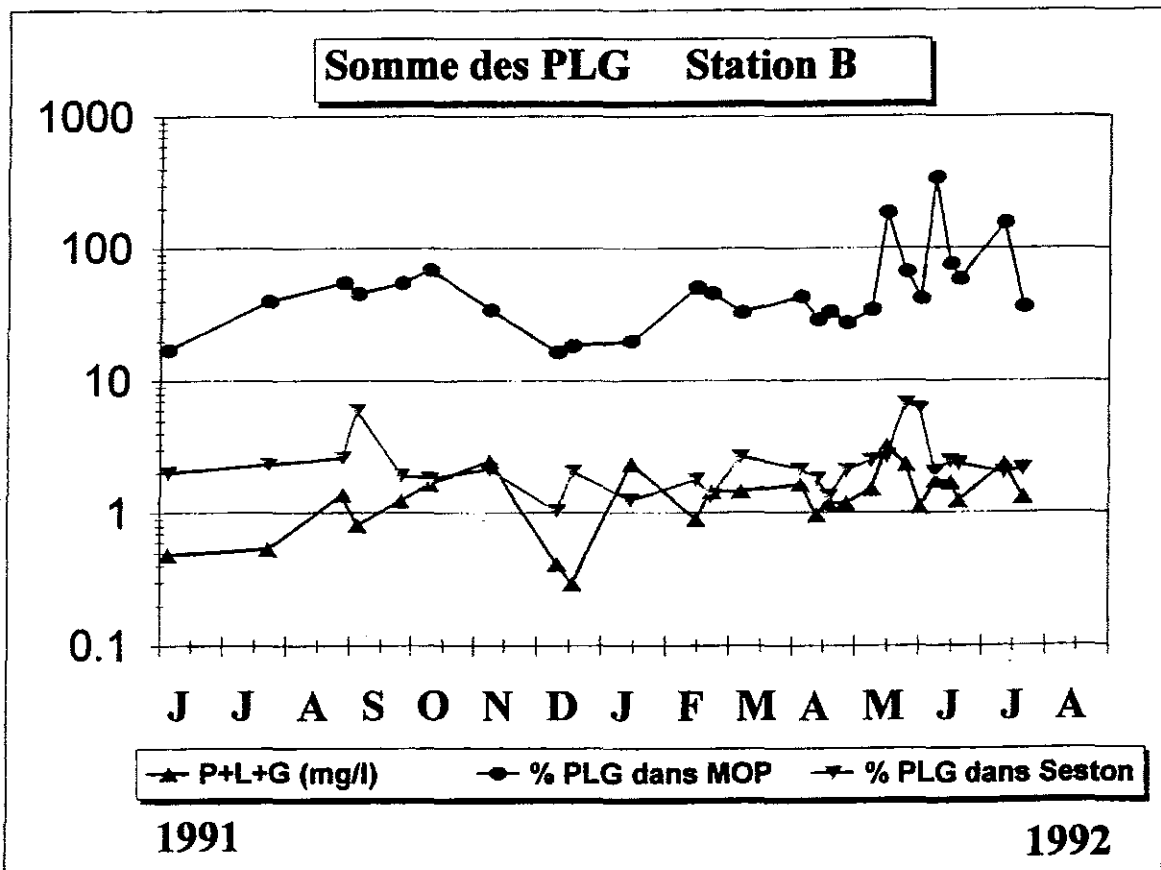


Fig 33 b: Pourcentage de la MOP et du seston représenté par la somme des PLG dans la station B

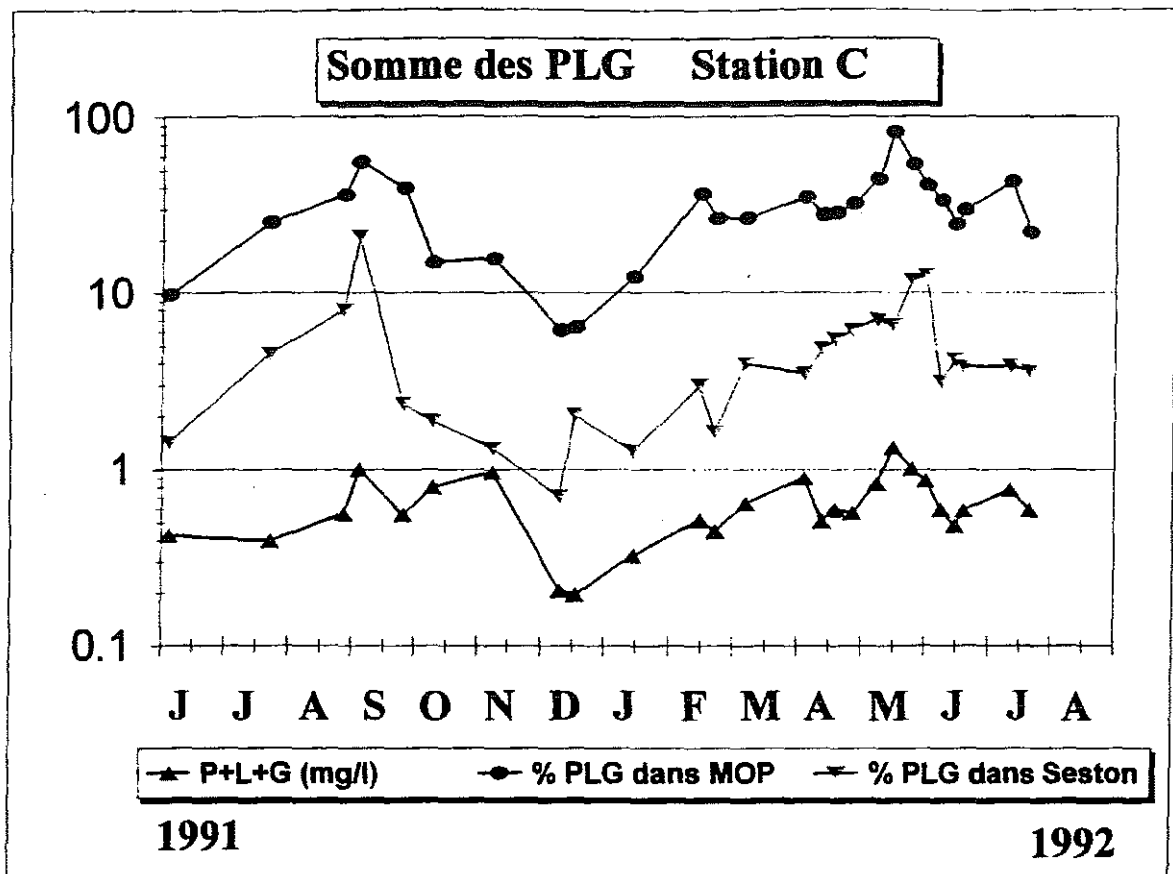


Fig 33 c: Pourcentage de la MOP et du seston représenté par la somme des PLG dans la station C

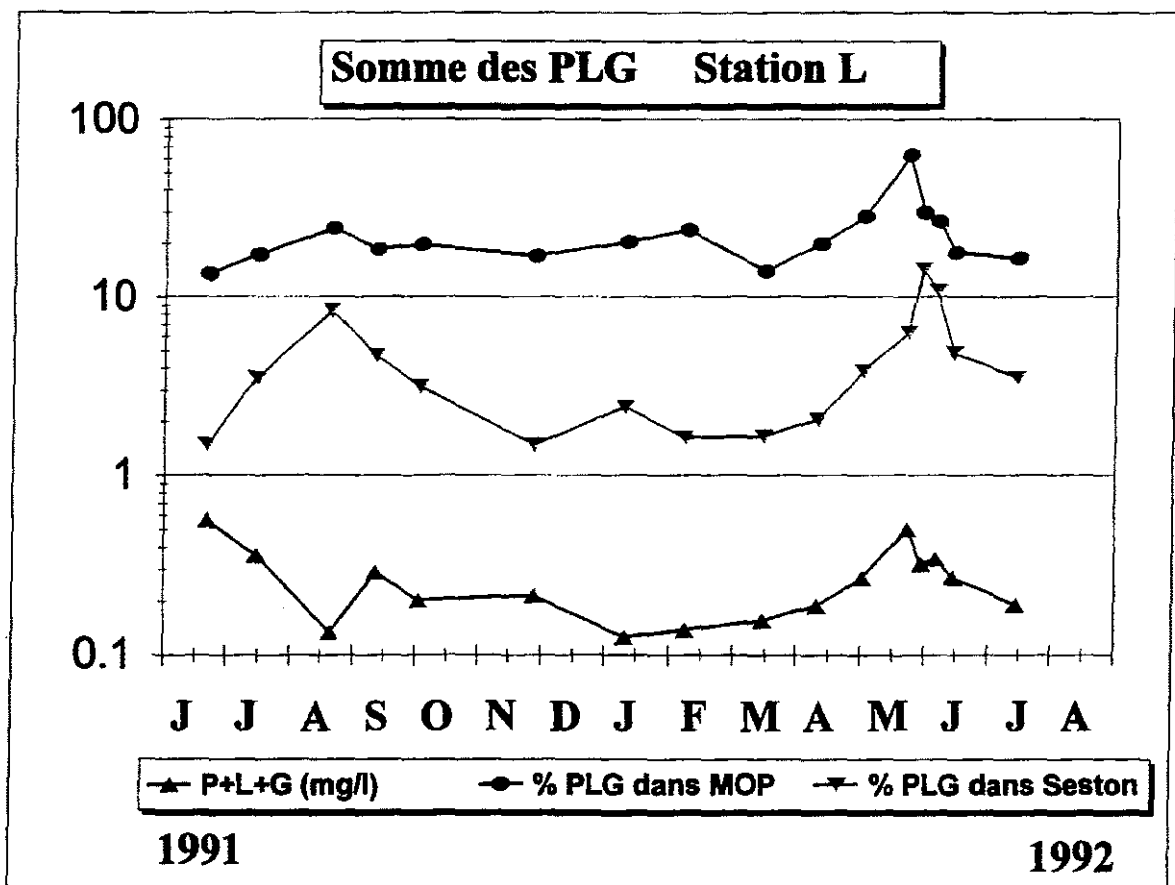


Fig 33 d: Pourcentage de la MOP et du seston représenté par la somme des PLG dans la station L

seston donne une image fidèle de la quantité de particules présentes à un moment donné dans les eaux, il n'est pas facile de définir exactement la quantité de nourriture potentielle disponible pour les moules. Plusieurs méthodes sont utilisées pour tenter de préciser sur le plan qualitatif et quantitatif la nature du matériel utilisable.

### 3 - 1 SOMME DES P.L.G.

Widdows et al. (1979) caractérise le potentiel nutritif disponible par la somme des protéines, glucides et lipides particulaires. La figure 33 présente les variations saisonnières de la somme des PLG ainsi que le pourcentage qu'elle représente dans la matière organique particulaire et dans le seston total, au niveau de chaque station. Les valeurs cumulées en PLG n'excèdent pas 3.16 mg/l pour la station B, 1.62 mg/l pour les stations A et C et 1.33 mg/l pour la station limite.

Les maxima des PLG cumulés enregistrés en automne ne coïncident jamais avec un fort pourcentage de la matière organique ou du seston. Ceci s'explique par l'importance de la matière détritique d'une part et une charge minérale assez forte d'autre part, induite par la remise en suspension.

En revanche, les maxima printaniers s'inscrivent simultanément avec les fort pourcentage dans la matière organique particulaire et du seston. Ces résultats confirment l'importance du matériel vivant lors du bloom printanier.

Compte tenu de la turbidité dans le Pertuis Breton, la fraction sestonique représentée par les PLG est toujours inférieure à 13%, sauf le 13 septembre 1991 au niveau de la station C où ce pourcentage atteint exceptionnellement 20%.

### 3 - 2 POTENTIEL ENERGETIQUE DE LA NOURRITURE

#### 3 - 2 - 1 Energie calculée sur les composés biochimiques.

\* La valeur énergétique d'un litre d'eau est calculé à partir des coefficients de Brody (1945), appliqués aux composants biochimiques de la MOP est appelée Q1. Les concentrations sont exprimées en mg/l. Q1 est donné en calories.

$$Q1 = ([\text{protéines}] * 5.65) + ([\text{glucides}] * 4.10) + ([\text{lipides}] * 9.45)$$

#### 3 - 2 - 2 Energie calculée sur le carbone.

\* Q2 représente la valeur énergétique d'un litre d'eau de mer en utilisant respectivement le coefficient de Platt et Irvin (1973) sur le carbone organique d'origine phytoplanctonique ( 1 mgC = 11.4 cal.) et celui de Parsons (1963) sur le carbone d'origine détritique (1 mgC = 5.8 Cal.).

Le carbone d'origine phytoplanctonique est obtenu en multipliant les concentrations en chlorophylle a et en phéopigments, exprimées en mg/l, par le coefficient de Strickland et Parson (1965). Bien que ce coefficient varie d'une espèce à l'autre et selon les conditions du milieu (Tab. 11), la valeur 60 est communément admise par de nombreux auteurs (Héral et al 1980, Parache 1984).

$$C_{\text{phyto (mgC/l)}} = ([\text{chloro.a}] + [\text{phéo.}]) * 60.$$

C/chlo a	=	100	esp. océan.	Holm et Hansen	1969
C/chlo a	=	55	milieu enrichit	Fiala et al.	1976
C/chlo a	=	60	culture phyto.	Strickland	1960
C/chlo a	=	54	culture phyto.	Riley	1970
C/chlo a		57 <math>\diamond</math> 63		Strickland et Parson	1965
C/chlo a		30 <math>\diamond</math> 100		Steele et Baird	1961

**Tableau 11 : Rapport C/ chlo. a dans la littérature.**

La matière organique particulaire est convertie en mg de carbone par litre grâce au coefficient de Smaal et Scholten (1989) applicable sur la matière sèche sans cendre : 0.53. Il faut remarquer que ce coefficient est proche de 0.467 obtenu en calculant l'inverse du coefficient de Widdows (1978) employé pour convertir les teneurs de carbone obtenues au CHN en MOP :  $1/2.14 = 0.467$ .

$$C_{\text{org. (mgC/l)}} = [\text{MOP}] * 0.53$$

Le carbone d'origine détritique  $C_{\text{det}}$  est égale au carbone organique particulaire  $C_{\text{org}}$  auquel est retranché celui d'origine phytoplanctonique  $C_{\text{phyto}}$ .

$$C_{\text{det. (mgC/l)}} = C_{\text{org.}} - C_{\text{phyto.}}$$

La valeur énergétique Q2, exprimée en calories, est donc calculée comme suit :

$$Q2 = (C_{\text{phyto.}} * 11.4) + (C_{\text{det.}} * 5.8)$$

Les variations saisonnières de Q1 et Q2 selon les stations sont représentées à la figure 34, ainsi que l'énergie d'origine détritique et celle d'origine phytoplanctonique.

