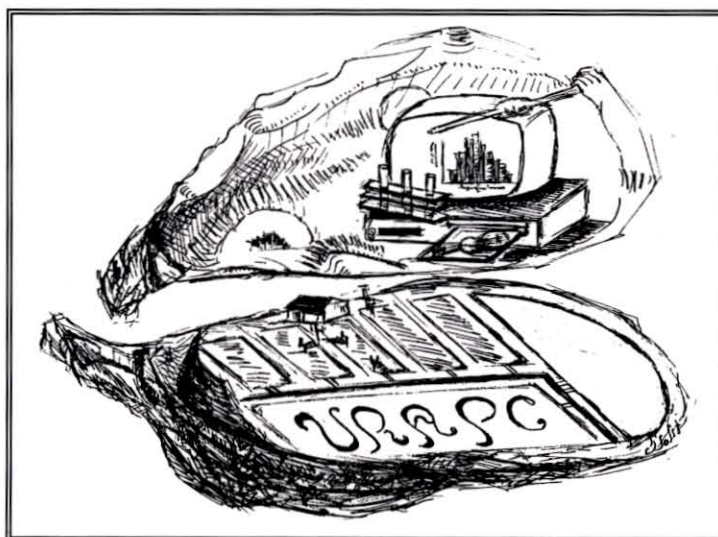


**Analyse de la Capacité Trophique de l'Ecosystème "claires ostréicoles" dans le cadre de l'Affinage de l'huître creuse *Crassostrea gigas* (Bassin de Marennes-Oléron).**

**P. Soletchnik, D. Razet, P. Gouletquer,  
P. Geairon, O. Lemoine, N. Faury**



<p>IFREMER Station de La Tremblade B.P.133 17390 La Tremblade Tél : 46 36 18 41 Fax : 46 36 18 47</p>	<p><b>DIRECTION DES RESSOURCES VIVANTES</b> <b>DEPARTEMENT RESSOURCES AQUACOLES</b> <b>Laboratoire de Génétique - Aquaculture - Pathologie</b> <b>Unité de Recherches Aquacoles en Poitou-Charentes</b></p>	
<p>AUTEURS : <b>P. Soletchnik, D. Razet, P. Gouletquer,</b> <b>P. Geairon, O. Lemoine, N. Faury</b></p>	<p>CODE : <b>RI DRV/RA: 24-95</b> <b>LA TREMBLADE</b></p>	
<p>TITRE : <b>Analyse de la Capacité Trophique de l'Ecosystème "claires ostréicoles" dans le cadre de l'Affinage de l'huître creuse <i>Crassostrea gigas</i> (Bassin de Marennes-Oléron).</b></p>	<p>Date : <b>Octobre 1995</b> Tirage : <b>40</b> Nb pages : <b>43</b></p>	
<p>Contrat de Plan Etat Région Poitou- Charentes</p>	<p><b>Rapport 1995</b></p>	<p>Diffusion libre : <b>X</b> restreinte : confidentielle :</p>
<p><b>RESUME</b> : Bien que défini par la Norme AFNOR (NF V45-056), l'affinage des huîtres <i>C. gigas</i> en claires ostréicoles traditionnelles reste une pratique zootechnique non contrôlée. L'expérimentation 1994 a permis de tester 1) l'effet de la densité d'élevage (2 à 10 huîtres/m<sup>2</sup>) sur la croissance et la production de <i>C. gigas</i>, 2) la variabilité au sein de la claire de la croissance, et 3) d'évaluer les différentes sources de variabilité des paramètres physico-chimiques et trophiques de la colonne d'eau et de l'interface eau-sédiment. Différentes échelles spatio-temporelles de ces variables ont été évaluées variant entre 2 périodes consécutives de remplissage du marais jusqu'au suivi en continu (pas de temps de 5mn) des paramètres. Les modèles de calibration des signaux en continu de la fluorimétrie et de néphélométrie ont permis de simuler la ressource trophique dans la colonne d'eau. A partir de ce signal et d'un modèle biologique de croissance de l'huître, le bilan énergétique simulé est proche des mesures de production réelles. Une étude de sensibilité des variables 'température et niveau trophique' est proposée.</p>		
<p><b>ABSTRACT</b> : Although specified by the French classification AFNOR, the <i>C. gigas</i> Pacific oyster fattening in traditional oyster ponds is not technically fully undercontrolled. The 1994 experiment aimed to 1) test the density effect (2-10 oysters/m<sup>2</sup>) on growth and production, 2) assess the oyster growth variability within oyster ponds, and 3) assess the various origins of the water column and sediment interface characteristics variability. Therefore, several temporal and spatial scales were considered varying from in-between 2 seawater inputs to continuous variables monitoring (5' time scale). The continuous monitoring including fluorimetric and nephelometric data were calibrated and modelled so as to provide a continuous carrying capacity estimate within the water column. Based on this model outputs and an ecophysiological model, the simulated Scope for Growth (SFG) was close to the field oyster production data. A sensitivity analysis considering the 'temperature' and 'food level' was proposed.</p>		
<p>Mots clés : <i>Crassostrea gigas</i>, production, affinage, claires ostréicoles, modèle d'écosystème.</p>		
<p>Key words : <i>Crassostrea gigas</i>, production, fattening, oyster ponds, ecosystem modelling.</p>		

**IFREMER** *Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer.*

## Sommaire

	Pages
REMERCIEMENTS	
<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIELS ET METHODES</b>	<b>1</b>
2.1. Site expérimental	1
2.2. Echantillonnage spatio-temporel de la colonne d'eau des claires ostréicoles	2
2.2.1. Cycles de mesures par prélèvements discrets	2
2.2.2. Acquisition en continu des paramètres environnementaux	3
2.2.3. Variabilité spatiale des paramètres hydrobiologiques	3
2.3. Echantillonnage temporel de l'interface eau-sédiment	4
2.4. Effet de la densité d'huîtres en élevage sur la production	5
2.5. Relation huître-milieu	5
<b>3. RESULTATS</b>	<b>6</b>
3.1. Evaluation de la capacité trophique des claires	6
3.1.1. Evolution des paramètres hydrobiologiques	6
3.1.1.1. Les facteurs trophiques : chla, phéo, carbone, PLG et mop	6
3.1.1.2. Les sels nutritifs	9
3.1.2. Evolution des paramètres à l'interface eau-sédiment	10
3.1.3. Ressources trophiques des claires	13
3.2. Etude du mésocosme "claires ostréicoles"	15
3.2.1. Hydraulique des claires	15
3.2.2. Variabilité temporelle des paramètres hydrobiologiques	15
3.2.2.1. Echelle saisonnière	15
3.2.2.2. Echelle journalière	18
3.2.3. Variabilité spatiale des paramètres hydrobiologiques	18
3.3. Affinage des huîtres creuses <i>C. gigas</i>	25
3.3.1. Caractéristiques du lot initial	25
3.3.2. Comparaison des productions en fonction des densités en élevage	25
3.3.3. Hétérogénéité spatiale de la croissance	28
3.3.4. Indices de condition et composition biochimique des huîtres	30
3.3.4.1. Indices de condition	30
3.3.4.2. Composition biochimique des huîtres	32

3.4. Relation huitre-milieu	32
3.4.1. Relation entre le gain de poids et les paramètres trophiques	32
3.4.2. Modélisation de la croissance en claires	35
3.4.2.1. Matrice de corrélation et modèles de calibration	35
3.4.2.2. Description temporelle des ressources trophiques calibrées et bilan énergétique	36
<b>4. DISCUSSION - CONCLUSION</b>	<b>39</b>
<b>5. REFERENCES</b>	<b>42</b>

## 1. INTRODUCTION

Cette étude constitue une des trois actions engagées dans le cadre du Contrat de Plan IFREMER - Poitou-Charentes (1994-1998) sous l'intitulé **Valorisation des Claires Ostréicoles**. Les deux actions complémentaires concernent la compréhension et l'amélioration du verdissement des claires sous la direction du Pr. J.M. Robert de l'Université de Nantes/ISOMER et la production en masse de microalgues afin de stimuler la croissance de mollusques filtreurs sous la direction du Dr. J. Hussenot du CREMA L' Houmeau.

Ce programme répond directement à la demande des professionnels afin d'optimiser les conditions d'élevage de l'huître creuse *C. gigas* en période d'affinage en claires qui à l'heure actuelle, ne permettent pas le contrôle de la qualité finale du produit. L'objectif principal des professionnels étant, au terme de la période d'affinage, d'améliorer et de satisfaire les contraintes de la norme AFNOR de commercialisation d'huîtres de claires, "fines" et "spéciales" tout en contrôlant l'homogénéité de la qualité de leur cheptel.

Par ailleurs, les aménageurs ont le souci de valoriser au mieux les surfaces de marais disponibles. Si actuellement 1 600 ha de marais sont officiellement déclarés aux Affaires Maritimes du Quartier de Marennes-Oléron, on estime à 3 000 ha la surface réellement en conditions d'exploitation. Pour une production annuelle de 30 à 40 000 t d'huîtres sur le Bassin de Marennes-Oléron, on peut estimer les besoins en marais ostréicoles autour de 3 à 4 000 ha afin d'affiner la totalité de la production aux densités réglementaires de 10 à 20 huîtres au m<sup>2</sup> définies par la Norme AFNOR (1985). Des besoins supplémentaires peuvent apparaître si la technique d'élevage de "pousse en claires" et des importations supplémentaires venant de Bretagne ou Normandie sont effectuées. Globalement, ce besoin supplémentaire maximum peut être estimé à 1 000 ha. Cependant, une amélioration de l'outil de travail est souhaitable dans de nombreux cas afin de passer à une échelle compatible avec les contraintes économiques et réglementaires actuelles.

Au cours de cette première année d'expérimentation en claires ostréicoles traditionnelles du Bassin de Marennes-Oléron, les objectifs sont doubles. Le premier objectif est de réaliser une expérimentation zooteknique sur l'affinage de l'huître *Crassostrea gigas* à différentes densités d'élevage. Cette expérimentation a pour but de préciser les travaux réalisés au CREAA (Cartron, 1993) et constitue l'étape initiale du développement d'un nouvel outil expérimental pilote à la station IFREMER de la Tremblade (GAP/URAPC). Le deuxième objectif est de recueillir les informations sur l'écosystème "claires ostréicoles" (i.e., environnement physique, chimique et biotique), ainsi que sur les effets de la météorologie locale à différentes échelles spatio-temporelles afin de permettre la conceptualisation d'un modèle de gestion des claires ostréicoles durant la période d'affinage (octobre à décembre). Cette acquisition constitue un référentiel pour les expérimentations à venir et doit permettre la calibration du modèle écophysologique "huître" (Raillard, 1991; Bougrier *et al.*, 1995) sur cet écosystème. En terme de suivis et d'analyses, l'effort porte sur la qualité trophique de la matière particulaire disponible pour les huîtres ainsi que les caractéristiques biométriques et biochimiques de ces dernières. Par ailleurs, un effort particulier porte sur l'analyse de la variabilité spatio-temporelle des paramètres édaphiques et trophiques au sein même d'une claire.

## 2. MATERIELS ET METHODES

### 2.1. Site expérimental

Les claires ostréicoles expérimentales sont situées dans le bassin de Marennes-Oléron, sur la commune de Ronce les Bains. Cinq claires d'une surface de 400 m<sup>2</sup> chacune sont alimentées en eau de mer par un chenal d'arrivée le long des claires puis par des canalisations horizontales terminées par un "bondon" vertical (tuyau de PVC d'un diamètre de 30 cm) qui permet le renouvellement et le contrôle de la hauteur d'eau dans la claire (fig. 1). Cette hauteur est standardisée à 30 cm dans chaque claire. L'alimentation en eau de mer s'effectue à marée montante sous le double "contrôle" du coefficient de marée et des conditions atmosphériques.

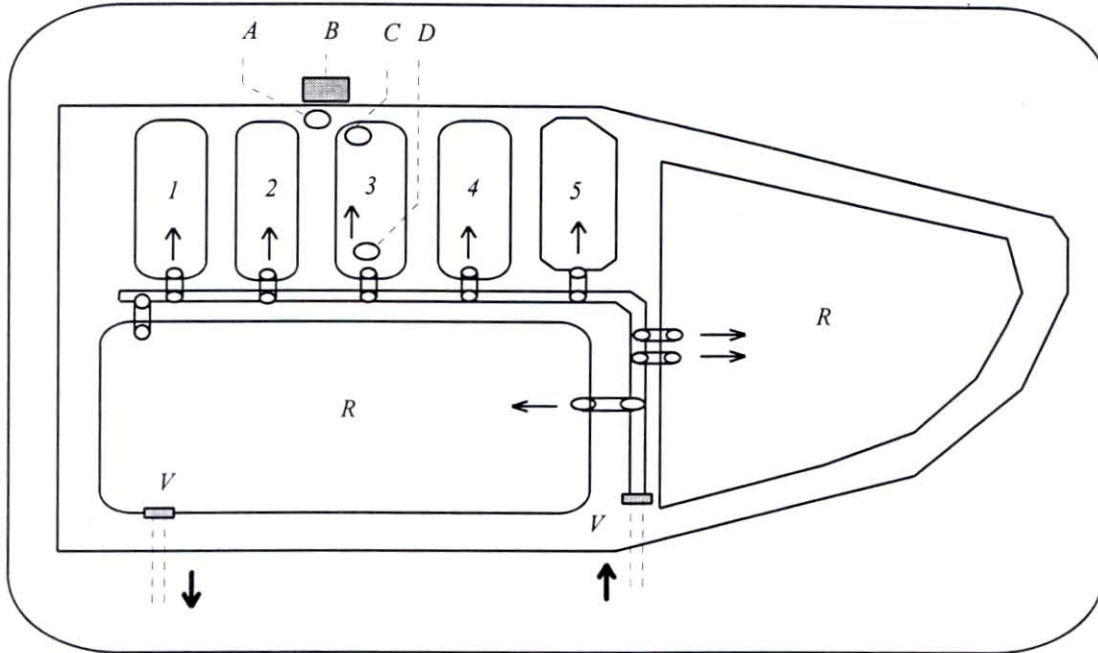


Figure 1 : Site des claires expérimentales (1-6). B : centre logistique ; A : station météo ; C : échosondeur ; D : sonde multiparamètres ; R : réserve ; V : vannes à crémaillère ("varaigne").

Un abri proche des claires renferme la centrale d'acquisition de données en continu (fig. 2). Elle est constituée d'un ensemble de micro-ordinateurs, d'interfaces et d'instruments de mesures qui permettent le suivi et l'enregistrement en continu de paramètres environnementaux dans l'eau et dans l'air. Une station météo enregistre la température, la pluviométrie, la force et la direction de vent avec un intervalle de temps de 5 mn.

## 2.2. Echantillonnage spatio-temporel de la colonne d'eau des claires ostréicoles

La stratégie d'échantillonnage prend en compte différentes échelles de temps complémentaires afin d'estimer la variabilité temporelle de l'écosystème "claire". En plus des prélèvements bimensuels concernant les cycles de remplissage dus à la marée, des cycles journaliers permettent de comparer l'évolution de la colonne d'eau entre des périodes de stabulation et d'alimentation en période de marées de vives eaux. Les cycles intrajournaliers, au pas de temps de 5 mn, permettent de suivre les rythmes nyctéméraux d'évolution des facteurs environnementaux.

Hormis l'étude des cycles inter et intrajournaliers, des mesures complémentaires sont réalisées en périodes de faible et de forte alimentation (avant le début de l'alimentation, et pendant la période de stabilisation du système). Des mesures sont réalisées également pendant des conditions environnementales "extrêmes" telles que de forts vents ou pluies qui modifient, par une remise en suspension ou par une modification de la salinité, la nature même de l'aliment disponible pour les huîtres dans la claire.

Des prélèvements discrets complémentaires sont effectués durant plusieurs périodes d'alimentation afin de couvrir une large gamme de turbidité et permettre ainsi la conversion des signaux de néphélogétrie et de fluorescence en signaux de charges particulières, de chlorophylle a et phéophytine.

### 2.2.1. Cycles de mesures par prélèvements discrets

Dans le cadre de l'étude de l'écosystème claire, la stratégie d'échantillonnage de la colonne d'eau consiste à effectuer de façon cyclique, des prélèvements discrets d'un volume de 5 litres au niveau du "bondon" où se remplit la claire et à l'extrême opposé de celui-ci (Nedhif, 1984). Les principaux

paramètres environnementaux mesurés sont : salinité, température, oxygène, sels nutritifs (NH<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, SiO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>), matière organique (MOP) et inorganique (MIP) particulaire ; protéines, lipides et glucides particuliers ; carbone et azote, chlorophylle a et phéopigments.

Pour le test de densité des huîtres en élevage, ces prélèvements sont réalisés en période de mortes-eaux et en périodes de vives-eaux.

### 2.2.2. Acquisition en continu des paramètres environnementaux

La centrale d'acquisition des données en continu est composée d'une station météo, d'une sonde multiparamétrique ainsi que d'un équipement de mesure de la turbidité et de la fluorescence (fig. 2). L'équipement de relevé hydrobiologique est à poste fixe au niveau de la dérèse de la claire 3. A l'opposé de la même claire se trouve un écho sondeur qui tient lieu de marégraphe.

Une sonde multiparamètres (modèle Grant/YSI 3800) dans la claire n°3 mesure en continu la température, la salinité, l'oxygène dissous, le pH et la turbidité par néphélométrie (intervalle de temps de 5 mn) au niveau de l'eau d'entrée par le "bondon" avant dilution dans la claire. Par ailleurs, la fluorescence est mesurée au moyen d'un fluorimètre Jenway IC6800 à flux continu.

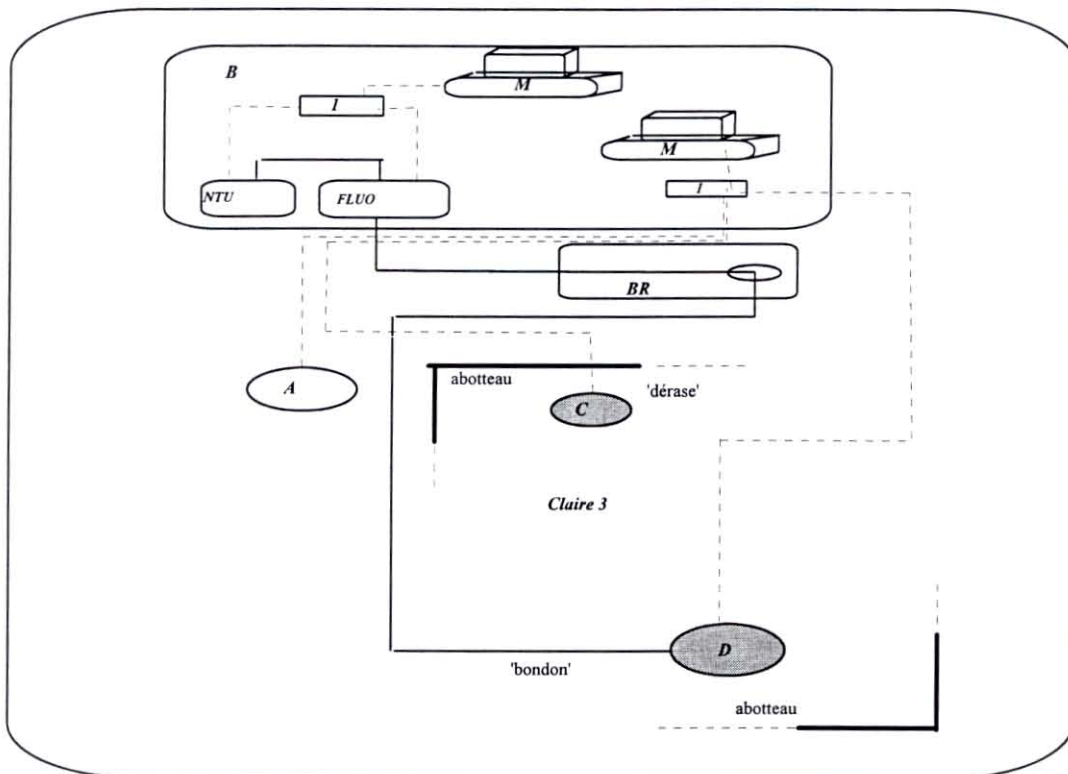


Figure 2 : Centrale d'acquisition de données. A : station météo ; C : échosondeur ; D : sonde multiparamètres ; M : micro-ordinateur ; I : interface ; NTU : néphélomètre ; FLUO : fluorimètre ; BR : bac de reprise.

### 2.2.3. Variabilité spatiale des paramètres hydrobiologiques

Cette étude a pour objectif principal de déterminer si la variabilité spatiale est à prendre en considération pour la gestion et la modélisation de la claire ostréicole. Les suivis en continu et l'échantillonnage de prélèvements discrets sont couplés pour analyser la variabilité spatiale de la colonne d'eau. Ces derniers sont établis sur la même stratégie que celle développée au cours des alternances "mortes eaux" - "vives eaux" de l'étude comparée d'affinage de l'huître creuse. Les

analyses de prélèvements discrets réalisées concernent la matière organique particulaire (MOP), la matière particulaire totale (MPT) et le carbone-azote (CHN).

La variabilité spatiale au sein de la claire n°3 est étudiée à partir d'une sectorisation de celle-ci en 6 zones rectangulaires (1-6) d'égale surface au centre desquelles une pompe immergée permet des prélèvements d'eau en continu (fig. 3). Un cycle de rotation de la sonde pour l'ensemble des zones est d'environ 3 mn. Le pas de temps d'échantillonnage de la sonde est fixé à 2 secondes et la durée de mesure pour chaque zone est d'environ 15-20 secondes. L'émergence de la sonde entre chacune des zones est dictincte sur l'enregistrement des paramètres. Trois cycles de mesures successifs ont permis de vérifier l'effet négligeable du décalage de temps sur les mesures successives. Cette méthodologie permet de pallier à l'impossibilité de mesurer simultanément les 6 zones de la claire expérimentale. Parmi les paramètres enregistrés par la sonde, la turbidité présente un intérêt particulier puisque ce paramètre peut être directement corrélé à la disponibilité spatiale de la ressource trophique. La salinité est également prise en compte au niveau des résultats. Par ailleurs, ce système permet de mesurer l'hétérogénéité spatiale de la matière particulaire totale au cours d'épisodes climatiques "extrêmes" (e.g., vent fort) ou durant les périodes de remplissage du marais.

Des cycles de quelques heures au pas de prélèvement horaire sont réalisés dans des conditions météorologiques particulières. Ainsi le cycle du 9 décembre 1994 est un cycle de mesures par grand vent. Le cycle du 20 décembre est un cycle de mortes eaux et ceux du 4 janvier et du 1 février sont des cycles effectués en condition de vives eaux avant et pendant la période d'alimentation. Par ailleurs, la sonde permet d'étudier la distribution spatiale du matériel particulaire dans des conditions météorologiques perturbées extrêmes (e.g., 26 à 31 janvier 1995). Ces conditions entraînent une disponibilité en nourriture élevée.

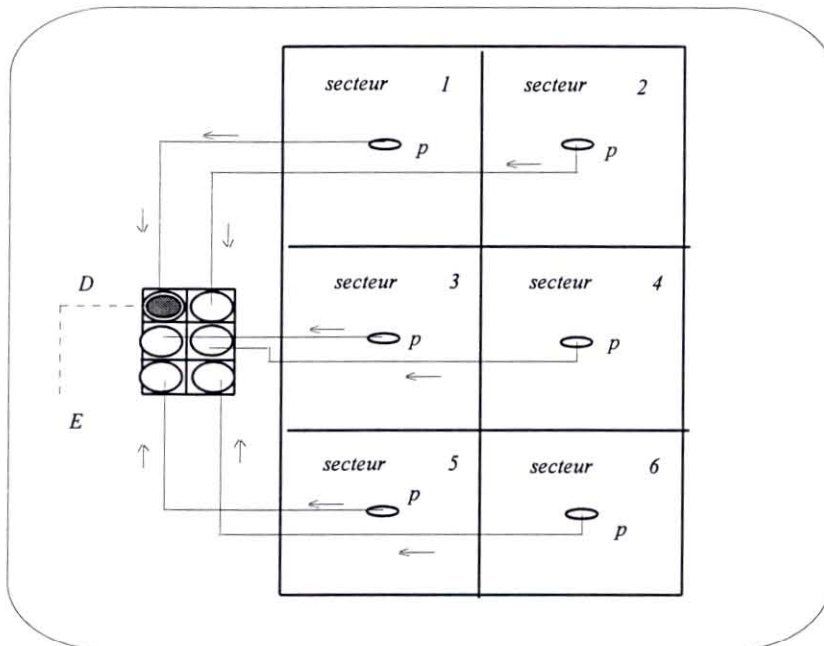


Figure 3 : Site d'étude de distribution spatiale. D : sonde multiparamétrique ; E : collecteurs ; p : pompe.

### 2.3. Echantillonnage de l'interface eau-sédiment

Comme pour l'échantillonnage hydrologique, des prélèvements de sédiment sont effectués au niveau du bondon et à l'opposé dans chacune des claires, en début de "maline" (début de période d'alimentation) et en fin de période de "mortes eaux" (période sans alimentation). Les prélèvements sont effectués par "carottage" du fond de la claire sur une section cylindrique de 5 cm<sup>2</sup>. Au laboratoire,



les 5 premiers millimètres de l'interface eau-sédiment (5 g de poids frais) sont isolés de la carotte et homogénéisés. Des prélèvements sont ensuite effectués pour chacune des analyses (MPT, MOP, Chl.a, CHN et PLG). Les méthodes d'analyse sont identiques à celles présentées pour les analyses hydrologiques.

#### 2.4. Effet de la densité d'huîtres en élevage sur la production

La **population initiale** d'huîtres provient d'un élevage réalisé par un professionnel sur le Banc ostréicole de Bourgeois (Marennes-Oléron). Les huîtres sont éparées à plat à des densités d'huîtres de 9,55, 7,50, 5,45 et 2,73 huîtres/m<sup>2</sup>, respectivement pour les claires 1, 2, 3 et 5. La claire 4 est une claire témoin sans huîtres. Le poids moyen initial des huîtres est de 55 g (± 2 g). Suite au prélèvement initial, un échantillonnage aléatoire de 30 huîtres par claire est effectué le 4 octobre et le 7 novembre 1994, ainsi que les 3 janvier et 8 février 1995. En fin d'expérimentation chaque claire est spatialement divisée en 6 secteurs équivalents. Un échantillonnage aléatoire de 30 huîtres est effectué dans chacun des secteurs pour réaliser des analyses biométriques et biochimiques ultérieures.

Parmi les **indices de qualité** retenus, l'indice AFNOR est issu de la norme NF V45-056 (1985) et calculé sur 20 huîtres selon la formule suivante :

$$I = (\text{poids frais} / \text{poids total}) \times 100$$

Un indice compris entre 6,5 et 9, et supérieur à 9 correspond respectivement à une huître "fine" et "spéciale".

Parmi les indices biométriques et de condition disponibles dans la littérature scientifique, deux sont recommandés par Bodoy et al. (1986) :

L'indice d'Imaï-Sakaï (1961) calculé selon la formule suivante :

$$IS = \text{Epais} / [(\text{Long} + \text{Larg}) / 2] \times 100$$

et l'indice de Lawrence et Scott (1982) :

$$IC = \text{Poids sec} \times 10^3 / (\text{Poids total} - \text{poids coquille})$$

Les **analyses biochimiques** sont effectuées sur la chaire sèche. Les sucres (glucides et glycogène) sont analysés par la méthode de Dubois *et al.* (1956), les protéines par la méthode de Lowry *et al.* (1951) après extraction (Bligh et Dyer, 1959). Les lipides sont analysés par la méthode de Marsh et Weinstein (1966).

Le **bilan de production** concerne le gain moyen de biomasse effective mesurée entre le point initial et la fin de l'expérimentation, en tenant compte de la perte de biomasse liée aux mortalités. A la différence du potentiel de croissance qui considère des données physiologiques instantanées, le bilan de production intègre toutes les fluctuations environnementales subies au cours de l'expérimentation. La conversion énergétique de la chair est effectuée au moyen des coefficients énergétiques moyens appliqués sur chaque composant biochimique (Brody, 1945).

#### 2.5. Relation huître-milieu

Les **descripteurs biologiques de croissance** : le gain de poids sec journalier (GPSJ) et le gain de poids total journalier (GPTJ) sont calculés entre les 4 dates d'échantillonnage (4 oct. 94, 7 nov 94, 3 jan 95 et 8 fév 95), soit sur trois périodes respectives (A, B et C) de 33, 56 et 35 jours.

Afin de traiter la relation huîtres-milieu, une analyse multivariable en composantes principales est réalisée à l'aide du logiciel Statgraphics.

La formulation générale du calcul du **potentiel de croissance** (PC) est la suivante :

$$PC = A - R$$

où A correspond à la quantité d'énergie assimilée et R, l'énergie utilisée par le catabolisme respiratoire par unité de temps (Lucas, 1982).

Les modèles biologiques développés par Bougrier *et al.* (1995) sont utilisés pour estimer les taux moyens de filtration et de respiration en fonction de la température et du poids sec des huîtres. La fonction d'assimilation est linéairement dépendante de la température (Raillard, 1991).

### 3. RESULTATS

#### 3.1. Evaluation de la capacité trophique des claires

##### 3.1.1. Evolution des paramètres hydrobiologiques

###### 3.1.1.1 Les facteurs trophiques : *chl*a, *phéo*, carbone, *PLG* et *mop*.

L'évolution des différents descripteurs de la matière organique sur l'ensemble des claires en fonction de la période d'échantillonnage est présentée sur la figure 4. Aucun effet "claire" n'affecte significativement les paramètres environnementaux mesurés (tableau 1). Les mesures d'octobre 1994 présentent des valeurs significativement supérieures à celles des prélèvements suivants (fig. 4 A, B, C et D). Les *PLG* varient de 0,3 à 0,6 mg/l et le carbone entre 0,5 et 1,4 mg/l de novembre à janvier. Les résultats concernant la matière organique particulaire (*MOP*) présentent une variabilité supérieure à celle des autres descripteurs (fig. 4A). Les concentrations en (*chl*a + *phéo*) chutent de 9 µg/l à mi-octobre à 4,5 µg/l en novembre-décembre et à 1,5 µg/l en janvier. Au cours de ces trois périodes, la température moyenne est respectivement de 17-18 °C, 12,2°C et 7,9°C.

La chute de la concentration en phytoplancton au cours de la période d'affinage (fig. 4D) semble être associée à la chute de température au cours de l'hiver (refroidissements du 20 déc. (échant. 7) et du 3 janv. (échant. 8)).

Le rapport C/N présente une différence significative entre les marées de vives eaux et les marées de mortes eaux (fig. 5). La valeur moyenne supérieure à 10 pour les vives eaux, et inférieure à 8 pour les mortes eaux, reflète l'apport de matières organiques détritiques lors des renouvellements de l'eau des claires en marées de vives eaux.

Tableau 1 : Analyse de la variance des principaux descripteurs caractérisant la matière organique disponible dans la colonne d'eau. "Date" : date d'échantillonnage ; "lieu" : "dérase" ou "opposé".

	source de la variance	carré des écarts	degré de liberté	moyenne au carré	test de Fisher	significativité du test
<b>POM</b>	date	281,49	10	28,14	41,06	0,000
	claire	4,00	4	1,00	1,46	0,221
	lieu	2,24	1	2,24	3,28	0,073
	residus	64,43	94	0,68		
	total	352,17	109			
<b>PLG</b>	date	9,43	10	0,94	15,32	0,000
	claire	0,27	4	0,67	1,10	0,36
	lieu	0,53	1	0,53	8,59	0,004
	residus	5,79	94	0,062		
	total	16,01	109			
<b>Carbone</b>	date	25,49	10	2,59	11,54	0,000
	claire	0,57	4	0,14	0,65	0,63
	lieu	1,73	1	1,73	7,85	0,006
	residus	20,74	94	0,22		
	total	48,53	109			
<b>Chla+phéo</b>	date	390,94	10	39,09	20,26	0,000
	claire	7,84	4	1,96	1,01	0,40
	lieu	4,37	1	4,38	2,27	0,13
	residus	171,7	89	1,93		
	total	568,32	104			

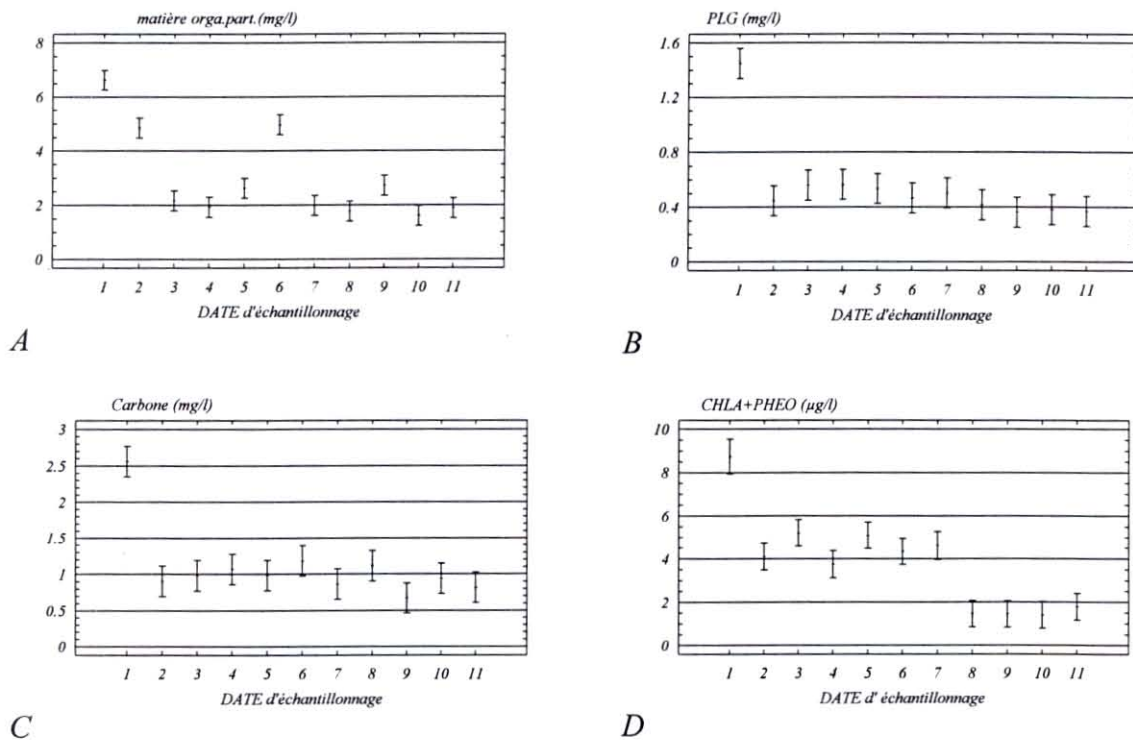


Figure 4 : Résultats de l'analyse de variance des descripteurs hydrobiologiques en fonction du temps. A : matière organique particulaire déterminée par la perte au feu ; B : protéines lipides et glucides ; C : carbone organique ; D : chlorophylle a et des phéopigments.

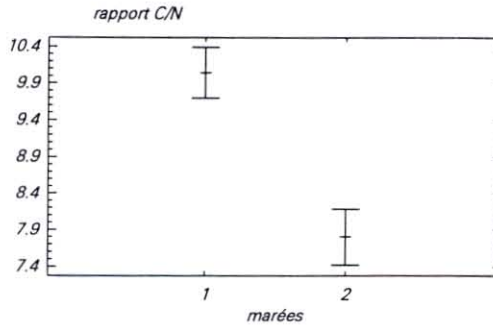


Figure 5 : Rapport C/N entre les prélèvements discrets en marées de vives eaux (1), et ceux en marées de mortes eaux (2).

Les principaux résultats concernant les descripteurs hydrobiologiques et physico-chimiques sont analysés par la matrice de corrélation (tableau 2). Aucun effet claire n'est mis en évidence quelque soit le descripteur pris en compte. L'appauvrissement trophique progressif de la colonne d'eau est marqué par les corrélations négatives entre le descripteur "date" et l'ensemble des descripteurs de la matière organique (Chla, phéo, PLG, C et N). Les résultats des différents modes de mesure de la matière organique montrent une corrélation significative de 0,69 entre les PLG et le carbone par opposition à l'absence de corrélation entre le PLG et la MOP (0,29) (tableau 2). La matière particulaire totale, la matière organique déterminée par la perte au feu ainsi que la mesure de carbone sont corrélées au descripteur "marée" (mortes eaux ou vives eaux). Par contre aucune corrélation n'est notée entre les descripteurs (Chla + P), PLG et l'azote et le paramètre 'marée'. Le renouvellement en eaux durant les marées de vives eaux correspond donc à un enrichissement en matière organique d'origine détritique et non pas d'origine phytoplanctonique vivant. Les coefficients de corrélation de 0,74 et 0,73 entre (chla-phéo) et PLG ou l'azote montrent qu'ils caractérisent un type de matière organique. Les résultats du rapport C/N montrant une variabilité avec la qualité organique sont cohérents avec ceux de la littérature où le rapport C/N de la matière organique varie de 5-7 à 10-20 respectivement selon l'origine phytoplanctonique ou détritique.

Tableau 2 : Matrice de corrélation des descripteurs hydrobiologiques des claires ostréicoles ; date : date d'échantillonnage ; claire (1 - 5) ; lieu (dérase ou opposé) ; marée (mortes eaux ou vives eaux) ; chla+p : chlorophylle a + phéophytine ( $\mu\text{g/l}$ ) ; mop : matière organique particulaire (mg/l) ; mip : matière inorganique particulaire (mg/l) ; mpt : matière particulaire totale (mg/l) ; oxy : concentration en oxygène ; sal : salinité ; NH4+ : ammoniacque ; PLG : somme des protéines lipides et glucides (mg/l) ; carb : teneur en carbone (mg/l) ; azote : teneur en azote (mg/l).

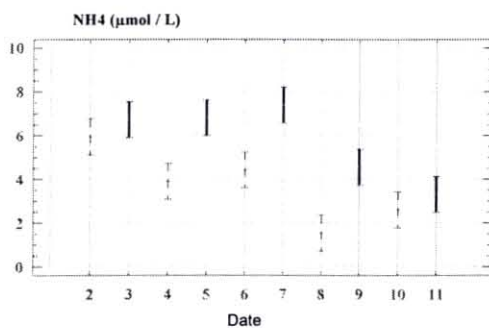
	date	claire	lieu	marée	chla+p	mop	tpm	oxy	sal	NH4+	PLG	carb	azote
date		NS	NS	*	***	***	NS	***	***	NS	***	***	***
claire			NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
lieu				NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
marée	0,21				NS	**	***	NS	***	NS	NS	***	NS
chla+p	-0,67					***	NS	***	NS	NS	***	***	***
mop	-0,48			-0,31	0,38		NS	NS	***	NS	**	***	*
tpm				-0,57				NS	**	NS	NS	***	NS
oxy	0,48				-0,38				*	NS	**	*	**
sal	-0,46			-0,68		0,54	0,29	-0,23		NS	NS	***	NS
NH4+											NS	NS	NS
PLG	-0,56				0,74	0,29		-0,26				***	***
carb	-0,35			-0,44	0,53	0,36	0,54	-0,25	0,40		0,69		***
azote	-0,51				0,73	0,25		-0,27			0,70	0,59	NS

### 3.1.1.2. Les sels nutritifs

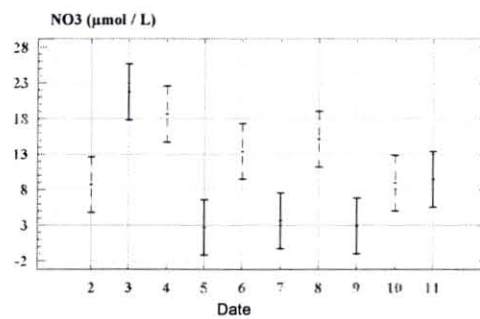
Les teneurs en sels nutritifs sont comparées à l'aide d'analyse de variance multifactorielle. Les différents facteurs sont : les claires ("claire") ; la date d'échantillonnage ("date") et le "type" d'échantillonnage (en marée de vives eaux ou en marée de mortes eaux) ("marée"). Le tableau 3 montre comment les teneurs en ammoniacque varient en fonction des trois facteurs : marée, date et claires. Nitrates et silicates sont sensibles à la date d'échantillonnage et les phosphates montrent une différence significative entre les claires. Les claires sont significativement plus riches en ammoniacque en période de mortes eaux, mais plus pauvres en nitrates (fig. 6 et 7).