Les fluctuations annuelles des quantités d'énergie Q1 et Q2 disponibles, suivent celles de la MOP et du phytoplancton avec un maximum automnal et un autre printanier, cependant ces variations sont moins nettes en ce qui concerne la station A. L'importance de la matière détritique en automne et celle de la matière phytoplanctonique au printemps est mise en évidence dans le tableau 12.

Les valeurs Q2, en automne atteignent jusqu'à 20-25 cal/l dans le Pertuis Breton, mais sont très irrégulières tandis que celles du printemps forment un plateau avoisinant les 10 cal/l dans les stations A et C et 15 cal/l dans la station B.

Station	A	B	C	L
Moyenne annuelle	23.95	35.92	20.92	20.44
Ecart-type	13.76	22.72	10.47	10.04
Moyenne automnale (03/09/91 - 06/11/91)	21.3	27.5	17.1	16.4
Moyenne printanière (31/03/92 - 06/07/92)	29.1	47.3	25.2	20.5

**Tableau 12 : Participation du matériel phytoplanctonique à l'énergie de la MOP.**

Le rapport Q2/Q1 révèle que l'estimation de l'énergie à partir des PLG est toujours inférieure

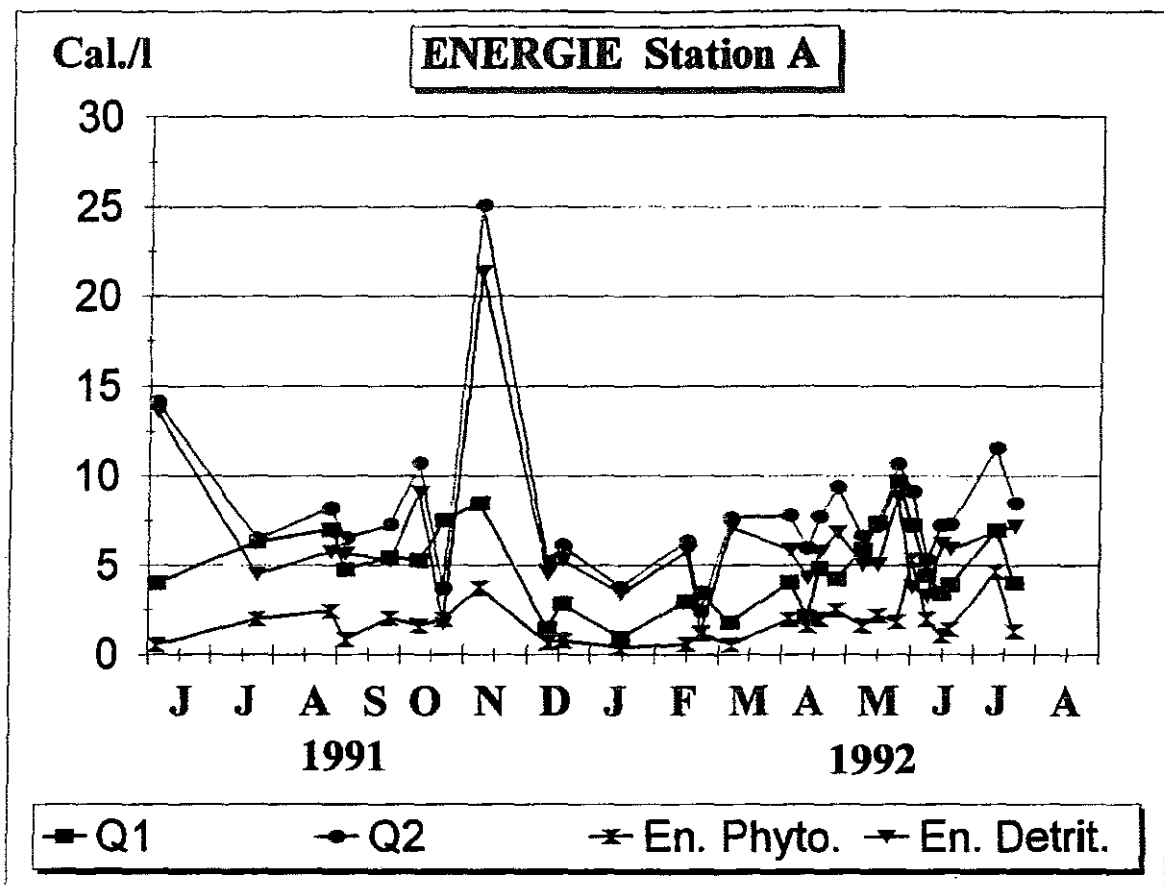


Fig 34 a: Variations annuelles des valeurs énergétique d'une litre d'eau de mer calculées d'après les PLG (Q1), et d'après la matière vivante et détritique (Q2) dans la station A

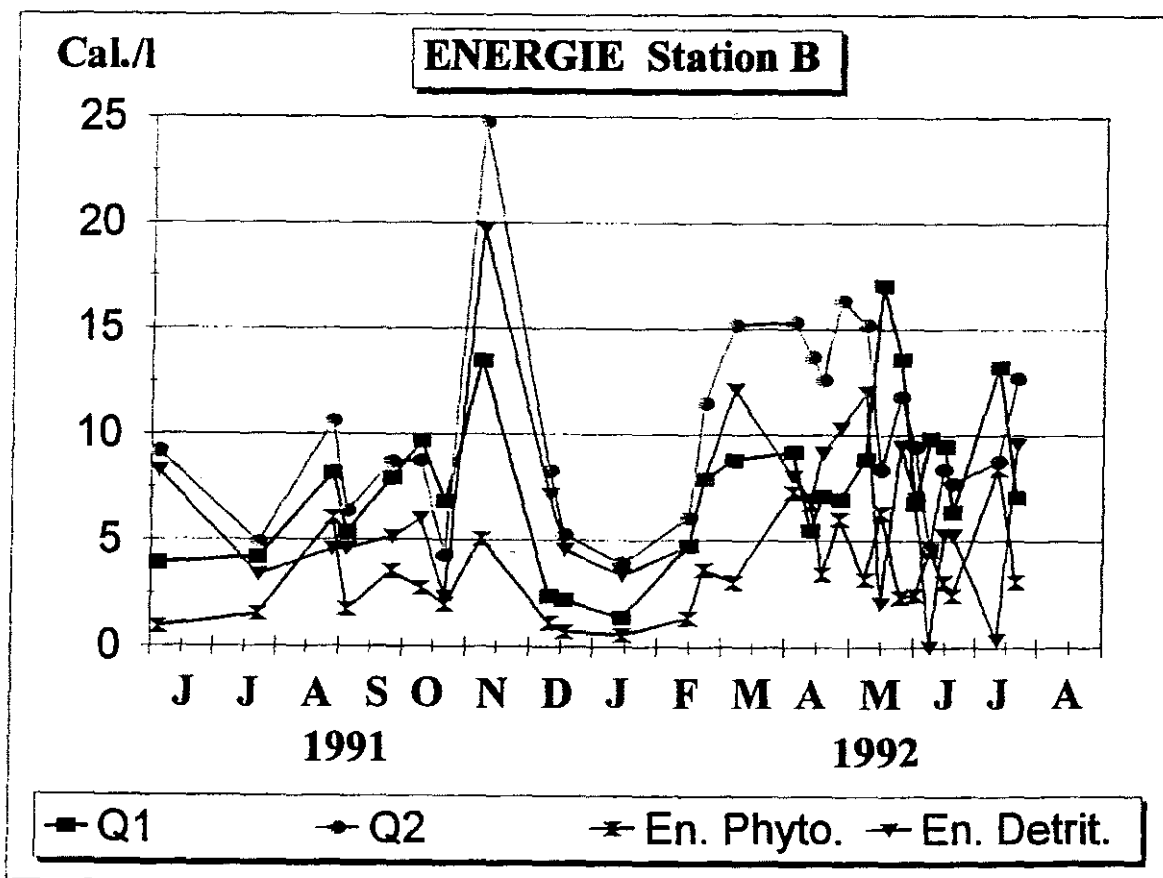


Fig 34 b: Variations annuelles des valeurs énergétique d'une litre d'eau de mer calculées d'après les PLG (Q1), et d'après la matière vivante et détritique (Q2) dans la station B

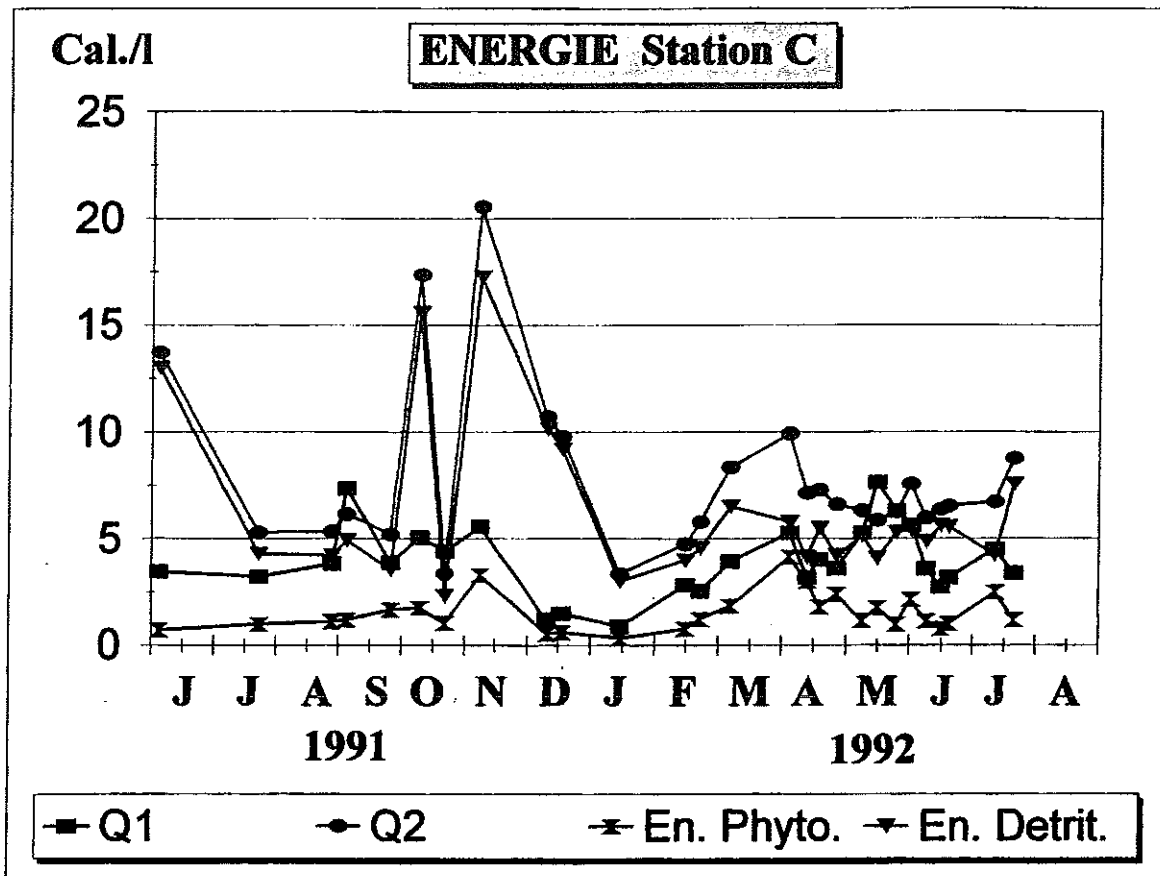


Fig 34 c: Variations annuelles des valeurs énergétique d'une litre d'eau de mer calculées d'après les PLG (Q1), et d'après la matière vivante et détritique (Q2) dans la station C

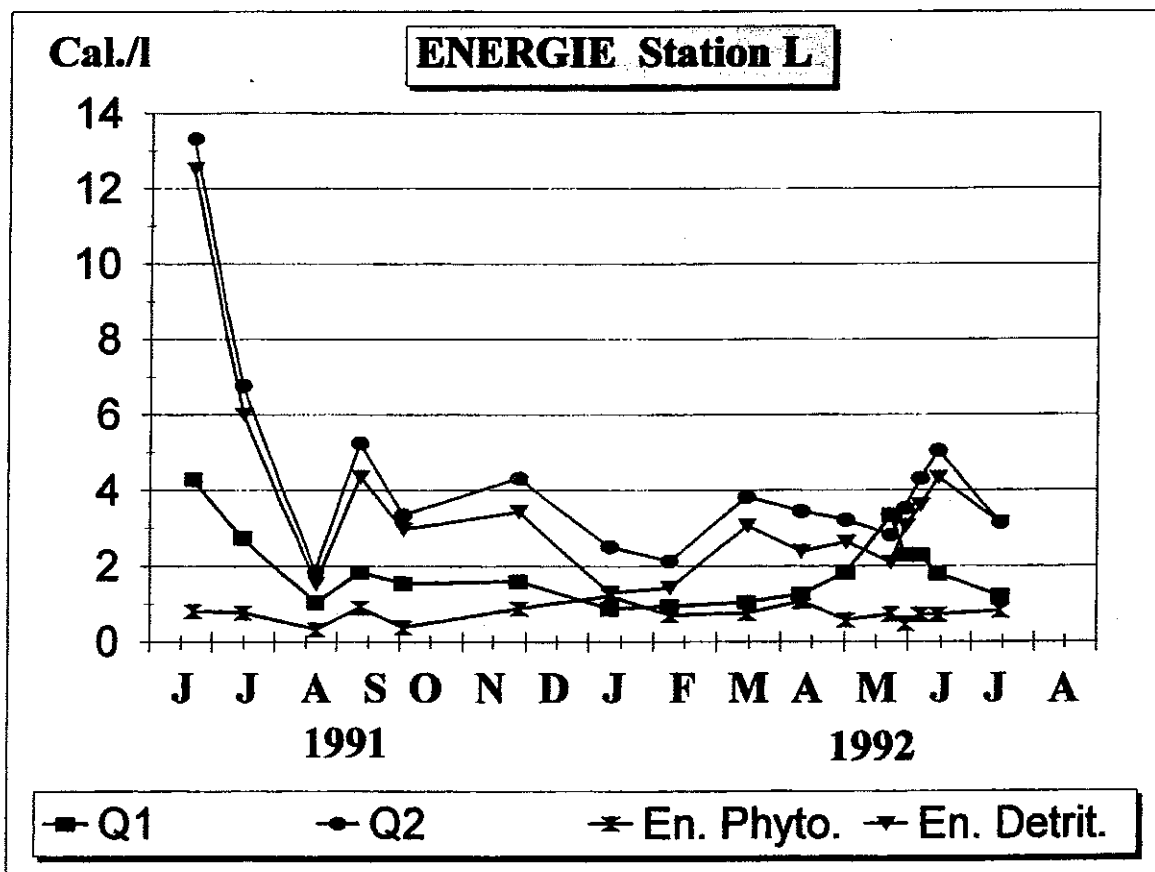


Fig 34 d: Variations annuelles des valeurs énergétique d'une litre d'eau de mer calculées d'après les PLG (Q1), et d'après la matière vivante et détritique (Q2) dans la station L

à celle effectuée à partir de la MOP. Q2/Q1 prend les valeurs de 1.9, 1.5, 2.4 et 2.4 respectivement dans les stations A, B, C et L. Ceci s'explique par la sous-estimation due aux analyses biochimique et notamment sur les protéines. Héral et Deslou-Paoli (1982) ont calculé que l'énergie d'une chair d'huître estimée directement par microcalorimétrie est supérieure de 11% à celle estimée d'après les PLG multipliés par les coefficients de Brody (1945).