**Tableau 3** : Analyse de la variance des sels minéraux essentiels de la colonne d'eau pour les différentes claires expérimentales, au cours des échantillonnages aux différentes "marées" (échantillonnages de vives eaux ou échantillonnages de mortes eaux). \* : différence significative au seuil de 5% ; \*\* : différence significative au seuil de 1 % ; \*\*\* : différence significative au seuil de 1 % ; NS : différence non significative.

	NH4	NO3	SIO2	PO4
marée	0,000 ***	0,04 *	0,85 NS	0,09 NS
date	0,000 ***	0,000 ***	0,004 **	0,47 NS
claire	0,000 ***	0,82 NS	0,24 NS	0,003 *



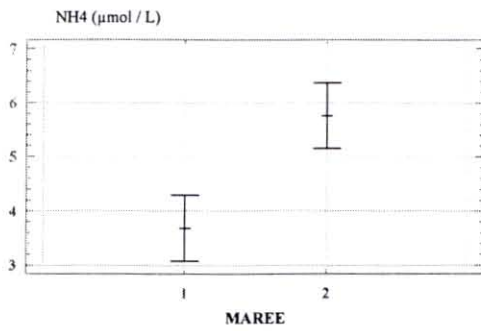
**Figure 6** : Concentration d'azote amoniacal dans la colonne d'eau (pointillé : vives eaux ; trait plein : mortes eaux).



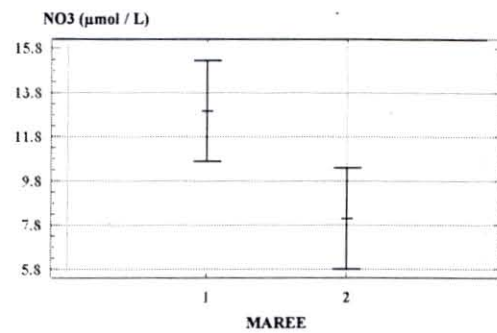
**Figure 7** : Concentration de nitrates dans la colonne d'eau (pointillé : vives eaux ; trait plein : mortes eaux).

On constate un appauvrissement de l'eau en azote ammoniacal au cours du temps, probablement dû au refroidissement de l'eau qui entraîne une baisse de l'activité des huîtres (excrétion). Une différence significative apparaît également entre les échantillonnages en marée de vives eaux et ceux en mortes eaux (fig. 6 ; tableau 3).

Les nitrates chutent également de 20 à 10 µmol/L entre le mois d'octobre et le mois de janvier (fig. 7). Les concentrations d'ammoniacque en moyenne de 3,6 µmol/L en marée de vives eaux, atteignent 5,6 µmol/L lors des échantillonnages de marées de mortes eaux (fig. 8) du fait des produits d'excrétion des huîtres. La situation est inversée avec les concentrations en nitrates qui représentent le dernier niveau d'oxydation de l'azote ammoniacal. A l'inverse de ce dernier, les nitrates sont plus concentrés dans l'eau des claires durant les échantillonnages de vives eaux (fig. 9). Les valeurs atteintes sont d'environ 8 µmol/L en mortes eaux et de 12 µmol/L en vives eaux. Cette différence est expliquée par une entrée de nitrates durant les alimentations en périodes de vives eaux.



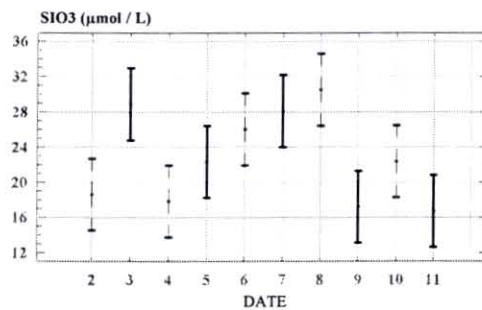
**Figure 8 :** Concentration en amoniaque en marée de vives eaux (1) et en marée de mortes eaux (2).



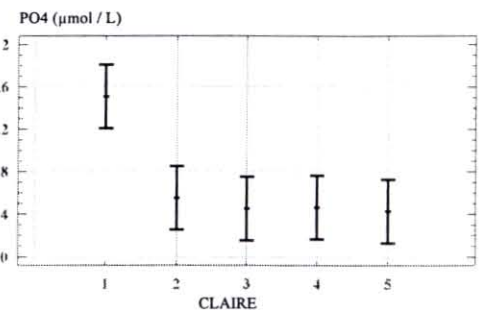
**Figure 9 :** Concentration en nitrates en marée de vives eaux (1) et en marée de mortes eaux (2).

Les silicates peuvent atteindre des concentrations de 30  $\mu\text{mol/L}$  avec des différences sensibles selon les dates d'échantillonnage, mais sans différence entre les claires (fig. 10).

Les phosphates sont en concentration inférieure, de l'ordre de 0,5  $\mu\text{mol/L}$  (fig. 11), exception faite de la claire 1 pour laquelle la valeur est systématiquement plus forte. La valeur moyenne enregistrée est environ 3 fois plus forte que pour les autres claires (fig. 11). Cette différence pourrait être expliquée par la situation géographique un peu particulière de cette claire qui supporterait les conséquences d'un lessivage des sols à proximité (fig. 1).



**Figure 10 :** Concentration de silicates dans la colonne d'eau (pointillé : vives eaux ; trait plein : mortes eaux).



**Figure 11 :** Concentration de phosphates dans la colonne d'eau.

### 3.1.2. Evolution des paramètres à l'interface eau-sédiment

Les figures 12-14 présentent l'évolution des paramètres trophiques importants entre le mois d'octobre 1994 et le mois de février 1995, date de fin d'expérimentation. On note une augmentation sensible du carbone de 70 à 120  $\text{g/m}^2$  qui peut traduire une accumulation de la matière détritique sur le fond des claires ; Les PLG, caractéristiques des ressources trophiques, évoluent plus faiblement, de 20 à 40  $\text{g/m}^2$ . Les chlorophylles se concentrent également sur le fond des claires avec des valeurs atteignant 250  $\text{mg/m}^2$ . Dans tous les cas, la ressource disponible au fond des claires correspond à une biomasse organique potentielle substantielle. Seule l'analyse de la variance de la chlorophylle montre une différence significative entre les différents échantillonnages (tableau 4 ; fig. 14).

La matière organique particulaire (MOP) semble croître entre les différentes claires, de la claire 1 à 200  $\text{g/m}^2$  à la claire 5 à 260  $\text{g/m}^2$ . La concentration en MOP sur le fond de la claire est plus forte de la claire 1 à la claire 5 (fig. 15). Cette évolution n'apparaît pas vis à vis des résultats obtenus sur le carbone. Cette différence pourrait s'expliquer par l'hydrodynamisme des claires ou par une différence dans l'intensité de biodéposition. Le courant d'entrée en période d'alimentation apporterait plus de

matériel particulaire inorganique à la claire 5 et moins dans la claire 1 (fig. 1). Le "biais de Dankers" (Dankers et Laane, 1983) surestime d'autant plus la matière organique d'origine particulaire que la matière particulaire est riche en silt. Il se manifesterait donc plus pour les claires 3, 4 et 5. Ce résultat issu de la comparaison de deux méthodes d'analyse de la matière organique particulaire, demande à être confirmé.

Le carbone se trouve plus concentré à la surface du sédiment en fin de période de mortes eaux (fig. 16). Au cours de la période de vives eaux, l'hydrodynamisme associé aux alimentations remettrait en suspension de l'ordre de 20 % du carbone organique.

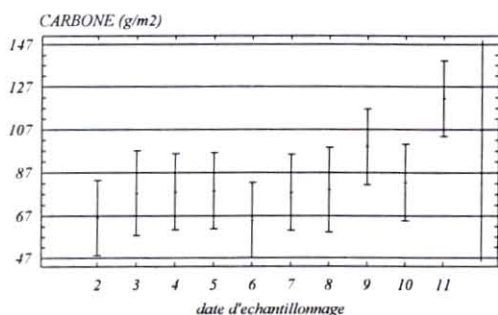


Figure 12 : Evolution du carbone (g/m<sup>2</sup>) dans les claires ostréicoles.

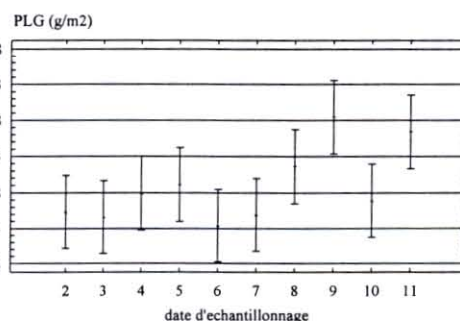


Figure 13 : Evolution des PLG (g/m<sup>2</sup>) dans les claires ostréicoles.

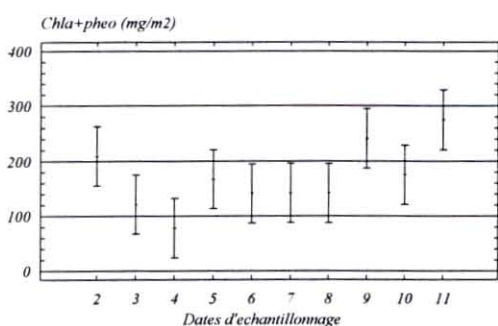


Figure 14 : Evolution de la chlorophylle a et phéophytine (mg/m<sup>2</sup>) dans les claires ostréicoles.

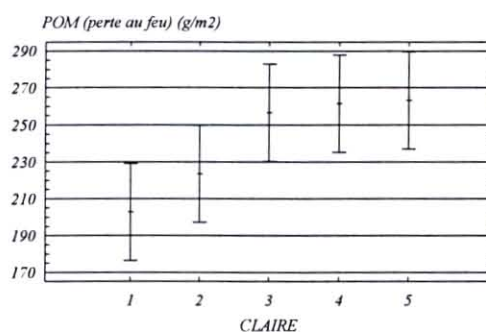


Figure 15 : Matière organique totale déterminée par la perte au feu (g/m<sup>2</sup>) dans les claires ostréicoles.

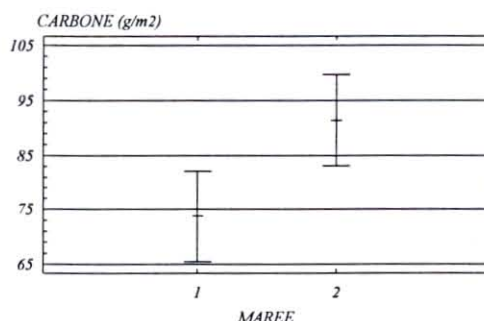


Figure 16 : Carbone totale (g/m<sup>2</sup>) sur le fond des claires. 1 : marées de vives eaux ; 2 : marées de mortes eaux.

**Tableau 4** : Analyse de la variance, des descripteurs carbone, PLG, Chla+phéo aux différentes dates d'échantillonnage; de MOP pour les différentes claires, et du Carbone entre les 2 types de marées (vives eaux et mortes eaux)

Descripteurs	source de variabilité	carré des écarts	degré de liberté	moyenne au carré	test de Fisher	significativité du test
<b>Carbone</b>	inter date	12345,8	9	1371,7	1,81	0,098
	intra date	28823,1	38	758,5		
	total	41168,9	47			
<b>PLG</b>	inter date	1199,3	9	133,2	2,08	0,055
	intra date	2564,0	40	64,1		
	total	3763,4	49			
<b>Chla+Phéo</b>	inter date	154363,5	9	17151,5	2,41	0,027
	intra date	284339,2	40	7108,5		
	total	438702,7	49			
<b>MOP</b>	inter claire	29220,1	4	7305,0	2,14	0,091
	intra claire	153295,8	45	3406,6		
	total	182516,0	49			
<b>Carbone</b>	inter marée	3713,2	1	3713,2	4,56	0,038
	intra marée	37455,7	46	814,3		
	total	41168,9	47			

Des corrélations positives (tableau 5) apparaissent entre les différents descripteurs de la matière organique. Ainsi, la relation entre carbone et azote est de nouveau mis en évidence avec un coefficient de corrélation de 0,87. La chlorophylle a - phéophytine et PLG sont à nouveau étroitement corrélés ( $r = 0,59$ ). Un accroissement des teneurs en matière organique au niveau de l'interface eau-sédiment des claires est noté entre le premier échantillonnage du 20 octobre et la fin d'expérimentation (30/01/95) (fig. 12-14).

Si aucun effet "claire" n'a été mis en évidence lors des analyses hydrobiologiques, on note toutefois un effet sur la matière organique déterminée par la perte au feu (MOP) (fig. 15). On note par ailleurs un appauvrissement en matière organique d'origine détritique dans les claires 1 et 2, où se trouvent les plus fortes charges en huîtres (9,55 et 7,50 huîtres  $m^{-2}$ ). Toutefois cet effet n'a pu être confirmé au moyen du descripteur "carbone".

**Tableau 5** : Matrice de corrélation des descripteurs sédimentologiques des claires ostréicoles ; **date** : date d'échantillonnage ; **claire** (1 - 5) ; **marée** : mortes eaux ou vives eaux ; **chla+p** : chlorophylle a + phéophytine ( $mg/m^2$ ) ; **mop** : matière organique particulaire ( $g/m^2$ ) ; **PLG** : somme des protéines lipides et glucides ( $g/m^2$ ) ; **carb** : teneur en carbone ( $g/m^2$ ) ; **azote** : teneur en azote ( $g/m^2$ ).

	date	claire	marée	chla+p	mop	PLG	carb	azote
date		NS	NS	*	NS	*	**	NS
claire			NS	NS	*	NS	NS	NS
marée				NS	NS	NS	*	NS
chla+p	0,31				NS	***	NS	NS
mop		0,32				NS	***	**
PLG	0,34			0,59			*	**
carb	0,40		0,30		0,38	0,36		***
azote					0,38	0,43	0,87	



### 3.1.3. Ressources trophiques des claires

Les rapports des différents estimateurs de la matière organique entre la vase et la colonne d'eau permettent de comparer ces 2 milieux. Pour la matière organique déterminée par la perte au feu comme pour le carbone, les rapports varient entre 200 et 500 (fig. 17 et 18). Pour l'azote, les PLG, la chlorophylle a et les phéophytines, plutôt descripteurs de la matière organique vivante, ce rapport se situe autour de valeurs plus faibles de 100 à 250 (fig. 19-21).

Deux périodes distinctes apparaissent sur ces différentes figures. Elles confirment la sédimentation de la chlorophylle a de la colonne d'eau vers la vase, ou/et la disparition du phytoplancton vivant dans la colonne d'eau.

Ces rapports des descripteurs hydrologiques de la colonne d'eau par unité de surface de fond résultent en fait de mécanismes différents. Le premier est lié aux cycles des marées, à l'enrichissement en période d'alimentation, et à l'utilisation par les huîtres d'une part du matériel organique. Le deuxième concerne la dynamique de reminéralisation de ce matériel mis en oeuvre par les processus bactériens.

Toutefois, l'accumulation de matière organique à l'interface eau sédiment au cours de la période d'affinage représente une matière organique vivante et détritique importante mais peu disponible pour les huîtres (fig. 12-15). L'étude de la remise en suspension de cette interface eau-sédiment sous l'effet dynamique du vent ou en période d'alimentation devrait permettre de préciser cette disponibilité.

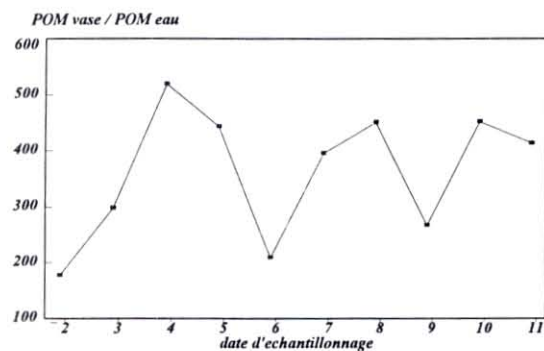


Figure 17 : Capacité trophique mesurée par la perte au feu. Comparaison eau-sédiment.

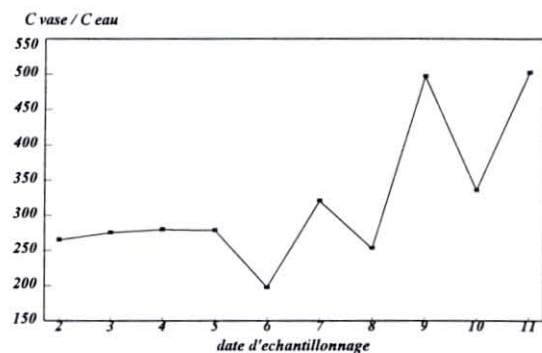


Figure 18 : Capacité trophique mesurée par le carbone. Comparaison eau-sédiment.

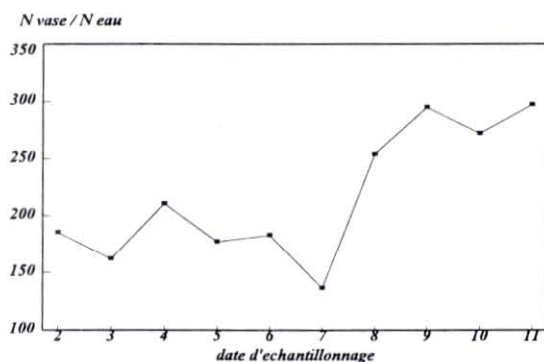


Figure 19 : Capacité trophique mesurée par l'azote. Comparaison eau-sédiment.

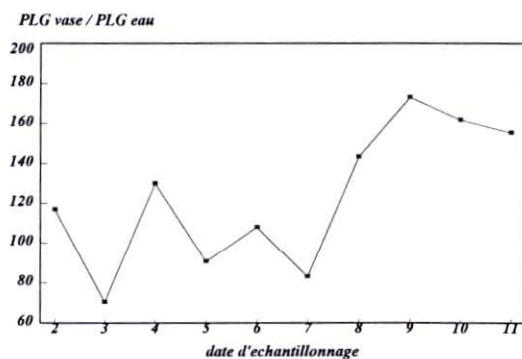


Figure 20 : Capacité trophique mesurée par la somme des lipides protéines et glucides (PLG). Comparaison eau-sédiment.

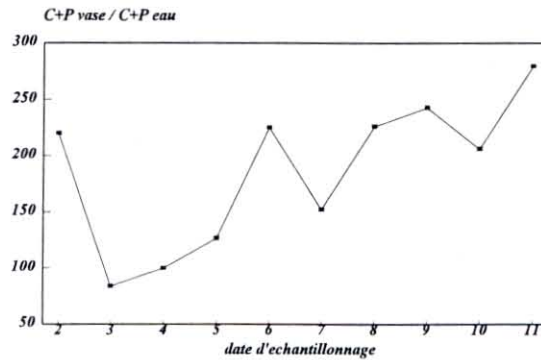


Figure 21 : Capacité trophique mesurée par la chlorophylle a et les phéophytines. Comparaison eau-sédiment.

Les figures 22-25 présentent les indices de qualité de la matière organique. Le rapport MOP/C, généralement proche de 2 (Dankers et Laane, 1983) présente une variabilité marquée les 4-5, 12 oct, 8 déc. et 16 janvier. Cette modification de l'environnement résulte de périodes de vents forts avec remise en suspension de la vase argileuse. L'écart observé entre le rapport C/N de 13-14 et de 8-10 respectivement pour la vase et la colonne d'eau, résulte de la dégradation de la matière organique au niveau du sol (fig. 23).

Le rapport (C+N) / PLG est relativement stable pour la colonne d'eau (2,3/1) comme pour le sédiment (3,0/1) (fig. 24). Le pourcentage de matière carbonée d'origine phytoplanctonique est de 10 % à l'interface eau-sédiment et de 20 % dans la colonne d'eau jusqu'à la période de refroidissement de fin d'année (échantillonnage 7-8) où ce dernier décroît jusqu'à 10 % (fig. 25).

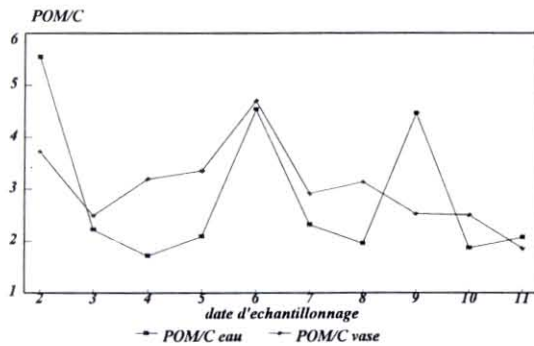


Figure 22 : Comparaison des différents estimateurs de la matière organique entre l'eau et le sédiment. Le rapport MOP/C.

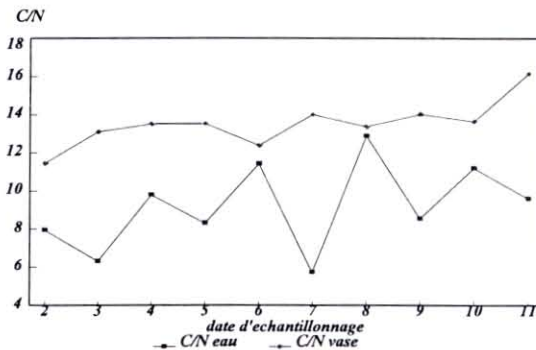


Figure 23 : Comparaison des différents estimateurs de la matière organique entre l'eau et le sédiment. Le rapport C/N.

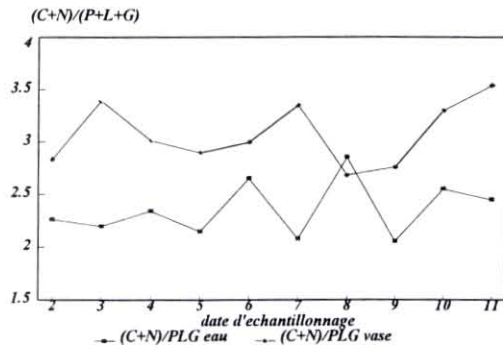


Figure 24 : Comparaison des différents estimateurs de la matière organique entre l'eau et le sédiment. Le rapport (C+N) / PLG.

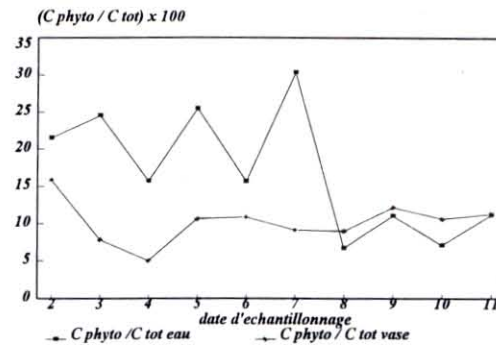


Figure 25 : Qualité de la matière organique de l'eau et le sédiment. Le rapport (C+N) / PLG.

### 3.2 Etude du mésocosme "claires ostréicoles"

#### 3.2.1. Hydraulique des claires

La figure 26 permet de visualiser l'alternance de périodes d'alimentation et de "stabulation" des claires expérimentales à partir de l'enregistrement des variations de hauteur d'eau dans la claire n°3. La période de renouvellement est de 25 jours sur une période de suivi de 73 jours (soit en moyenne un renouvellement 1 jour sur 3). L'alimentation a lieu sur une période comprise entre quelques minutes et 2 heures selon la force de la marée. Si on considère que la dilution n'est affectée par aucun mécanisme environnemental majeur, le taux de renouvellement (TR) est calculé à partir de la formule suivante :

$$TR = 100 \times (1 - h/H),$$

où h est la hauteur d'eau moyenne dans la claire et H la hauteur d'eau maximale atteinte au cours de la marée. La figure 27 présente la variabilité de ce taux de renouvellement. Dans plus de 80 % des cas, le renouvellement est estimé proche ou supérieur à un taux de 50 %, avec quelques valeurs atteignant 70 %.

En ostréiculture traditionnelle, l'alimentation de la claire est associée à un coefficient de marée selon sa position géographique sur le littoral. Dans une optique de modélisation de cet écosystème, une des variables essentielles correspond au taux de renouvellement effectif dans la claire. Cette variable dépend du marnage vrai, de la pression atmosphérique, de la force et orientation du vent, et de l'infrastructure hydraulique d'alimentation de la claire. Cette variable n'est donc pas corrélée au seul coefficient de marée.

#### 3.2.2. Variabilité temporelle des paramètres hydrobiologiques

##### 3.2.2.1. Echelle saisonnière.

Différents cycles apparaissent à partir des observations de l'ensemble des paramètres environnementaux. La première source de variabilité a comme origine le cycle lunaire qui marque le rythme des marées et donc l'alimentation des claires. Le deuxième cycle est un cycle nyctéméral observé sur de nombreux paramètres biotiques et abiotiques. A titre d'exemple, la figure 28 présente les fluctuations de fluorescence entre une marée de vives eaux et une marée de mortes eaux. Le premier rythme, nyctéméral, fait apparaître les variations jour-nuit des populations phytoplanctoniques. Le deuxième montre comment, au cours de la marée de vives eaux, le milieu s'enrichit progressivement en phytoplancton, puis comment sur la deuxième partie du cycle, en marée de mortes eaux, le milieu s'épuise progressivement sous l'effet principal de la filtration des huîtres et/ou de la sédimentation du phytoplancton.

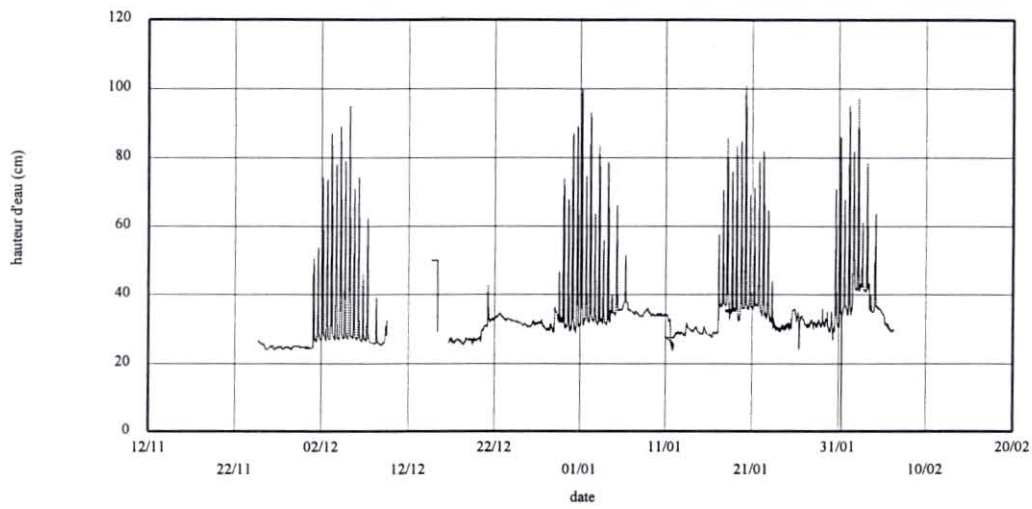


Figure 26: Périodes de renouvellement en eau des claires ostréicoles.

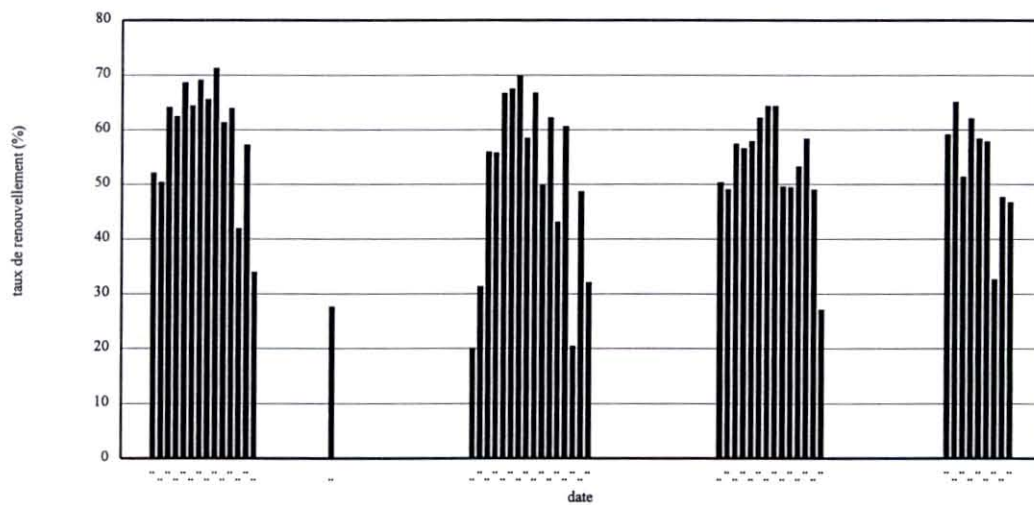


Figure 27: Taux de renouvellement de l'eau de mer dans les claires ostréicoles.

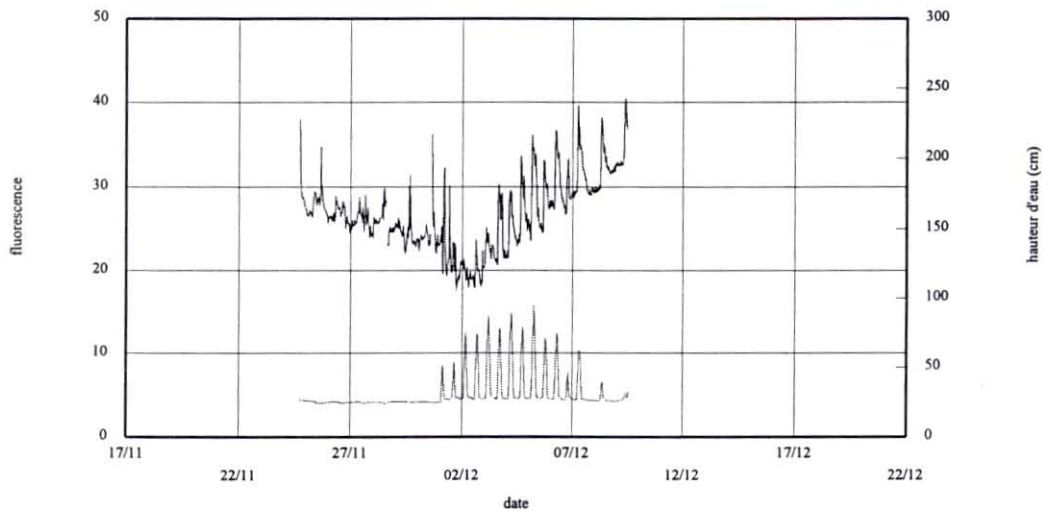


Figure 28: Appauvrissement de la claire en période de mortes eaux (gauche) et enrichissement en vives eaux (droite). (Hauteur d'eau : courbe du bas).

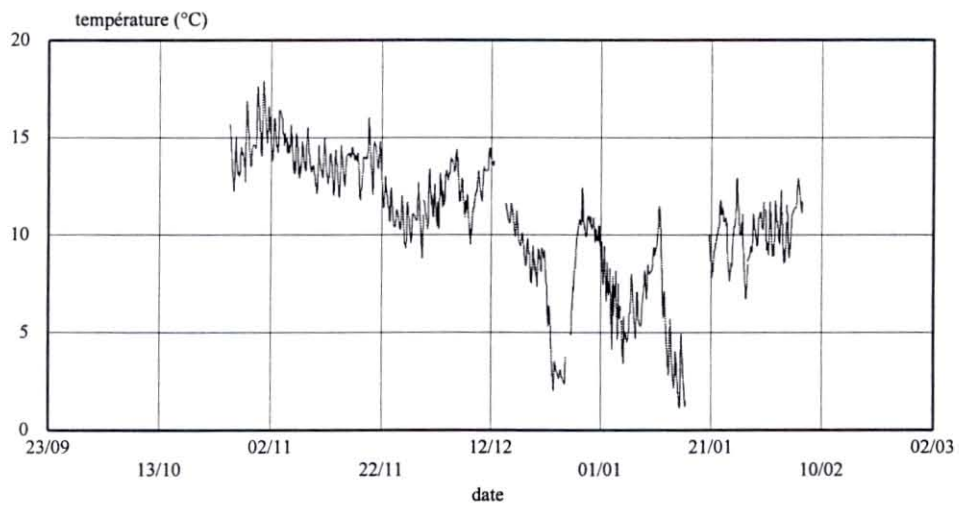


Figure 29: Température de l'eau.

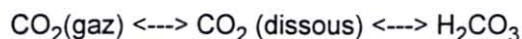
La température de l'eau dans ces claires de faible profondeur est étroitement liée à la température de l'air, sauf en période de vives eaux où l'alimentation en eau des claires pondère cet effet (fig. 29 et 30). La salinité fluctue entre 34 ‰ et 23 ‰ (fig. 31). A cette période de l'année, elle est sous le double contrôle de la pluviométrie et de la salinité de l'eau de mer (fig. 32). Malgré des épisodes pluvieux importants, la salinité reste sous le contrôle essentiel du renouvellement en eau de mer en période d'alimentation de la claire (fig. 32). Entre le début décembre et le 12 décembre, la salinité passe ainsi de 27 à 30 ‰. Par la suite, elle décroît de 24 à 29 ‰ fin décembre lors des trois premières marées de remplissage du marais. En absence de renouvellement d'eau, le niveau de salinité reste sous la dépendance principale de la pluviométrie locale. Ainsi, en deux jours de fortes pluies le 18 et 19 décembre, la salinité décroît de 27 à 23 ‰, soit une brusque variation de 4 ‰ de salinité.

L'oxygène varie entre 6 et 12 mg/l selon les périodes (fig. 33), et le pH varie entre 8,0 et 8,5 (fig. 34).

Les ressources trophiques de l'écosystème claire sont estimées à partir des enregistrements du fluorimètre et du néphélomètre dont les signaux sont présentés sur les figures 35 et 36. Les périodes de fortes turbidité observées sur la figure 35 sont corrélées significativement avec les périodes de remplissage du marais (fig. 26) et l'enrichissement trophique de la claire. La figure 28, du 25/11 au 10/12 visualise, au-delà des cycles journaliers de variation de la fluorescence, l'appauvrissement des ressources trophiques durant la période de mortes eaux. Seul le remplissage de la claire permet un enrichissement de la colonne d'eau. La température durant cette période est comprise entre 10 et 14 °C.

#### 3.2.2.2. Echelle journalière.

Les rythmes journaliers sont significativement marqués en ce qui concerne les variables ou les paramètres associés au cycle jour-nuit comme la fluorescence, sous influence nyctémérale. Des paramètres associés à la photosynthèse, comme la teneur en oxygène et le pH, présentent une fluctuation journalière marquée. L'oxygène et le pH sont associés (par l'intermédiaire du CO<sub>2</sub>) dans l'équilibre acido-basique suivant :



La figure 37 montre l'effet en période d'alimentation des claires du renouvellement d'eau chargée en phytoplancton qui entraîne, en journée, une production d'oxygène et une élévation moyenne d'oxygène de 2 mg l<sup>-1</sup>. Le cycle de marée nocturne enrichit également la claire en phytoplancton. Toutefois, en absence de photosynthèse et en présence des huîtres, la demande en oxygène s'accroît durant la nuit, et l'oxygène chute d'environ 1 mg l<sup>-1</sup> durant la nuit. Les figures 37 et 38 illustrent l'équilibre acido-basique décrit ci-dessus. Les cycles nyctéméraux de l'oxygène sont directement corrélés aux cycles du pH dont l'amplitude de variation quotidienne n'est que de 0,1 unité.

#### 3.2.3. Variabilité spatiale des paramètres hydrobiologiques

Les premiers suivis ont été réalisés au cours de la dernière semaine du mois de janvier, au cours de périodes de mortes eaux, par vent fort, puis par temps calme. Une série de mesures a par ailleurs été réalisée en période de vives eaux, à différentes étapes du remplissage de la claire, mais uniquement dans des conditions de temps calme. Le processus de sédimentation de la matière particulaire est le phénomène majeur enregistré dans cette condition. En période de mortes eaux, l'intensité du vent montre un effet significatif sur la remise en suspension avec des valeurs de NTU de l'ordre de 5 à 10 NTU et 22 à 30 NTU pour des conditions respectives d'absence puis de vent fort (fig. 9 et 40). Si la répartition spatiale de la matière particulaire semble homogène en absence de vent (écarts de 2 à 3 NTU), des différences de l'ordre de 10 NTU sont observées entre les zones en période de vents forts (fig. 39 et 40). Par ailleurs, l'hétérogénéité spatiale de la turbidité tend à s'accroître selon un gradient négatif situé dans l'axe du vent dominant, soit dans une direction nord-nord-ouest des claires, entraînant une plus forte concentration de matière particulaire dans la zone située "au vent" de la claire (secteurs 1, 3 et 5).

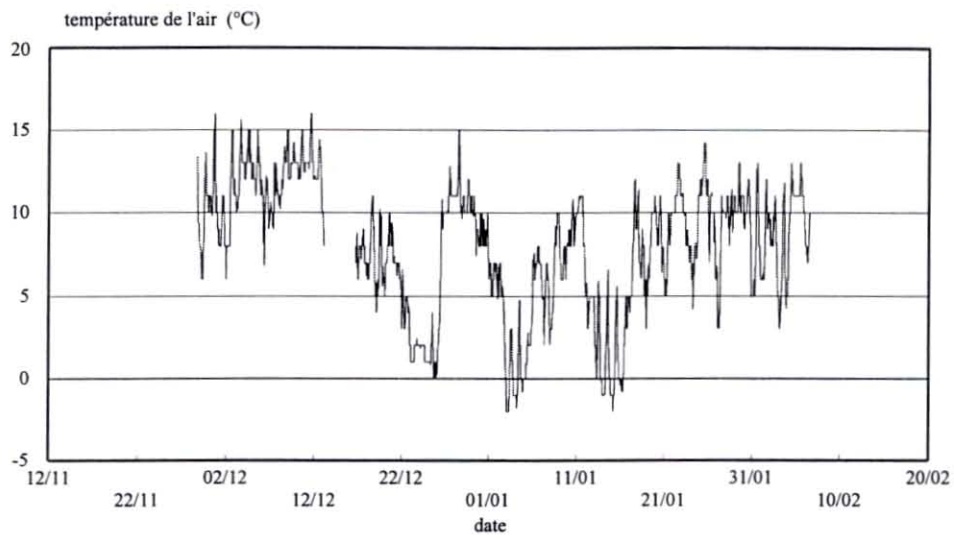


Figure 30: Température de l'air.