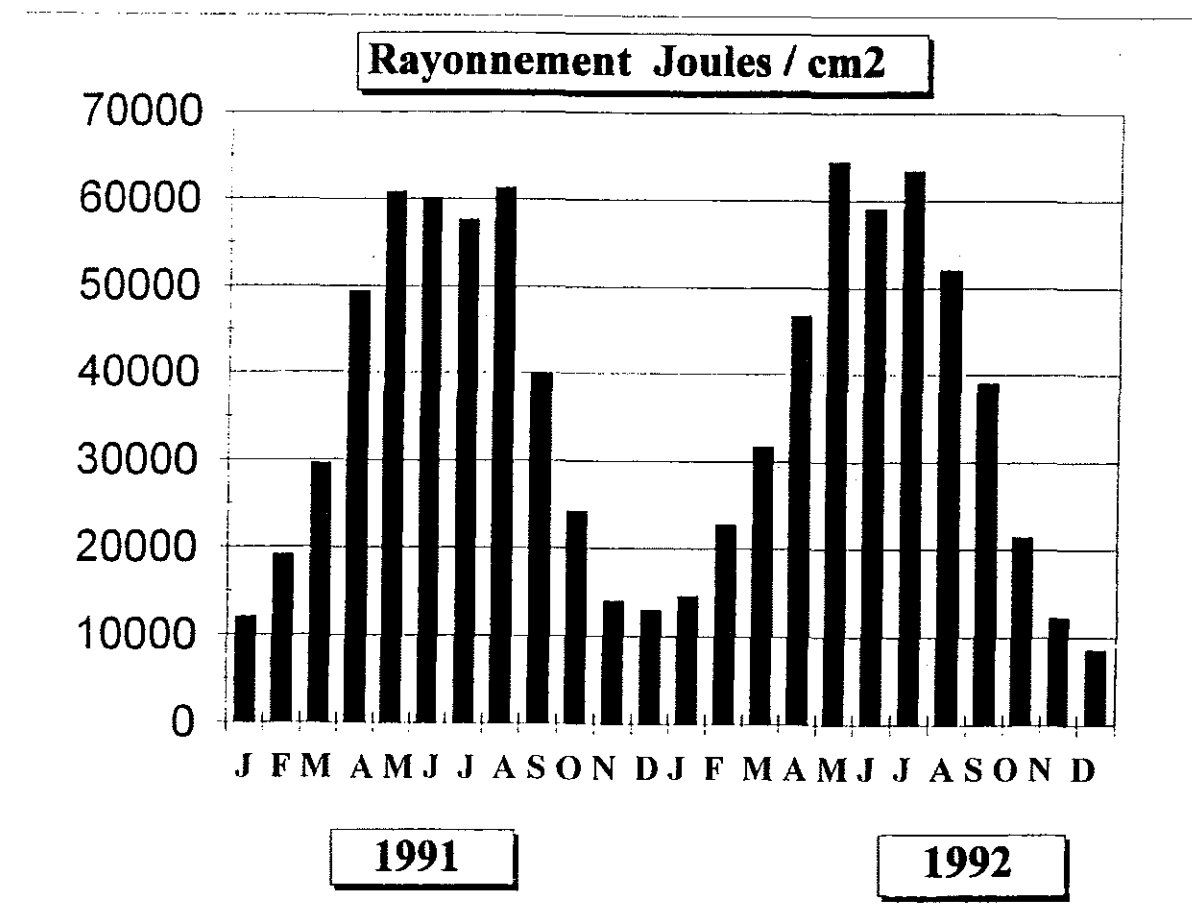
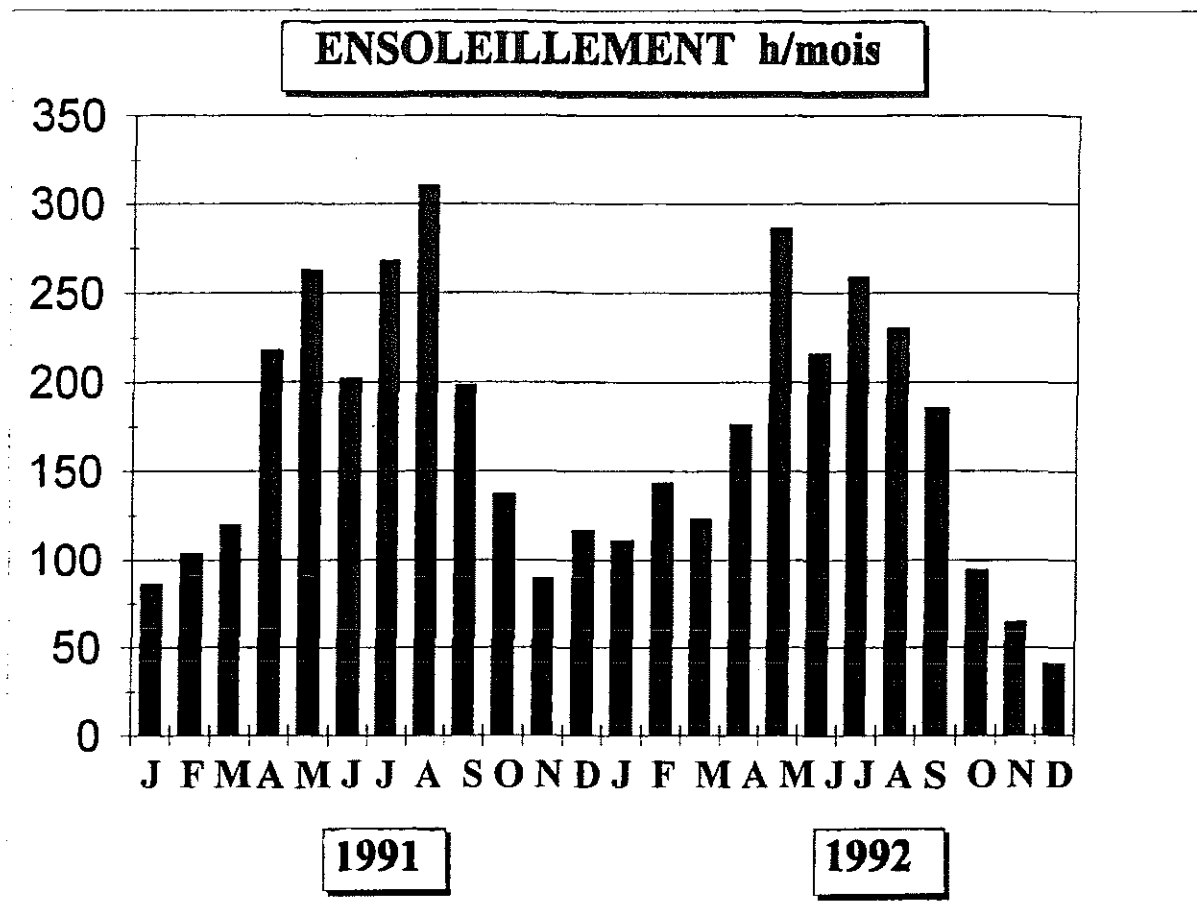
### 3 - 2 - 3 Conclusions

L'énergie potentielle disponible pour les moules est importante dans le Pertuis Breton en automne et au printemps. Très irrégulière en automne l'énergie d'un litre d'eau varie de 20-25 à 3 calories. Au printemps, l'énergie forme un plateau avoisinant les 7 calories/litre pour les stations du bassin et 15 calories/litre pour la station B. A partir de juillet 1991, l'énergie disponible à la station limite ne dépasse pas les 5 cal/l. Les fortes valeurs de juin-juillet 1991 sont justifiées par l'importance des lipides qui s'y trouvent à cette date.

Le phytoplancton représente à peine 30% de l'énergie printanière. L'énergie provient essentiellement de la matière détritique notamment en automne.

L'énergie détritique, dominante, provient de la remise en suspension par les courants de marée entraînant une importante charge minérale qui peut nuire à l'utilisation de cet énergie par les mollusques filtreurs.

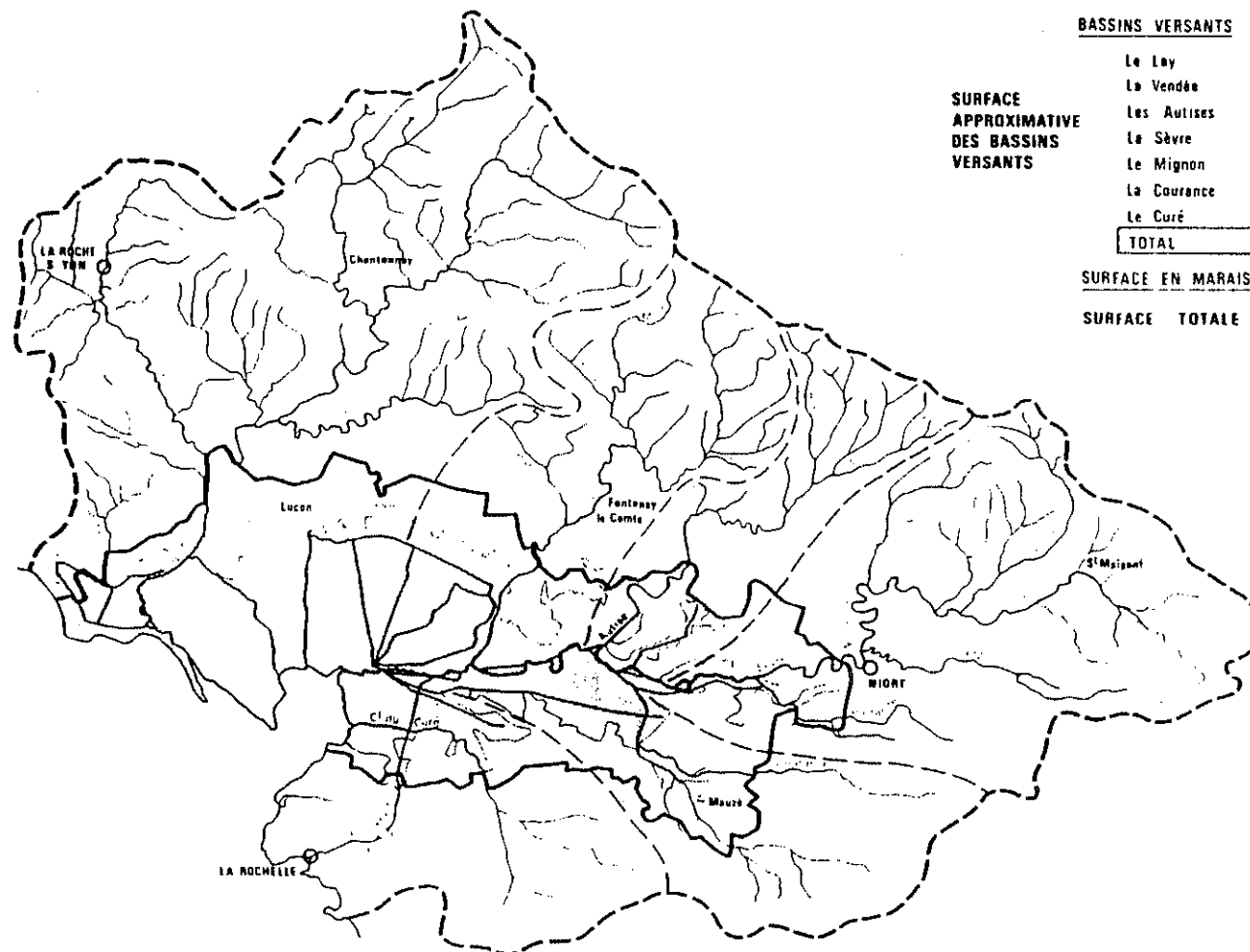




Annexe 1 : Ensoleillement en heure par mois et rayonnement solaire en joule par cm2 durant l'étude

## ANNEXE 2

### LES BASSINS VERSANTS DU MARAIS POITEVIN



BASSINS VERSANTS		km <sup>2</sup>	
SURFACE APPROXIMATIVE DES BASSINS VERSANTS	Le Lay	2000	} SEVRE AVAL 2750
	La Vendée	650	
	Les Aulises	400	
	La Sèvre	1200	
	Le Mignon	500	
	La Courance	500	
	Le Curé	550	
<b>TOTAL</b>		<b>5300</b>	
SURFACE EN MARAIS		800	
SURFACE TOTALE		6100 km <sup>2</sup>	