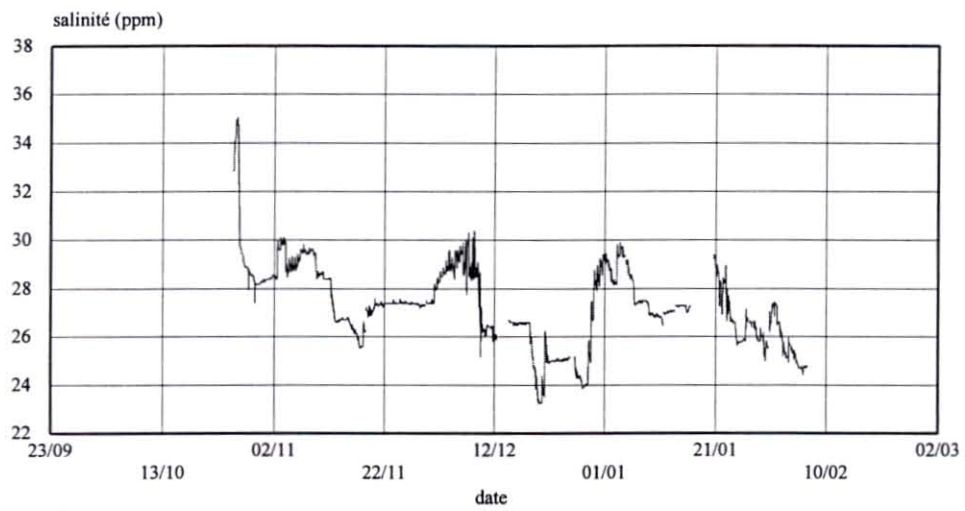


Figure 31: Salinité.

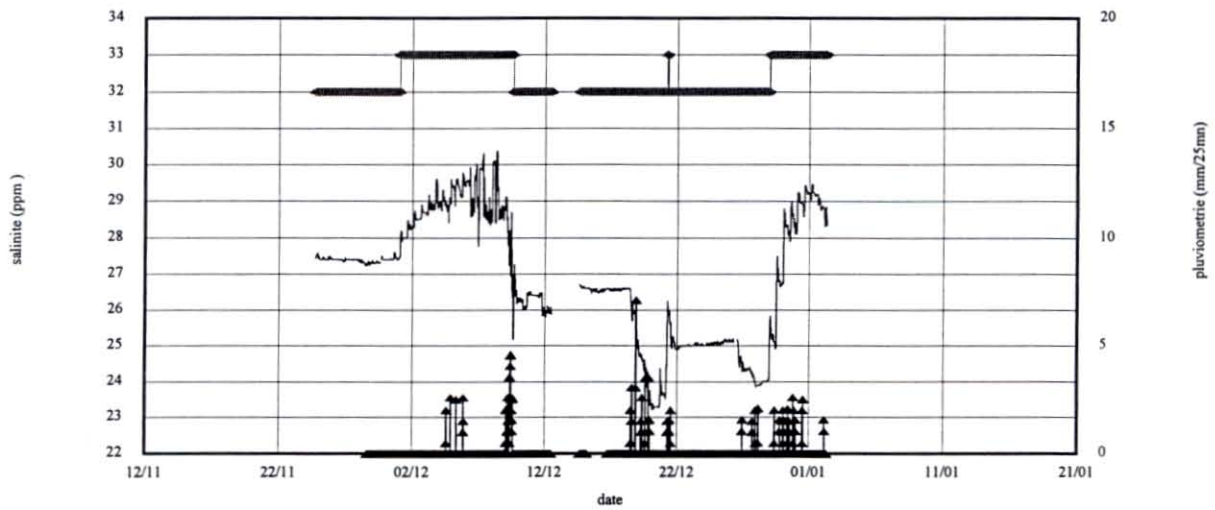


Figure 32: Effet de la pluie (bas) et de l'alimentation en eau de mer (haut) sur la salinité des claires (milieu).

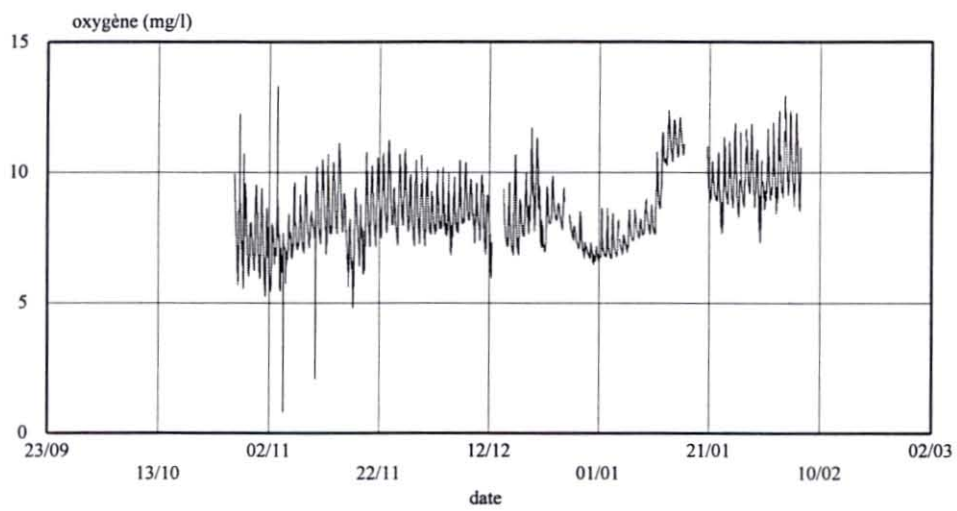


Figure 33: Oxygène dissous (mg/l).



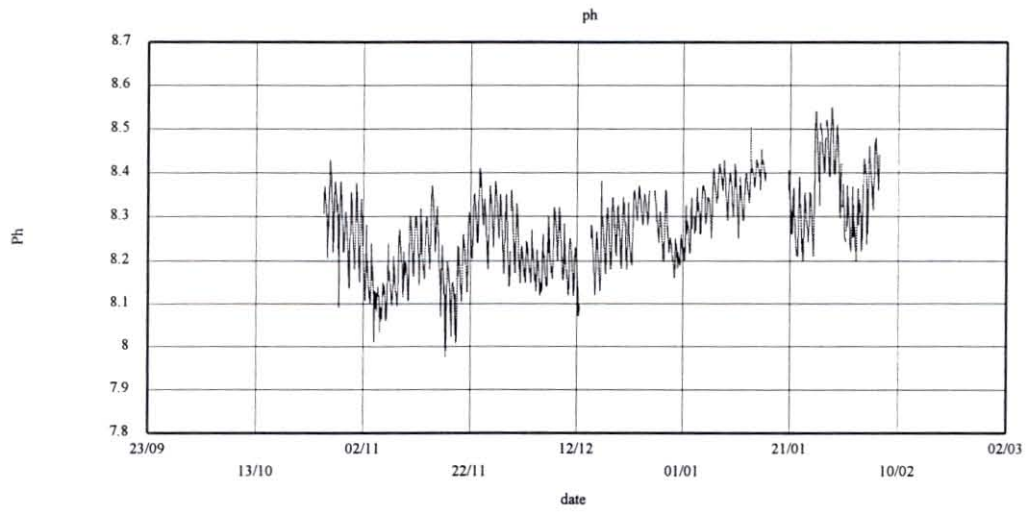


Figure 34: pH.

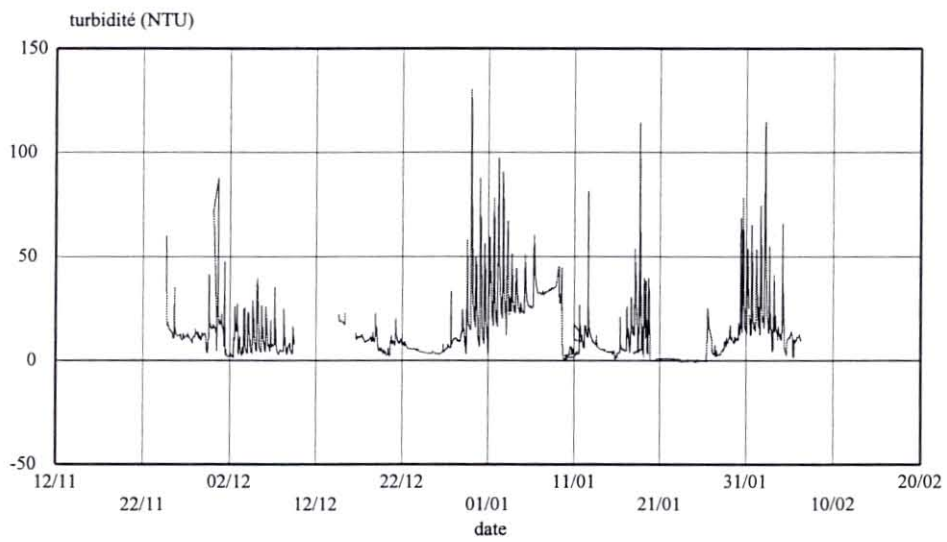


Figure 35: Turbidité (NTU).

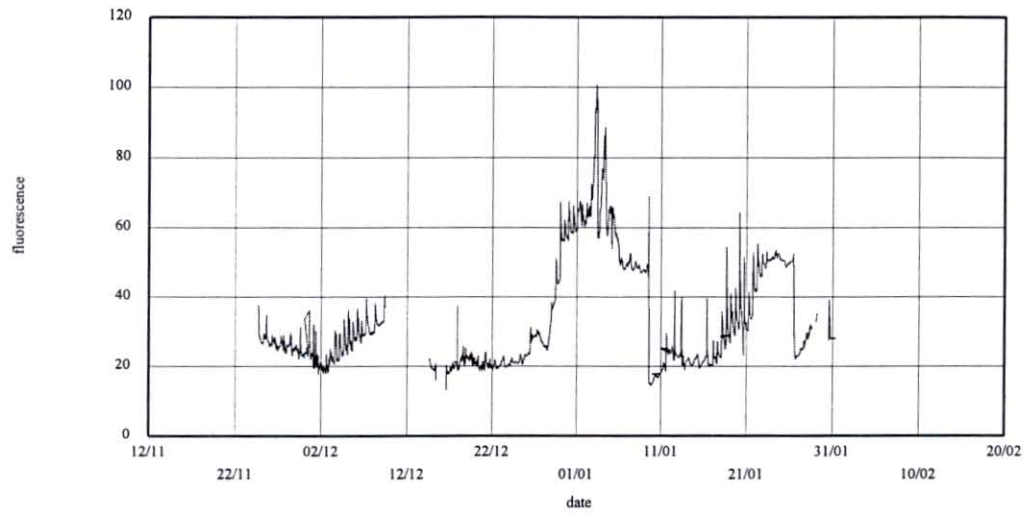


Figure 36: Fluorescence.

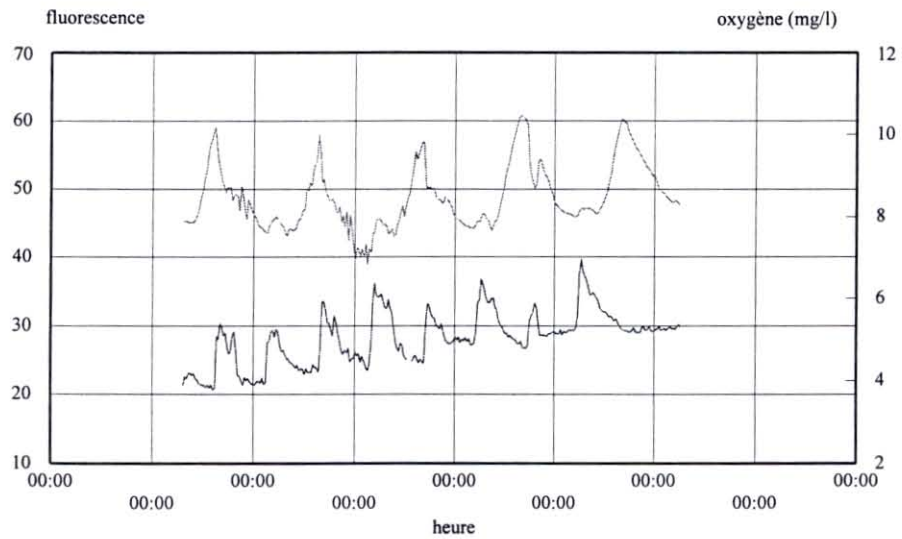


Figure 37: Fluorescence (bas) et oxygène dissous (haut).

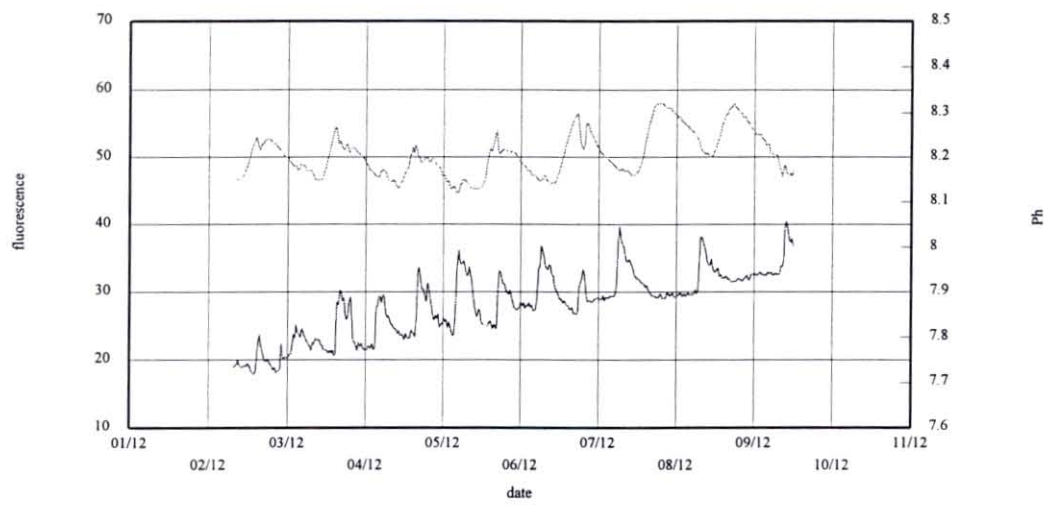


Figure 38: Fluorescence (bas) et pH (haut).

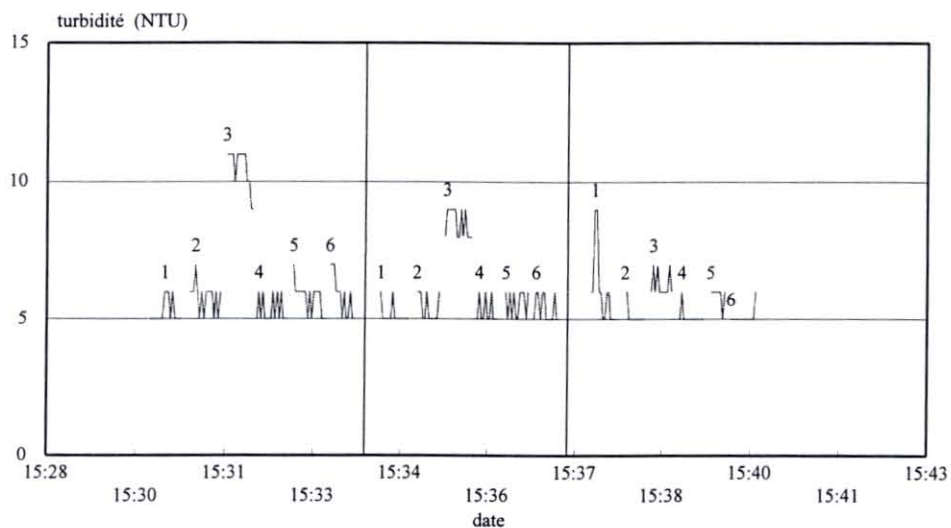


Figure 39: Distribution de la matière particulaire en période de vents faibles dans les secteurs 1 à 6 des claires.

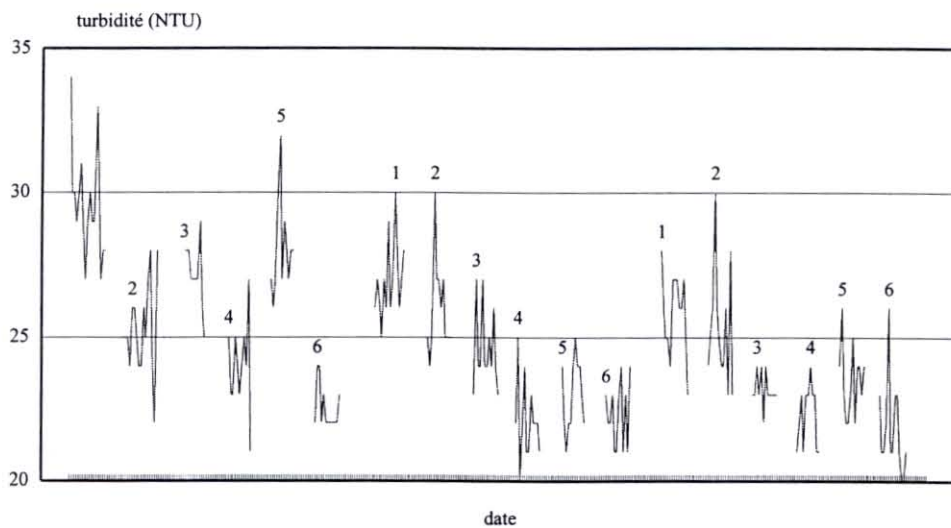


Figure 40: Distribution de la matière particulaire en période de vents forts dans les secteurs 1 à 6 des claires.

### 3.3. Affinage des huîtres creuses *C. gigas*

#### 3.3.1 Caractéristiques du lot initial

Afin de caractériser le lot initial d'huîtres mis en élevage, les variables biométriques, poids sec, poids total, norme AFNOR et indice d'Imaï-Sakaï sont lissés et comparés à la distribution d'une loi normale (tableau 6 ; fig. 41).

Tableau 6 : Lissage des variables biométriques d'après la loi Normale.

Variable	Chi 2	Degré de Signif.
Poids sec	12,38	0,036
Poids total		0,20
AFNOR (1985)	3,83	0,28
Imaï-Sakaï (1961)		0,35

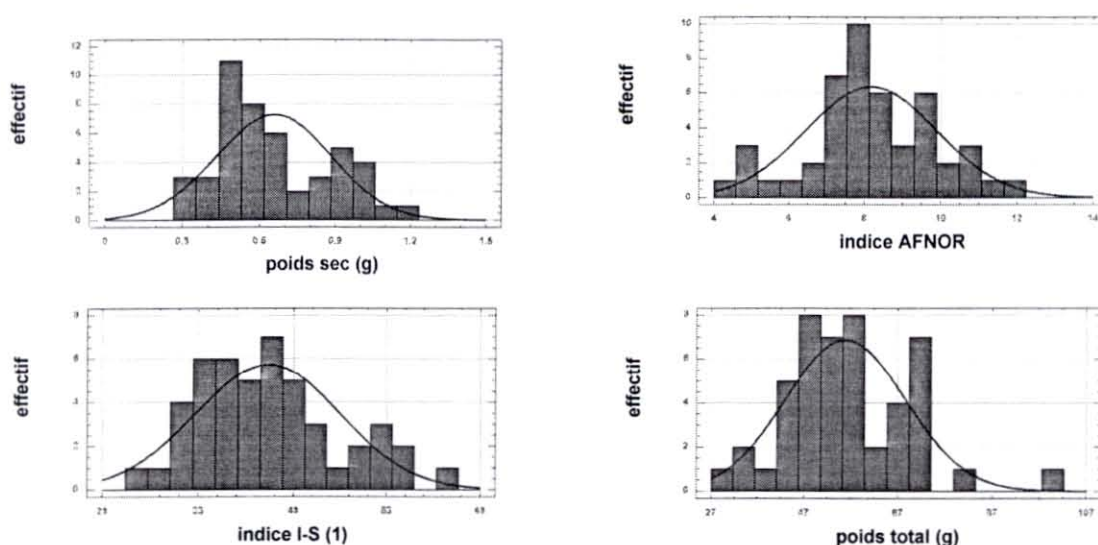


Figure 41 : Caractéristiques de la population d'huîtres lors de la mise en expérimentation ; ajustement de la distribution de fréquence de divers variables à la loi normale.

Les différentes variables satisfont aux conditions de normalité, exception faite de la variable poids sec.

#### 3.3.2 Comparaison des productions en fonction des densités d'élevage

##### - Poids total

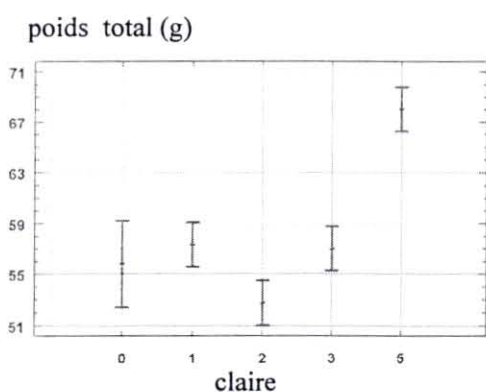
Les performances de croissance en poids total sont étudiées au moyen d'une analyse de variance et comparées aux caractéristiques du lot initial (tableau 7 ; fig. 42). Seule la population élevée en claire n°5 à la plus faible densité (i.e., 3/m<sup>2</sup>) présente un gain de poids significatif en fin d'expérimentation, avec un passage de 56 à 68 g. Les caractéristiques des autres lots montrent des poids totaux moyens compris entre 53 et 57 g., comparables à celui de la population initiale (56 g.)(fig. 42). Par ailleurs, le poids total des huîtres de la claire n°2 apparaît significativement plus faible que pour les autres claires (tableau 7), sans toutefois différer significativement des caractéristiques du lot initial (fig. 42).

**Tableau 7** : Analyse de la variance sur le poids total des huîtres en fin d'expérimentation. Test de rang de Newman et Keuls.

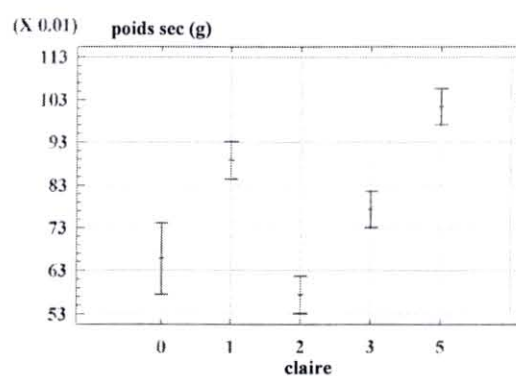
Variable	carré des écarts	degré de liberté	moyenne au carré	test de Fisher	significativité du test
claire	22773	4	5693	20,15	0,000
secteur	16193	20	810	2,87	0,000
residus	205941	729	282		
total	244777	753			

claire	effectif	poids total (g)	groupes
2	179	52,75	A
3	178	57,04	B
1	175	57,35	B
5	175	67,99	C



**Figure 42** : Croissance comparée du poids total des huîtres des claires 1, 2, 3 et 5 le 10/ 02/ 95 avec la mise en élevage le 04/10/94 (0).



**Figure 43** : Croissance comparée du poids sec des huîtres des claires 1, 2, 3 et 5 le 10/ 02/ 95 avec la mise en élevage le 04/10/94 (0).

### - Poids sec de chair

La comparaison de croissance en poids sec des populations d'huîtres met en évidence une différence significative entre les claires (fig. 43). Le test de Newman et Keuls montre que chaque claire se comporte de façon indépendante des autres claires (absence de regroupements), avec des poids sec moyens extrêmes de 0,57 g et de 1,01 g respectivement pour les claires 2 et 5 (tableau 8). Les résultats des claires 2, 3 et 5 vont dans le sens d'une charge décroissante en huîtres dans les claires.

L'analyse de covariance sur le poids sec, avec le poids total comme covariable (tableau 9, fig. 44), équivaut à une évaluation de l'engraissement des huîtres par claire. Un regroupement des huîtres des claires 3 et 5 est à noter (densités 3 à 5/m<sup>2</sup>). La claire n° 1 présente un résultat atypique qui pourrait résulter d'un problème d'échantillonnage ou d'un enrichissement accidentel comme celui décelé sur les phosphates (fig. 11). Hormis cette observation en claire n° 1, on note un gradient croissant d'engraissement parallèlement à la diminution de la densité d'élevage.

**Tableau 8 :** Analyse de la variance sur le poids sec des huîtres en fin d'expérimentation. Test de rang de Newman et Keuls.

Variable	carré des écarts	degré de liberté	moyenne au carré	test de Fisher	significativité du test
claire	18,46	3	6,15	35,10	0,000
secteur	15,32	20	0,77	4,37	0,000
residus	119,71	683	0,175		
total	153,36	706			

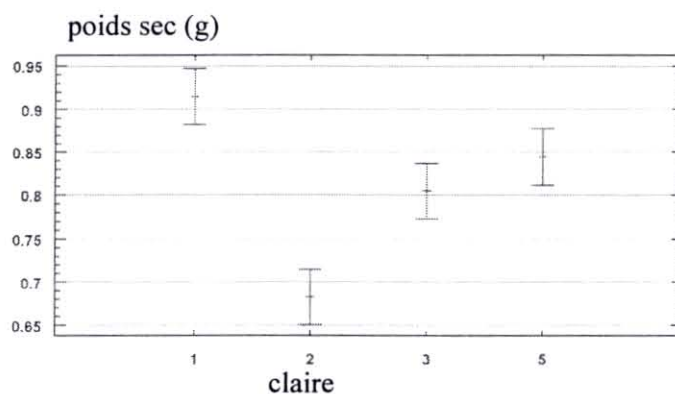
claire	effectif	poids sec (g)	groupes
2	179	0,57	A
3	178	0,77	B
1	175	0,89	C
5	175	1,01	D

**Tableau 9 :** Analyse de la variance sur le poids sec des huîtres en fin d'expérimentation avec effet de la covariable poids total. Test de rang de Newman et Keuls.

Variable	carré des écarts	degré de liberté	moyenne au carré	test de Fisher	significativité du test
claire	5,14	3	1,710	19,20	0,000
secteur	4,73	20	0,236	2,64	0,000
covariable	58,83	1	58,83	659,15	0,000
residus	60,87	682	0,089		
total					

claire	effectif	poids sec (g)	groupes
2	179	0,68	A
3	178	0,80	B
5	175	0,84	B
1	175	0,91	C



**Figure.44 :** Croissance comparée des huîtres des claires 1, 2, 3 et 5 le 10/ 02/ 95 avec la mise en élevage le 04/10/94 (0). Analyse de la variance du poids sec avec effet de la covariable poids total.

Le **rendement biologique** (tableau 10) est calculé pour chacune des claires. Ce rendement intègre les pertes dues à la mortalité survenue durant la période d'élevage. Le coefficient de croissance calculé à partir de ce rendement est compris entre 0,91 et 1,89 respectivement pour les claires 2 et 5. Du fait du résultat atypique en claire n° 1, aucun gradient de rendement n'est observé parallèlement à l'augmentation de la biomasse en élevage, même si le meilleur rendement (1,89) est observé à la plus faible densité en élevage.

Tableau 10 : Rendement biologique des claires expérimentales, calculé avec le poids sec moyen du tableau 9.

Claires	1	2	3	5
Biomasse initiale (g.poids sec)	2483	1951	1419	710
Biomasse finale (g.poids sec)	3190	1455	1649	1179
Mortalité estimée (g.poids sec)	304	324	170	163
Coefficient de croissance	1.41	0.91	1.28	1.89

### 3.3.3 Hétérogénéité spatiale de la croissance

Les analyses de variance sont effectuées claire par claire sur le poids total et le poids sec (fig. 45 et 46 ; tableaux 11 et 12)

#### - Poids total

Seule la claire 5 présente des secteurs pour lesquels une différence significative de croissance existe (fig. 45 ; tableau 11). Les secteurs à plus forte croissance sont les secteurs situés "au vent" de la claire.

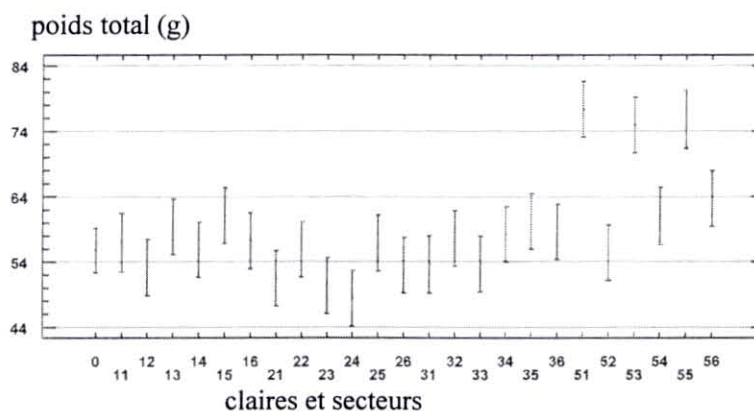


Figure 45 : Comparaison de croissance entre les différentes claires (1,2,3 et 5) et les secteurs de chaque claire (1-6). Exemple : 16 : claire 1, secteur 6.



Tableau 11 : Analyse de la variance du poids total sur les 4 claires expérimentales (1, 2, 3 et 5).

Claire	source de variabilité	carré des écarts	degré de liberté	moyenne au carré	test de Fisher	significativité du test
<b>claire 1</b>	secteurs	1125,2	5	225,0	1,156	0,332
	intra	32892,3	169	194,6		
	total	34017,5	174			
<b>claire 2</b>	secteurs	1601,2	5	320,2	1,710	0,134
	intra	32400,0	173	187,3		
	total	34001,2	178			
<b>claire 3</b>	secteurs	1091,0	5	218,2	0,767	0,575
	intra	48951,7	172	284,6		
	total	50042,8	177			
<b>claire 5</b>	secteurs	12376,0	5	2475,2	4,973	0,000
	intra	84108,9	169	497,7		
	total	96484,9	174			

### - Poids sec

La figure 46 présente les résultats d'hétérogénéité spatiale de croissance de *Crassostrea gigas*. L'analyse de variance inter-secteurs pour chacune des claires est présentée dans le tableau 12. Une différence significative de croissance selon les secteurs existe pour les claires 1, 2 et 5 au terme de 125 jours d'expérimentation. Seuls les secteurs de la claire 3 semblent homogènes vis à vis de la croissance. La "sectorisation" 1, 3 et 5 au "vent de la claire", présente une meilleure croissance pour les 2 claires les plus performantes (1 et 5).

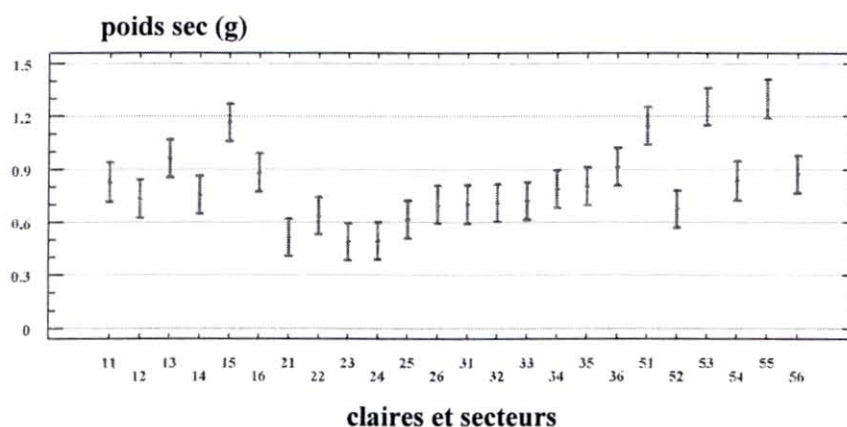


Figure 46 : Comparaison de croissance entre les différentes claires (1,2,3 et 5) et les secteurs de chaque claire (1-6). Exemple : 16: claire 1, secteur 6.

Tableau 12 : Analyse de variance du poids sec moyen mesurés dans les 4 claires expérimentales (1, 2, 3 et 5).

Claire	source de variabilité	carré des écarts	degré de liberté	moyenne au carré	test de Fisher	significativité du test
<b>claire 1</b>	inter	3,74	5	0,75	6,42	0,000
	intra	19,67	169	0,12		
	total	23,41	174			
<b>claire 2</b>	inter	1,18	5	0,24	4,70	0,000
	intra	8,69	173	0,05		
	total	9,87	178			
<b>claire 3</b>	inter	0,99	5	0,20	1,09	0,37
	intra	30,96	172	0,18		
	total	31,94	177			
<b>claire 5</b>	inter	9,42	5	1,88	5,27	0,000
	intra	60,39	169	0,36		
	total	69,81	174			

### 3.3.4 Indices de Condition et composition biochimique des huîtres

#### 3.3.4.1 Indices de condition

L'analyse de variance sur l'indice morphométrique d'Imaï-Sakaï montre un effet "claire" et un effet "secteur" (tableau 13). Il en est de même pour l'indice de Lawrence et Scott (tableau 14). L'indice d'Imaï-Sakaï est significativement plus faible pour les claires 2 et 3 et marque une évolution 'régressive' par rapport à sa valeur initiale, pour ces deux populations d'huîtres de plus faible croissance. Confirmant les résultats de croissance obtenus sur l'huître, l'indice de condition (LS) des huîtres de la claire 2 (2,77) est proche de la valeur de l'indice lors de la mise en élevage (2,93). Les valeurs, pour les classes 1, 3 et 5 sont significativement plus fortes.

Tableau 13 : Analyse de la variance de l'indice de condition d'Imaï-Sakaï (IS) en fin d'expérimentation sur les claires 1, 2, 3 et 5. Comparaison avec le lot initial mis en élevage (0).

IS	carré des écarts	degré de liberté	moyenne au carré	test de Fisher	significativité du test
claire	763,16	4	190,79	3,90	0,004
secteur	3225,20	20	161,26	3,30	0,000
residus	38400,90	785	48,91		
total	42395,12	809			

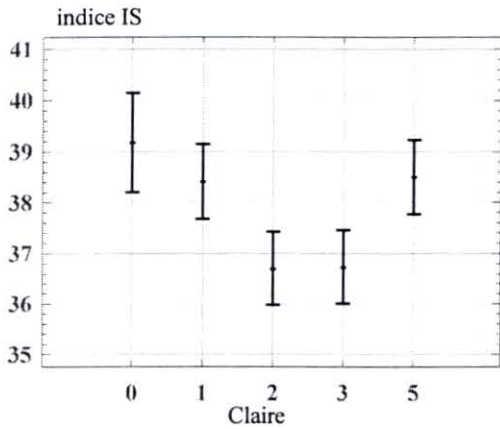
claire	effectif	IS
1	175	38.41
2	180	36.70
3	178	36.73
5	176	38.50
0	101	39.17

**Tableau 14** : Analyse de la variance de l'indice de condition de Lawrence et Scott (LS) en fin d'expérimentation sur les claires 1, 2, 3 et 5. Comparaison avec le lot initial mis en élevage (0).

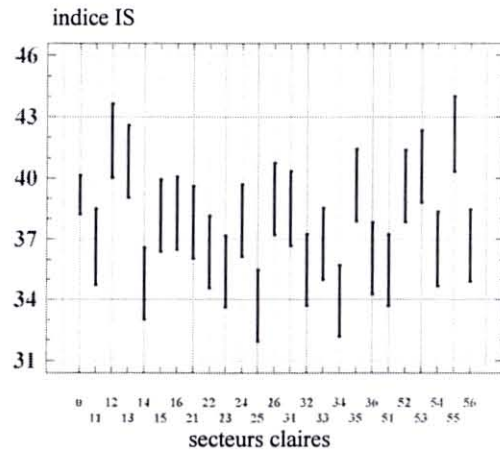
LS	carré des écarts	degré de liberté	moyenne au carré	test de Fisher	significativité du test
claire	145,85	4	36,46	21,00	0,000
secteur	105,25	20	5,26	3,03	0,000
residus	1265,70	729	1,73		
total	1517,70	753			

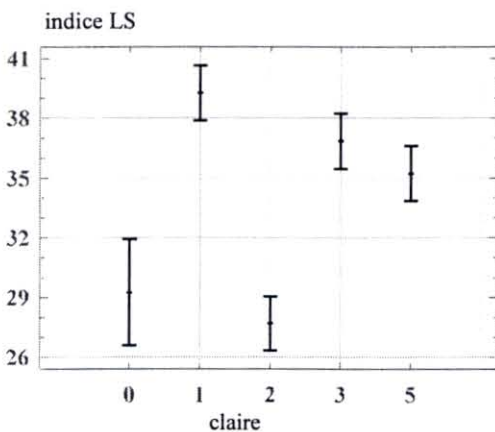
claire	effectif	LS
1	175	39.2
2	179	27.7
3	178	36.8
5	175	35.2
0	47	29.3



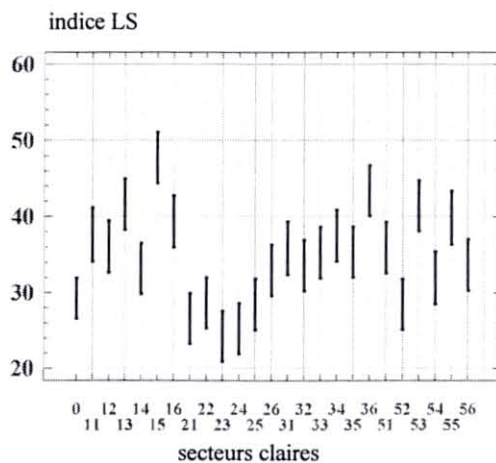
**Figure 47** : Indice d'Imai-Sakai par claire.



**Figure 48** : Indice d'Imai-Sakai par secteur de claire.



**Figure 49** : Indice de Lawrence et Scott par claire.



**Figure 50** : Indice de Lawrence et Scott par secteur de claire.

### 3.3.4.2 Composition biochimique des huîtres

Pour l'ensemble des claires, on note durant la période expérimentale d'affinage jusqu'au 8 février un faible accroissement de la teneur en glucides qui passe de 7,9 % à 9,4 % (fig.51 ; tableau 15). Le glycogène représente 80 % de la totalité des glucides. La teneur en protéines baisse significativement de 40 % à 36 %, et les lipides augmentent sensiblement de 7,4 % à 7,9 %. Ainsi, les PLG représentent 55 % du poids sec en début d'affinage, et seulement 51 % en fin de période expérimentale; la perte principale étant due aux protéines.

Si les huîtres des claires présentent une composition biochimique relativement homogène le 8 fév. (fig. 51), la situation est différente le 3 janvier. A cette date, les huîtres des claires 1 et 3 présentent des teneurs en glucides, lipides et protéines de respectivement 15, 9 et 30 %.

Tableau 15 : Composition biochimique des huîtres des claires au cours des différents échantillonnages.

Date	claire	% gluc	% glyco	% prot	% lip	P+L+G
04/10/94	1	7,9	6,4	39,7	7,4	54,9
07/11/94	1	10,9	9,3	32,6	7,0	50,5
03/01/95	1	17,7	17,1	31,9	8,4	57,9
08/02/95	1	13,1	12,1	31,8	8,1	53,0
04/10/94	2	7,9	6,4	39,7	7,4	54,9
07/11/94	2	4,3	2,6	36,4	7,3	48,1
03/01/95	2	5,4	3,8	36,6	7,3	49,3
08/02/95	2	6,5	4,9	35,1	8,2	49,9
04/10/94	3	7,9	6,4	39,7	7,4	54,9
07/11/94	3	3,0	1,1	36,1	8,0	47,1
03/01/95	3	13,6	12,0	29,0	9,8	52,4
08/02/95	3	6,9	5,5	35,5	7,3	49,7
04/10/94	5	7,9	6,4	39,7	7,4	54,9
07/11/94	5	4,7	3,3	35,5	7,7	47,9
03/01/95	5	7,6	6,0	35,4	7,7	50,7
08/02/95	5	11,0	9,4	32,8	7,9	51,7

### 3.4 Relation huître-milieu

#### 3.4.1 Relation entre le gain de poids et les paramètres trophiques

Les corrélations deux à deux des différents descripteurs trophiques sont hautement significatives (tableau 16).