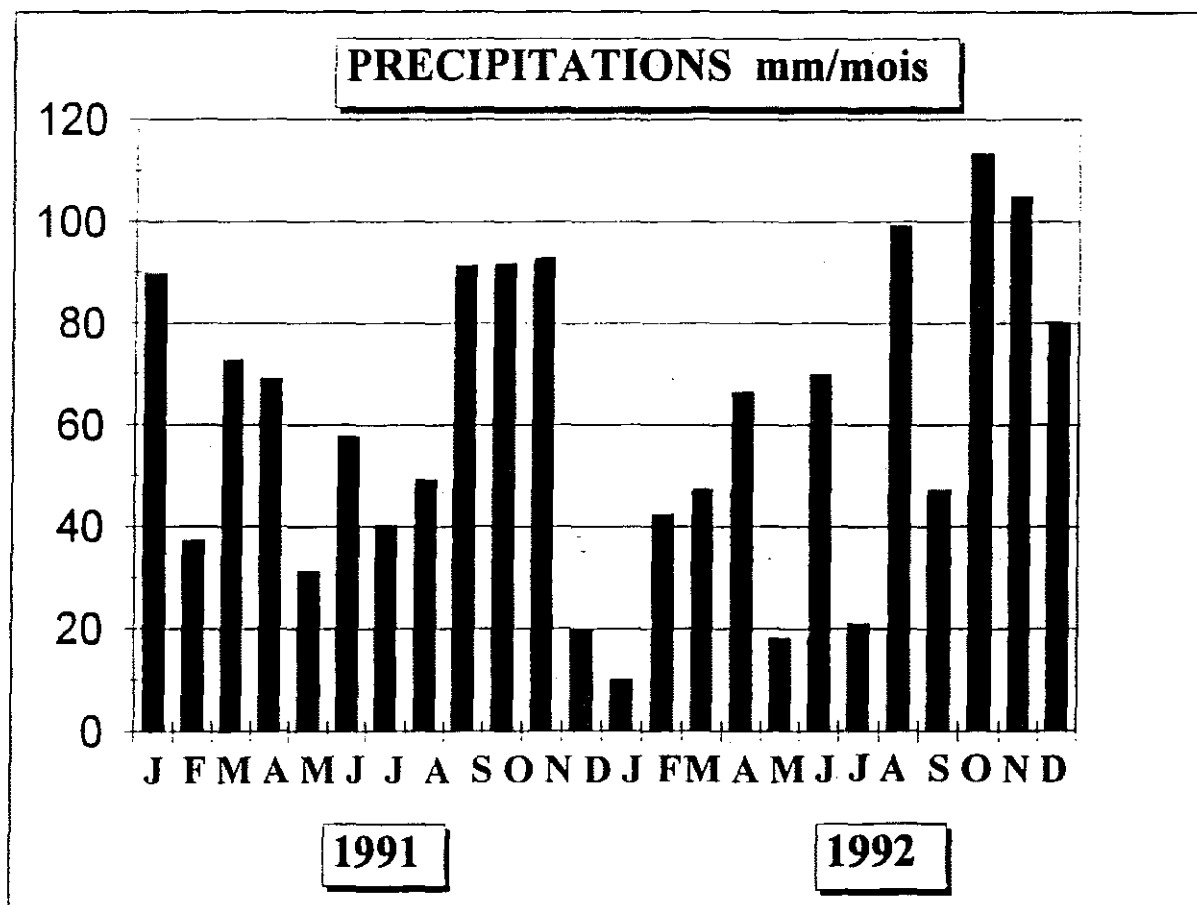
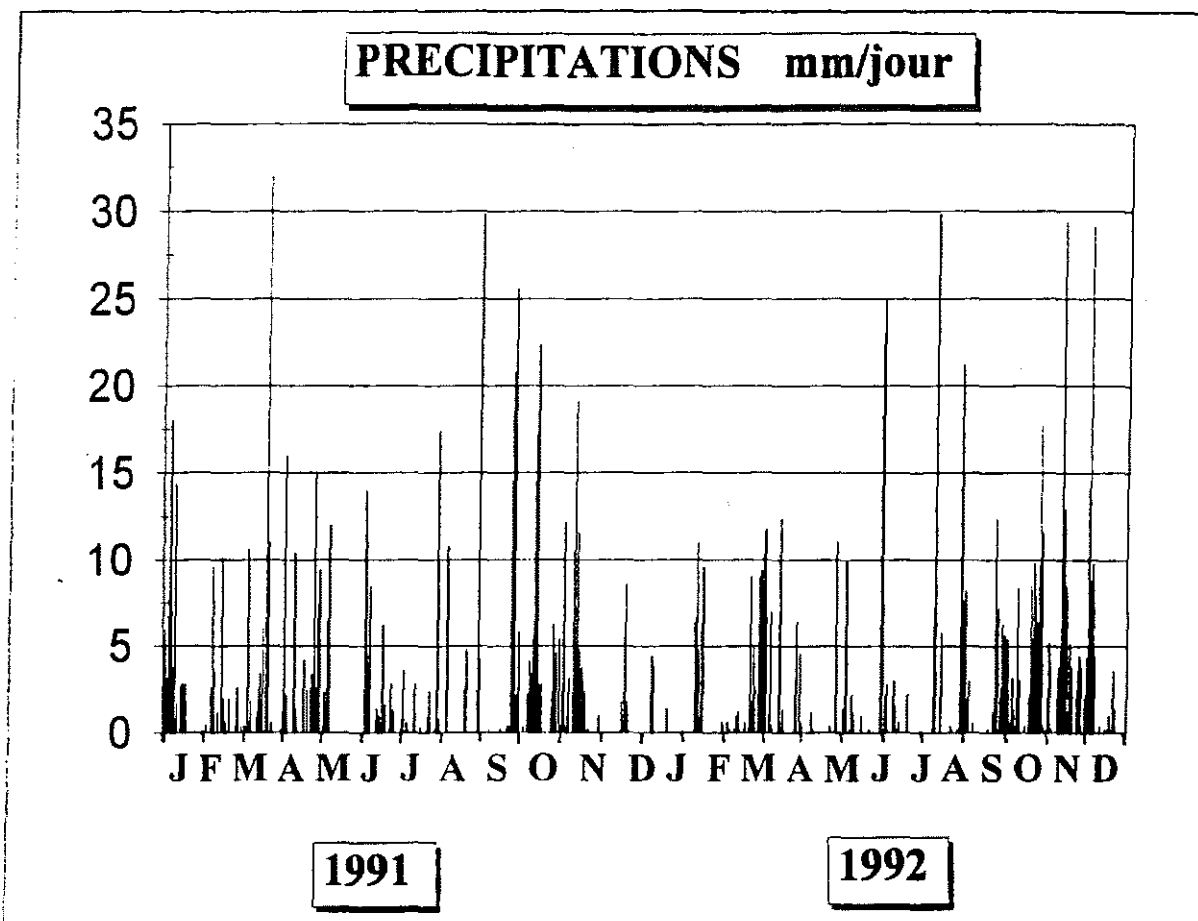
--- Limite de bassins versants

▭ Marais

0 5 10 20 km

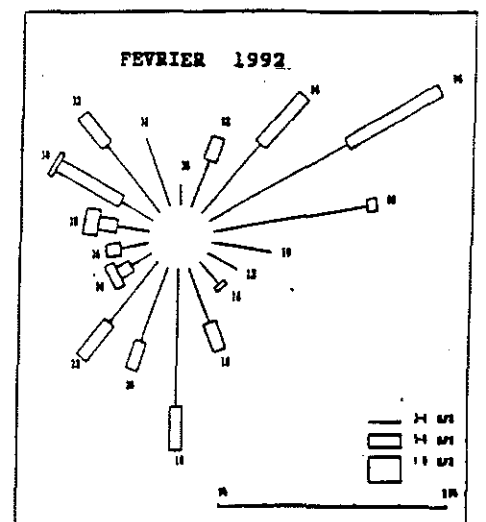
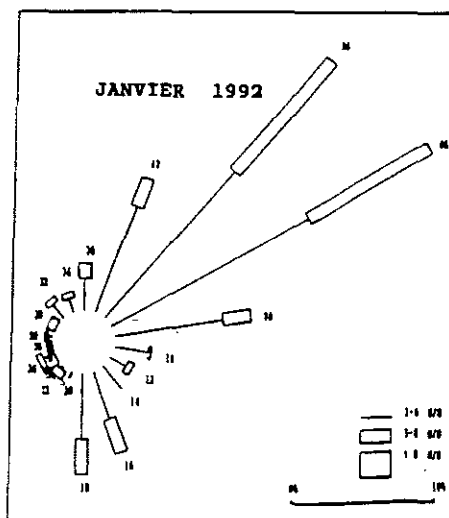
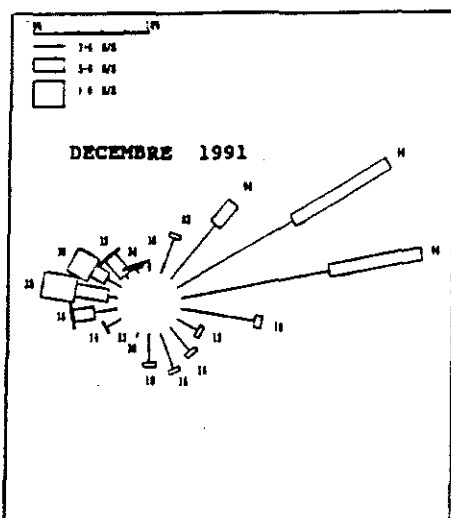
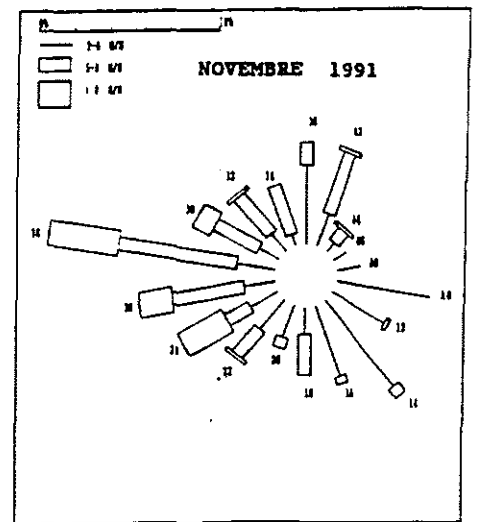
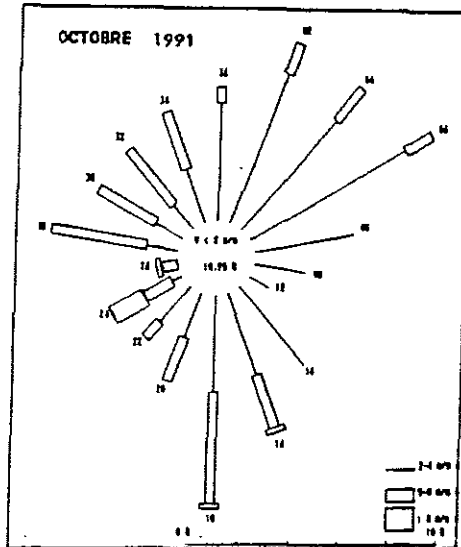
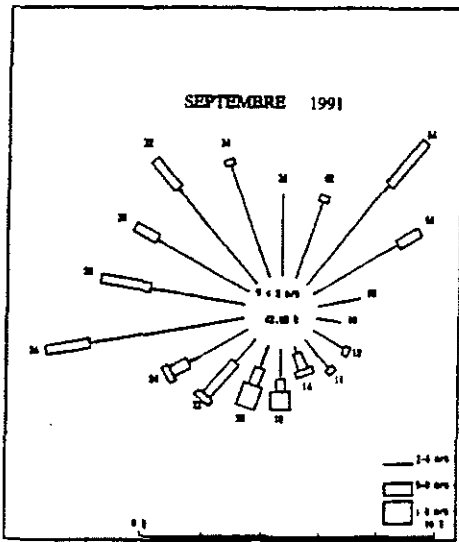
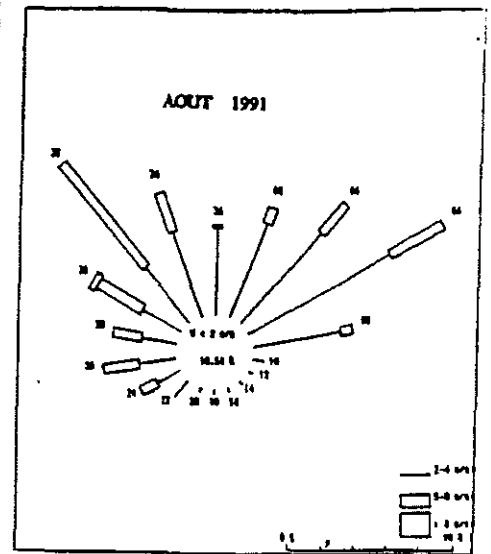
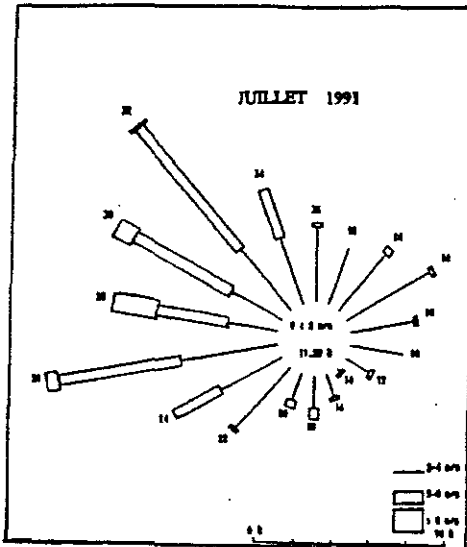
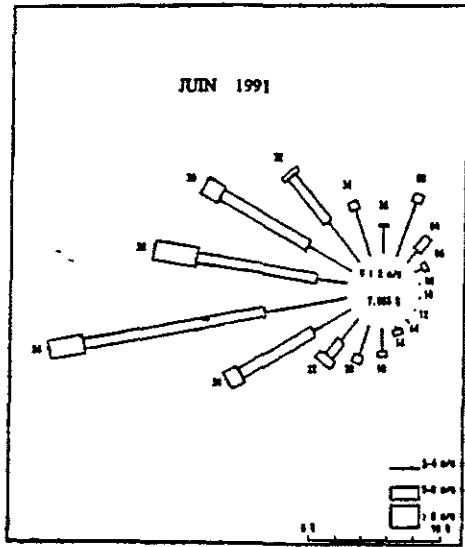
Annexe 2 : Situation géographique des bassins versants du Pertuis Breton.