Tableau 16 : Matrice de corrélation des descripteurs trophiques des claires ostréicoles ; chla+p : chlorophylle a + phéophytine (mg/m<sup>2</sup>) ; mop : matière organique particulaire (g/m<sup>2</sup>) ; PLG : somme des protéines lipides et glucides (g/m<sup>2</sup>) ; CN somme des carbone et azote (g/m<sup>2</sup>) et de deux descripteurs de croissance : GPTJ, gain de poids total journalier et GPSJ, gain de poids sec journalier.

	chla+p	mop	PLG	CN	GPTJ	GPSJ
chla+p		***	***	**	NS	NS
mop	0,86		***	***	NS	NS
PLG	0,82	0,90		***	NS	NS
CN	0,79	0,89	0,96		NS	NS
GPTJ	0,51	0,56	0,53	0,54		**
GPSJ	0,23	0,31	0,26	0,25	0,77	

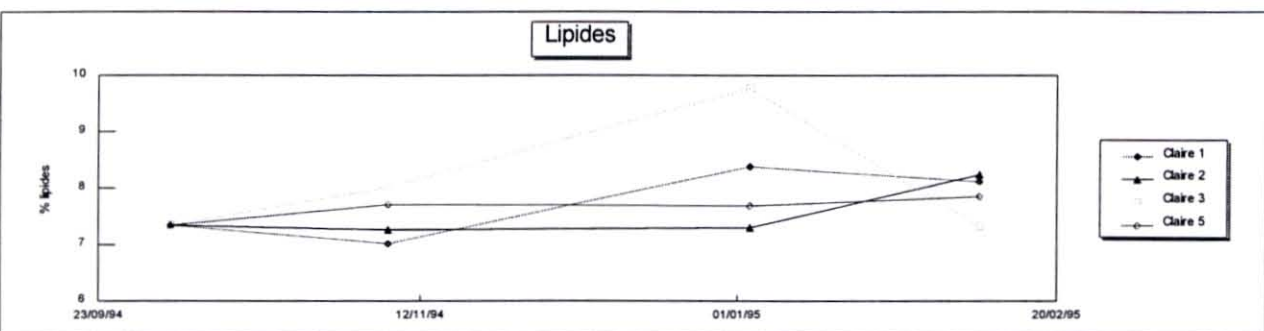
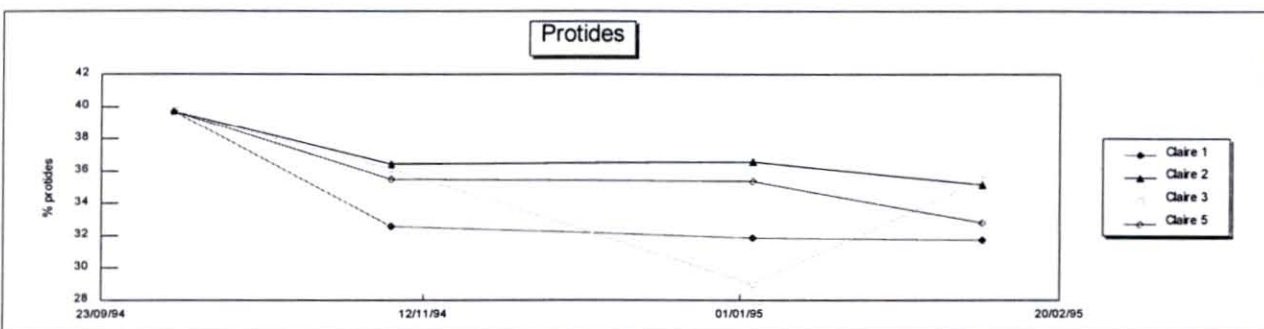
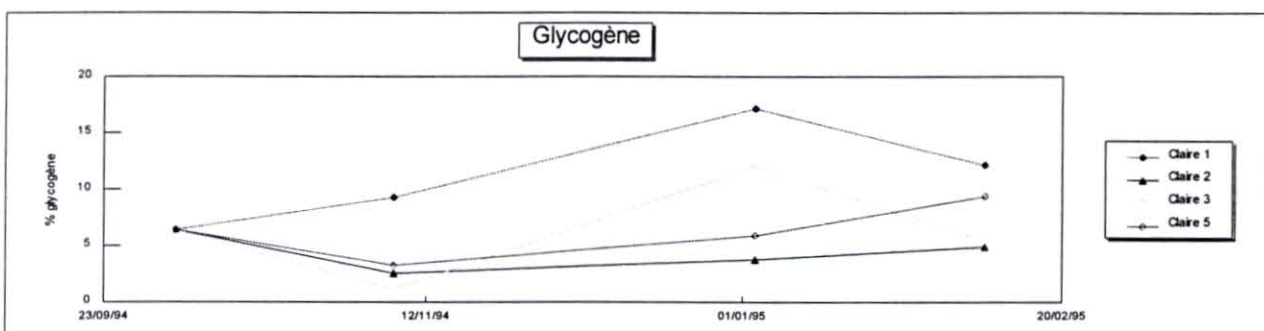
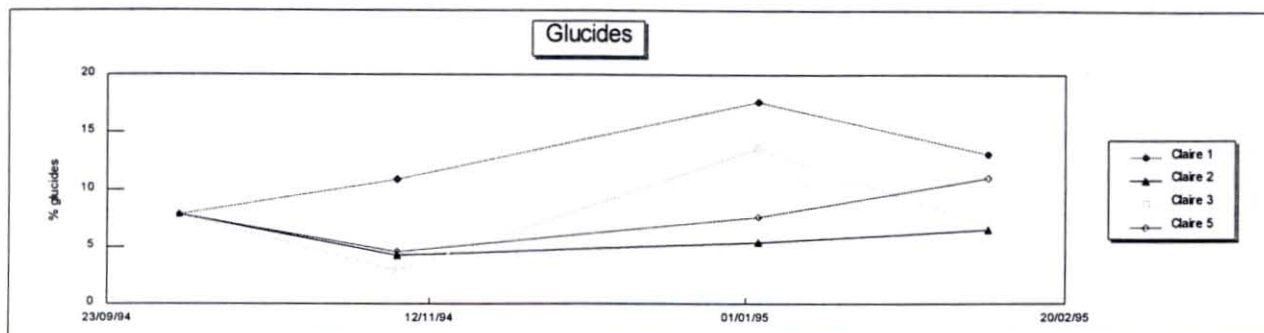
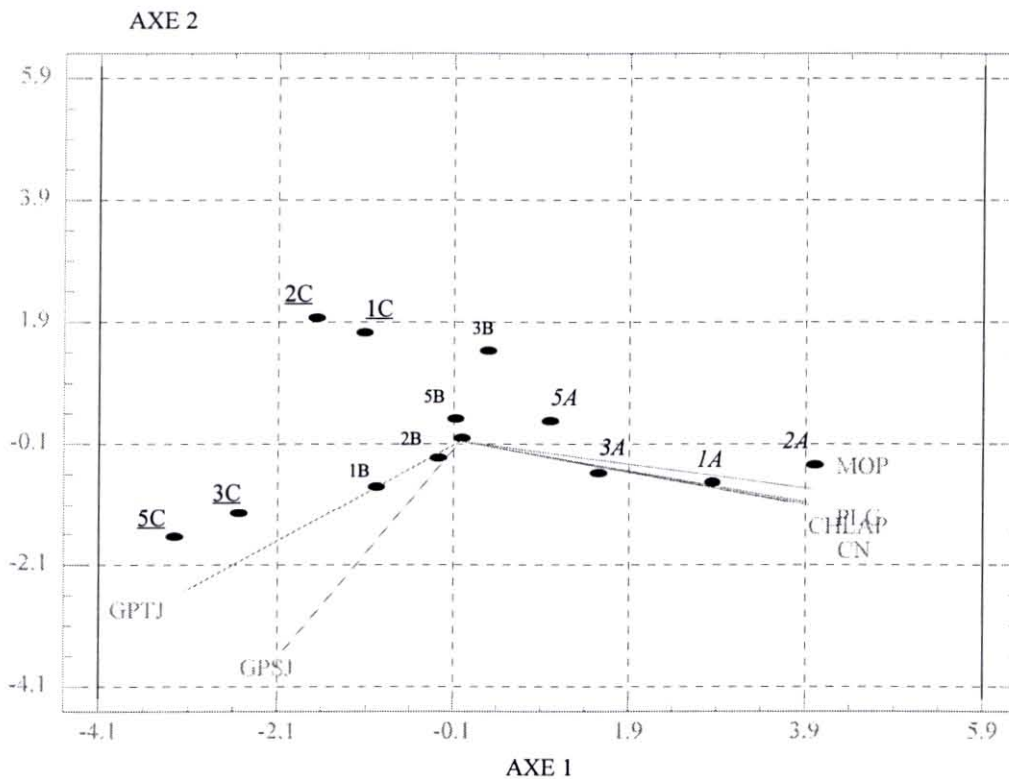


Figure 51 : Composition biochimique comparée des huîtres dans les claires expérimentales au cours de la période d'affinage (4 oct. 7 nov. 3 janv. et 8 fév.).

Toutefois, dans le cadre de l'expérimentation, aucune corrélation significative n'apparaît entre les descripteurs biologiques de croissance et les descripteurs trophiques.

L'analyse en composantes principales est décrite à partir des deux premiers axes (fig. 52). Le premier axe exprime 69,9 % de la variance totale. Il est défini par les descripteurs trophiques. Les variables se distribuent linéairement sur cette axe, de la période A vers la période C, le long d'un gradient négatif de ressources alimentaires pour l'huître. L'axe 2 décrit 21,0 % de la variance globale du système, et semble défini par les deux variables de croissance (GPSJ et GPTJ). Au cours de la période C, cet axe de variabilité oppose les claires 1 et 2 plus chargées, aux claires 3 et 5, avec un gain de poids supérieur pour les deux claires 3 et 5, alors que sur la période antérieure (B), le gain de poids est supérieur pour les claires 1 et 2.



**Figure 52 :** Analyse en composantes principales effectuée sur les descripteurs trophiques des claires ostréicoles ; chlap (chlorophylle a + phéophytine) ; mop : (matière organique particulaire) ; PLG : (protéines lipides et glucides) ; CN (carbone et azote) et sur deux descripteurs de croissance: GPTJ (gain de poids total journalier) et GPSJ (gain de poids sec journalier). A, B et C représentent les 3 périodes successives de 33, 56 et 35 jours comprises entre les 4 dates d'échantillonnage du 4/10/94, 7/11/94, 3/01/95 et 8/02/95.

### 3.4.2. Modélisation de la croissance en claires

#### 3.4.2.1. Matrice de corrélation et modèles de calibration

La matrice de corrélation (tableau 17) met en évidence les relations entre les descripteurs enregistrés en continu et les prélèvements discrets mesurés. Les descripteurs MIP, MOP, MPT, PLG et CN sont étroitement corrélés avec les mesures de néphélométrie. La phéophytine elle-même est corrélée à ces mesures, alors que la chlorophylle *a* ne l'est pas. La somme des pigments totaux (chla et phéo.) ne sont que faiblement corrélés avec les mesures de fluorescence.

Tableau 17 : Matrice de corrélation des descripteurs hydrobiologiques des claires ostréicoles ; Relation entre les prélèvements discrets et les données en continu. YNTU : néphélométrie 1 ; BNTU ; néphélométrie 2 ; BFLUO ; fluorescence ; CHLA : chlorophylle *a* (µg/l) ; PHEO : phéophytine (µg/l) ; MIP : matière inorganique particulaire (mg/l) ; MOP : matière organique particulaire (mg/l) ; MPT : matière particulaire totale (mg/l) ; PLG : somme des protéines lipides et glucides (mg/l) ; CN : somme des carbone et azote (mg/l).

	YNTU	BNTU	BFLUO	CHLA	PHEO	MIP	MOP	MPT	PLG	CN
YNTU		***	**	NS	*	***	***	***	***	***
BNTU	0,000		NS	NS	NS	***	***	***	***	***
BFLUO	0,007	0,066		*	*	NS	NS	NS	NS	NS
CHLA	0,61	0,75	0,027		***	NS	NS	NS	*	NS
PHEO	0,012	0,054	0,050	0,000		*	**	*	***	**
MIP	0,000	0,000	0,079		0,02		***	***	***	***
MOP	0,000	0,000	0,21		0,007	0,000		**	***	***
MPT	0,000	0,000	0,08		0,014	0,000	0,000		***	***
PLG	0,000	0,000	0,83	0,04	0,000	0,000	0,000	0,000		***
CN	0,000	0,000	0,43		0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	

La régression linéaire pas à pas des différents descripteurs du milieu (CHLA, PHEO, MPT, MOP, MIP, CN et PLG) est utilisée afin de calibrer les signaux en continu de néphélométrie et de fluorescence, en signaux plus pertinents vis à vis de la description des ressources trophiques dans le mésocosme claire et de leur utilisation dans le calcul des fonctions physiologiques (tableau 18).

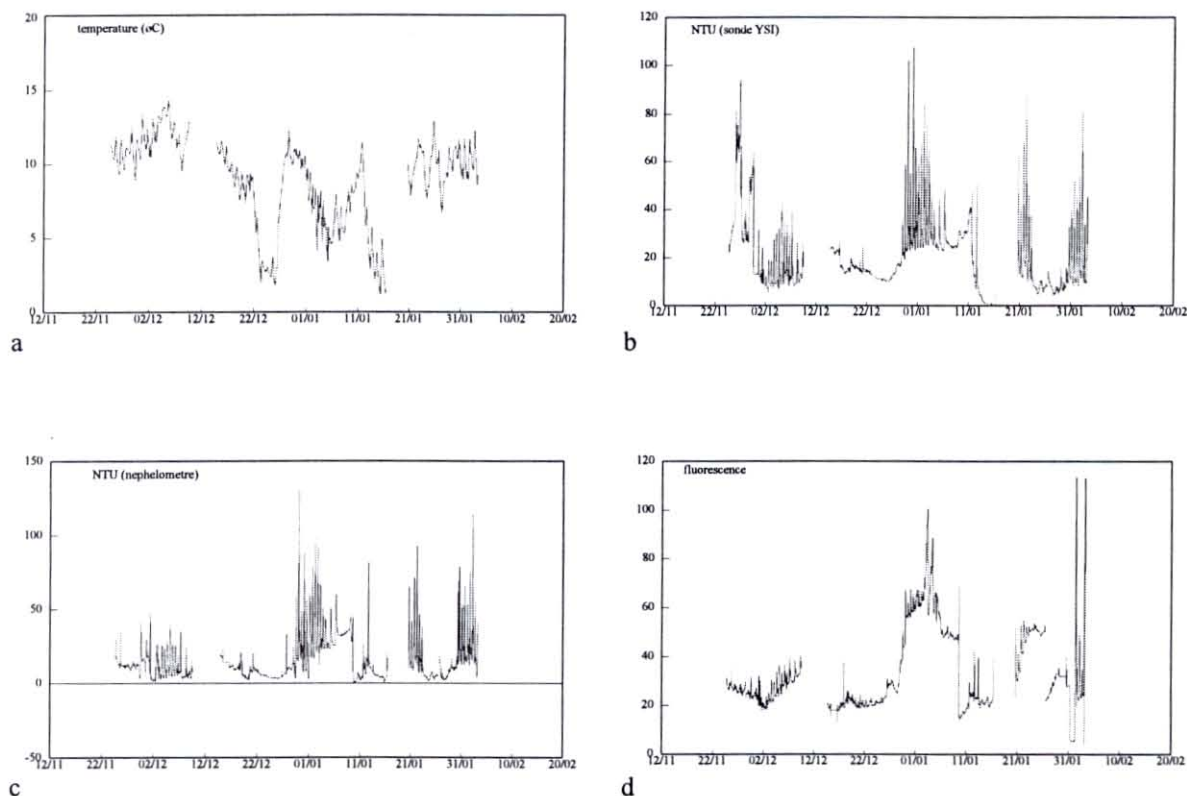
Si la matière particulaire totale est expliquée à plus de 90 % par le signal de néphélométrie ( $R^2 = 0,91$ ), le modèle explicatif de la matière organique particulaire est moins bien ajusté (63 %). Le modèle de la chlorophylle *a* n'est pas significatif (29 %), et fait à la fois intervenir un signal de fluorescence et de néphélométrie. Le modèle de la phéophytine, fait également intervenir les deux types de signaux. Son coefficient de corrélation est de 0,58. Enfin, les deux descripteurs trophiques CN et PLG sont expliqués à près de 90 % par les signaux de néphélométrie et de fluorescence. Les modèles sont un peu plus complexes et font intervenir des effets quadratiques et d'interactions entre les variables (tableau 18). Ces résultats permettent ainsi de créer un signal en continu en PLG ou CN, traduisant la qualité des ressources trophiques des claires ostréicoles.

**Tableau 18** : Modèles de calibrations des signaux de données en continu. Relation entre les prélèvements discrets et les données en continu. YNTU : néphélogétrie 1 ; BNTU ; néphélogétrie 2 ; BFLUO ; fluorescence ; CHLA : chlorophylle a ( $\mu\text{g/l}$ ) ; PHEO : phéophytine ( $\mu\text{g/l}$ ) ; MIP : matière inorganique particulaire (mg/l) ; MOP : matière organique particulaire (mg/l) ; MPT : matière particulaire totale (mg/l) ; PLG : somme des protéines lipides et glucides (mg/l) ; CN : somme des carbone et azote (mg/l).

	Const.	BNTU	YNTU	BFLUO	BFLUO2	YNTU X BNTU	YNTU X BFLUO	R <sup>2</sup>
MPT	-1,5624	1,6837						0,91
MOP	1,6343	0,0973						0,63
CHLA	x		x	x				0,29
PHEO	1,9696		0,0530	-0,0296				0,58
CN	-0,4549		0,1663		0,00135	0,00150	-0,0056	0,90
PLG	0,2638		0,0196			0,00025	-0,00025	0,87

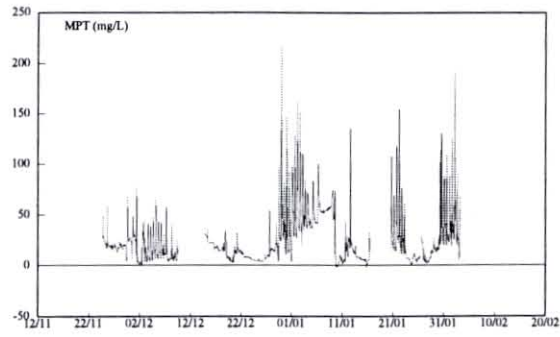
### 3.4.2.2 Description temporelle des ressources trophiques calibrées et bilan énergétique

Les différents signaux bruts sont représentés sur la figure 54 (a à d). Les signaux calibrés à partir des modèles apparaissent sur la figure 55 (a à c). Le signal 'PLG' en continu est décrit sur la figure 56 a, avec les fonctions de consommation (b) et de respiration (c) qui seront utilisées pour l'analyse de physiologie et les relations huîtres-milieu.

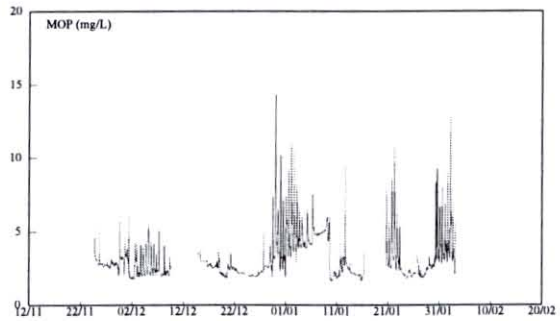


**Figure 54 a, b, c, d** : Description en continu des signaux de température (a), néphélogétrie (b,c) et fluorescence (d).