# ANNEXE 3

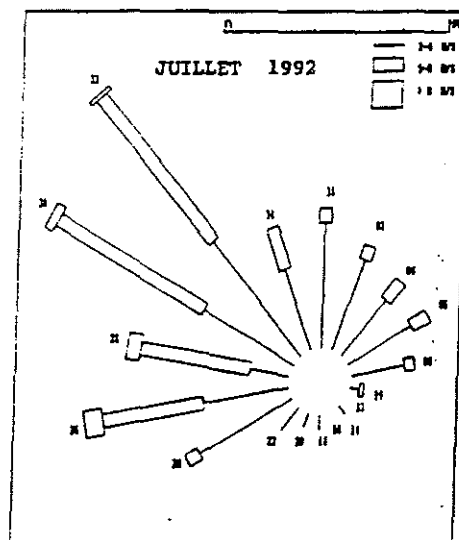
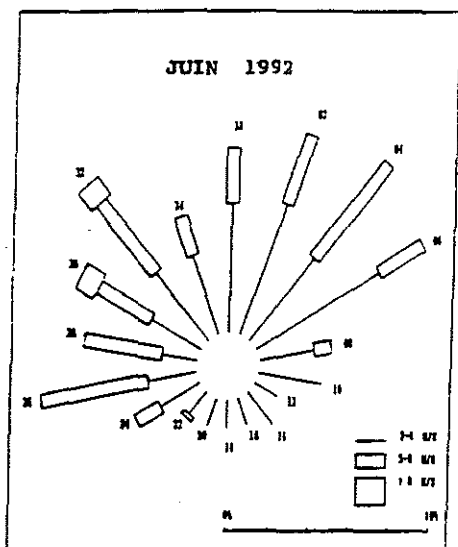
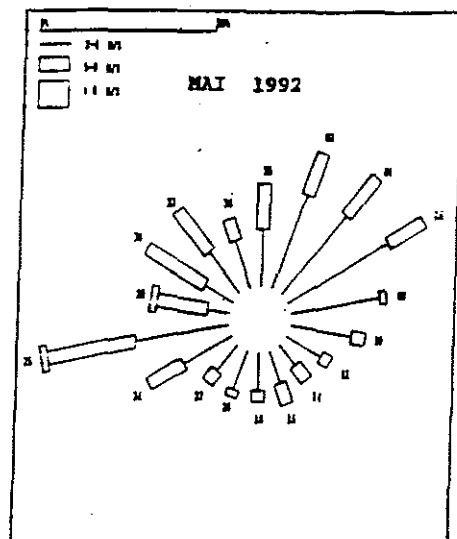
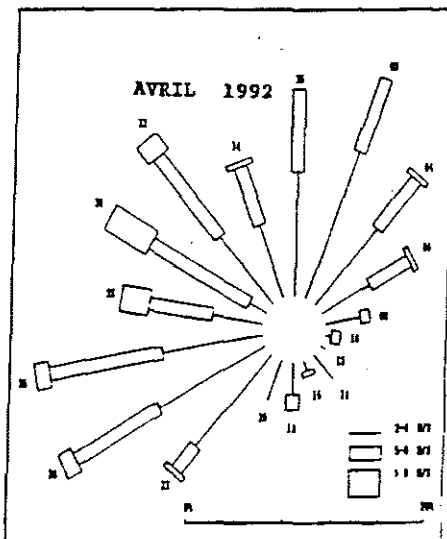
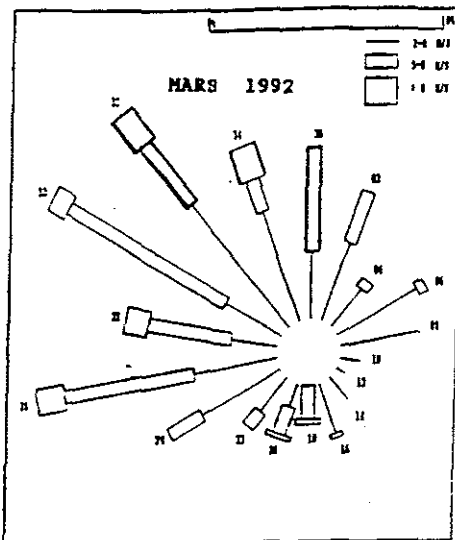


Annexe 3 : Précipitations annuelles par jour et par mois

# ANNEXE 4



Annexe 4 : Régimes des vents durant l'étude



## ANNEXE 5

### LE LAY

		1991						
		Juin	Juillet	Aout	Sept	Octob	Nov	Decembre
NH4	mg/l	0.11	<0.05	0.08	0.58	<0.05		
NO2	mg/l	0.24	0.15	0.23	0.25	0.22		
NO3	mg/l	12.20	4.00	5.00	9.30	9.50		
PO4	mg/l	0.51	0.33	0.08	0.32	0.11		
Ptotal	mg/l	0.70	0.20	0.20	1.00	0.20		
Chloro a	mg/m3	23.20	21.80	50.00	9.10	>700		
Pheo	mg/m3	80.40	65.40	163.00	35.10	>700		

1992								
Janvier	Fevrier	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	
0.03	0.03	0.03	0.06	0.03	0.66	0.03	0.03	0.03
0.09	0.13	0.08	0.25	0.17	0.37	0.2	0.05	0.05
36.5	34.8	48.3	33	26.3	13	7.7	0.03	0.03
0.3	0.2	0.03	0.42	0.03	0.26	0.29	0.06	0.06
0.1	0.3	0.2	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
			20	81	16		33	33
			6	17	11		15	15

### LA SEVRE NIORTAISE

		1991						
		Juin	Juillet	Aout	Sept	Octob	Nov	Decembre
NH4	mg/l	0.28	0.06	0.05	<0.05	0.11	0.30	0.24
NO2	mg/l	0.38	0.25	0.36	0.17	0.70	0.60	0.21
NO3	mg/l	35.00	35.00	25.00	25.00	30.00	31.60	49.00
PO4	mg/l	0.51	0.78	2.27	2.30	1.40	1.37	0.63
Ptotal	mg/l	0.20	0.40	0.90	0.80	0.50	0.53	0.20
Chloro a	mg/m3	10.90	86.60	5.50	6.00	5.80		1.40
Pheo	mg/m3	41.20	254.00	18.20	21.70	23.40		6.10

1992								
Janvier	Fevrier	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	
0.64	0.7	0.15	0.19	0.03	0.03	0.14	0.05	0.05
0.2	0.25	0.17	0.17	0.19	0.58	0.86	0.2	0.2
40.5	38.4	46.8	34	40	36	33	29	29
1.1	0.9	0.55	0.53	0.45	0.96	1.7	1.5	1.5
0.3	0.5	0.2	0.3	0.2	0.4	0.6	0.4	0.4
			8	21	33		4	4
			1	6	8		3	3

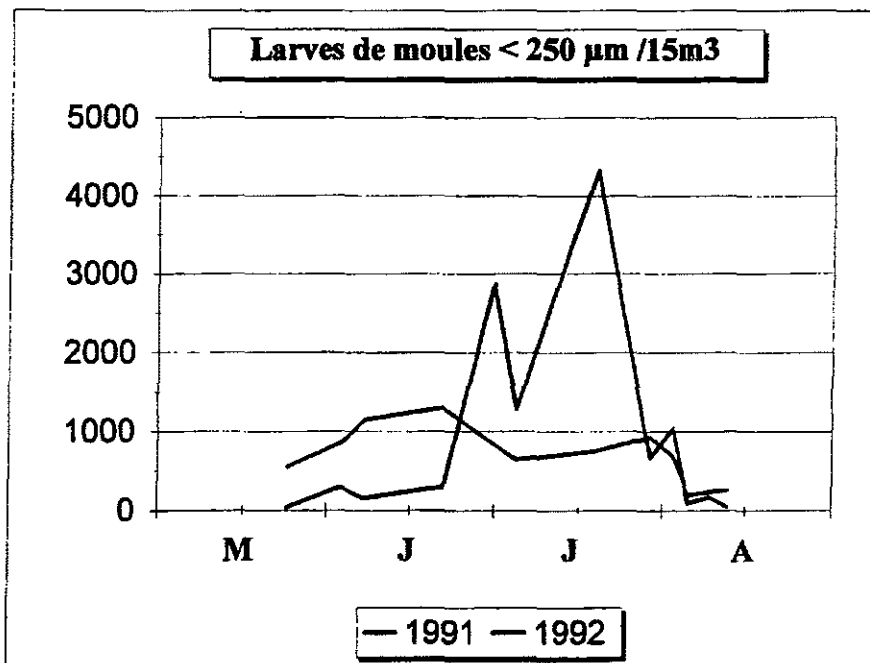
# ANNEXE 6

COMPTAGE DE LARVES en nombre de larves par 15 m<sup>3</sup>

MOULES <250 µm

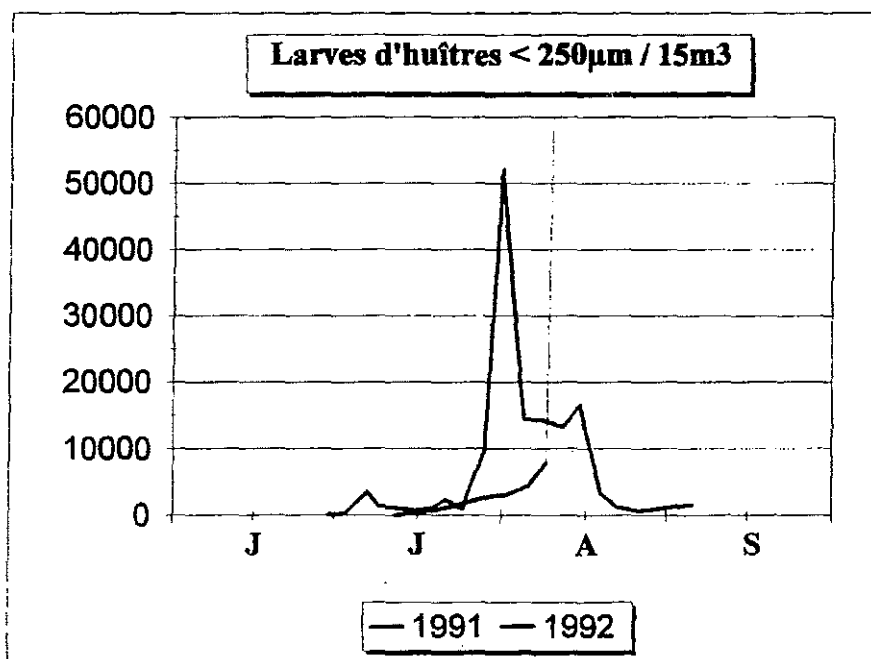
jour	mois	ann'e	LES DOUX	MERIGNAC	LA MOUCL.	PERQUIS
23	4	91	40	10	100	1
30	5	91	500	360		30
7	5	91	210	40	350	
21	5	91	90	900	25	150
30	5	91	1250	6000	2100	2100
3	6	91	850	920	1	3350
17	6	91	6300	230	8500	2250
27	6	91	1400	360		250
1	7	91	3100	600	100	360
4	7	91	60	130	30	130
8	7	91	230	290	1	150
11	7	91	1	1	170	1
9	4	92	600	800	145	650
21	4	92	2850	50	50	500
27	4	92	2000	1700	75	800
11	5	92	860	1470	2300	570
21	5	92	480	660	1400	
25	5	92	100	1150	75	1250
9	6	92	160	2300	230	300
17	6	92	2200	370	200	
23	6	92	570	1540	350	300
29	6	92	210	300	50	
2	7	92			460	
6	7	92	360	110	300	

*Annexe 6 : Comptage de larves par les laboratoires DEL IFREMER de la Tremblade et de l'Houmeau.*



HUITRE < 250 µm

jour	mois	an	DATE	LES DOUX	MERIGNAC	LA MOUCL.	Palles
12	7	91	41	20	1	1	1
15	7	91	44	1	500	520	50
18	7	91	47	2400	1	90	50
22	7	91	51	3600	1400	1	1
29	7	91	58	1	1	3200	8070
1	8	91	61	440	1	8860	2890
5	8	91	65	30	1	13000	4500
8	8	91	68		13400	10060	130
13	8	91	73	1200000	1900	22400	28500
29	6	92	394	50	140	1	40
2	7	92	397			300	150
6	7	92	401	540	2740	8890	1780
8	7	92	403	270	1525	1900	1600
15	7	92	410	1580	550	100	230
17	7	92	412	720	1580	1100	370
20	7	92	415	2730	3710	1500	1330
23	7	92	418	600	1100	330	1650
27	7	92	422	450	13400	24300	980
30	7	92	425	5870	39580	140850	21800
3	8	92	429	5800	25430	24450	1920
6	8	92	432	5170	940	30260	20760
10	8	92	436	6690	11620	12850	21560
13	8	92	439	16500	15200	15180	19600
17	8	92	443	4250	2420	1750	4650
20	8	92	446	50	350	1710	2260
24	8	92	450	360	340	1350	155
3	9	92	460	60	30	5000	1270





## LES MARAIS :

L'ensemble des marais est très phosphaté naturellement, donc aucun engrais phosphaté n'est nécessaire.