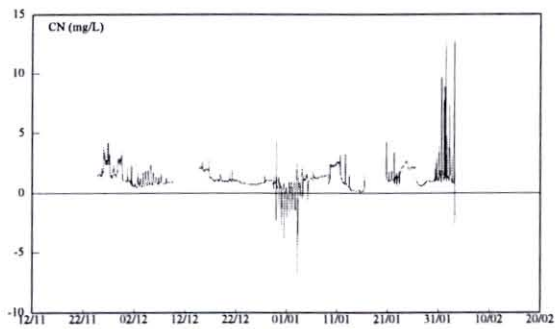




a



b



c

Figure 55 a, b, c : Calibration des signaux continus relatifs en signaux continus de MPT (a), MOP (b) et CN (c).

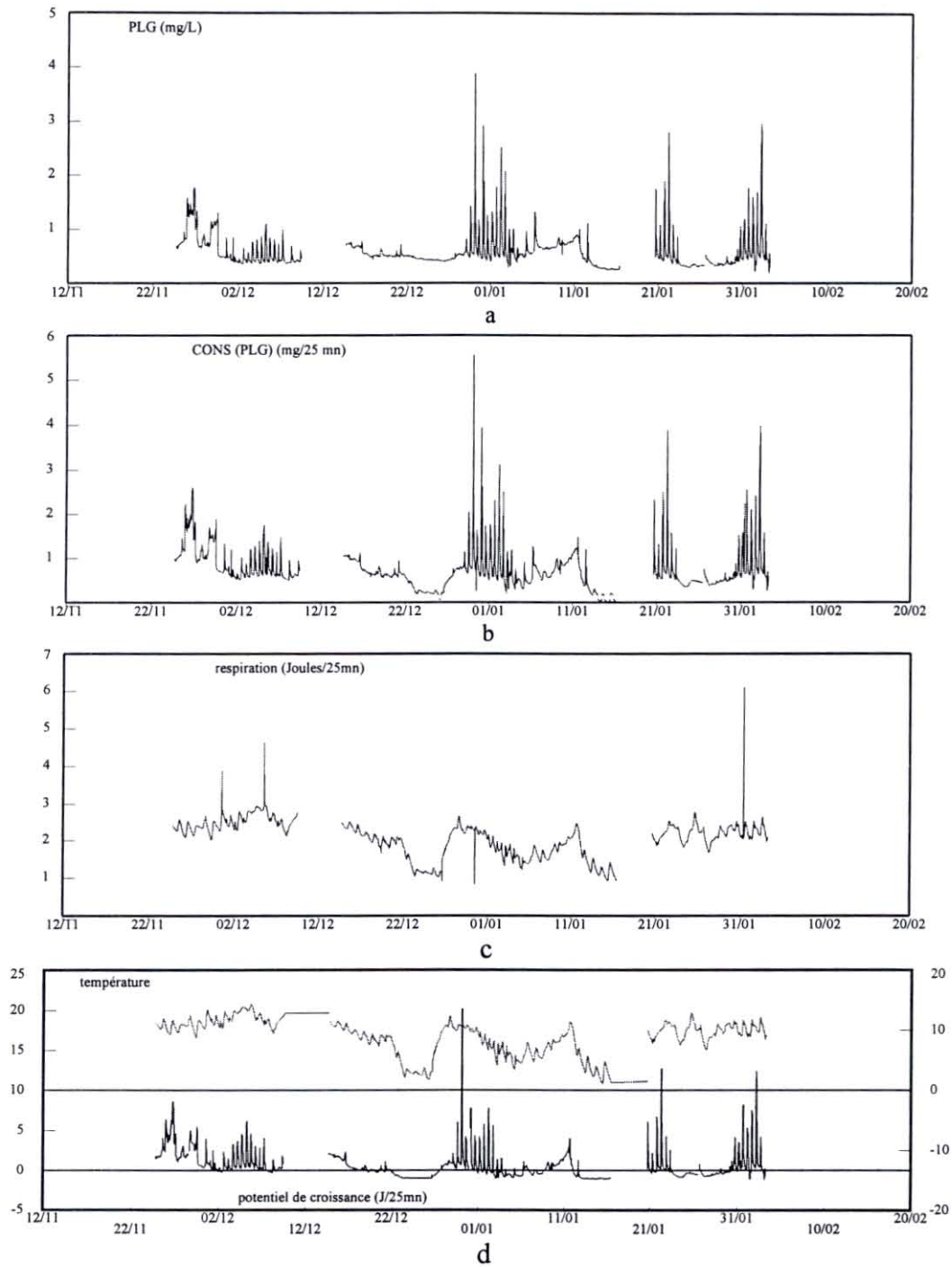


Figure 56 a, b, c et d. : Description en continu des ressources trophiques en protides, lipides, glucides (PLG) (a), des fonctions de consommation (b), de respiration (c) (d'après le modèle de Bougrier et al., 1995) et du potentiel de croissance (d).

Les taux de filtration et de respiration sont calculés en fonction de la température et du poids moyen de l'huître (Bougrier *et al.*, 1995). La loi d'assimilation a été présentée par Raillard *et al.* (1991). En absence de loi de sélection, l'efficacité de sélection est prise égale à 50 % pour l'ensemble de la période d'affinage. Dans ces conditions, la figure 56 d présente l'évolution du potentiel de croissance au cours de la période d'affinage, de novembre 94 à janvier 95. On notera que le potentiel de croissance devient négatif consécutivement à des variations élevées de températures ( $\approx 10^\circ\text{C}$ ) fin décembre et mi-janvier. Ces rendements négatifs se maintiennent fin décembre et particulièrement en périodes de mortes eaux en janvier.

Sur la base de cette modélisation de la croissance, le potentiel de croissance (PC) intégré sur cette période est de 2 570 joules. Le gain de biomasse effectif durant la même période, est de 2 700 joules dans la claire 3.

#### 4. DISCUSSION - CONCLUSION

##### - Capacité trophique des claires

De nombreuses études effectuées sur les claires ostréicoles s'appuient sur une stratégie de prélèvements discrets en mortes eaux et en vives eaux pour estimer la capacité trophique des claires ostréicoles (Zanette, 1980 ; Deslous-Paoli, 1980 ; Nedhif, 1984 ; Gouletquer *et al.*, 1988). L'originalité de cette étude réside dans le suivi en continu d'un ensemble de paramètres hydrobiologiques et climatiques qui doivent permettre de dégager les processus essentiels du fonctionnement de cet écosystème particulier (Rince, 1978). La ressource disponible dans la colonne d'eau est bien représentée par les signaux en continu. Elle est le reflet de l'ensemble des processus de remise en suspension puis de sédimentation dont sont responsables les flux d'eau en période d'alimentation, et le vent. Si au printemps et en été, une partie importante des ressources de la claires est produite *in situ*, en automne - hiver, ce sont les alimentations en eau qui sont responsables de l'essentiel des apports telluriques (Nedhif, 1984).

L'interface eau-sédiment des claires ostréicoles est riche en matériel organique dans des proportions de 15-25 fois supérieures à la concentration de la colonne d'eau sus-jacente (Nedhif, 1984). Les huîtres peuvent consommer à la fois de la matière organique benthique et détritique (Rince, 1978). Zanette (1980) constate également un rapport de 25 entre le phytobenthos et le phytoplancton, au bénéfice du premier, sans que les huîtres puissent en profiter sur le plan alimentaire. Zanette (1980) estime la biomasse phytobenthique à  $46 \text{ mg m}^{-2}$  de chlorophylle active et Robert (1982) à  $200 \text{ mg m}^{-2}$  de chlorophylle active. Gouletquer *et al.* (1988) estiment des concentrations moyennes de  $50,9 \text{ mg m}^{-2}$  de chl<sub>a</sub>,  $85,8 \text{ mg m}^{-2}$  de phéo et  $69,8 \text{ mg m}^{-2}$  de PLG sur une période de novembre à janvier. Enfin, il convient de souligner que la comparaison entre la colonne d'eau et le sédiment est incomplète puisqu'elle ne concerne que le matériel "particulaire" c'est-à-dire retenu par un filtre GFF de  $1 \mu$  de porosité effective. Dans les claires ostréicoles, l'importance du dissous peut représenter 78 % de l'énergie présente dans l'eau (Nedhif, 1984). Cet élément doit être pris en considération dans le cas de *C. gigas* qui est capable d'assimiler directement une partie de ce matériel.

En automne, la claire est donc caractérisée par une pauvreté relative en ressources trophiques dans la colonne d'eau. Ces ressources sont sous la dépendance des conditions de vent et des cycles d'alimentation qui enrichissent la colonne d'eau par remise en suspension et apports telluriques. Toutefois, l'interface eau-sédiment accumule la matière organique d'origine détritique et vivante dans des proportions considérables. Cette forte ressource potentielle est sous exploitée par l'huître lors de l'affinage en claires.

### **- Test de densité de *C. gigas* - Croissance et qualité de l'affinage**

A partir de la gamme de densité d'huîtres testées (2 à 10/m<sup>2</sup>), seule la plus faible densité permet d'obtenir des performances de croissance significatives. Par ailleurs, les gains de poids concernant les autres densités testées ne diffèrent pas significativement du lot initial. La variabilité "intra-claires" par sectorisation des cheptels, confirme le résultat précédent avec des différences de croissance intersectorielles supérieures à la variabilité inter-claire pour les trois densités de 10, 7 et 6 huîtres au m<sup>2</sup>. Les secteurs situées "au vent" de la claire à plus faible densité présente les plus fortes croissances. Cette dernière condition d'élevage correspond en fait à un élevage de type "pousse en claire" destiné à améliorer la croissance et l'engraissement des huîtres. Par opposition, les conditions d'élevage de 6 à 10 huîtres au m<sup>2</sup>, sont spécifiques à l'affinage selon la norme AFNOR NF V 45.056 (1985) et ont pour objectif principal un engraissement des animaux. Dans les conditions environnementales de l'expérimentation, une amélioration significative de cet engraissement a pu être au moins obtenu aux densités de 6 à 2 huîtres au m<sup>2</sup> sans pour autant atteindre la dénomination d'huîtres "spéciales" de claires. Cette distinction entre une phase de croissance et d'engraissement est confortée par l'absence de corrélation entre les descripteurs biologiques de croissance et les descripteurs trophiques. La prolongation de l'expérimentation jusqu'en janvier 1995 montre cependant des rendements négatifs de croissance générant des amaigrissements des huîtres.

### **- Bilan énergétique**

L'étude en continu des ressources trophiques et des conditions physico-chimiques des claires a permis de tester en partie le modèle biologique de croissance de l'huître en supposant que la colonne d'eau intègre bien les ressources mises à la disposition de l'huître.

L'intégration du signal trophique de PLG à partir du modèle obtenu utilisant les signaux en continu de néphélométrie et de fluorescence, permet de connaître précisément la ressource énergétique de la colonne d'eau (Widdows *et al.*, 1979). L'utilisation des modèles de filtration et respiration (Bougrier *et al.*, 1995) et de la loi d'absorption de Raillard (1991), permet une approche du bilan énergétique. Sur la base d'une loi de sélection moyenne et constante de 50 %, le potentiel de croissance mesuré ("scope for growth") est cohérent avec les résultats de croissance observés.

Ce modèle permet de simuler les rendements négatifs de croissance mesurés sur la population d'huîtres (janvier). Cette baisse de rendement résulte principalement de la faiblesse des ressources trophiques dans la colonne d'eau et à un deuxième niveau de la valeur absolue et des variations brusques de température dans la colonne d'eau. Ces valeurs négatives sont notées particulièrement pendant les périodes de mortes eaux.

Le modèle (fig. 57) permet de visualiser l'importance relative d'une augmentation de PLG ou d'une élévation de la température. A titre d'exemple une élévation de la température de l'eau d' 1 degré sur l'ensemble de la période d'affinage ferait passer le potentiel de croissance de 2 600 à 3 800 joules. Une augmentation de 0,1 mg/l de PLG induirait une augmentation du potentiel de 1 500 joules.

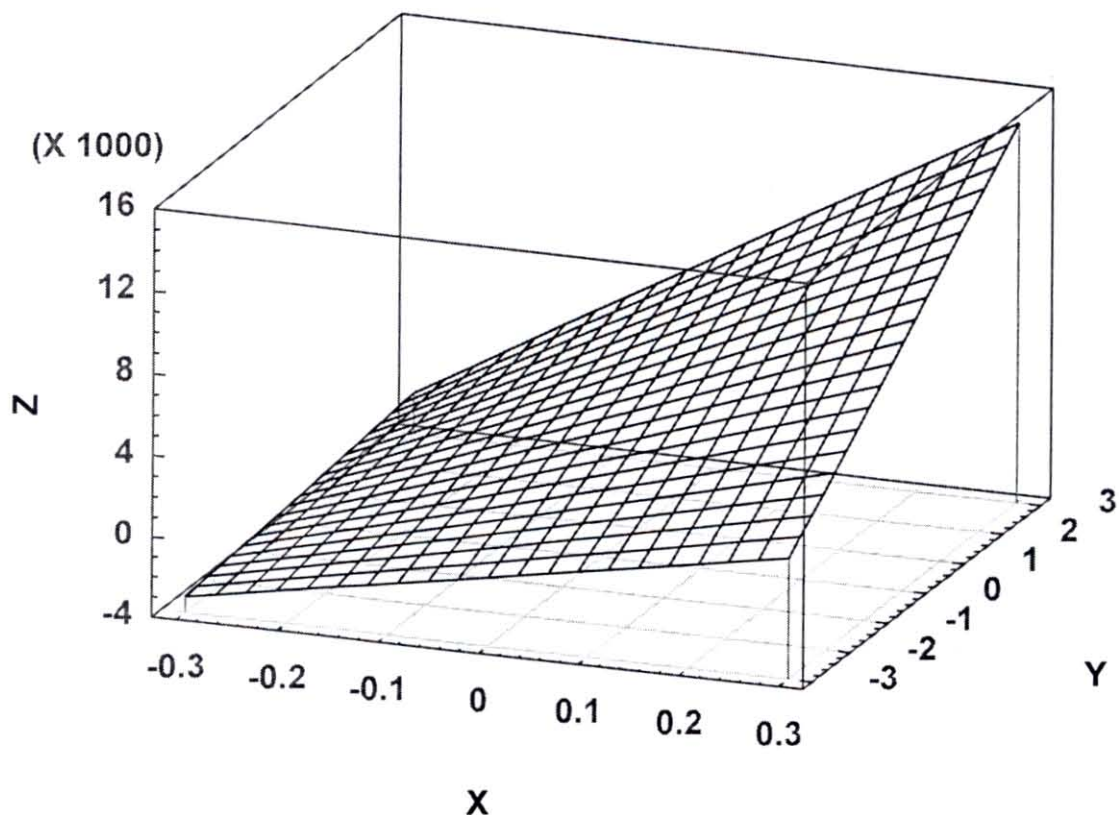


Figure 57 : modèle d'évolution du potentiel de croissance (Z) en fonction de la température (Y+ ou - 3° C) et de la ressource trophique en PLG de la colonne d'eau (X + ou - 0,3 mg/l) autour des valeurs expérimentales (X = 0 et Y = 0).

Les connaissances acquises sur le mécosystème "claires" doivent permettre à terme d'optimiser l'analyse des processus de fonctionnement de cet écosystème.

Compte-tenu du fait que les rendements négatifs observés sur les huîtres résultent principalement d'un appauvrissement de la colonne d'eau en période automnale, l'objectif reste d'optimiser la disponibilité en nourriture (fig. 57).

En raison de l'indisponibilité d'utiliser de l'eau de forage afin de développer des élevages intensifs similaires à ceux réalisés par l'IFREMER Bouin (Baud *et al.*, 1995), le programme s'oriente vers une stratégie d'amendement couplée à une gestion hydraulique traditionnelle des claires ostréicoles. Un complément d'algues fourrages (*Skeletonema costatum*) obtenu par amendement sur les eaux de remplissage du marais en périodes de vives-eaux, doit permettre d'accroître la ressource trophique durant les périodes de mortes eaux et donc d'améliorer et de gérer l'affinage des huîtres en claires en période automnale.

## 5. REFERENCES

- AFNOR, 1985. Norme française huîtres creuses. Dénomination et classification. NF V 45-056, 5 p.
- Baud J.P., E. Brisset & M. Cardinal, 1995. Affinage contrôlé en bassin de l'huître creuse *Crassostrea gigas*. *Rapport RIDRV*, 95-17, 37 p.
- Bligh E.G. & W.F. Dyer, 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol.*, 37: 911-917.
- Bodoy A., J. Prou. & J.P. Berthomé, 1986. Etude comparative de différents indices de condition chez l'huître creuse *Crassostrea gigas*. *Haliotis*, 15: 173-182.
- Bougrier S., P. Geairon, J.M. Deslous-Paoli, C. Bacher & G. Jonquieres, 1995. Allometric relationships and effects of temperature on clearance and oxygen consumption rates of *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Aquaculture*, 134: 143-154.
- Brody S., 1945. Bioenergetic and growth. Reinhold, New-York, in Beukema et De Bruin. 1979.
- Cartron B., 1993. Atelier Affinage d'huîtres en marais : programme 1993. CREEA, 60 p.
- Dankers N. & R. Laane, 1983. A comparison of wet oxidation and loss on ignition of organic material in suspended matter. *Environmental Technology Letters*, 4: 283-290.
- Deslous-Paoli J.M, 1980. Contribution à l'étude de la biologie de l'huître creuse *Crassostrea gigas* (Thunberg) dans le bassin de Marennes-Oléron. *Thèse de doctorat d'université d'Aix Marseille*, 120 pp.
- Dubois M., K.A. Gilles, J.K. Hamilton, P.A. Rebers & F. Smith, 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 28: 350-356.
- Gouletquer P., M. Nedhif & M. Héral, 1988. Production de Palourdes Japonaises *Ruditapes philippinarum* (Adams et Reeve) en bassin semi fermé: Approche énergétique et relations trophiques. *Aquaculture*, 74: 331-348.
- Imai T. & S. Sakai, 1961. Study of breeding of Japanese oyster. *Tohoku J. Agric. Res.* 1 (2).
- Lawrence D.R. & G.I. Scott, 1982. The determination and use of condition index of oysters, *Estuaries*, 5: 23-27.
- Lowry O.H., N. Rosebrough, A.L. Farr & R.J. Randall, 1951. Protein measurement with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, 193: 265-275.
- Lucas A., 1982. La nutrition des larves de bivalves. *Oceanis*, 8: 363-388.
- Marsh J.B. & D.B. Weinstein, 1966. Simple charring method for determination of lipids. *J. Lipid Res.*, 7: 574-576
- Nedhif M. 1984. Elevage de *Ruditapes philippinarum* dans le bassin de Marennes-Oléron: Relations trophiques et bilan énergétique. *Thèse de spécialisation pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur principal de l' I.N.A.T*, 154 pp.
- Rincé Y., 1978. Intervention des diatomées dans l'écologie des claires ostreicoles de la baie de Bourgneuf. *Thèse de doctorat de l'Université de Nantes*, 203 pp.
- Raillard O., 1991. Etude des interactions entre les processus physiques et biologiques intervenant dans la production de l'huître *Crassostrea gigas* (Thunberg) du bassin de Marennes - Oléron: Essai de modélisation. *Thèse de doctorat de d'université de Paris VI*. 212 pp.

- Robert J.M., 1982. Fertilité des claires ostréicoles et verdissement : Utilisation de l'azote par les diatomées dominantes. *Thèse de docteur d'état de l'université de Nantes*, 216 pp.
- Widdows J., P. Fieth & C.M. Worrall, 1979. Relationships between seston, available food and feeding activity in the common mussel *Mytilus edulis*. *Marine Biology*, 50: 195-207.
- Zanette Y., 1980. Contribution à l'étude de la biologie des claires du bassin de Marennes-Oléron. *Rapport C.R.C.I. de Marennes-Oléron*, 36 pp.