**Céréales :** 180 à 240 Kg/ha de N-NO<sub>3</sub>/N-NH<sub>4</sub> en 3 fois ( 15 février, 15 mars , 15 avril).

**Prairies :** seulement 10 à 20 % des prairies sont fertilisées : 30 à 60 kg/ha d'azote.

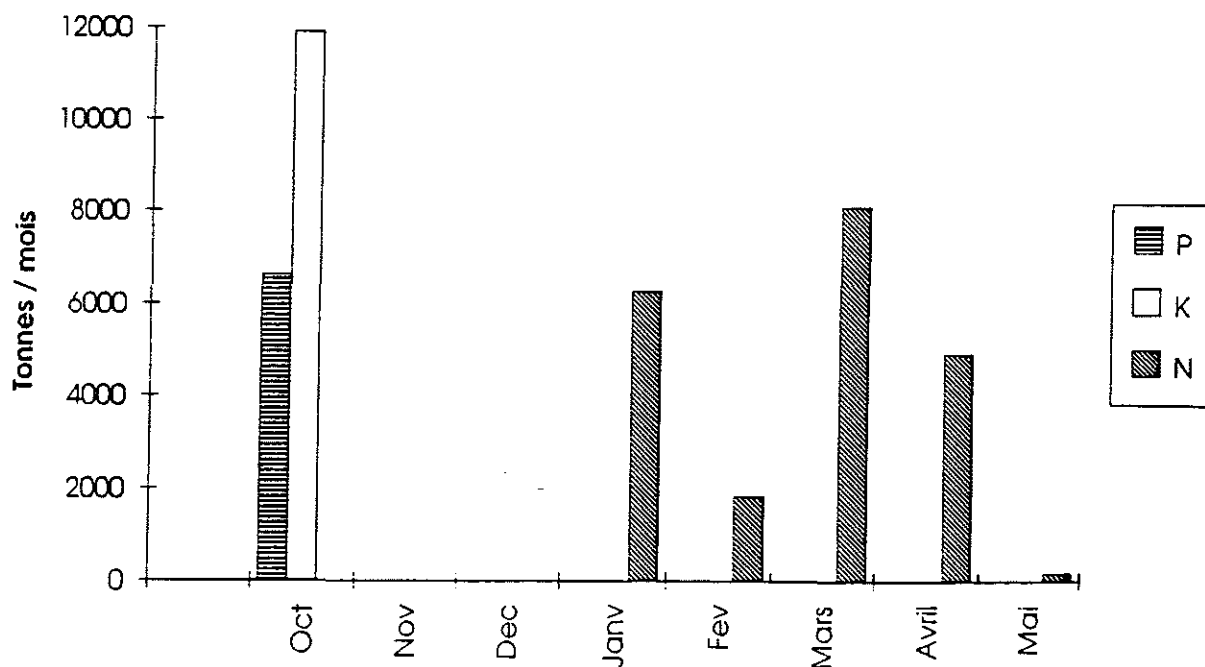
## LES TERRES HAUTES :

**Blé, orge, avoine, colza :** Automne : 70 kg/ha P-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 100 kg/ha K-KO<sub>2</sub>. Janvier : 90 kg/ha N-NO<sub>3</sub>/N-NH<sub>4</sub> ou 1/3 urée, 1/3 N-NO<sub>3</sub>, 1/36 N-NH<sub>4</sub>. Mars : 90 kg/ha N-NO<sub>3</sub>/N-NH<sub>4</sub> ou 1/3 urée, 1/3 N-NO<sub>3</sub>, 1/36 N-NH<sub>4</sub>.

**Protéagineux (légumineuse de fourrage) :** des bactéries vivent en symbiose avec les racines des protéagineux et leurs fournissent l'azote de l'air, donc pas d'engrais azoté. Automne : 70 kg/ha P-PO<sub>5</sub> + 100 kg/ha K-KO<sub>2</sub>.

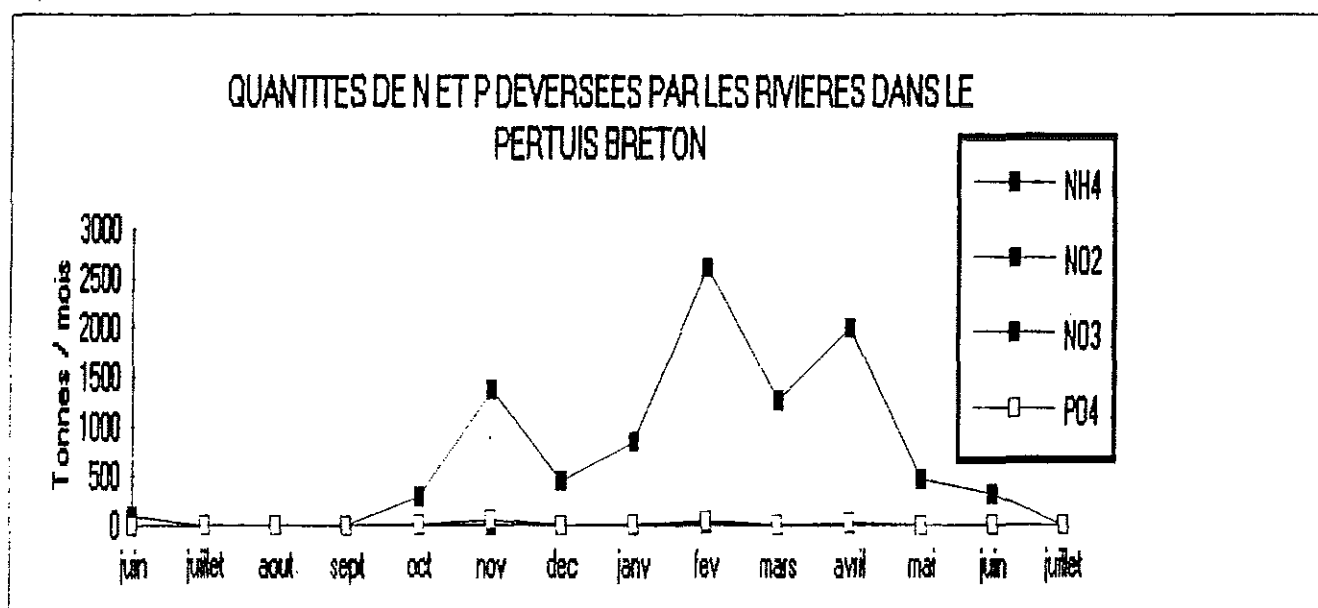
**Tournesol :** Mars : 70 kg/ha P-PO<sub>5</sub> + 100 kg/ha K-KO<sub>2</sub>. Avril : 30-40 kg/ha N-NO<sub>3</sub>/ N-NH<sub>4</sub>.  
Mai : 30-40 kg/ha N-NO<sub>3</sub>/ N-NH<sub>4</sub>.

**Maïs :** Mars : 70 kg/ha P-PO<sub>5</sub> + 100 kg/ha K-KO<sub>2</sub>. Avril : 200 kg/ha N-NO<sub>3</sub>/ N-NH<sub>4</sub>.



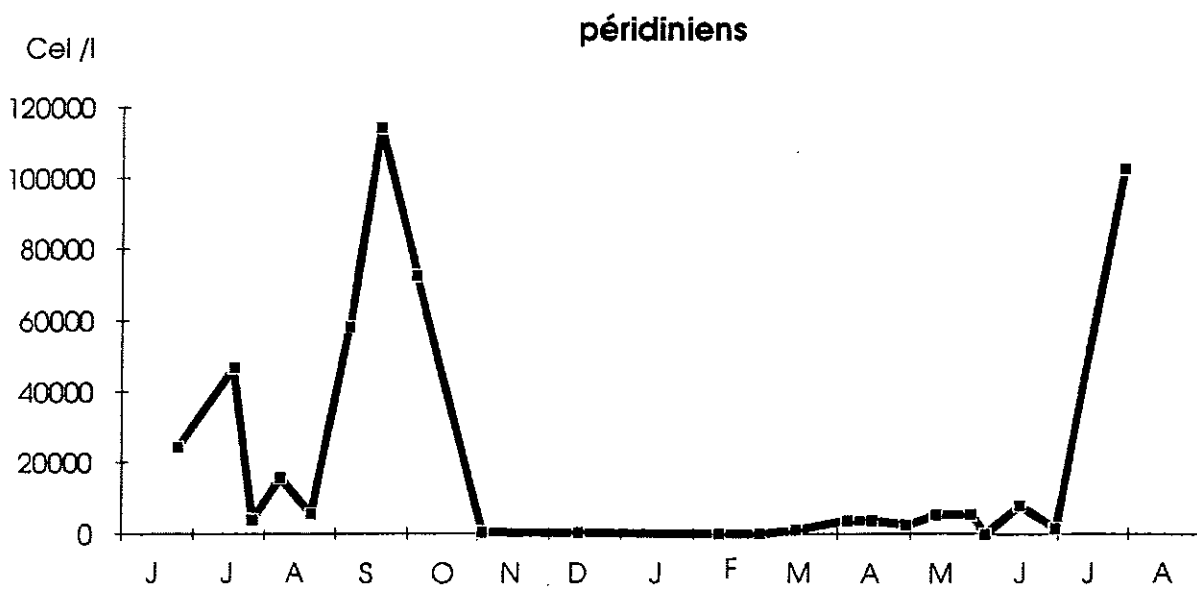
*Annexe 7: Quantité d'engrais et période d'épandage sur le bassin versant du Pertuis Breton (INRA St Laurent de la Prée, 17).*

## ANNEXE 8



Annexe 8 : Variations annuelles des quantités d'azote et phosphate déversées dans le Pertuis Breton

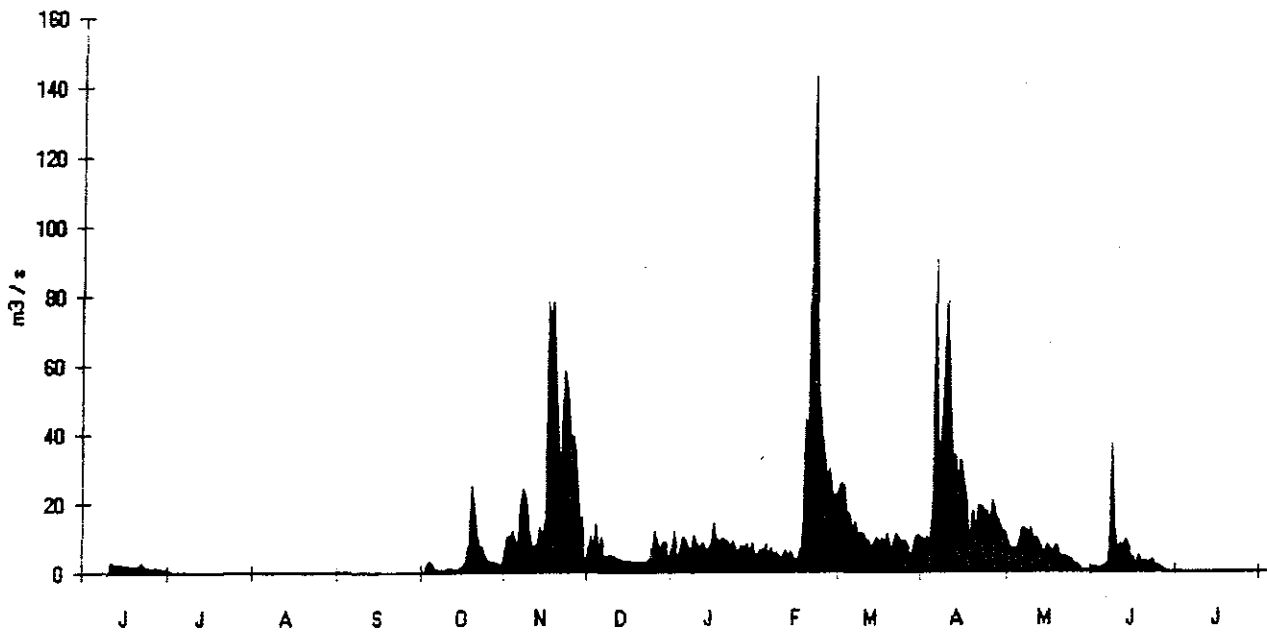
# ANNEXE 9



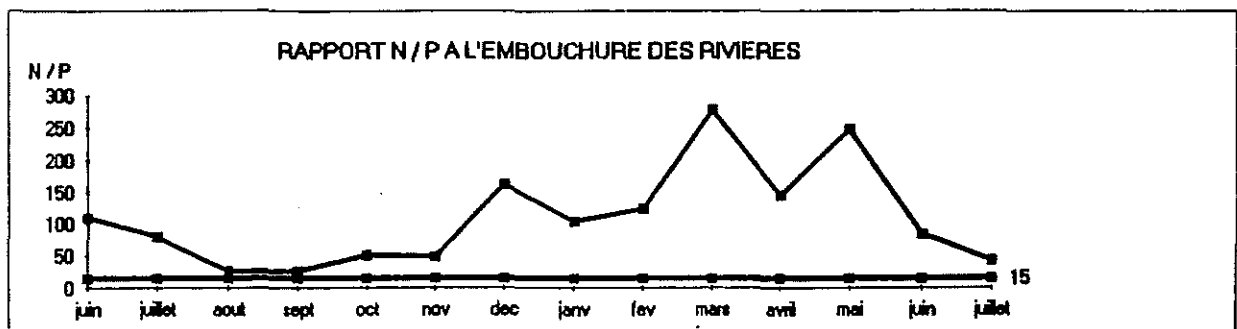
1991

1992

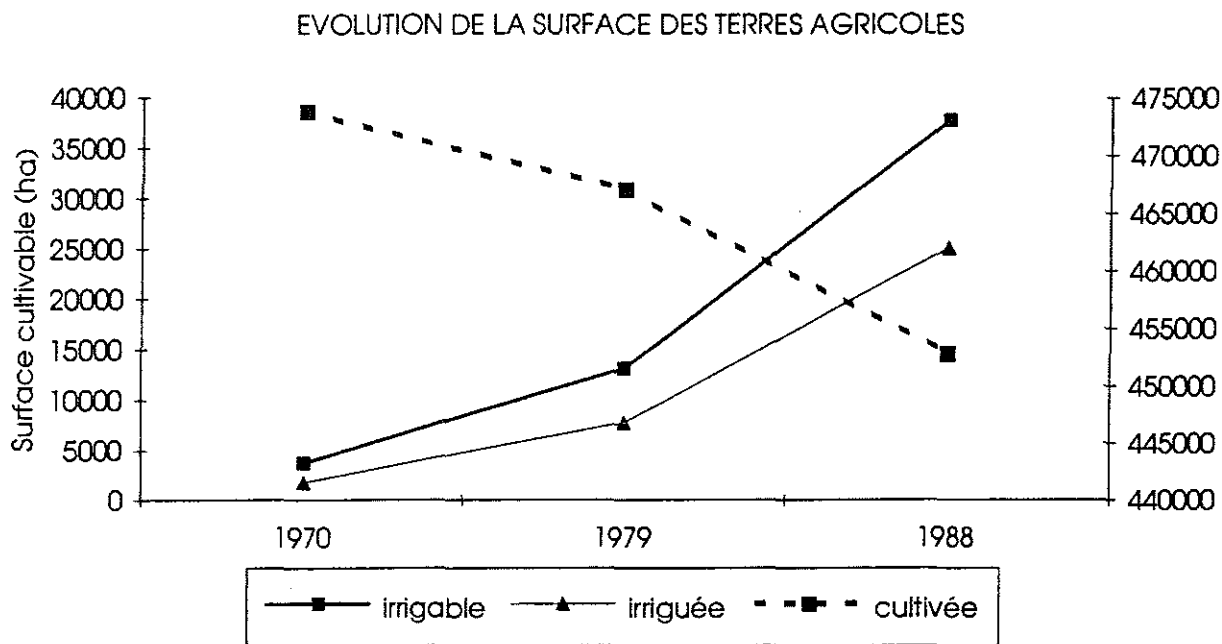
*Annexe 9 : Evolution de la composition phytoplanctonique du Pertuis Breton durant l'étude (IFREMER DEL l'Houmeau, 17).*



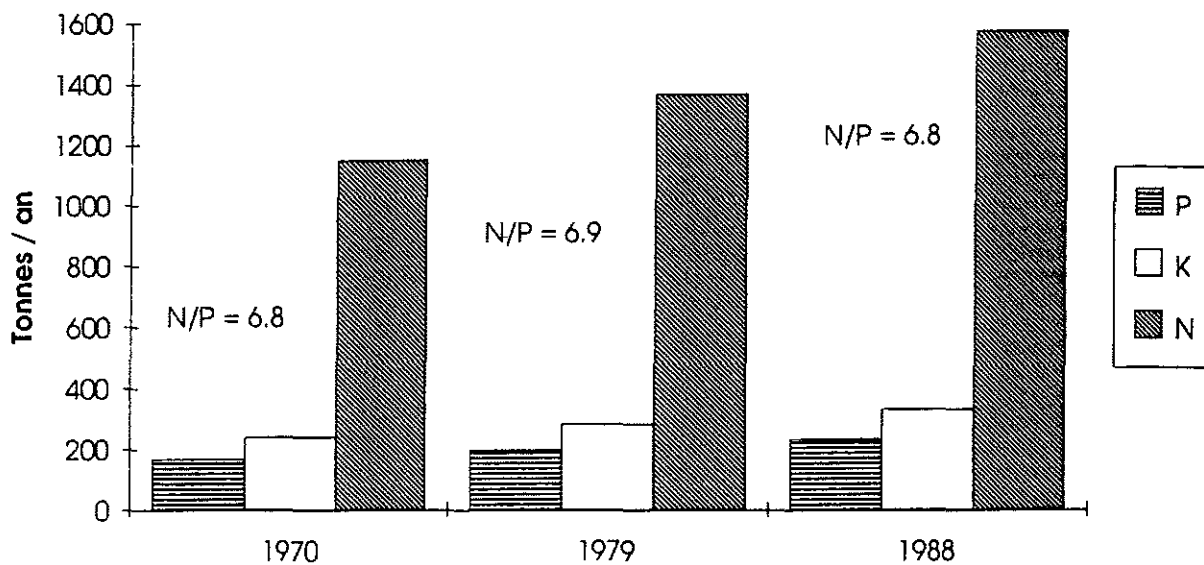
*Annexe 10 : Variations, au cours de l'étude, des débits cumulés du Lay, de la Sèvre Niortaise et du canal du curé (Agence de l'eau Loire Bretagne).*



*Annexe 11 : Variations du rapport N/P à l'embouchure des rivières.*

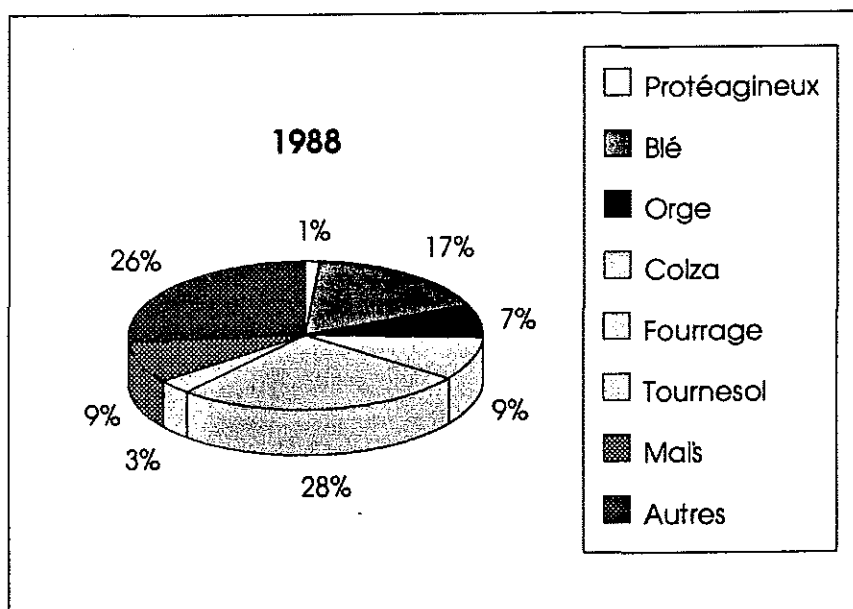
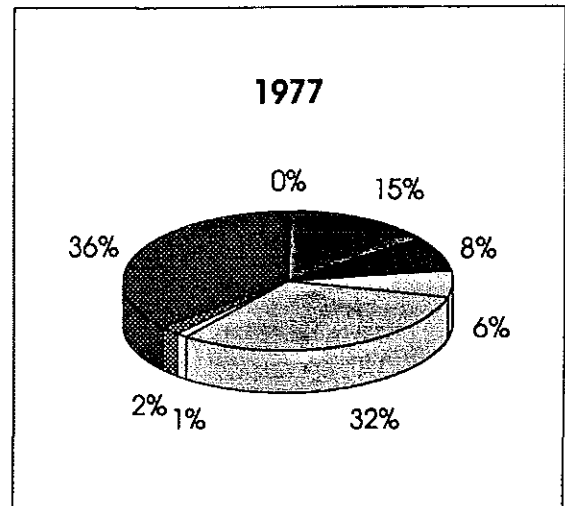
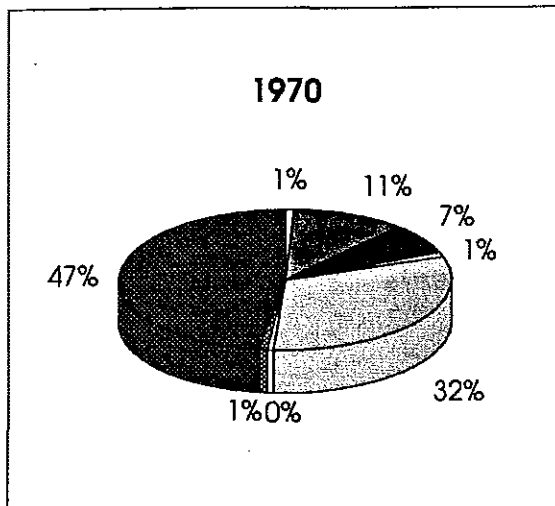


Annexe 12 : Evolution des surfaces de terres agricoles entre 1970 et 1988 (Recensement DDAF).



Annexe 13 : Evolution des quantités de N, P, K, répandus sous forme d'engrais sur les cultures entre 1970 et 1988.

# ANNEXE 14



*Annexe 14 : Evolution des types de cultures pratiquées sur le bassin versant du Pertuis Breton entre 1970 et 1988.*

## BIBLIOGRAPHY

- Anderson F.E.** 1973 - Observation of some sedimentary processes acting on tidal flat. *Mar. Geol.* **14** : 101-116.
- Bacher C.**, 1992 - Ecosystem modelling : sensitivity of physical characteristics to spatial box design. *Rap. IFREMER 91/1211406/nf/CEE* : 162-175.
- Barker H. A.**, 1935 - The culture and physiology of marine dinoflagellates. *Arch. Mikrobiol* **6** : 157-181. (in Bougis 1974).
- Bayne B.L., Gabott P.A. & Widdows J.** 1975 - Some effects of stress in the adult, on the eggs, of larvae of *Mytilus edulis*. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **55** : 675-689.
- Bayne B. L.**, 1976 - Marine mussel their ecology and physiology. *Cambridge University Press London*.
- Bayne B.L. & Scullard C.**, 1977 - Rates of nitrogen excretion of *Mytilus*. *J. MAR. BIOL. Ass. U. K.*, **57** : 355-369.
- Bendschneider K. & Robinson R.I.** 1952 - A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. *J. Mar. Res.*, **11**: 87-96.
- Benon P, Bourgade B. & Kantin R.** 1977 - Impact de la pollution sur les écosystèmes méditerranéens côtiers; aspect phytoplanctonique. *Thèse 3eme cycle Aix-Marseille II*.
- Berbland B. R., Bonin D. J. & Maestrini S. Y.**, 1974 - Mise en évidence de facteurs réglant la productivité du phytoplancton des eaux de surface dans la partie nord-occidentale de la mer Méditerranée (Campagne "Medipro I") au moyen de tests biologiques. *Ann. Inst. Oceanogr.* **501** : 5-25.
- Berbland B. R., Bonin D. J. & Maestrini S. Y.**, 1978 - Facteur limitant de la production primaire des eaux oligotrophe d'une aire cotière méditerranéenne (calanque d'En-Vaux). *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.*, **63**, (4) : 501-531.
- Bligh E.G. & Dyer W.F.** 1959 - A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.* **37**: 911-917.
- Bompais X.** 1991 - Les filières pour l'élevage de moules. Guide pratique. *IFREMER. 1-249*.
- Boromthanasarat S.** 1984 - Les bouchots à *Mytilus edulis* Linneaus, dans l'écosystème estuarien du bassin de Marennes-Oléron. Aspects biologiques et bioénergétiques. *Thèse 3eme cycle d'Aix- Marseille II. 1-142*.
- Bougis P.**, 1974 - Ecologie du plancton marin, *ed. Masson, 1, 1 - 195*.
- Bourdillon A.**, 1962 - Quelques aspects du problème de l'échantillonnage du phytoplancton marin. *Terre et Vie III (1) : 77-93*.

- Brody S.**, 1945 - Bioenergetic and growth. ed in *J.J. beukema et W. de Bruin Reinhold, New York.*
- Callame B.**, 1961 - Contribution à l'étude des variations saisonnières des caractéristiques hydrologiques de l'eau de mer à la Palice. *Trav. du CREO*, 1, (3) : 11-6.
- Caillere S. & Henin S.**, 1963 - Minéralogie des argiles. *ed. Masson et Cie.*
- Caratini** 1968 - Analyse pollinique d'un sédiment actuel : vases de l'anse de l'Aiguillon. *C.R.Somm. Soc. Geol. Fran. fasc. 3* : 72-74.
- Clement J. C.**, 1987 - Impact des conditions hydrologiques et nutritionnelles sur l'évolution de la production primaire de la baie de Vilaine, synthèse de donnée acquises sur la période 1982-1985. *Cahier du mors-Bras 21* : 1-268.
- Collos Y. & Mornet F.**, 1993 - Automated procedure for determination of dissolved organic nitrogen and phosphorus in aquatic environments. *Mar. Biol.* 116 : 685-688.
- Curl H & McLeod G.C.** 1961 - The physiological ecology of a marine diatom *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve. *J. Mar. Res.* 19 : 70-88.
- Dankers N. & Laane R.** 1983 - A comparaison of wet oxidation and loss on ignition of organic material in suspended matter. *Environ. Tech. Letters. vol. 4* : 283-290.
- Dardignac-Corbeil M. J.**, 1975 - Potentialité nutritive. Conchyliculture. *IFREMER La Rochelle Réunion annuelle des laboratoires conchylicoles* : 1-6.
- Dardignac-Corbeil M. J.**, 1989 - La mytiliculture traditionnelle. *In aquaculture G. Barnabe, ed. Lavoisier.*, 1 : 287-343.
- Dardignac-Corbeil M. J.**, 1989 - Estimation des stocks de moules dans le Pertuis Breton en 1988. *Rap. IFREMER* : 1-13.
- Dardignac-Corbeil M.J.** 1990 - Estimation des stocks de moules dans le Pertuis Breton en 1989. *IFREMER Rapport interne DRV-88.002 RA\L'houmeau.*
- Dardignac-Corbeil M.J.** 1991 - Estimation des stocks de moules dans le Pertuis Breton en 1990. *IFREMER Rapport interne DRV-88.002 RA\L'houmeau.*
- Dardignac-Corbeil M. J.**, 1991 - Compte rendu des travaux effectués en 1990. *Rap IFREMER.*
- Dardignac-Corbeil M.J.** 1993 - Estimation des stocks de moules dans le Pertuis Breton en 1992. *(comm. pers).*
- Debyser J.** 1961 - Contribution à l'étude des vases géochimiques marines. *Thèse doctorat I.P.F.*
- Deltreil J.P., Feuillet M. & Archambeau G.**, 1977 - Etude expérimentale de la fertilité phosphatée dans les eaux de claire à huître. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, 41, (3) : 283-297.
- Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebecs P.A. & Smith F.** 1956 - Colorimetric method for



determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.* **28** : 350-356.

**Feuillet M. & Gouleau D.**, 1977 - Action des épendages de craie (ou CaCO<sub>3</sub>) sur les vases des claires et des parcs ostréicoles. *Rev. Trav. Inst. Pêches Marit.*, **41**, (4) : 417-436.

**Fiala M., Gahet G., Jacques G., Neveux J. & Panouse M.**, 1976 - Fertilisation de communautés phytoplanctoniques. 1 : cas d'un milieu oligotrophe : Méditerranée nord-occidentale. *J. exp. Mar. Biol. Ecol.*, **24** : 151-163.

**Fitzgerald, G.P.**, 1968 - Detection of limiting or surplus nitrogen in algae and aquatic weeds. *J. Phycol.*, **4**: 121-126.

**Fitzgerald, G.P.**, 1970 - Evaluations of the availability of sources of nitrogen and phosphorus for algae. *J. Phycol.* **6** : 239-247.

**Fleming R. H.**, 1940 - The composition of plankton and units for reporting population and production. *Proc sixth pacif Sci. Congr. Calif.*, **3** : 535-540.

**Fridman R.**, 1953 - Les minéraux argileux des vasières cotières de l'Atlantique *C.R.A.S.* **236** : 2095-2097.

**Garside G.**, 1981 - Nitrate and ammonia uptake in the apex of the New-York Bight. *Limnol. Oceanogr.* **26** (4) : 731-739.

**Giese A.C.**, 1967 - Some methods for study of the biochemical constitution of marine invertebrates. *Oceanogr. Mar. Biol. Am. Rev.* **5** : 159-186.

**Gouleau D.** 1975 - Les premiers stades de la sédimentation sur les vasières littorales atlantiques; rôle de l'immersion. *Thèse de 3eme cycle Nantes.*

**Grasshoff K.** 1976 - Determination of nitrate in method of sea water analysis. *K. Grasshoff (ed). Verlag Chemie Weinheim RFA* 137-145.

**Hasfaoui M.**, 1984 - Fertilisation d'un système eutrophe à forte variabilité saisonnière et annuelle (rade de Brest). Mise en évidence des facteurs limitants de la production phytoplanctonique. Assimilation simultanée des différentes formes d'azote inorganique et organique. *Thèse de 3eme cycle U.B.O., Brest* 167 p.

**Harris E. & Riley G.A.**, 1965 - Oceanography of Long Iland Sound, 1952-1954. VIII : Chemical composition of the plankton. *Bull. Bingham oceanogr. Coll.*, **15** : 315-323.

**Harvey H. W.**, 1955 - The chemystrie and fertility of sea waters. *Cambridge Univ. Press*, 224p.

**Healy F.P.**, 1975 - Physiological indicator of nutrient deficiency in algae. *Env. Can. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep.* **585** : 1-30.

**Helm M.M., Holland D.L. & Stephenson R.R.**, 1973 -The effect of supplementary algal feeding of a hatchery breeding stock of *Ostrea edulis* L. on larval vigour. *J. Mar. Biol. Ass. U. K.*, **53** : 673-684.

- Héral M. & Deslou-Paoli J.M.** 1982 - Valeur énergétique de la chair de l'huître *Crassostrea gigas* estimée par mesure microcalorimétrique et dosages biochimiques. *Ocean. Acta*, **6** (2) : 193-199.
- Héral M., Razet D., Deslou-Paoli J.M., Berthome J. P. & Garnier J.**, 1983 - Caractéristiques saisonnières de hydrologie du complexe estuarien de Marennes-Oléron (France). *Rev. Trav. Inst. Pêch. Marit.* **46**, (2) : 97-119.
- Héral M., Robert J.M., Truquet I., Barbaroux O., Garnier J. & Razet D.**, 1981 - Composition en éléments azotés minéraux et organiques dissous de l'eau u bassin conchylicole de Marennes-Oléron. *CIEM, E*, **58**.
- Hilly C.**, 1976 - Ecologie benthique des pertuis charentais. *Th. 3m cycle Univ. Bretagne occ.*
- Holland D.L.**, 1978 - Lipid reserve and energy metabolism in the larvae benthic marin inverttebrates *In : Biochemieal physiological perpectives in marine biology ed. Marlins D.C. & Sargent J. R. Academic Press London* : 85-123.
- Holm-Hansen O.** 1969 - Determination of microbial biomass in ocean profiles. *Limn. Ocean.* **14** (5) : 740-747.
- Jacques G., Fiala M., Neveux J. & Panouse M.**, 1976 - Fertilisation de communautés phytoplanctoniques. 2 : cas d'un milieu eutrophe : Upwelling des côtes du sahara espagnol. *J. exp. Mar. Biol. Ecol.* **24** : 165-175.
- Kain J. M. & Fogg G.E.**, 1960 - Studies on the growth of marine phytoplankton. III. *Prorocentrum micans*. *Ehrenberg J. mar. biol. Ass. U. K.*, **39**, 33-50.
- Kerekers**, 1966 - Efficiencies of the net plancton and the centrifuged seston methods in highly eutrophic lake. *J. Fish. Res. Bd. Canada* **23** (10) : 1625-1628.
- Kim K.T.** , 1980 - Contribution à l'étude de l'écosystème pélagique dans les parages de Carry- le - Rouet (Méditerranée nord occidentale) ATP, pigemnt phytoplanctonique et poids sestonique. *Tethys*, **9**, (3) : 215-233.
- Koroleff F.** 1969 - Direct determination of ammonia in natural water as indophenol blue *ICES, C.M. Hydr. Comm.*
- Kuenzler E. J. & Ketchum B. H.**, 1962 - Rate of phosphorus uptake by *Phaeodactylum tricorutum*. *Biol. Bull.*, **123**, 134-145.
- Kuenzler E. J. & Perras J.P.**, 1965 - Phosphatases of marine algae. *Biol Bull.* **128**, 271-284.
- Letaconnoux R.**, 1952 - Observation hydrologiques périodiques dans le Pertuis Breton. *Am. Biol.* **8**.
- Letellier A.**, 1887 - Etude de la fonction urinaire chez les mollusques acéphales. *Arch. Zool. Exp. (Ser. 2)* **5** : 1-159.
- Letellier A.**, 1891 - La fonction urinaire s'exerce chez les mollusques acéphales par l'organe de

- Bojanus et par les glandes de Kebber et Grobben. *Compt. Ren. Acad. Sci.*, **112** : 56-58.
- Levasseur M, Therriault J.C. & Legendre L 1983 - Tidal currents wind and morphology of phytoplankton spatial structures. *J. Mar. Res.* **42** : 655-672.
- Lorenzen C.J. 1966 - A method for the continuous measurement of in vivo chlorophyll concentration. *Deep-Sea Res.* **13** : 223-227.
- Lowry O.H., Rosebrough N.I., Farrand A.L. & Randall R.J. 1951 - Protein measurement with folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.* **193** : 265-275.
- Marsh J.B. & Weinstein D.B. 1966 - Single charring method for determination of lipids. *J. Lipids Research* Vol. 7.
- Martin - Jezequel V. 1981 - Succession des populations phytoplanctoniques en relation avec les conditions nutritionnelles dans les eaux littorales de la Manche. *Thèse de 3eme cycle U.B.O., Brest*, 145 p.
- Martin A.G., Riaux C. & Crall J.R. 1977 - Distribution de la matière organique particulaire dans l'estuaire de Penzé, nord finistère. *J. Rech. Océan.*, vol II, **2** : 13-19.
- Mc Allister C.D., Parsons. T.R. & Strickland J.D.M. 1960 - Primary productivity at station "p" in the north east Pacific Ocean. *J. Cons.* **25** : 240-259.
- Mc Allister C.D., Parsons. T.R., Stephens K. & Strickland J.D.M. 1961 - Measurement of primary production in coastal water using a large volume plastic sphere. *Limn. Ocean.* **6** : 237-258.
- McCarthy J. J., 1972 - The uptake of urea by natural population of marine phytoplankton. *Limn. Oceanogr.*, **17** : 738-748.
- McGill D. A., 1965 - The relative supplies of phosphate, nitrate and silicate in the Méditerranéen sea. *Comm. in Expl. Sci. Mer. Medit. Rap P. V. Reun.* **18** : 737-744.
- Millot G. 1964 - Géologie des argiles. *ed. Masson et Cie.*
- Mullin J.B. & Riley J.P. 1955 - The spectrophotometric determination of silicate-silicon in natural water with special reference to sea water. *Anal. Chim. Acta* **12** : 162-170.
- Murphy J. & Riley J.P. 1962 - A modified single solution method for the determination of phosphate in natural water. *Anal. Chim. Acta* **27** : 31-36.
- Myklestad C.D. & Hang A. 1972 - Production of carbohydrates by the marine diatom *Chaetoceros affinis*. The effect of the concentration of nutrients in the medium. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **9** (2) : 125-136.
- Nival P., Malara C., Chaura R. & Boucher D. 1970 - La matière organique particulaire en méditerranée occidentale en mars 1970; chlorophylle, protides, glucides. Mission Mediprot T1 *Am. Inst. Oceanogr.* **48** (2) : 141-156.

- Packard T. T., Blasco D., MacIsaac J. J. & Dugdale R.C.**, 1971 - Variation of nitrate reductase activity in marine phytoplankton. *Inv. Pesq.*, **35** : 209-220.
- Paulmier G.** 1972 - Seston, phytoplankton et microphytobenthos en rivière d'Auray; leur rôle dans le cycle biologique des huître *Ostrea edulis*. *Thèse 3eme cycle Aix-Marseille I*.
- Parache A** 1984 - Contribution à l'étude de la croissance de *Mytilus edulis* var. *galloprovincialis*. Influence des conditions du milieu. *Thèse 3eme cycle Aix-Marseille II*.
- Parson T. R., Stephen K. & Strickland J. D. R.**, 1961. - On the chemical composition of eleven species of marine phytoplankters. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, **18** : 1001-1016.
- Parsons T.R.** 1963 - A new methode of microdetermination of chlmorophylle in sea water. *Fish. Res. Board of Canada, Nanaimo B. C., J. Mar. Res.* **21** : 164-171.
- Platt T. & Irvin B.** 1973 - Caloric content of phytoplankton. *Limn. Oceanogr.* **18 (2)** : 306-310.
- Pomeroy L.R, Mathews M.H. & Hong Saik Min**, 1963. - Excretion of phosphate and solubleorganic phosphoric ompounds by zooplankton. *Limnol. Oceanogr.*, **8** : 50-55.
- Pomeroy L. R., Smith E. E. & Grant C.M.**, 1965 - The exchange of Phosphorus between estuarine water end sediemnt. *Limn. Oceanogr.* **10, (2)** :167-172.
- Prou J. & Dardignac-Corbeil M.J.** 1993 - Rcrutment of mussel in the Pertuis Breton (France) in these last years. A preliminary analysis on the influence of the temperature and sunshine. 2nd workshop on spatfall and recrutment of mussels and cockles. (in press).
- Provasoli I., Mc Laughlin J. J. A. & Droop M. R.**, 1957 - The development of artificial media for marine algae. *Arch. Microbiol.*, **25** : 392-428.
- Ravail B., Héral M., Razet D. & Robert J.M.**, 1986 - Incidence de la diminution des débits de la Charente sur la production primaire dans le bassin de Marennes-Oléron. *Rapp. IFREMER* : 48 p.
- Raven C.P.** 1966 - Morphogenesis : the analysis of molluscan development *2nd ed. Pergamon Press Oxford* 365 pp.
- Redfield A.C.**, 1934 - On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton. *In James Johnston Memorial Volume. Liverpool, Univ. Press* : 176-192.
- Ricard M.**, 1987 - Atlas du phytoplankton marin. *2 ed CNRS*.
- Riley G. A.**, 1937 - Significance of the Missipi river drainage for biological conditions in nothern gulf of mexico. *J. Mar. Res.*, **1** : 60-74.
- Robert J.M., Maestrini S.Y., Bages M., Dreno J.P. & Gonzalez R.**, 1979 - Estimation au moyen de tests biologiques de la fertilité des trois diatomées des eaux de claires à huître de Vendée. *Océanol. Acta*, **2** : 275-286.

- Robert J.M., Maestrini S.Y., Héral M., Rince V., Dreno J.P. & Beker L., 1982** - Enrichissement expérimental d'eaux printanières de claires à huître en baie de Bourgneuf (Vendée France). Augmentation de la biomasse et utilisation des éléments nutritifs par les algues unicellulaires. *Hydrobiol.* 96 : 53-63.
- Ryther J.H.** 1956 - Photosynthesis in the ocean as a function of light intensity. *Limn. Ocean.* 1 : 61-70.
- Ryther J.H. & Dunstan W. M., 1971** - Nitrogen, phosphorus and eutrophication in the coastal marine environment. *Science* 171 : 1008-1013.
- Salvador F., 1976** - Etude de quelques paramètres chimiques de la qualité des eaux dans l'estuaire de la Charente. *Th. Univ. P. et M. Curie, Paris VI*, 87p.
- Slawyk G., 1980** - Absorption des composés azotés par le phytoplancton marin; rôle dans la production primaire, relation avec la photosynthèse et les variables du milieu extra et intra cellulaire. *Thèse 3me cycle Aix-Marseille II* : 213.
- Smaal A.C. & Scholten H 1989** - Modelling interactions shellfish culture and oystershelde system ICES. Symposium on the ecology and managements aspects on extensive mariculture, 30p.
- Sornin J.M., 1981** - Processus sédimentaires et biodéposition liés à différents modes de conchyliculture. *Th. 3m cycle Nantes* : 1-184.
- Soulard R., 1988** - Principales caractéristiques hydrobiologiques estivales du Pertuis Breton en 1988. *Rap. Dipl. Ing ENSA Toulouse*.
- Steele J.H. & Baird I.E.** 1961 - Relations between primary production chlorophyll and particulate carbon. *Limn. Ocean.* 7 : 42-47.
- Steele J.H. & Baird J. E., 1962** - Further relations between primary production, chlorophyll and particulate carbon. *Limn. Oceanogr.* 7 : 42-47.
- Strickland J. D. H. & Parsons T.R., 1968** - A practical handbook of sea water analysis. *Bull. Fish. Bd. Can.*, 167: 1-311.
- Thomas W. H. & Dodson A. N., 1968** - Effects of phosphate concentration on cell division rates and yield of tropical oceanic diatom. *Biol Bull.*, 134 : 199-208.